

**IMPACTOS DA INTEGRAÇÃO INTERNA
DE MERCADOS DE ELETRICIDADE
NO BRASIL**

Rogério Silva de Mattos

Texto para Discussão N° 04/2013

**Programa de Pós-Graduação em Economia
Aplicada - FE/UFJF**

Juiz de Fora
2013

Impactos da integração interna de mercados de eletricidade no Brasil*

Rogério Silva de Mattos
Universidade Federal de Juiz de Fora
Faculdade de Economia
Departamento de Economia

Resumo

O artigo apresenta uma metodologia para análise de cenários de maior integração dos mercados regionais de eletricidade dentro do Brasil. Um cenário base de redistribuição uniforme de 10% do consumo doméstico de cada setor para outras regiões é considerado e seus efeitos sobre o consumo total de eletricidade da economia são medidos. A metodologia se baseia, de um lado, no uso de modelos inter-regionais de insumo-produto com um módulo de determinação do consumo setorial e regional de eletricidade. De outro, na decomposição dos impactos sobre o consumo total de eletricidade em fatores estruturais, como a intensidade de uso de eletricidade, o grau de consumo doméstico de eletricidade e o que foi chamado aqui de fator delta (a diferença de sensibilidade às variações nos coeficientes de uso doméstico versus externos de eletricidade). A metodologia foi aplicada ao caso brasileiro a partir de informações disponíveis para uma matriz inter-regional de insumo-produto detalhada com abertura de 16 setores de atividade e 27 UFs, construída com dados para o ano de 2004. Os resultados obtidos indicam que a economia brasileira é levemente propensa a aumentar seu consumo total de eletricidade num cenário de redistribuição de 10% do consumo doméstico acontecendo simultaneamente para todos os setores em todas as UFs. A metodologia permitiu também identificar dois padrões de setores que tendem a impactar mais (positivamente) o consumo de eletricidade. O primeiro são os setores eletro-intensivos e o segundo são setores de baixo consumo de eletricidade mas cujo fator delta é fortemente negativo. Esses dois padrões distintos de setores se revelaram significativos tanto na análise dos setores destacados (*outliers*) quanto no de setores normais.

Palavras-chave: integração de mercados; energia elétrica; modelo interregional de insumo-produto.

Abstract

The paper presents an approach to study scenarios of increased integration of electricity markets within Brazil. One base scenario of a 10% uniform redistribution of each sector's domestic consumption toward other regions is considered and the effects on the total electricity consumption is measured. The approach is based, on the one hand, on an interregional input-output model extended with a module that determines industry and regional consumption of electricity. On the other hand, on a decomposition of the impacts upon the total electricity consumption into structural factors, namely the electricity intensity, the coefficient of domestic consumption, and what was termed here the delta factor (difference of sensitivities to variations in domestic consumption vis-à-vis external consumption). The methodology is applied to the Brazilian case using information available from an interregional input-output table disaggregated by 16 industries and 27 states built from 2004 data. The results point out that the Brazilian economy is lightly leaned to increase its total consumption of electricity under a scenario of 10% redistribution of domestic consumption simultaneously taking place for all sectors in all states. The methodology also allowed to identify two groups of sectors which are to impact more (positively) the electricity consumption. The first is comprised by eletro-intensives sectors and the second by sectors with low electricity consumption but whose delta factors are highly negative. These two distinct patterns of sectors revealed significant in the analysis of detached sectors (*outliers*) and of normal sectors as well.

Keywords: markets integration; electricity; input-output interregional model.

1. Introdução

A partir da experiência britânica nos anos 80, muitos países desenvolvidos e em desenvolvimento passaram a reestruturar seus setores elétricos. A preocupação central foi a de obter uma maior eficiência dos setores que proporcionasse preços competitivos para os consumidores e suprimento de eletricidade com elevados níveis de qualidade e segurança. O elemento nuclear dessas reformas foi a introdução de maior concorrência, tanto a nível do atacado (geração e transmissão) quanto do varejo (distribuição) (Mendonça e Dahl, 1999). Para isso, vários mecanismos foram acionados, como a desverticalização da cadeia de fornecimento, privatização de empresas, formação de mercados atacadistas de eletricidade e, de particular interesse para este artigo, a integração espacial dos mercados de eletricidade.

A literatura de economia da energia apresenta ampla discussão teórica e empírica que engloba aspectos de comportamento econômico, regulatório e de natureza institucional relacionados com a integração de mercados de eletricidade para vários países (PELLINI, 2012). No entanto, praticamente inexistem estudos que avaliem os impactos que cenários de maior integração dos mercados de eletricidade tendem a produzir em termos mais amplos sobre a toda a economia formada pelas regiões/países integrados. Por exemplo, uma questão importante diz respeito a qual o efeito que a integração irá produzir sobre o consumo total de eletricidade do mercado expandido. Isso é relevante porque espera-se da integração um aumento de bem estar ou de produtividade, mas do ponto de vista das preocupações atuais com conservação de energia e com os impactos ambientais de emissão de CO² interessa que os efeitos sobre o consumo de eletricidade sejam os mais moderados possíveis.

Devido às suas particularidades, o caso brasileiro oferece um terreno fértil para o exame dessas questões. Primeiro, as dimensões continentais brasileiras abrangem uma área de mais de 8 milhões de km² (maior do que a Europa Ocidental) com distâncias de milhares de quilômetros entre usinas geradoras (em sua maioria hidrelétricas) e centros consumidores, o que requer, portanto, uma grande malha física com extensas linhas de transmissão. Segundo, ao passo que em países como os europeus os setores elétricos integrados são administrados de forma coordenada por operadores independentes e há mais de um órgão regulador, no Brasil o amplo sistema interligado, que opera mais de 96% da capacidade de geração (ONS,2013), é gerenciado por um único operador e há apenas um órgão regulador. Terceiro, embora os consumidores residenciais e os pequenos negócios sejam cativos de distribuidoras locais, empreendimentos que operam acima de 500 kva são livres para participar do mercado integrado comprando eletricidade de fornecedores em outras regiões.

Esta estrutura, no caso brasileiro, se completou muito recentemente, quando os subsistemas isolados na Região Norte finalmente se interligaram com o sistema nacional. Embora este sistema vasto geograficamente e amplamente interconectado seja um tanto novo, já ocorre intensa atividade de grandes players do mercado, como geradoras, distribuidoras e empresas comercializadoras de eletricidade, competindo por clientes pelo país afora.

Esses aspectos trazem a perspectiva de que mudanças mais amplas da economia brasileira venham a acontecer em resposta às possibilidades de maior integração de seus mercados de eletricidade. Em particular, a integração de mercados tende a afetar as interdependências intra- e inter-regionais dos outros setores econômicos com o setor elétrico. Isto acontece porque setores de atividade localizados em diferentes pontos do país que são normalmente atendidos por uma distribuidora de eletricidade local poderão estar realocando sua aquisição doméstica de eletricidade para fornecedores de outras regiões. Este artigo estuda os efeitos de um tal cenário sobre o consumo total de eletricidade (*cte*) da economia brasileira. O foco sobre esta variável é relevante porque do movimento amplo de realocação espacial do comércio de eletricidade, viabilizado pela integração dos mercados, pode resultar aumento ou diminuição do consumo total de eletricidade, o que tem diferentes implicações para as questões de conservação de energia e preservação ambiental como mencionado antes. Além disso, o que torna possível diferentes resultados no agregado da economia relaciona-se ao padrão estrutural particular de interdependências apresentado por cada economia. Há economias que são propensas e outras não-propensas a responder com maior consumo de eletricidade a um cenário de maior integração dos seus mercados regionais de eletricidade. Como se verá aqui, a economia brasileira é do tipo levemente propensa.

Para a realização do estudo, foi desenvolvida uma metodologia que permite calcular os impactos parciais e globais de mudanças na redistribuição espacial dos coeficientes de uso energético sobre o consumo total de eletricidade da economia brasileira. Esta metodologia é baseada num modelo inter-regional de insumo-produto estendido com um módulo de determinação do consumo setorial de eletricidade, semelhante ao utilizado por Alcántara e Padilha (2003) para identificação de setores chave em termos de consumo de eletricidade. O estudo foi viabilizado pela disponibilidade de uma matriz de insumo-produto inter-regional ampla composta por 16 setores econômicos e 27 estados, construída por Haddad e Perobelli (2005) usando dados para o ano de 2004.

O artigo está organizado da seguinte forma. Além desta introdução, há __ seções. A seção 2 apresenta breve revisão da literatura sobre integração de mercados de eletricidade e sobre o uso de modelos quantitativos para análise de seus impactos. A seção 3 faz uma breve

apresentação do setor elétrico brasileiro. A seção 3 descreve a metodologia baseada no modelo inter-regional e em sua extensão para determinação do consumo de eletricidade, além de apresentar formas como esse modelo pode ser usado para se analisar impactos sobre o consumo total de eletricidade na economia decorrentes de cenários de maior integração dos mercados de eletricidade. A seção 4 apresenta a aplicação empírica e discute os resultados. A seção 5 apresenta considerações finais.

2. Literatura

Pelini (2012) apresenta uma abrangente revisão da literatura de integração de mercados. A autora aponta a existência de uma crescente literatura sobre o assunto e que esta pode ser sumarizada em três correntes principais. A primeira consiste de trabalhos teóricos que analisam o impacto da integração sobre o poder de mercado na geração. A segunda constituiu-se de trabalhos empíricos que apontam a ineficiência dos mecanismos de leilões explícitos para alocar as capacidades de interconexão além-fronteira para um dia à frente. A terceira agrega análises empíricas do impacto de se introduzir leilões implícitos ou capacidade de transmissão além fronteira sobre o bem-estar social de mercados recém integrados. Dado que a revisão feita por Pelini (2012) é bem recente, não se faz necessário replicá-la em detalhes aqui porque este trabalho não se insere em nenhuma dessas correntes.

