

INTEGRAÇÃO DE MODELOS ECONOMÉTRICOS E DE INSUMO PRODUTO PARA PREVISÕES DE LONGO PRAZO DA DEMANDA DE ENERGIA NO BRASIL

Rogério Silva de Mattos
Fernando Salgueiro Perobelli
Weslem Rodrigues Faria
Eduardo Haddad

TD. Mestrado em Economia Aplicada
FEA/UFJF 009/2007



Integração de modelos econométrico e de insumo produto para previsões de longo prazo da demanda de energia no Brasil*

Rogério Silva de Mattos

Doutor Engenharia Elétrica PUC-Rio
Faculdade de Economia e Administração
Universidade Federal de Juiz de Fora
36036-900, Campus Universitário
Juiz de Fora, MG
rmattos@fea.ufjf.br

Fernando Salgueiro Perobelli

Doutor Economia FEA-USP
Faculdade de Economia e Administração
Universidade Federal de Juiz de Fora
36036-900, Campus Universitário
Juiz de Fora, MG
fernando.perobelli@ufjf.edu.br

Weslem Rodrigues

Bolsista de Iniciação Científica
Faculdade de Economia e Administração
Universidade Federal de Juiz de Fora
36036-900, Campus Universitário
Juiz de Fora, MG
weslemrodrigues@click21.com.br

Eduardo Haddad

Ph.D. Economia University of Illinois
Faculdade de Economia e Administração
Universidade de São Paulo
Av. Prof. Luciano Gualberto, 908, FEA I
05508-900, Cidade Universitária
São Paulo, SP
ehaddad@usp.br

Resumo

Este trabalho apresenta um modelo tipo econométrico+insumo-produto para previsões de longo prazo do consumo de energia por setor de atividade no Brasil. São feitas previsões anuais para 2005-2010. A metodologia integra modelos econôméticos de séries temporais com modelos de insumo-produto. Um resultado relevante obtido é a conexão entre modelos vetoriais autorregressivos com ou sem mecanismos de correção de erros e modelos de insumo produto fechados ou abertos. Dois cenários de previsão são considerados: um expansionista, com crescimento mais acelerado da economia; e um retraído, com crescimento amortecido. No caso mais provável do cenário expansionista, os resultados confirmam expectativas de que o estrangulamento energético ocorrerá a partir de 2009, antes do final da década. Direções para pesquisas futuras envolvendo o avanço da metodologia são consideradas ao final.

Palavras-chave: modelo integrado; econômético; insumo-produto; consumo de energia.

Abstract

The paper presents an econometric+input-output model for long-run forecasting of energy consumption by sector in Brazil. Yearly forecasts are produced for 2005-2010. The approach integrates a time series econometric model with an input-output model. A relevant result is a connection established between vector autoregressive models with or without error correction mechanisms and closed or open input-output models. Two forecasting scenarios are set-up: an expansionist scenario that predicts a faster economic growth; and a damped scenario that predicts a smoothed growth. In the more likely case of the expansionist scenario, expectations are confirmed that energy shortage will take place from 2009 on, thus before the end of the decade. Directions for further research on methodology improvements are considered at the end.

Key-words: integrated model; econometric; input-output; energy consumption.

Energia é um insumo essencial em economias industriais modernas. Consequentemente, sua disponibilidade tem papel proeminente para o desenvolvimento econômico de um país, estado ou região. No caso brasileiro, o suprimento adequado de energia é percebido atualmente como um dos principais condicionantes estratégicos para a retomada do crescimento econômico. Por exemplo, condições inadequadas de fornecimento de energia (disponibilidade insuficiente e/ou problemas de distribuição) podem implicar futuramente num aumento das importações de produtos energéticos, como petróleo e gás natural, vindo a deteriorar o saldo na balança comercial. Noutros casos, como o da energia elétrica, pode ocorrer a situação mais séria de interrupção do processo produtivo e, consequentemente, do próprio crescimento.

A crise de energia elétrica de 2001, que chegou a criar a necessidade de um programa de racionamento, fez aumentar as preocupações da sociedade brasileira quanto a como garantir para o futuro o suprimento normal de energia. Diversas ações foram realizadas, como intensificação das pesquisas relacionadas ao aumento de eficiência técnica e ao uso de fontes alternativas de energia, ampliação dos programas e campanhas de conservação de energia, buscas de aperfeiçoamento do aparato regulatório (como o lançamento do novo modelo regulatório para o setor elétrico em 2004) e a elaboração de um plano decenal para ampliação da capacidade de geração de energia elétrica.

No entanto, uma importante dimensão do problema envolve a gestão estratégica do suprimento de energia a longo prazo. Essa gestão vem sendo coordenada pelos órgãos governamentais de planejamento energético e agências regulatórias em parceria com as empresas fornecedoras de energia. Para que tal gestão seja eficaz, necessário se faz o uso de instrumentos adequados para a geração de previsões a longo prazo da demanda de energia. Previsões agregadas sobre a demanda futura não são suficientes, é preciso traçar cenários de evolução futura que permitam visualizar em maior detalhe a estrutura de demanda de energia, por exemplo, desagregando as previsões segundo o tipo de energia, a categoria de uso final, e as regiões espaciais de consumo.