De fato, este artigo se preocupa com os impactos que um movimento de maior integração de mercados de eletricidade em diferentes regiões dentro uma mesma economia. Portanto, assume de ante-mão que algum mecanismo de interconexão física e integração institucional entre diferentes mercados de eletricidade dentro de uma ampla área ocupada por um país foi implementada e tenta medir, a partir disso, os efeitos sobre o consumo total de eletricidade da economia desse país. Nesse sentido, a literatura mais relevante para este trabalho relaciona-se com o uso de modelos para análise de impactos aplicados ao fenômeno da integração de mercados de eletricidade. A pesquisa bibliográfica feita identificou poucos estudos dessa natureza, valendo destacar apenas dois trabalhos.

O primeiro, de Álcantara e Padilha (2003), desenvolve um modelo inter-regional de insumo-produto visando identificar setores-chave para o consumo total de eletricidade tomando como caso de aplicação a economia espanhola. Esse estudo, embora não foque em questões de integração de mercados, serviu como principal referência para o modelo desenvolvido neste artigo e para a abordagem analítica, que busca identificar setores (e suas

localizações) relevantes para o consumo total de eletricidade num cenário particular de integração que foi considerado. O segundo trabalho, de Liang, Fang e Wei (2006), usa um modelo multi-regional de insumo-produto, que é mais limitado em termos de detalhe de informação do que um modelo inter-regional (ver Muller e Blair, 2009), visando prever para 2010 e 2020 os requerimentos de energia e as emissões de CO² para oito grandes regiões da China.

3. O Setor Elétrico Brasileiro

Desde meados da década de 90, o setor elétrico brasileiro (SEB) vem sofrendo um processo de re-estruturação nos moldes do modelo implantado inicialmente na Grã-Bretanha e seguido por vários países do mundo. Uma boa descrição da evolução e dos desafios enfrentados na re-estruturação do SEB está apresentada em Mendonça e Dahl (1999) e Araújo et al (2008). Para os fins deste artigo, cabe destacar as seguintes características do setor:

- Atuam empresas estatais e privadas nos três segmentos de geração, transmissão e distribuição;
- Há um ambiente de contratação livre (mercado atacadista), operado pela Câmara de Comercialização de Energia (CCE) e do qual participam as empresas do setor e os chamados consumidores livres (que operam acima de 500 kva);
- Os consumidores residenciais e os pequenos negócios (que operam abaixo de 500 kva) são cativos de distribuidoras de eletricidade locais, o que configura o Ambiente de Contratação Regulada que é regulado por um único órgão, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL;
- O sistema elétrico constitui-se de uma crescente malha física distribuída por ampla área geográfica (figura 1). Em 2011 a malha chegava a 103,4 mil quilômetros de linhas de transmissão (tabela 1) e é praticamente interligado por completo (apenas 3,4% da capacidade de geração no país situa-se em sistemas isolados) e é gerenciado por um único operador, o Operador Nacional do Sistema (ONS).

Rosehart et al (2005) e Pelini (2012) destacam que essa última característica (único operador) já atingida pelo SEB é um dos grandes desafios da integração dos mercados de

eletricidade entre diferentes países. Nenhuma das vantagens advindas de integração será aproveitada se os diferentes operadores não se coordenarem ou cooperarem entre si. Neste sentido, pode-se dizer que o SEB encontra-se bastante avançado para permitir a plena integração dos mercados de eletricidade nas diversas regiões do Brasil.

Tabela 1 – Evolução da extensão em kms das linhas de transmissão do SIN 2007–2011

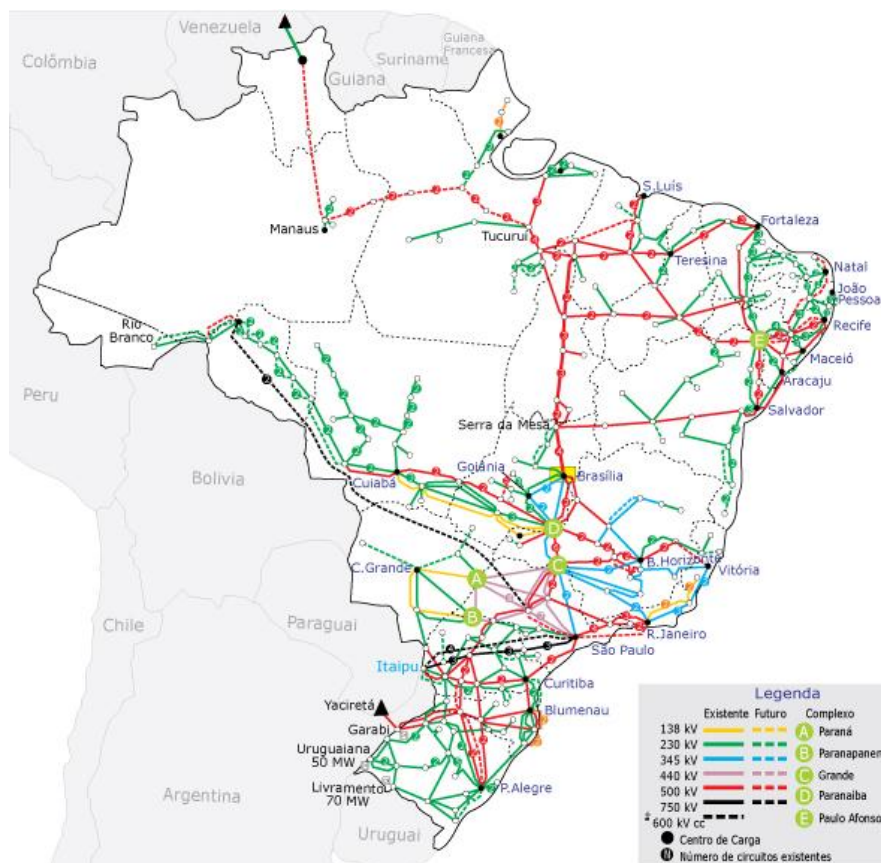
Faixa de Tensão	2007	2008	2009	2010	2011
230kV	37.155	37.710	41.437	43.185	45.709
345kV	9.772	9.772	9.784	10.060	10.062
440kV	6.671	6.671	6.671	6.671	6.681
500kV	29.392	31.868	33.196	34.356	35.003
600kV CC(*)	3.224	3.224	3.224	3.224	3.224
750kV	2.683	2.683	2.683	2.683	2.683
Total SIN	88.898	91.928	96.995	100.179	103.362

Nota: Os valores acima referem-se à rede básica que são as instalações com tensão maior ou igual a 230kV, soma-se ainda os ativos de conexão de usinas e interligações internacionais ligados diretamente à rede básica.

(*) A extensão dos circuitos 600kV CC correspondem à extensão de cada bipolo, sendo que pode haver operação independente por polo. Considerando-se esta possibilidade a extensão total é de 3.224,0 km.

Fonte: ONS (2013)

Essas características do SEB fazem com que seja possível a um grande número de consumidores (livres) de eletricidade atuantes em diferentes setores re-alocar espacialmente a sua aquisição de eletricidade. Embora a ampla maioria desses consumidores ainda apresentem um padrão de consumo predominantemente doméstico (atendido pelas distribuidoras localizadas no próprio estado onde o consumidor se localiza), a constituição atual do SEB permite que vários cenários de aumento da integração dos mercados de eletricidade possam acontecer. Este artigo examina apenas um cenário base (como será discutido na seção ...), mas que permite desenhar perspectivas relevantes para o comportamento do cte da economia brasileira e implicações para a política energética.



Fonte: ONS (2013)

Figura 1 – Mapa do Sistema de Transmissão do SIN 2011

4. Metodologia

O componente central da metodologia é um modelo de insumo–produto inter-regional para a economia brasileira desagregado por 16 setores de atividade e 27 unidades federativas (UFs) estendido com um módulo de determinação do consumo de eletricidade. Esse modelo permite avaliar os impactos decorrentes de cenários de ampliação da integração regional dos mercados de eletricidade. A configuração do modelo aqui adotada é semelhante ao de Alcántara e Padilha (2003), ao passo que a aplicação de cenários se aproxima daquela feita por Liang, Fan e Wei (2007) para a economia chinesa. O restante desta seção descreve o modelo e suas possibilidades de aplicação para os propósitos do artigo.

4.1. Modelo Interregional de Insumo-Produto

Um modelo de insumo-produto, segundo a versão introduzida por Leontieff (1941), retrata as relações econômicas entre vários setores da economia de uma dada região. Assim, permite comparações entre as estruturas de interdependência setorial de diferentes economias e viabiliza as chamadas análises de impacto, que são estudos onde se busca medir as reações setoriais da economia frente a cenários específicos de alterações na demanda final por bens e serviços. Izard (1951) ampliou o modelo de Leontief criando o chamado modelo inter-regional de insumo-produto, onde se admite a existência de várias regiões. Dessa forma, é possível estudar a estrutura de interdependência setorial dentro das regiões (intra-regional) e entre as regiões (inter-regional). Esses modelos permitem ainda diversas extensões, como a incorporação de módulos que captam os efeitos das interdependências setoriais/regionais sobre os mercados de energia e, em particular, o de eletricidade (Miller e Blair, 2009).

O modelo inter-regional a ser aqui adotado é composto por n setores de atividade e m regiões, podendo ser representado formalmente como:

$$X = BY \tag{1}$$

onde: $B = (I - A)^{-1}$ é a versão inter-regional da matriz inversa de Leontief ou de requerimentos totais, de ordem $(mn \times mn)$, A é a matriz inter-regional de coeficientes técnicos (ou de requerimento diretos), de ordem $(mn \times mn)$, X é um vetor de produção setorial e

regional, de ordem $(mn \times 1)$ e Y é um vetor de demanda final setorial e regional, de ordem $(mn \times 1)$.

As matrizes B e A são constituídas por m^2 submatrizes regionais, cada uma de ordem $(m \times n)$, que podem ser representadas como:

$$A^{kl} = \begin{bmatrix} a_{11}^{kl} & \cdots & a_{1n}^{kl} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1}^{kl} & \cdots & a_{nn}^{kl} \end{bmatrix} \text{ e } B^{kl} = \begin{bmatrix} b_{11}^{kl} & \cdots & b_{1n}^{kl} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1}^{kl} & \cdots & b_{nn}^{kl} \end{bmatrix} \quad (2)$$

onde $k = 1, \dots, m$ e $l = 1, \dots, m$ são superescritos que indicam a região fornecedora k e a região compradora l , respectivamente. Quando $k = l$, as matrizes em (2) correspondem aos requerimentos (diretos e totais, respectivamente) intra-regionais. Quando $k \neq l$ as matrizes em (2) correspondem aos requerimentos inter-regionais.

4.2 Determinação do Consumo de Eletricidade

A n -ésima linha das matrizes em (2) corresponde ao setor de eletricidade na região k e a n -ésima coluna corresponde ao setor de eletricidade na região l . Cada elemento das n -ésimas linhas das matrizes A^{kl} será genericamente representado como e_j^{kl} ($= a_{nj}^{kl}$) e interpreta-se como sendo o requerimento **direto** de eletricidade, em R\$, produzida pelo setor elétrico em k para atender à produção de R\$ 1,00 de produto do setor j em l . De forma análoga, cada elemento das n -ésimas linhas das matrizes B^{kl} referente ao setor de eletricidade será genericamente representado como λ_j^{kl} e interpreta-se como sendo o requerimento **total** de eletricidade produzida pelo setor elétrico em k para atender à produção de R\$ 1,00 de produto do setor j em l .

É importante diferenciar aqui entre consumo e requerimento total de eletricidade. O requerimento total refere-se à soma de todos os requerimentos de eletricidade que incidem sobre o setor elétrico da região k provenientes de todos os setores da economia envolvidos direta e indiretamente na produção do setor j da região l . O consumo setorial de eletricidade, por sua vez, é apenas uma parte do requerimento total, que se refere ao consumo particular feito na região k exclusivamente pelo setor j na região l . Para calcular o consumo setorial de

eletricidade, por região, precisamos estender o modelo em (1) incorporando a seguinte equação:

$$C_B = E \cdot B \quad (3)$$

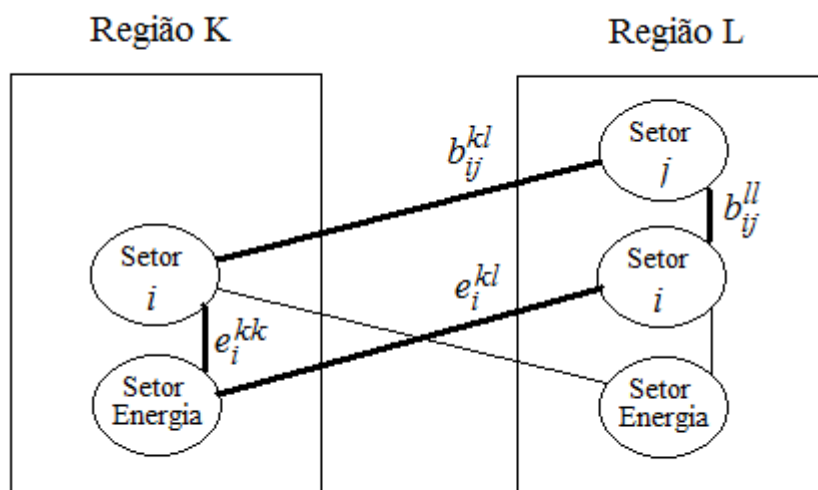
onde C_B é uma matriz de coeficientes de **consumo total** de eletricidade, de ordem $(mn \times mn)$, e E pode ser vista como uma matriz de **coeficientes de comercialização regional de eletricidade**, de ordem $(mn \times mn)$. Cada uma dessas matrizes é formada por m^2 submatrizes regionais, todas de ordem $(n \times n)$, como segue:

$$C_A^{kl} = \begin{bmatrix} ca_{11}^{kl} & \cdots & ca_{1n}^{kl} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ ca_{n1}^{kl} & \cdots & ca_{nn}^{kl} \end{bmatrix} \text{ e } C_B^{kl} = \begin{bmatrix} cb_{11}^{kl} & \cdots & cb_{1n}^{kl} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ cb_{n1}^{kl} & \cdots & cb_{nn}^{kl} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$E^{kl} = \begin{bmatrix} e_1^{kl} & & \mathbf{0} \\ & \ddots & \\ \mathbf{0} & & e_n^{kl} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Quando $k = l$, as matrizes em (4) correspondem aos coeficientes de consumo intra-regionais. Quando $k \neq l$ as matrizes em (4) correspondem aos coeficientes de consumo inter-regionais. De forma análoga, quando $k = l$ os elementos da diagonal principal de E^{kl} em (5) representam coeficientes de comercialização intra-regionais de eletricidade, ao passo que quando $k \neq l$, esses elementos representam coeficientes de comercialização inter-regionais de eletricidade.

Cada elemento de C_B é dado por $cb_{ij}^{kl} = \sum_{s=1}^m e_i^{ks} b_{ij}^{sl}$ e interpreta-se como o **consumo total de eletricidade** feito na região k pelo setor i da economia (de todas as regiões) para atender à produção de R\$ 1,00 de produto do setor j na região l . Veja-se o esquema simplificado na Figura 1.



O esquema representa uma economia com duas regiões k e l e apenas dois setores i e j . O consumo de eletricidade feito na região k pelo setor i da economia que produz bens utilizados na produção de R\$ 1,00 de produto do setor j na região l é dado por $cb_{ij}^{kl} = e_i^{kk} b_{ij}^{kl} + e_i^{kl} b_{ij}^{ll}$. As linhas mais grossas na figura indicam como os elementos dessa expressão interagem. Ou seja, cb_{ij}^{kl} é a soma do consumo de eletricidade feito em k pelo setor i da própria região k mais o consumo de eletricidade feito em k pelo setor i da região l , para atender necessidades de produção de R\$ 1,00 de produto do setor j em l .

Fonte: Elaboração própria.

Figura 2. Ilustração da relação entre os setores/regiões com o de energia

4.3 Impactos da Integração dos Mercados de Eletricidade

O aumento da integração de mercados de eletricidade ocorre quando vários setores da economia trocam o uso doméstico (atendimento local), total ou parcialmente, pelo uso externo (atendimento por fornecedores localizados em outras regiões) de eletricidade. Os impactos que esse movimento produz sobre o consumo total de eletricidade da economia podem ser avaliados pelo modelo inter-regional. O elemento chave para medir isso são os coeficientes e_j^{kl} , que representam¹ a quantidade (direta) de eletricidade adquirida da região k para atender à produção de R\$ 1,00 de produto do setor j na região l . Quando $k = l$, e_j^{kk} representa o montante de eletricidade que o setor j na região k adquire dentro de sua própria região, por R\$ 1,00 do seu próprio produto. Quando $k \neq l$, e_j^{kl} representa o montante de

¹ Este coeficiente não deve ser confundido com a intensidade de uso de eletricidade, discutido na próxima seção.

eletricidade que o setor j em outra região (região l) adquire da região k . É por isso que e_j^{kl} pode ser chamado de **coeficiente regional de comercialização de eletricidade** e, no caso particular em que $k = l$, o coeficiente e_j^{kk} será aqui chamado de **coeficiente de uso doméstico** de eletricidade. Deve ser frisado que os termos doméstico e externo aqui refere-se ao interior da economia.

O conjunto de todas os e_j^{kl} 's, de todos os setores em todas as regiões, é formado pelas linhas da matriz A correspondentes aos setores de eletricidade nas m regiões. Ou seja:

$$e_j^{kl} = a_{nj}^{kl} \text{ para } j = 1, \dots, n ; k, l = 1, \dots, m.$$

Extraindo-se todas as linhas da matriz A correspondentes aos coeficientes regionais de comercialização de eletricidade, é possível compor as submatrizes regionais E^{kl} em (5). Como visto, essas matrizes são construídas por diagonalizações parciais da linha de requerimentos diretos de eletricidade em cada região. Foi visto também que as m^2 matrizes E^{kl} podem ser arranjadas para montar-se a matriz E definida anteriormente.

A partir disso, o consumo total de eletricidade da economia pode ser computado no âmbito do modelo inter-regional da seguinte maneira:

$$cte = \mathbf{1}'_{mn} C_B Y = \mathbf{1}'_{mn} E B Y \quad (6)$$

Onde cte é um escalar que representa o consumo total de eletricidade na economia e $\mathbf{1}_{mn}$ é um vetor coluna de ordem $(mn \times 1)$ com todos os elementos iguais a 1.