Visando contribuir para o desenvolvimento de ferramentas de previsão da demanda de longo prazo de energia, este trabalho apresenta resultados de uma pesquisa voltada para a construção de um modelo integrado do tipo econométrico+insumo produto (EC+IP) para a economia brasileira. Mais especificamente, será apresentada aqui uma versão de um modelo EC+IP voltado para se gerar previsões a longo prazo do consumo de energia por

podem também funcionar de forma competitiva ou complementar com modelos de equilíbrio geral computável.

No que concerne ao módulo econométrico desses modelos, Rey (1998) também enfatiza a ausência na literatura sobre modelos EC+IP de esforços de modelagem coerentes com a moderna econometria de séries temporais. Tópicos como não estacionariedade e co-integração têm sido muitas vezes ignorados pelos autores trabalhando com modelos EC+IP, que, alternativamente, vêm usando apenas métodos da econometria clássica. Na presente aplicação, apresenta-se uma integração de um modelo vetorial autorregressivo (VAR) com um modelo de insumo produto contendo um módulo de uso setorial de energia. Assim, além de prover previsões de consumo setorial para até o final desta década, este trabalho também explora as potencialidades de se integrar modelos VAR e de mecanismo de correção de erro (modelos VCE) com modelos de insumo-produto na construção de modelos EC+IP.

O trabalho está organizado da seguinte forma. Na seção 2, uma breve revisão da literatura sobre modelos EC+IP é feita. Na seção 3, um modelo EC+IP para a economia brasileira, com um módulo de determinação do consumo setorial de energia, é apresentado em duas versões: um modelo fechado e um modelo aberto. Na seção 4, os dados utilizados e respectivas fontes são descritos. Na seção 5, os resultados da estimativa do modelo VAR são apresentados juntamente com dois cenários alternativos e previsões condicionais a esses cenários. Na seção 6, os resultados do modelo EC+IP propriamente dito, em termos das previsões anuais do consumo setorial de energia para 2005-2010 é que são apresentados. Na seção 7, uma breve discussão sobre as implicações dos resultados para a atual estratégia energética brasileira é feita. Finalmente, na seção 8, são apresentadas as conclusões.

2. Literatura sobre Modelos EC+IP

Considerando-se as últimas quatro décadas, o uso de modelos econométricos integrados com modelos de insumo produto aparece de forma extensiva na literatura econômica. No entanto, a área de estudos regionais (*regional science*), que desde a década de 1950 vem usando diversas abordagens metodológicas (Izard *et al*, 1960), tem sido a mais profícua em criar canais de síntese ou integração entre diversas formas de modelagem. Izard *et al* (1998), e também Rey, West e Janikas (2004), apontam a integração entre modelos EC e IP como o mais ativo e promissor desses canais de síntese atualmente.

Janikas (2004) propõem métodos de simulação de Monte Carlo para se analisar a natureza da incerteza presente em modelos EC+IP.

Existem diferentes formas e estratégias pelas quais modelos EC podem ser integrados com modelos IP. Rey (1998) aponta basicamente três estratégias de integração: ligação (*linking*), determinação mútua (*embedding*) e acoplagem (*coupling*). Na estratégia de ligação, um dos módulos (EC ou IP) é exógeno ao outro, de forma que a interação entre eles é recursiva; nas estratégias de determinação mútua e de acoplagem, os módulos apresentam retroalimentação simultânea entre si, com o mecanismo de retroalimentação podendo ser completo (determinação mútua) ou parcial (acoplamento).

Israilevich, Mahidhara e Hewings (1994) discutem o papel do insumo-produto nos modelos integrados de EC+IP. Esses autores tentam captar qual a importância que a estrutura de insumo-produto (*e.g* tipo de agregação, método de construção e estimação dos coeficientes) tem sobre o resultado do modelo integrado. LeSage e Rey (1999) discutem o uso de restrições presentes na integração dos modelos EC+IP, ou seja, como incorporar as informações do modelo de insumo-produto como restrições ao modelo econométrico. Os autores exploram no trabalho quais as implicações para os resultados de se tratar as restrições impostas pela estrutura de insumo-produto como estocásticas ou determinísticas.

Israilevich *et al* (1997) desenvolveram um modelo EC+IP (o *Chicago Region Econometric Input-Output Model* - CREIM) a fim de verificar como previsões ao nível macroeconômico regional influenciam o processo de mudança estrutural. A metodologia utilizada permite fazer previsões detalhadas de mudanças estruturais na economia de Chicago. O modelo deriva matrizes de insumo produto para Chicago, no período 1975-2016, que identificam 36 setores industriais e 3 níveis de governo. Através dessas matrizes, é possível determinar qual o direcionamento das mudanças estruturais da economia da região metropolitana de Chicago.

No contexto brasileiro, os trabalhos com modelos EC+IP são ainda incipientes. Em um trabalho não publicado, Azzoni e Kadota (?) desenvolvem um modelo EC+IP para a economia paulista, inspirando-se em modelos desenvolvidos pelo *Regional Analysis Laboratory* (REAL) da Universidade de Illinois que foram aplicados com sucesso nos EUA (Conway, 1990). Esses autores estimam equações econômétricas para vários setores e de um modo que lhes permite incorporar a atualização dos coeficientes técnicos de IP em previsões setoriais de produção, emprego e renda no período 1994-2004. Mais recentemente, uma versão similar de modelo EC+IP foi usada pelo IPLANCE (2001) para analisar os impactos do racionamento de energia elétrica de 2001 sobre a economia

respeito à estruturação do módulo de insumo produto (IP), que é uma das partes de um modelo EC+IP. No modelo fechado, um modelo VCE é integrado com um modelo de insumo produto onde o consumo das unidades familiares é endogeneizado. No modelo aberto, por sua vez, um modelo VAR é integrado com um modelo de insumo produto padrão, isto é, aberto em relação aos componentes da demanda final.

A construção dos modelos EC+IP apresentados nesta seção seguiu uma estratégia de integração por ligação (vide seção anterior) e uma abordagem de cima para baixo. Os componentes do modelo foram montados hierarquicamente para compor a estrutura global de cada versão (fechado ou aberto) de modelo EC+IP. A sequência de montagem começa com o modelo econométrico usado para prever os itens de demanda final. Estes, por sua vez, são variáveis exógenas do modelo de insumo produto. Assim, o próximo componente na hierarquia é o modelo de insumo produto, que serve para prever os impactos sobre produção setorial. Isto, por sua vez, alimenta um componente de demanda setorial de energia que é adicionado. Para ambos os modelos EC+IP aqui apresentados, assumiu-se n setores e apenas uma região (o Brasil).

Nesta seção, serão apresentados ambos os modelos, iniciando-se porém com um conjunto de identidades básicas que dá origem a ambas as versões de modelos EC+IP. Essas identidades são as seguintes:

$$Y_t = C_t + G_t + I_t + E_{X_t} \quad (1)$$

$$F_t = h_C C_t + h_G G_t + h_I I_t + ne_t \quad (2)$$

$$ne_t = h_{Ex} E_{X_t} - h_M M_t \quad (3)$$

$$X_t = AX_t + F_t \quad (4)$$

$$E_t = PX_t \quad (5)$$

onde Y é a renda interna bruta, C o consumo das famílias, G os gastos do governo, I o investimento privado, E_X as exportações e M as importações, todos medidos em valores monetários. X , F e ne são, respectivamente, vetores $n \times 1$ de produção, demanda final e exportações líquidas por setor; por sua vez, h_C , h_G , h_I , h_{Ex} e h_M são vetores $n \times 1$ de proporções de desagregação setorial dos respectivos componentes da demanda final, de tal forma que:

$$\sum_{i=1}^n h_{C,i} = \sum_{i=1}^n h_{G,i} = \sum_{i=1}^n h_{I,i} = \sum_{i=1}^n h_{Ex,i} = \sum_{i=1}^n h_M = 1.$$

3.1 Modelo VCE para a Demanda Final

O modelo econométrico configura o primeiro módulo da hierarquia do modelo EC+IP e será aqui denominado módulo EC. Ele serve para caracterizar o processo gerador dos dados para os componentes da demanda final representados por Y, C, G, I, E_X e M . Os componentes Y e C foram tratados como variáveis endógenas e os demais, G, I, E_X e M , como exógenas. Note-se que todos os componentes da demanda final são na verdade variáveis exógenas para o módulo IP, porém no âmbito do módulo EC as variáveis C e Y são tratadas como endógenas.

O objetivo em princípio seria estimar a relação entre C e Y segundo uma especificação keynesiana:

$$C_t = c_0 + c_1 Y_t + \varepsilon_t \quad (6)$$

e considerando-se também a identidade contábil para Y_t representada pela equação (1). No caso da equação (6), é fato bem conhecido que não se deve estimar diretamente a relação entre C e Y com essas variáveis em níveis, sobretudo se elas forem co-integradas (e.g., Enders, 2003). Problemas de estimação e uso ineficiente de informações sobre o processo gerador dos dados podem acontecer, devendo-se preferir especificar modelos para as variáveis em diferenças estacionárias. Isto implica em representar a princípio a relação entre C e Y como um modelo VCE:

$$\Delta W_t = -\alpha(C_{t-1} - c_0 - c_1 Y_{t-1}) + \Theta_1 \Delta W_{t-1} + \Psi_0 \Delta Z_t + \Psi_1 \Delta Z_{t-1} + e_t \quad (7)$$

onde: $W_t = \begin{bmatrix} C_t \\ Y_t \end{bmatrix}$, Z_t = vetor ($mx1$) de variáveis exógenas, $\alpha = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix}$, $\Theta_1 = \begin{bmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} \\ \theta_{21} & \theta_{22} \end{bmatrix}$

$$\Psi_0 = \begin{bmatrix} \gamma_{0,11} & \cdots & \gamma_{0,1m} \\ \gamma_{0,21} & \cdots & \gamma_{0,2m} \end{bmatrix}, \quad \Psi_1 = \begin{bmatrix} \gamma_{1,11} & \cdots & \gamma_{1,1m} \\ \gamma_{1,21} & \cdots & \gamma_{1,2m} \end{bmatrix} \text{ e } e_t = \begin{bmatrix} e_{1t} \\ e_{2t} \end{bmatrix}.$$