Note-se que a matriz B é uma função não linear dos e_j^{kl} 's (que aparecem dentro da matriz A), logo ambas E e B podem ser afetadas por variações nos coeficientes de comercialização de eletricidade. Isto dá a base para se analisar cenários de maior integração regional dos mercados de eletricidade. Para isso, defina-se:

$$\Delta = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial cte}{\partial e_j^{kl}} \end{array} \right\} \quad (7)$$

que é uma matriz ($m \times mn$) de derivadas parciais ou graus de sensibilidade do cte à variações isoladas em cada coeficiente regional de comercialização de eletricidade.

Pelo fato de que B é uma função não-linear dos e_j^{kl} 's fica difícil estabelecer uma expressão analítica exata para computar os elementos da matriz Δ . No entanto, esta pode ser calculada usando-se algoritmos disponíveis para computação numérica de derivadas (e.g., CHAPRA e CANALE, 1998).

4.4 Cenário de Integração

A caracterização de cenários de integração pode ser feita de diversas formas. A abordagem seguida adotou a hipótese de que o montante de eletricidade cujo uso doméstico é trocado por uso externo corresponde a um percentual de redução no coeficiente de uso doméstico. Este montante é então comprado nas outras regiões e sua distribuição entre as mesmas é feita de modo uniforme. Formalmente, o impacto sobre consumo total de eletricidade da economia produzido pela redistribuição do consumo doméstico do setor j na região l para as outras regiões pode ser representado pela aproximação matemática da diferencial total:

$$\Delta cte_j^l = \frac{\partial cte}{\partial e_j^{ll}} \Delta e_j^{ll} + \sum_{k \neq l}^{n_k-1} \frac{\partial cte}{\partial e_j^{kl}} \Delta e_j^{kl} \quad (8)$$

Onde Δe_j^{ll} é a variação no coeficiente de uso doméstico na região l , Δe_j^{kl} a variação no coeficiente de uso de eletricidade proveniente de outras regiões ($k \neq l$). Ambas essas variações multiplicam as respectivas derivadas parciais, ou coeficientes de sensibilidade, $\partial cte / \partial e_j^{ll}$ e $\partial cte / \partial e_j^{kl}$. A hipótese de redistribuição uniforme do consumo doméstico é especificada da seguinte maneira:

$$\Delta e_j^{ll} = -\gamma e_j^{ll} \quad (9)$$

$$\Delta e_j^{kl} = \frac{-\Delta e_j^{kl}}{m-1} = \frac{\gamma e_j^{kl}}{m-1} \quad (10)$$

Onde γ é um **parâmetro de integração** com valor entre 0 e 1 que tem o papel de descontar um montante do coeficiente de uso doméstico e_j^l . Este montante irá constituir a variação negativa ou redução desse coeficiente. Na expressão (10), calcula-se a variação nos coeficientes de uso em cada uma das outras regiões como uma parcela uniforme do montante descontado do coeficiente doméstico. Substituindo (9) e (10) em (8):

$$\Delta cte_j^l = -\frac{\partial cte}{\partial e_j^l} \gamma e_j^l + \sum_{k \neq l}^{n-1} \frac{\partial cte}{\partial e_j^{kl}} \frac{\gamma e_j^l}{n_k - 1}$$

e pondo em evidência $-\gamma e_j^l$:

$$\Delta cte_j^l = -\gamma e_j^l \left[\frac{\partial cte}{\partial e_j^l} - \frac{1}{n_k - 1} \sum_{k \neq l}^{n_k - 1} \frac{\partial cte}{\partial e_j^{kl}} \right] \quad (11)$$

A expressão (11) fornece um meio simples de calcular os impactos sobre o consumo total de eletricidade da economia decorrentes de uma redistribuição uniforme, parametrizada por γ , do consumo doméstico do setor j na região l na direção de outras regiões. O termo entre colchetes representa a derivada parcial do consumo total da economia em relação ao consumo doméstico do setor j na região l menos a média das correspondentes derivadas nas demais regiões.

4.5 Fatores Determinantes

O modelo apresentado na equação (11) permite perceber a existência de 3 fatores relevantes que determinam a magnitude de Δcte_j^l . Definindo $\delta_j^l = \partial cte / \partial e_j^l$ como a sensibilidade do cte ao uso doméstico de eletricidade pelo setor j na região l e $\bar{\delta}_j^l = \sum_{k \neq l}^{n_k - 1} \partial cte / \partial e_j^{kl}$ como a sensibilidade do cte ao uso externo de eletricidade pelo mesmo setor j na região l , pode-se reescrever:

$$\Delta cte_j^l = -\gamma e_j^l (\delta_j^l - \bar{\delta}_j^l) \quad (12)$$

Observe que:

- $\delta_j^l > \bar{\delta}_j^l$ implica que Δcte_j^l é negativo;
- $\delta_j^l = \bar{\delta}_j^l$ implica que Δcte_j^l é nulo;
- $\delta_j^l < \bar{\delta}_j^l$ implica que Δcte_j^l é positivo.

Para que a integração dos mercados de eletricidade incremente o *cte*, a sensibilidade deste ao uso doméstico de um certo setor j na região l tem de ser menor que sua sensibilidade média ao uso externo de eletricidade pelo setor j nas outras regiões k . Ou seja, os impactos líquidos sobre o *cte* dependem do balanço estrutural da economia entre as sensibilidades do *cte* aos diversos coeficientes de comercialização de eletricidade domésticos versus externos.

Isso tudo se refere ao sinal (negativo, nulo ou positivo) dos efeitos sobre o *cte*. No entanto, as magnitudes dependem, além da hipótese de redução adotada (valor de γ), em parte do coeficiente de uso doméstico e em parte do tamanho da diferença entre a sensibilidade ao uso doméstico e a sensibilidade média aos usos externos ($\delta_j^l - \bar{\delta}_j^l$).

Doravante, esta diferença será chamada de **fator delta**.

É possível ainda re-escrever a equação (14) na forma a seguir:

$$\Delta cte_j^l = -\gamma e_j^l \rho_j^l (\delta_j^l - \bar{\delta}_j^l) \quad (13)$$

Onde e_j^l é a intensidade de uso de eletricidade (IUE) em relação ao VBP do setor j na região l , definida como:

$$e_j^l = \sum_{k=1}^{n_k} e_j^{kl} \quad (14)$$

e $\rho_j^l = e_j^l / e_j^l$. é o grau de uso doméstico de eletricidade feito pelo setor j na região l .

Ou seja, o impacto que a re-alocação uniforme feita pelo setor j na região l produz sobre o consumo total de eletricidade depende de cinco fatores:

- γ - parâmetro de integração (valor entre 0 e 1)
- e_j^ℓ - intensidade de uso de eletricidade (valor entre 0 e 1)
- ρ_j^ℓ - grau de uso doméstico de eletricidade (valor entre 0 e 1)
- $(\delta_j^{\ell\ell} - \bar{\delta}_j^\ell)$ - fator delta (valor positivo ou negativo)

Como só o fator delta pode ser negativo, segue que é ele que determina o sinal do impacto sobre o cte produzido pela redistribuição uniforme do consumo doméstico. No entanto, a magnitude absoluta do impacto depende da combinação de valores dos quatro fatores. Quanto mais energo-intensivo o setor, maior o impacto sobre o cte , e quanto menos, menor. Da mesma forma, quanto maior o grau de uso doméstico de eletricidade, maior o impacto sobre o cte , e vice-versa. É importante também perceber que os quatro fatores entram com mesmo peso no âmbito da combinação geométrica representada pela equação (13). Isto equaliza a importância dos fatores e_j^ℓ , ρ_j^ℓ , uma vez que assumem valores dentro do mesmo intervalo (0,1). No entanto, devido à escala de variação do fator $(\delta_j^{\ell\ell} - \bar{\delta}_j^\ell)$ ser bem maior, este acaba sendo mais importante também (além de determinar o sinal) na determinação da magnitude absoluta dos impactos sobre o cte .

Finalmente, vale observar que é possível medir o impacto total da redistribuição uniforme ocorrendo simultaneamente em todos os setores de todas as regiões, como:

$$\Delta cte = \sum_{l=1}^m \sum_{j=1}^n \Delta cte_j^l \quad (15)$$

O valor de Δcte poderá ser positivo, nulo ou negativo, pois representa o efeito líquido dos valores individuais dos vários Δcte_j^l , conforme a análise feita acima da equação (13). Isso significa que o efeito global de um processo de integração de mercados de eletricidade (no âmbito particular de um modelo de insumo-produto como o que foi aqui desenvolvido) pode variar de economia para a economia, havendo aquelas cujo impacto é positivo e outras cujo

impacto é nulo ou negativo². Isso reforça a importância do tipo de estudo feito aqui com um modelo inter-regional de insumo-produto, pois o mesmo pode indicar se o aumento de integração dos mercados de eletricidade no caso brasileiro irá incrementar ou não o consumo global de eletricidade da economia.

O que está por trás desse fenômeno é que a equação (13) explicita aspectos importantes do MIRIP quando o mesmo é usado para se estudar integração dos mercados de eletricidade. Excetuando-se o parâmetro de integração γ , os cinco fatores restantes da equação (13) podem ser denominados **fatores estruturais**. Em outras palavras, os aspectos estruturais da economia, isto é, ligados ao padrão estrutural das interações intra- e inter-regionais de seus setores econômicos, se manifestam nos últimos três fatores. Os fatores e_j^l e ρ_j^l embutem informações de uso direto de eletricidade, mas o fator delta embute informações de toda a economia uma vez que seu cálculo, como explicado na seção 2.3, envolve a mediação de todos os coeficientes de requerimento total da matriz B , portanto, de toda a economia. Isso faz com que o impacto final sobre o cte previsto pelo MIRIP, decorrente de um cenário de maior integração, possa variar quantitativa e qualitativamente de uma estrutura econômica para outra quando se comparam diferentes economias. Em particular, isso significa que pode haver economias em que o aumento da integração dos mercados de eletricidade promove aumento e outras em que promove redução do *cte*. Mais, sob a ótica da conservação de energia, significa que podem haver economias cuja estrutura é favorável e outras cuja estrutura é desfavorável às políticas de conservação de energia elétrica em contextos de maior integração dos mercados de eletricidade.