Note-se que o vetor W contém as variáveis endógenas do modelo VCE. Está implícito na representação em (7) que todas as variáveis em níveis são integradas de ordem 1, isto é, são $I(1)$, de modo que suas primeiras diferenças são $I(0)$. Admite-se que as

M. Mais, neste trabalho, o vetor Z não foi considerado explicitamente no modelo econométrico estimado, e que está apresentado adiante na seção 5, porque as variáveis exógenas consideradas aparecem embutidas nas identidades contábeis (1) e (3), isto é, para a renda e para as exportações líquidas, respectivamente.

O mecanismo de correção de erros em (7) é representado pelo termo $-\alpha(C_t - c_0 - c_1 Y_t)$ e tem o papel de captar os efeitos que desvios na relação de longo prazo entre C e Y produzem sobre a dinâmica de curto prazo para essas variáveis. O vetor α contém os coeficientes de ajustamento de cada variável endógena aos desvios na relação de longo prazo. Seu uso com o sinal negativo em (7) foi feito aqui apenas por conveniência. Note-se que, no caso de $\alpha = 0$ ou de C e Y não serem co-integradas, este termo não deve estar presente no modelo econométrico em (7), que neste caso se reduziria a um modelo VAR com variáveis exógenas contemporâneas (Enders, 2003: 338).

Identificou-se duas formas pelas quais o modelo econométrico em (7) pode ser integrado com o módulo IP. Na primeira, desde que C e Y sejam co-integradas, obtém-se um modelo IP fechado onde o consumo das unidades familiares é endogeneizado. Na segunda, se C e Y não forem co-integradas, obtém-se uma representação padrão de modelo IP aberto. Esses aspectos são mostrados em detalhe nas duas próximas sub-seções, porém antes será apresentado um resultado relevante que será usado, que corresponde à representação da equação de consumo com esta variável em níveis e que está implícita no modelo VCE em (7).

Assim, escrevendo-se apenas a equação para ΔC em (7), obtém-se:

$$\Delta C_t = -\alpha_1(C_{t-1} - c_0 - c_1 Y_{t-1}) + [\theta_{11} \quad \theta_{12}] \Delta W_{t-1} + \sum_{i=0}^1 [\gamma_{i,11} \quad \gamma_{i,12} \quad \gamma_{i,13}] \Delta Z_{t-i} + e_{1t}$$

Definindo-se, para fins de simplificação,

$$V_t = [\theta_{11} \quad \theta_{12}] \Delta W_{t-1} + \sum_{i=0}^1 [\gamma_{i,11} \quad \gamma_{i,12} \quad \gamma_{i,13}] \Delta Z_{t-i} + e_{1t}, \quad (8)$$

então:

$$\Delta C_t = -\alpha_1(C_{t-1} - c_0 - c_1 Y_{t-1}) + V_t$$

Usando-se ainda o fato que $Y_t = i_n' Q X_t$, onde i_n é um vetor unitário $n \times 1$ e Q é uma matriz diagonal $n \times n$ de coeficientes de valor adicionado por setor, obtém-se a seguinte versão para o consumo contemporâneo em níveis:

$$C_t = C_{t-1} - \alpha_1(C_{t-1} - c_0 + c_1 \Delta Y_t) + \alpha_1 c_1 i_n' Q X_t + V_t \quad (9)$$

A equação (9) será usada a seguir no desenvolvimento da integração do modelo VCE com o modelo IP.

3.4. Modelo IP Fechado

O modelo IP é o segundo componente da hierarquia do modelo EC+IP. Dadas as informações numéricas para os componentes da demanda final, é possível usar o módulo IP para se computar vetores de impacto sobre produção e demanda de energia por setor de atividade. Manipulando as expressões (1) a (5), é possível desenvolver duas versões: um modelo IP aberto ou um modelo IP fechado.

O modelo fechado é baseado na endogeneização do consumo das unidades familiares, o que permite captar efeitos de retroalimentação desse consumo sobre o restante da economia. O modelo fechado é desenvolvido a partir, inicialmente, da substituição de (9) em (2):

$$F_t = h_C [C_{t-1} - \alpha_1(C_{t-1} - c_0 + c_1 \Delta Y_t) + \alpha_1 c_1 i_n' Q X_t + V_t] + h_G G_t + h_I I_t + n e_t$$

de onde é imediato que:

$$F_t - h_C \alpha_1 c_1 i_n' Q X_t = h_C [C_{t-1} - \alpha_1(C_{t-1} - c_0 + c_1 \Delta Y_t) + V_t] + h_G G_t + h_I I_t + n e_t$$

Usando este resultado e definindo $F_t^* = F_t - h_C \alpha_1 c_1 i_n' Q X_t$ pode-se re-escrever a equação de IP em (4) como:

$$X_t = A X_t + h_C \alpha_1 c_1 i_n' Q X_t + F_t^*$$

As expressões (10)-(12) são a base para se fazer as previsões de impacto sobre produção por setor de atividade com o modelo fechado. Note-se que as variáveis exógenas são apenas G , I , E_X e M (as duas últimas dão origem à ne segundo (3)). O cômputo da demanda de energia por setor é feito com a equação (5).

A forma de endogeneizar o consumo usada acima se baseia nas informações do modelo econométrico. Segundo Rey (1998), essa forma tem sido preferida por vários autores, embora os mesmos não tenham, em geral, seguido a econometria de séries temporais como feito aqui. Deve ser observado que endogeneizar o consumo a partir do modelo econométrico é diferente do procedimento usual de se fechar um modelo IP para as unidades familiares inserindo colunas e linhas adicionais na matriz A (e.g., Miller e Blair, 1985).

3.5. Modelo IP Aberto

O modelo IP aberto é desenvolvido de forma análoga, mas sem se considerar efeitos de retroalimentação do consumo familiar sobre o restante da economia. Parte-se diretamente da equação (7) e, após manipulação algébrica, obtém-se:

$$X_t = \Gamma^{-1} F_t \quad (13)$$

$$\Gamma = [I - A] \quad (14)$$

$$F_t = h_C C_t + h_G G_t + h_I I_t + ne_t \quad (15)$$

As expressões (13)-(15) formam o modelo IP aberto. Note-se que, neste caso, as variáveis exógenas são C , G , I , E_X e M ; a variável C tem de ser projetada pelo modelo VAR (equação (7) sem o termo de co-integração), ao passo que para as outras são especificados cenários futuros. O cômputo da demanda de energia por setor é feito com a equação (5).

3.6 Consistência entre modelos EC+IP fechado e aberto

É interessante notar que os conjuntos de expressões (10)-(12) e (13)-(15) são consistentes entre si. Se $\alpha_1 = 0$, o modelo fechado se transforma automaticamente no modelo aberto com $F^* = F$. Isso estabelece uma conexão dentro do modelo EC+IP com a existência ou não de co-integração entre C e X . Se C e X não forem co-integrados, então o

Se for o contrário, isto é, se $\alpha_1 \neq 0$, então existe um mecanismo de correção de erros e C e Y são co-integradas. Neste caso, o modelo VCE é o apropriado e, além disso, o modelo IP tem de ser o modelo fechado. Esses fatos podem ser resumidos como segue:

- Se C e Y forem co-integradas, o modelo EC+IP tem de ser representado na parte EC por um modelo VCE e na parte IP por um modelo IP fechado em relação ao consumo das unidades familiares;
- Se C e Y não forem co-integradas, o modelo EC+IP tem de ser representado na parte EC por um modelo VAR para ΔC e ΔY e na parte IP por um modelo IP aberto.

3.7 Previsões e Cenários

O modelo EC+IP desenvolvido acima apresenta, portanto, uma versão fechada e outra aberta. Ambas as versões podem ser usadas para se fazer as previsões futuras de longo prazo para o consumo setorial de energia. Os resultados teóricos apresentados na seção anterior, no entanto, implicam que, no caso específico do modelo EC+IP aqui construído, o processo de estimação empírica do modelo econométrico tem um papel importante, pois os testes de co-integração irão determinar também qual versão do modelo EC+IP deverá ser usada para se gerar as previsões.

Em ambas as versões, as variáveis exógenas do modelo integrado são G , I , E_X e M . Portanto, a realização de previsões com o modelo EC+IP para anos futuros depende de previsões externas para essas variáveis exógenas. Optou-se aqui por trabalhar com cenários futuros para essas variáveis. Tal esforço se mostra mais produtivo no presente contexto, pois diferentes condições para a evolução da economia e seus impactos sobre a demanda setorial de energia podem ser medidos e analisados. Os cenários construídos para as variáveis exógenas no período de análise, isto é, 2005 a 2010 são descritos na seção 5 juntamente com os resultados da construção do modelo econométrico.

4. Base de Dados

Esta seção descreve os dados utilizados na construção do modelo EC+IP. Para a estimação do modelo econométrico no módulo EC, foram usadas as séries históricas anuais, de 1960 a 2004, produzidos pelo do Sistema de Contas Nacionais do IBGE para os

em R\$ mil usando-se a taxa de câmbio média anual R\$/US\$, antes de serem convertidas a preços constantes em R\$ mil de 2004.

Para a construção do módulo IP, foram usadas as matrizes de IP estimadas de 1997 a 2001 por Guilhoto e Sesso (2004) e os dados de uso de energia em tep disponíveis para o ano de 2003 no Balanço Energético Nacional (BEN) de 2004 (Brasil/MME, 2004). Foi necessária uma compatibilização entre essas duas fontes de dados porque as matrizes de IP foram construídas para 42 setores e os dados do BEN só estavam disponíveis para 13 setores. Assim, seguiu-se um procedimento de agregação dos setores das matrizes de IP para se compatibilizar com os 13 setores do BEN. Vale observar, porém, que essa compatibilização não é completa, no sentido de que ela exclui o segmento de consumo residencial que é parte integrante do consumo final energético reportado no BEN.