5. Dados

O uso do modelo de insumo-produto inter-regional depende da disponibilidade de uma matriz Z , denominada tabela de insumo-produto inter-regional, de ordem $(mn) \times (mn)$ e de um vetor X , de ordem $(mn) \times 1$, de VBPs setoriais, que permitam computar os parâmetros do modelo, ou seja, os coeficientes das matrizes A e B e também das matrizes C_A e C_B . A

² Embora não tenhamos um resultado matemático estabelecendo este fato para o modelo de insumo-produto inter-regional aqui apresentado, em simulações computacionais com o mesmo que fizemos variando aleatoriamente a tabela de insumo-produto inter-regional (que retrata o padrão de interações setoriais intra- e inter-regionais), foi possível observar inúmeras situações em que a variação do cte da economia é positivo e inúmeras em que é negativo.

partir disso, obtém-se um MIRIP que pode ser usado para a análise pretendida. Este estudo fez uso de uma tabela de insumo-produto interregional e de um vetor de VBPs para a economia brasileira desagregados para 16 setores e as 27 UFs brasileiras, desenvolvida por Haddad e Perobelli (2005). Para tanto, esses autores se basearam numa matriz nacional de insumo-produto para 2004 construída por Guilhoto e Sesso (2005 e 2010) a partir de uma metodologia que usa informações preliminares do Sistema de Contas Nacionais do IBGE. A partir dessa matriz nacional, Haddad e Perobelli (2005) combinaram outras informações provenientes do Sistema de Contas Regionais do IBGE de 2004 para desenvolver a tabela inter-regional de insumo-produto e o vetor de VBPs.

Foi necessário realizar uma compatibilização entre essas fontes de informação para se obter a relação dos 16 setores de atividade apresenta Quadro 1. Note que o setor número 16 é o de eletricidade; os demais setores energéticos foram embutidos no setor “Outros”. Embora essas as fontes apresentassem grau de abertura contemplando maior número de setores, o esforço de *matching* entre as fontes acabou por reduzir ao número a 16. Ainda assim, combinado com o grande número de 27 unidades federativas, a matriz IRIP produzida é de grande escala, de ordem (432x432) e contendo um total de 186.624 células. Portanto, é uma fonte bastante detalhada de interações setoriais intra- e inter-regionais para a economia brasileira. Uma representação visual da matriz está apresentada na figura 2 e permite ilustrar o grau de detalhamento de informação embutido nela.

A Figura 2 apresenta uma representação visual da tabela de insumo-produto inter-regional de Haddad e Perobelli (2005). A tabela contém $(16 \times 27) \times (16 \times 27) = 186.124$ células, representadas pelos pontos com intensidade de cor variando de branco a preto. Quanto mais escuro o ponto, maior o valor da transação setorial inter- ou intra-regional que ele representa. Os quadrados pequenos representam as submatrizes regionais Z_{kl} , de ordem 16×16 , análogas às matrizes A_{kl} e B_{kl} apresentadas na expressão (2). As siglas no topo, na base e nas laterais da tabela correspondem às UFs brasileiras e estão agrupadas pelas Macro-regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, nessa

ordem.

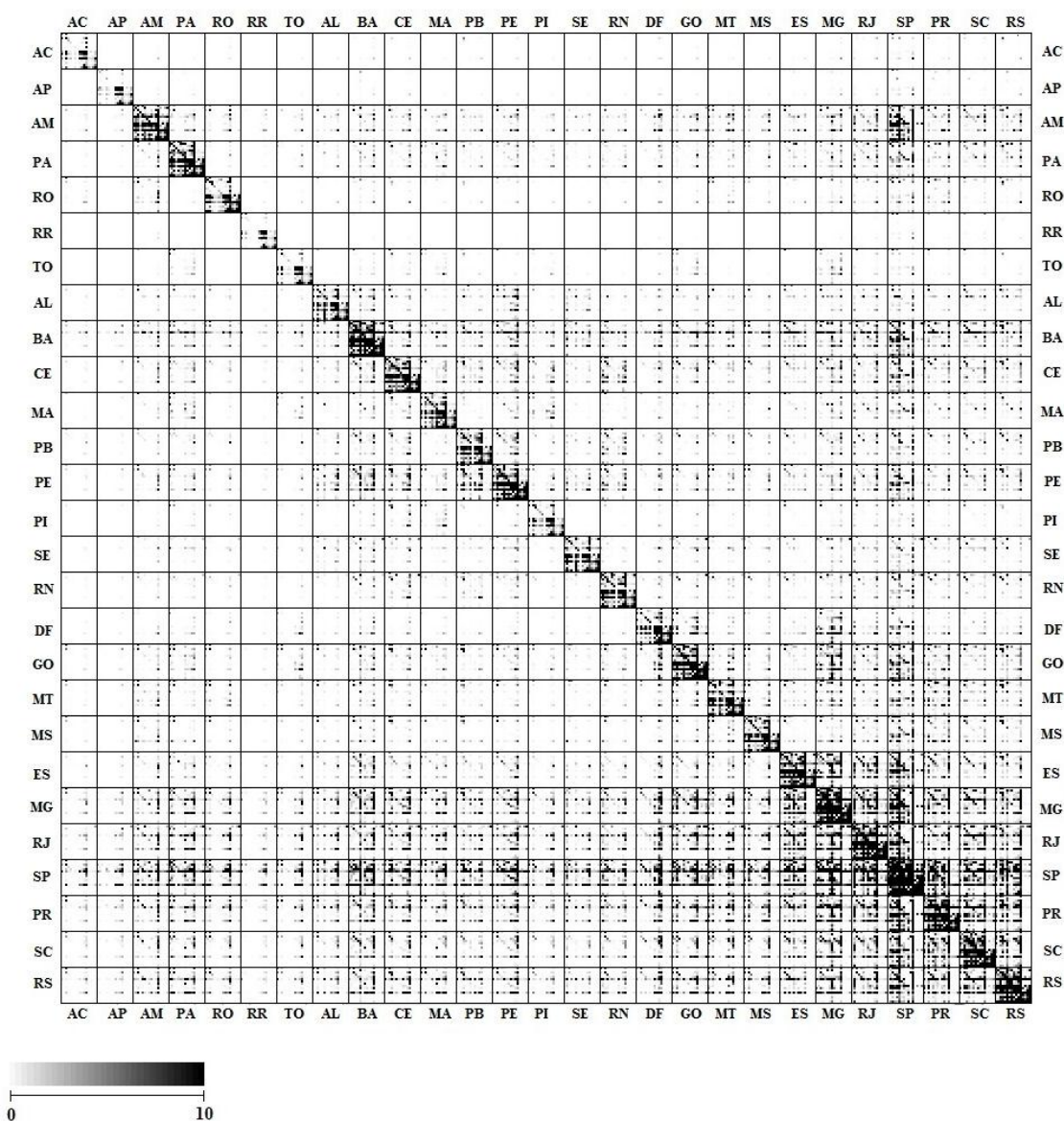


Figura 2. Ilustração visual da tabela inter-regional de insumo–produto construída por Haddad e Perobelli (2005), a partir de dados do SCN/IBGE de 2004.

Fonte: Elaboração própria a partir de Haddad e Perobelli (2005). As siglas nas laterais da tabela referem-se às UFs brasileiras. Cada quadrado desenhado na figura representa uma submatriz (inter- ou intra) regional de ordem 16×16. Cada ponto corresponde a uma célula da tabela global e sua intensidade de cor representa o valor da transação intersetorial (intra- ou inter-regional) respectivo. A escala sombreada de valores entre 0 e 10 apresentada abaixo e à esquerda da matriz é da ordem de R\$ milhões de reais.

Quadro 1. Setores do MIRIP. siglas e correspondência com a matriz nacional de insumo–produto de 2004

No.	Sigla	Setor MIRIP	Setores–Matriz 2004
1	Agro	Agropecuária	1 Agricultura, silvicultura, exploração florestal; 2 Pecuária e pesca;
2	Mine	Mineração e pelotização	3 Petróleo; 4 Minério de ferro
3	Albb	Alimentos e bebidas	6 Alimentos e bebidas
4	Text	Têxtil	8 Têxteis; 9 Artigos do vestuário e acessórios; 10 Artefatos de couro e calçados
5	Papl	Papel e celulose	12 Celulose e produtos de papel
6	Quim	Química	14 Refino de petróleo e coque; 15 Álcool; 16 Produtos químicos; 22 Produtos e preparados químicos diversos
7	Nmet	Minerais não metálicos	5 Outros da indústria extrativa ; 24 Cimento; 25 Minerais não–metálicos
8	Meta	Metalurgia geral	26 Aço; 27 Metais não–ferrosos; 28 Produtos metalúrgicos
9	Tran	Transporte	53 Transporte, armazenagem e correio
10	Come	Comércio	52 Comércio
11	Spub	Serviços públicos	63 Educação pública; 64 Saúde pública; 65 Administração pública;
12	Outr	Outros	7 Produtos do fumo; 11 Produtos de madeira; 13 Jornais, revistas, discos; 23 Artigos de borracha e plástico; 29 Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos; 30 Eletrodomésticos; 31 Máquinas para escritório e equipamentos de informática; 32 Máquinas, aparelhos e material elétrico; 33 Material eletrônico e equipamentos de comunicações; 34 Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico; 35 Automóveis, camionetas e utilitários; 36 Caminhões e ônibus; 37 Peças e acessórios para veículos automotores; 38 Outros equipamentos de transporte; 39 Móveis e produtos das indústrias diversas; 51 Construção; 54 Serviços de informação; 55 Intermediação financeira e seguros; 56 Serviços imobiliários e aluguel; 57 Serviços de manutenção e reparação; 58 Serviços de alojamento; 59 Serviços prestados às empresas; 60 Educação mercantil; 61 Saúde mercantil; 62 Outros serviços; 17 Fabricação de resinas e elastômeros; 18 Farmacêutica; 19 Defensivos agrícolas; 20 Perfumaria, higiene e limpeza; 21 Tintas, vernizes, esmaltes e lacas
13	Limp	Limpeza urbana	Limpeza urbana
14	Gase	Gás encanado	Gás encanado
15	Aesg	Água e esgoto	Água e esgoto
16	Ener	Energia elétrica	Distribuição de energia elétrica

Fonte: Elaboração própria a partir de Haddad e Perobelli (2005).

5. Resultados

Esta seção aplica a metodologia proposta anteriormente para analisar os efeitos de um cenário de maior integração dos mercados regionais de eletricidade sobre o *cte* da economia. Os resultados detalhados por setor e UF são apresentados na tabela 2. Nesta tabela, as linhas dão informações sobre as UFs e as colunas sobre os setores, de modo que a tabela é de ordem 27×16 contendo 432 estimativas de variação no *cte*. As UFs estão agrupadas por macro-região brasileira, na seguinte ordem: Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul. A tabela apresenta, em R\$ milhões, os impactos sobre o *cte* da economia decorrentes de uma redistribuição uniforme de 10% ($\gamma = 0,1$) do consumo doméstico. Cada célula da tabela foi calculada segundo a expressão (13) e mostra a variação do *cte* da economia em resposta à redistribuição do consumo doméstico feita pelo setor j localizado na UF ℓ .

O primeiro aspecto a observar é a grande frequência de impactos pouco significativos (os 0s) e negativos produzidos a partir da maioria dos setores localizados nas Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. A maioria dos impactos positivos e de maior magnitude são produzidos por alguns setores nas UFs das regiões Sudeste e Sul, destacando-se em particular os setores Comércio, Serviços Públicos e o agregado de Outros Setores nas UFs de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. Vale destacar também os impactos positivos mais fortes produzidos pelos setores Mineração e Pelotização e Energia Elétrica no Rio de Janeiro.

Considerando agora a hipótese de que as redistribuições uniforme de 10% do consumo doméstico aconteçam simultaneamente para cada setor em cada UF do país, o efeito total seria positivo no montante de R\$ 169,6 milhões (soma de todas as células da tabela 2). Isto representa apenas 0,3% dos R\$ 57,4 bilhões consumidos de eletricidade em 2004, segundo os dados da matriz de Haddad e Perobelli (2009). Abstraindo-se os efeitos sobre produção (não calculados aqui) e os efeitos ambientais, isto representaria uma melhora, embora pequena, na atividade econômica em geral refletida na possibilidade de maior consumo de eletricidade.

Tabela 2 – Variação no consumo total da economia sob redistribuição espacial uniforme, por setores e regiões (R\$ milhões de 2004)

UF	Setores																
	Agro	Mine	Albb	Text	Papl	Quim	Nmet	Meta	Tran	Come	Spub	Outr	Limp	Gase	Aesg	Ener	Total
AC	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,1	-0,1	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,6
AP	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,0	-0,1	-0,4	-1,1
AM	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	1,1	0,1	0,1	0,2	1,0	3,2
PA	0,2	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,7	0,1	0,3	0,3	0,9	0,2	0,1	0,3	1,4	5,3
RO	-0,2	-0,1	-0,3	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,1	-0,5	-0,5	-1,1	-0,4	-0,2	-0,7	-3,2	-7,4
RR	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,1	-0,3	-0,2	-0,1	-0,0	-0,1	-0,6	-1,5
RO	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,1	-0,1	-0,0	-0,0	-0,0	-0,1	-0,5
AL	-0,0	-0,0	-0,1	-0,0	-0,0	-0,1	-0,0	-0,0	-0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,0	-0,1	-0,4	-1,3
BA	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,5	0,0	0,2	0,1	0,1	0,2	0,7	0,1	0,0	0,2	0,8	3,2
CE	0,1	0,1	0,2	0,3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,3	0,4	1,1	0,2	0,1	0,3	1,4	4,6
MA	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,3	1,3
PB	0,0	0,0	0,1	0,4	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,1	0,0	0,1	0,6	2,2
PE	-0,1	-0,0	-0,2	-0,0	-0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,8	-0,2	-0,1	-0,3	-1,4	-3,8
PI	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3	0,1	0,0	0,1	0,4	1,5
SE	0,1	2,2	0,1	0,1	0,0	0,3	0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,6	0,3	0,1	0,5	2,3	7,3
RN	0,1	0,9	0,2	0,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,3	0,4	0,1	0,0	0,2	0,8	3,6
DF	-0,0	-0,0	-0,1	-0,0	-0,0	-0,0	-0,1	-0,0	-0,2	-0,4	-2,4	-1,2	-0,2	-0,1	-0,3	-1,4	-6,5
GO	-0,4	-0,1	-0,7	-0,1	-0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,5	-0,8	-1,2	-0,7	-0,3	-1,1	-5,0	-11,3
MT	-0,6	-0,1	-0,4	-0,0	-0,0	-0,1	-0,0	-0,0	-0,1	-2,0	-0,3	-0,9	-0,2	-0,1	-0,3	-1,2	-6,2
MS	-0,5	-0,0	-0,7	-0,1	-0,0	-0,0	-0,1	-0,0	-0,1	-0,6	-0,5	-1,8	-0,2	-0,1	-0,4	-1,6	-6,6
ES	-0,0	-0,0	-0,1	-0,0	-0,1	-0,0	-0,2	-0,0	-0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,0	-0,0	-0,1	-0,2	-1,3
MG	0,9	0,4	1,7	0,9	0,2	1,1	1,2	5,5	0,6	1,8	1,8	8,6	0,9	0,4	1,6	6,9	34,6
RJ	0,1	22,0	0,9	0,3	0,2	1,1	0,7	2,2	0,8	1,4	3,2	13,0	1,6	0,7	2,7	12,0	62,9
SP	0,3	0,8	1,2	0,8	0,4	1,3	0,5	1,3	0,4	2,3	1,3	8,5	1,0	0,4	1,6	7,0	29,2
PR	1,2	0,1	2,6	0,7	0,7	1,4	1,1	0,5	0,8	5,0	2,1	11,1	0,9	0,4	1,4	6,3	36,3
SC	0,3	0,0	0,7	0,9	0,2	0,1	0,4	0,3	0,2	1,0	0,4	2,5	0,5	0,2	0,8	3,3	11,7
RS	0,3	0,1	0,5	0,5	0,1	0,8	0,2	0,3	0,2	0,6	0,6	3,5	0,3	0,1	0,5	2,1	10,8
Total	1,8	26,9	6,3	5,2	1,7	6,4	4,2	11,1	2,8	8,6	6,2	44,9	4,2	1,7	7,0	30,8	169,6

Fonte: Elaboração própria a partir da matriz inter-regional de insumo–produto de Haddad e Perobelli (2005).

Como o montante de dados é muito grande, no total de 432 estimativas presentes na tabela 2, é interessante estudar o comportamento desses números levando em conta a decomposição da variação do *cte* apresentada na equação (13) da seção 4.4. A tabela 5.1 apresenta algumas estatísticas descritivas para a base de dados composta por 432 observações da variação do *cte* (Δcte_j^ℓ), das intensidades de uso de eletricidade (e_j^ℓ), dos coeficientes de uso doméstico (ρ_j^ℓ), e do fator delta ($\delta_j^{\ell\ell} - \bar{\delta}_j^\ell$).

Tabela 3 - Estatísticas descritivas para IUE, grau de uso doméstico e sensibilidade relativa de uso doméstico vs externo

Estatísticas	Δcte_j^ℓ	e_j^ℓ	ρ_j^ℓ	$(\delta_j^{\ell\ell} - \bar{\delta}_j^\ell)$
Mínimo	-5,04	0,00	0,79	-17.813
Média	0,39	0,06	0,96	-276
Mediana	0,02	0,02	0,99	-5
Máximo	22,01	0,49	1,00	2.591
Desv,-Padrão	1,81	0,09	0,07	1.352
Cf, Variação	4,62	1,49	0,07	-5

Fonte: Elaboração própria a partir da matriz IRIP de Haddad e Perobelli (2009)

Obs: Valores calculados a partir de 432 observações para cada variável;

As variações do *cte* assumem valores entre – R\$ 5,04 milhões e R\$ 22,01 milhões. A média é de 0,39, ligeiramente superior à mediana de 0,02 sugerindo uma leve assimetria à esquerda da distribuição de frequência dos valores. Abaixo de 0,02, caem 50% das observações, o que sugere certa concentração de valores à esquerda mas como será visto adiante resulta da presença de *outliers*. As *iues* variam entre o mínimo de 0 e o máximo de 0,49, portanto cobrindo apenas metade do intervalo admissível de 0 a 1. Note-se pelo valor da mediana que metade das observações de *iues* concentram-se entre 0 e 0,02, indicando forte concentração em valores baixos (uma vez que os restantes variam de 0,02 a 0,49. Isto naturalmente reflete o fato que uma grande maioria dos setores na economia é pouco intensiva no uso de eletricidade, o que também explica a média muito baixa de 0,06. O coeficiente de uso cativo, por sua vez, apresenta valores mais próximos de seu máximo admissível que é 1. Os números variam entre 0,79 e 1, com a média em 0,96 e notadamente a mediana em 0,9995 (o que leva por arredondamento a aparecer como 1 na tabela 5.2). Ou seja, 50% dos números é 1 ou praticamente igual a 1, indicando forte concentração de valores nessa faixa muito estreita e revelando uma predominância de setores com 100% de uso doméstico. Além

disso, os setores com menor intensidade de uso doméstico ainda assim apresentam coeficientes acima de 0,79. Finalmente, o fator delta apresenta uma variação dentro de ampla escala de valores, que vai de -17,8 mil a 2,6 mil. A média é 276 e a mediana -5, indicando uma leve assimetria à direita considerando o tamanho da escala de variação.