Os dados das matrizes de IP permitiram a construção da matriz de coeficientes técnicos A , os vetores de desagregação h_C , h_G , h_I , h_{Ex} e h_M , e a matriz de coeficientes de valor adicionado Q . As matrizes A e Q foram construídas usando-se apenas o ano de 2001, que retrata as informações mais atualizadas disponíveis, mas os vetores de desagregação foram computados como médias de 1997-2001. Os dados de 2003 do BEN permitiram a construção da matriz de coeficientes de energia P .

5. Resultados para o Modelo Econométrico

Esta seção apresenta a estimação do modelo econométrico que compõe o modelo EC+IP e que foi especificado na equação (7). O modelo econométrico representa o processo gerador dos dados para os componentes da demanda final dentro da restrição de que C e Y são endógenas e G , I , Ex e M são exógenas. Os procedimentos de estimação seguiram os passos usuais da econometria de séries temporais. Primeiro, foi analisada a situação de não-estacionariedade das séries com testes de raízes unitárias; em seguida, foi verificada a existência ou não de co-integração entre as variáveis e, finalmente, foi realizada a estimação do modelo econométrico propriamente dito. Ao final da seção, são apresentadas também previsões condicionais à cenários para as variáveis exógenas usando-se o modelo estimado.

As cinco variáveis C , Y , G , I e NE foram submetidas ao teste de Dickey e Fuller Aumentado (ADF) para raízes unitárias. Os resultados estão apresentados na tabela 1. Para



O número de defasagens em cada caso foi determinado usando-se os critérios de informação de Akaike (AIC) e Schwarz (SIC). Como reportado na tabela 1, todas as variáveis em níveis se mostraram não-estacionárias sob as duas situações a) e b). A estacionariedade de cada série só foi obtida aplicando-se a primeira diferença, de forma que todas se mostraram integradas de ordem 1 ou $I(1)$.

Tabela 1: Testes de Raízes Unitárias (ADF)

Variável	Característica	nº de lags	razão <i>t</i>	Valor crítico		
				1%	5%	10%
C_t	intercepto	0	-2,385	-3,633	-2,948	-2,613
C_t	intercepto e tendência	0	-2,295	-4,244	-3,544	-3,205
ΔC_t	intercepto	0	-5,022*	-3,633	-2,948	-2,613
Y_t	intercepto	0	-1,331	-3,633	-2,948	-2,613
Y_t	intercepto e tendência	0	-2,484	-4,244	-3,544	-3,205
ΔY_t	intercepto	0	-4,702*	-3,633	-2,948	-2,613
G_t	intercepto	0	-1,401	-3,633	-2,948	-2,613
G_t	intercepto e tendência	0	-3,309	-4,244	-3,544	-3,205
ΔG_t	intercepto	1	-6,210*	-3,633	-2,948	-2,613
I_t	intercepto	0	-2,124	-3,633	-2,948	-2,613
I_t	intercepto e tendência	0	-3,495	-4,244	-3,544	-3,205
ΔI_t	intercepto	0	-5,950*	-3,633	-2,948	-2,613
NE_t	intercepto	1	-1,753	-3,633	-2,948	-2,613
NE_t	intercepto e tendência	4	-2,842	-4,244	-3,544	-3,205
ΔNE_t	intercepto	0	-4,380*	-3,633	-2,948	-2,613

Fonte: Elaboração dos autores com dados descritos na seção 4.

* Indica rejeição da hipótese nula de não-estacionariedade a 1% de significância.

A tabela 2 apresenta testes de co-integração entre as variáveis endógenas C e Y . Foram usados os testes de Johansen e de Engle e Granger. O segundo é baseado na aplicação do teste ADF aos resíduos da regressão em níveis entre C e Y . Ambos os testes rejeitaram, com 5% de significância, a hipótese nula de co-integração. Este resultado é um tanto inesperado na medida que se espera que consumo e renda sejam co-integrados. Várias hipóteses podem ser levantadas para esse resultado. Em primeiro lugar, estaria o longo período (44 anos) considerado na análise, ao longo do qual provavelmente ocorreram mudanças de diversas naturezas (tecnológicas, de padrão e preferências de consumo, etc.) que impactaram no relacionamento de longo prazo entre C e Y . O Gráfico 1 mostra a evolução da razão C/Y ao longo do período de dados (entre 1960 e 2004) e é bastante sugestivo de um decréscimo latente nesta razão. Em segundo lugar, o mesmo Gráfico 1 evidencia um descolamento entre C e Y acontecendo mais recentemente, a partir de 1997, período que coincide com uma dificuldade cada vez maior de se recuperar o emprego formal com crescimento do PIB. Outras hipóteses poderiam ser ainda apontadas, mas foge ao escopo deste trabalho ir mais a fundo nessa questão².

Tabela 2: Testes de Co-integração entre Consumo e Renda

Johansen

Hipótese do teste: constante na equação de co-integração

Autovalor	Razão de Verossimilhança	Valores críticos		Nº de ECs* na Hip. Nula
		5%	1%	
0,205	9,199	15,41	20,04	0
0,033	1,167	3,76	6,65	máx. 1

Engle-Granger

Regressão em níveis: $C = 1,33 \times 10^8 + 0,514Y$

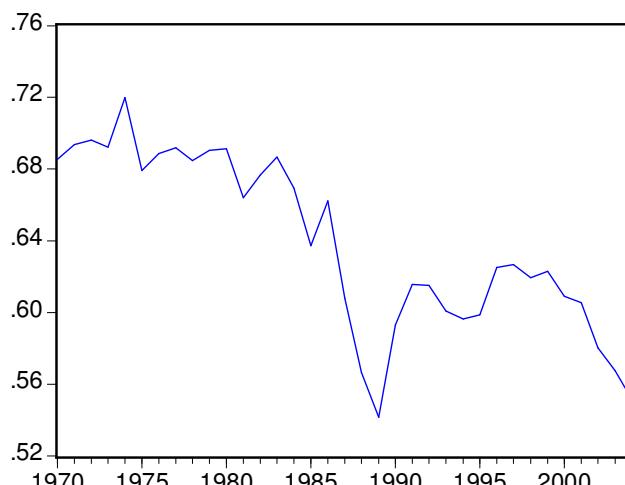
Teste ADF sobre resíduos de regressão

nº de lags	razão t	valor crítico		
		1%	5%	10%
1	-2,477	-3,642	-2,953	-2,615

Fonte: Elaboração dos autores com dados descritos na seção 4.

*EC = equação de co-integração

Gráfico 1: Evolução da razão C/Y



Fonte: Elaboração dos autores com dados descritos na seção 4.

Diante da ausência de co-integração entre C e Y detectada pelos testes estatísticos, o procedimento apropriado envolve estimar o modelo econômétrico como um modelo VAR e não do tipo VCE. Assim, estimou-se um modelo VAR e os resultados estão apresentados na tabela 3. A defasagem máxima usada no VAR foi de um ano, coincidindo com a minimização dos critérios AIC e SIC. Impôs-se a restrição de coeficiente nulo para ΔC_{t-1} porque esta variável apresentava forte correlação com ΔY_{t-1} . Na equação de consumo, foram incluídas três variáveis *dummy*: D81, D87 e D88, do tipo impulso (valem 1, respectivamente, em 1981, 1987 e 1988 e 0 nos demais anos), para captar uma redução mais abrupta do consumo que ocorreu nos anos de 1981, 1987 e 1988. O ano de 1981 marca o início de uma política recessiva, ao passo que os anos de 1987 e 1988 coincidem com a fase após a bolha de consumo ocorrida no Plano Cruzado em 1986 e também com o aperto de renda introduzido pelo Plano Bresser. Na equação de renda, foram incluídas

I , e Ex . No entanto, elas fazem parte da determinação de Y pela identidade contábil (1). Assim, no cômputo das previsões para as variáveis endógenas, foi usada apenas a equação para a variação do consumo da tabela 3, porque as previsões para as variações da renda foram feitas segundo:

$$\Delta Y_t = \Delta C_t + \Delta G_t + \Delta I_t + \Delta E_{xt} \quad (16)$$

que é a versão em primeiras diferenças da equação 1.

O primeiro cenário, denominado *cenário expansionista*, retrata uma situação de maior dinamismo da economia brasileira, com todas as variáveis exógenas se expandindo a partir de 2006. O outro cenário, denominado *cenário retraído*, retrata uma situação mais moderada, com expansão amortecida para os gastos do governo, as exportações e as importações (o que resulta numa expansão amortecida das exportações líquidas) e um decréscimo nos investimentos a partir de 2006 com estagnação dessa variável a partir de 2008. Em ambos os cenários, o ano de 2005 é configurado da mesma maneira e reflete previsões para esse ano estabelecidas pelos autores deste trabalho, mas que foram subsidiadas por previsões macroeconômicas elaboradas por institutos especializados como *Project Link Research Centre* (10/06/2005).

Tabela 3: Modelo VAR com Restrições

Variáveis	ΔC_t	ΔY_t
ΔC_{t-1}	-	-
ΔY_{t-1}	0.241444 1.962320	0.303703 2.073643
Constante	35142563 3.247981	32952667 4.437609
$D81_t$	-1.05E+08 -4.201734	-1.06E+08 -3.365523
$D87_t$	-79463585 -3.192540	- -
$D88_t$	-81032738 -3.360653	- -
$D90_t$	- -	-1.02E+08 -3.355900
T	-964539.8 -2.153852	- -
R^2	0.593742	0.444972
R^2 -ajustado	0.518509	0.387556
AIC	36.96204	37.37586
SC	37.23414	37.55725

Fonte: Elaboração dos autores com dados descritos na seção 4.

Período de estimação: 1962 2004

Observações usadas: 43

Estatísticas t entre parênteses



para R\$ 2,1 trilhões em 2010, um acréscimo de 16 % no mesmo período. No cenário retraído, tanto o consumo quanto a renda ficam praticamente estagnados.