Num esforço de se detectar *outliers*, alguns setores no espaço que ficavam fora da banda de $\pm 1,5$ desvios-padrão para o *cte* foram destacados e analisados em separado. Esses setores e as informações correspondentes de variação do *cte*, *iue*, coeficiente de uso doméstico e fator delta estão apresentadas na tabela 5.2. É um total de 16 setores, que apresentam as mais intensas variações do *cte*. Desses, apenas 2 impactam negativamente o *cte*, nos montantes de -R\$ 3,2 milhões e -R\$ 5 milhões. Já os que impactam positivamente variam de R\$ 3,3 milhões a R\$ 22 milhões. Esses são os setores que demandam mais atenção do ponto de vista das preocupações com conservação de energia. Vale a pena observar alguns aspectos relevantes sobre eles. Primeiro, para 9 setores, o principal fator determinante é o fator delta. Por UF, isto ocorre para:

- MG: Mineração e Outros;
- RJ: Mineração, Serviços Públicos e Outros
- SP: Outros;
- PR: Comércio e Outros;
- RS: Outros.

Note-se que para esses setores, as *iues* são muito baixas, a maior delas é 0,05 para Mineração em MG. Portanto, esses nove setores dentre os destacados se caracterizam por baixas *iues* e elevadas sensibilidades relativas.

Tabela 4 Setores com impactos destacados sobre o *cte*

Setores	UF	Δcte_j^ℓ	e_j^ℓ	ρ_j^ℓ	$(\delta_j^{\ell\ell} - \bar{\delta}_j^{k\ell})$
Elétrico	RO	-3,2	0,23	1,00	140
Elétrico	GO	-5,0	0,19	1,00	263
Metalúrgico	MG	5,5	0,03	0,79	-2.073
Outros	MG	8,6	0,01	0,94	-8.498
Elétrico	MG	6,9	0,14	1,00	-507
Mineração	RJ	22,0	0,05	0,85	-5.118

Serviços Públicos	RJ	3.2	0.01	0.85	-6.357
Outros	RJ	13.0	0.01	0.89	-17.813
Elétrico	RJ	12.0	0.10	1.00	-1.185
Outros	SP	8.5	0.01	0.85	-10.030
Elétrico	SP	7.0	0.16	1.00	-430
Comércio	PR	5.0	0.02	0.79	-2.609
Outros	PR	11.1	0.01	0.90	-10.918
Elétrico	PR	6.3	0.10	1.00	-599
Elétrico	SC	3.3	0.15	1.00	-228
Outros	RS	3.5	0.01	0.86	-3.856

Um segundo grupo é formado pelos setores elétricos nas UFs de MG, SP, PR e SC. Estes apresentam sensibilidades relativas menores, variando de -599 a -228, mas *iues* mais elevadas, variando de 0,10 a 0,16. Em todos os casos, os setores elétricos apresentam coeficiente de uso doméstico de 1. Aqui, na análise dos setores destacados, já aparecem dois padrões importantes a se observar numa análise de integração de mercados de eletricidade: setores com sensibilidades relativas muito negativas e setores com *iues* significativas. Esses dois padrões vão aparecer novamente na análise dos setores normais (não destacados).

Os gráficos 5.1, 5.2 e 5.3 apresentam diagramas de dispersão entre as variações no *cte* (eixos verticais) e *iues*, coeficientes de uso doméstico e sensibilidades negativas (eixos horizontais), respectivamente. Os dois primeiros gráficos não revelam qualquer padrão de correlação entre as variações no *cte* e as *iues*, ou entre as variações no *cte* e os coeficientes de uso doméstico. Em ambos os gráficos, é clara a concentração da distribuição do *cte* no lado esquerdo e da distribuição dos coeficientes de uso doméstico no lado direito, enquanto as variações no *cte* se espalham por toda a escala vertical dos gráficos.

O gráfico 5.3 já mostra padrões de correlação entre as variações no *cte* fator delta. No entanto, aparecem dois padrões, como se fossem duas nuvens de pontos superpostas. Ambas com uma inclinação negativa, só que uma mais inclinada do que outra. Quando o fator delta é insignificante, isto é, muito perto de zero, há um conjunto de pontos alinhado quase verticalmente (uma leve inclinação para a esquerda). É possível também perceber um comportamento de vários pontos formando uma nuvem mais inclinada que se espalha por toda a extensão de variação do fator delta. Há um

aglomerado de pontos em ambas as nuvens formando uma imagem parecida com um X inclinado para a esquerda.

Gráfico 1. Variações no cte (R\$ milhões \times 10) versus $iues$ para setores normais

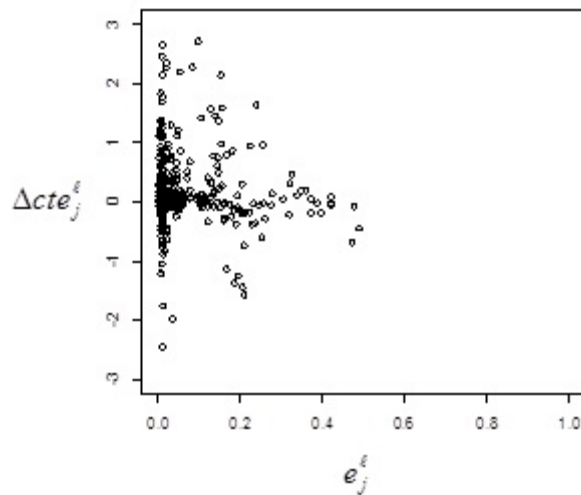


Gráfico 2 Variações no cte (R\$ milhões \times 10) versus coefs. de uso doméstico para setores normais

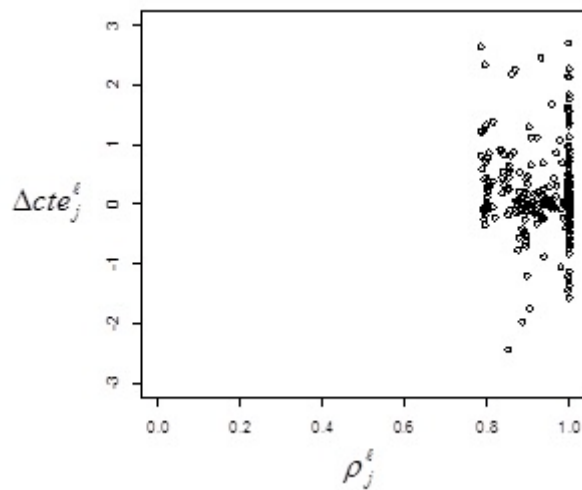
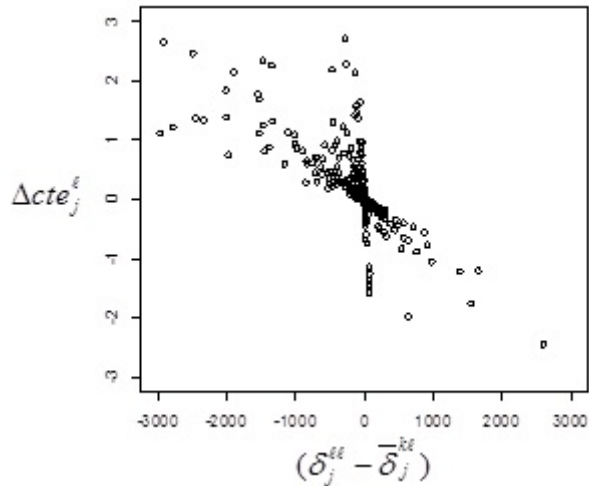


Gráfico 3 Variações no cte (R\$ milhões \times 10) versus fator delta



Os dois padrões que aparecem no gráfico 3 estão intimamente associados com o comportamento das *iues* no gráfico 1. Neste último, observe da esquerda para a direita que muitos pontos se concentram bem à esquerda, isto é, para valores muito baixos das *iues*, tipo abaixo de 0,1 ou de 0,05. Os demais pontos nesse gráfico vão se espalhando para a direita até o meio do gráfico, quando o ponto mais à direita atinge o valor de 0,49 (mais alto) para as *iue*. Há portanto, 2 grupos de pontos.

Esses dois grupos de pontos permitem separar os dois padrões do gráfico 3. Os gráficos 4 e 5 apresentam a separação das duas nuvens antes mencionadas do gráfico 3. O gráfico 5.4 apresenta o diagrama de dispersão entre variações no *cte* e sensibilidades relativas novamente mas apenas com os pontos referentes aos setores que apresentam $iues \geq 0.05$. Observe que ele apresenta apenas a parte da nuvem de pontos com inclinação quase vertical e associada a valores próximos de zero para as sensibilidades relativas. O gráfico 5, por sua vez, apresenta o mesmo tipo de diagrama porém mostrando apenas os pontos referentes aos setores cujas $iues < 0.05$. Comparando-se ambos com o gráfico 3, é nítido que este é a composição dos outros dois.

Gráfico 4 Variações no *cte* versus fator delta para $iues \geq 0.05$

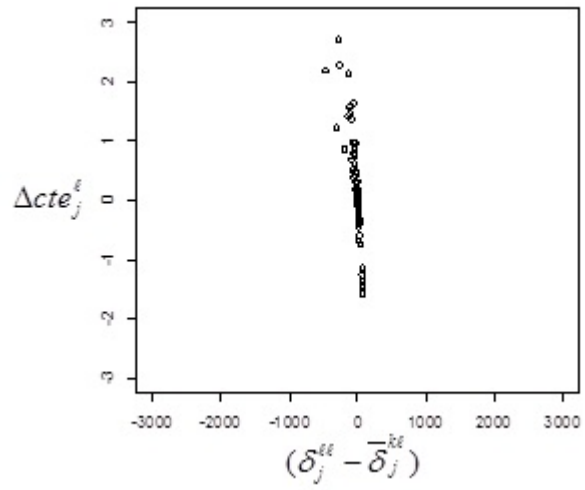
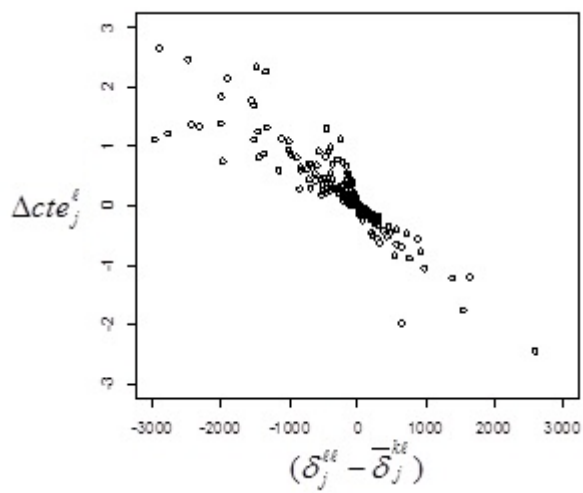


Gráfico 5 Variações no cte versus Sensibilidades Relativas para iues < 0.05



Essa decomposição do diagrama do gráfico 3 feita nos gráficos 4 e 5, é importante porque releva setores que podem ser caracterizados como segue:

- Gráfico 4: Setores com fator delta insignificante, podendo apresentar *iues* baixas ou mais elevadas;
- Gráfico 5: Setores com amplo fator delta (negativo ou positivo) e *iues* muito baixas ou insignificantes.

Nenhum desses dois grupos é por completo de interesse para a política de conservação de energia. Interessa dentro deles apenas os setores que produzem impactos positivos e de ordem elevada sobre o *cte*. Assim, dentro os setores que apresentam fator delta quase nulo, interessam aqueles cujas *iues* sejam mais altas, próximas do máximo (são os pontos mais elevados do gráfico 4). Estes são os setores eletro-intensivos. E, dentro os que apresentam amplo fator delta, interessam aqueles setores cuja sensibilidade relativa ampla é negativa, porque como visto esses é que impactam positivamente o *cte*.

5. Considerações Finais

Este artigo apresentou uma metodologia para análise de cenários de maior integração dos mercados regionais de eletricidade no Brasil via redistribuição uniforme do consumo doméstico. A metodologia se baseia, de um lado, no uso de modelos inter-regionais de insumo-produto com um módulo de determinação do consumo setorial e regional de eletricidade. De outro, na decomposição dos impactos sobre o consumo total de eletricidade em fatores estruturais, como a intensidade de uso de eletricidade, o grau de consumo doméstico de eletricidade e o que foi chamado aqui de fator delta, que é a diferença de sensibilidade estrutural às variações relativas nos coeficientes de uso doméstico versus externos. A metodologia foi aplicada ao caso brasileiro a partir de informações disponíveis para uma matriz inter-regional de insumo-produto detalhada com abertura de 16 setores de atividade e 27 UFs, construída por Haddad e Perobelli (2009) com dados para o ano de 2004.

Os resultados obtidos indicam que a economia brasileira é levemente propensa a aumentar seu consumo total de eletricidade num cenário de redistribuição de 10% do

consumo doméstico para consumo externo acontecendo simultaneamente para todos os setores em todas as UFs. Estimou-se apenas R\$ 169,6 milhões de aumento do consumo total de eletricidade, uma magnitude muito pequena frente aos R\$ 57,4 bilhões consumidos em 2004. A metodologia permitiu também identificar dois grandes grupos ou padrões de setores que tendem a impactar mais (positivamente) o consumo de eletricidade. O primeiro grupo são setores eletro-intensivos (que tendem a apresentar fator delta pouco significativo), e o segundo são setores de baixo consumo de eletricidade mas cujo fator delta é fortemente negativo. Esses dois padrões distintos de setores se revelaram significativos tanto na análise do setores destacados (*outliers*) quanto no de setores normais. Uma contribuição do artigo reside aqui, na capacidade de identificar o segundo padrão de setores, uma vez que o primeiro (setores intensivos) já era de se esperar que tivessem mais relevância nos impactos sobre o consumo total de eletricidade em cenários de integração de mercados.

Os resultados aqui obtidos são condicionais ao tipo particular de cenário configurado. No entanto, o cenário adotado foi útil ao permitir construir formalmente uma decomposição em fatores da variação do consumo total de eletricidade em resposta à redistribuição uniforme do consumo doméstico, decomposição esta que não havia sido explorada antes na literatura. No entanto, outros cenários podem ser explorados pela metodologia, que envolvam por exemplo uma redistribuição não uniforme e seletiva do consumo doméstico. Além disso, outros modelos, como os da classe de modelos de equilíbrio geral computável e os da classe de modelos integrados econométrico + insumo-produto podem ser elencados para uma aplicação similar. A aplicação desses cenários e metodologias alternativas constituem interessantes e relevantes temas para pesquisas futuras.

Referências

Alcántara. V. e Padilha. E. “Key” sectors in final energy consumption: an input–output application to the Spanish case. *Energy Policy* 31. pp. 1673–1678. 2003.

Araújo, J. L. R. H., Costa, A.M. A., Correia, T., Melo, E. Reform of the Reforms in Brazil: Problems and Solutions. In Sioshansi, F. P. (Editor). *Competitive Electricity Markets: Design, Implementation, Performance*. Oxford: Elsevier. 2008.

Amundsen. E. S. e Bergman. L. *Integration of multiple national markets for electricity: The case of Norway and Sweden*. *Energy Policy* 35. pp. 3383–3394. 2007.

Chapra. S. C. e Canale. R. P. *Numerical Methods for Engineers*. 3rd Edition. Nova York: McGraw–Hill. 1998.

3

Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2008–2017. Ministério de Minas e Energia. Disponível em <http://www.epe.org.br>. 2009.

Gnansounou. E. e Dong. Jun. *Opportunity for inter–regional integration of electricity markets: the case of Shandong and Shanghai in East China*. *Energy Policy* 32. pp. 1737–1751. 2004.

Haddad. E.A e Perobelli. F.S. Matrizes Inter-regionais de Insumo-Produto: 2004 - Relatório de Pesquisa da Fundação Instituto de Pesquisa Econômica - FEA/USP. volume 1. 2005.

Harris. C. *Electricity Markets: Pricing, Structures, and Economics*. The Wiley Finance Series. Nova York: Wiley. 2006

Hunt. S.. Shuttleworth. G. *Competition and Choice in Electricity*. Nova York: Wiley. 1996.

Izard, W. Interregional and regional input-output analysis: a model for a space economy. *Review of Economics and Statistics* 33, pp. 318-338. 1951.

Liang. Q.M., Fan. Y. e Wei. Y.M. *Multiregional input-output model for regional energy requirements and CO2 emission in China. Energy Policy* 35. pp. 1685–1700. 2007.

Mendonça. A. F. e Dahl. C. *The Brazilian electrical system reform. Energy Policy* 27. pp. 73–83. 1999.

Operador Nacional do Sistema – ONS. Dados relevantes: extensão das linhas de transmissão em km. Disponível em <http://www.ons.org.br/download/biblioteca_virtual/publicacoes/dados_relevantes_2011/07-Extensao-das-Linhas-de-Transmissao-do-SIN-km.html?expanddiv=07> Acesso em 21/5/2013.

Pellini, E. Measuring the impact of market coupling on the Italian electricity market. *Energy Policy* 48, pp. 322–333. 2012

Perobelli. F.S., Mattos. R.S. e Faria. W. R. Interações energéticas entre o Estado de Minas Gerais e o restante do Brasil: uma análise inter-regional de insumo–produto. *Economia Aplicada* 11. 1. pp. 1–18. 2007.

Rosehart, W., Schellenberg, A., Behjat, L., Jazayeri, P. e Aguado, J. A. Coordinated static stability margin management of inter-regional electricity systems. *IEEE Xplore Digital Library. International Symposium on Circuits and Systems, 2005. ISCAS. Kobe: IEEE.* pp. 4196–4200. 2005.

Shively. B. e Ferrare. J. *Understanding Today's Electricity Business*. Nova York: *Enerdynamics LCC*. 2010.