Tabela 4. Cenários Futuros

Cenários \ Variáveis	Var. (%)						Exógenas						Endógenas		
	G*	I	E _X	M	NE	G*	I	X	M	NE	C	Y	R\$ bilhões de 2004	R\$ bilhões de 2004	
Expansionista															
2005	-5,0%	5,0%	5,0%	10,0%	-4,3%	157,15	363,57	296,39	202,14	94,25	1.031,08	1.848,19			
2006	5,0%	5,0%	4,0%	4,5%	2,9%	165,01	381,75	308,25	211,24	97,01	1.051,53	1.906,53			
2007	5,0%	5,0%	3,0%	3,5%	1,9%	173,26	400,84	317,49	218,63	98,86	1.066,04	1.957,63			
2008	5,0%	5,0%	3,0%	3,5%	1,9%	181,92	420,88	327,02	226,28	100,74	1.077,83	2.007,65			
2009	5,0%	5,0%	2,0%	2,5%	0,9%	191,018	441,92	333,56	231,94	101,62	1.088,39	2.054,89			
2010	5,0%	5,0%	2,0%	2,5%	0,9%	200,57	464,02	340,23	237,74	102,49	1.097,33	2.102,14			
Retirado															
2005	-5,0%	5,0%	5,0%	10,0%	-4,3%	157,15	363,57	296,39	202,14	94,25	1.031,08	1.848,19			
2006	5,0%	-5,0%	4,0%	5,0%	1,9%	165,01	345,39	308,25	212,25	96,00	1.051,53	1.870,18			
2007	5,0%	-5,0%	2,0%	2,5%	0,9%	173,26	328,12	314,41	217,55	96,86	1.057,26	1.873,05			
2008	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	173,26	328,12	314,41	217,55	96,86	1.057,41	1.873,20			
2009	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	173,26	328,12	314,41	217,55	96,86	1.055,93	1.871,73			
2010	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	173,26	328,12	314,41	217,55	96,86	1.053,10	1.868,89			

Fonte: Elaboração dos autores.

Observação: Os cenários constituem os valores futuros em percentual arbitrados para as variáveis exógenas. Os valores para essas variáveis em R\$ bilhões são computados a partir dos valores em percentual. Os valores para as variáveis endógenas foram computados a partir de previsões geradas com a equação de consumo do modelo VAR (tabela 3) e a identidade contábil da renda (equação (16)).

6. Resultados para o Módulo de Energia

Os dois cenários para as variáveis exógenas e as respectivas previsões, feitas com o modelo VAR, para as variáveis endógenas (duas últimas colunas da tabela 4) foram usados para alimentar o módulo IP do modelo EC+IP. Devido à ausência detectada de co-integração entre C e Y , segue que a versão do modelo IP usada para as previsões setoriais de uso de energia foi o modelo aberto (ver seção 3). A partir disso, foram computadas as previsões anuais de consumo de energia por setor para o mesmo período de 2005-2010. Os resultados para o cenário expandido estão apresentados na tabela 5 e os correspondentes para o cenário retraído na tabela 6. A desagregação apresentada é para um número de 13 setores e as previsões são apresentadas em valores (milhões de tep) e em variação percentual ano a ano.

Os resultados para as previsões em milhões de tep em ambos os cenários permitem, primeiramente, identificar três grupos de setores segundo o porte da utilização de energia:

- a) **elevado consumo de energia:** transportes, alimentos + bebidas e siderurgia;
- b) **moderado consumo de energia:** agropecuária, papel e celulose, química e comércio + serviços;
- c) **baixo consumo de energia:** extrativa mineral, minerais não metálicos, não ferrosos + outros metais, têxtil e o conjunto formado por outros setores;

Em termos agregados, no cenário expansionista o consumo total dos setores apresenta um vigoroso crescimento, saindo de 157,8 milhões de tep em 2005 para 174,3 milhões de tep em 2010, representando um aumento de 10,5% entre esses dois anos, com uma média anual de crescimento de 2,5% ao ano. No cenário retraído, o consumo agregado também apresenta crescimento, mas de forma moderada, aumentando de 157,8 milhões de tep em 2005 para 160,9 milhões de tep em 2010, um aumento de apenas 2% entre esses dois anos.

Em termos desagregados, o cenário expansionista apresenta naturalmente taxas de crescimento mais vigorosas e todas positivas. Essas taxas variam de um mínimo de 1,1% (Têxtil em 2010) a um máximo de 4,9% (Administração Pública em 2006-2010). No cenário retraído, ocorrem muitas taxas negativas de crescimento, em particular nos anos de 2009 e 2010 para todos os setores.

Tabela 5: Previsões 2005-2010 para o Consumo de Energia – Cenário Expansionista

Modelo \ Setores	Milhões de tep					Variação em %					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2006	2007	2008	2009	2010
íberito											
Agropecuária	9,9	10,2	10,4	10,5	10,7	10,8	2,4%	1,8%	1,6%	1,3%	1,2%
Extrativa Mineral	4,2	4,4	4,4	4,5	4,6	4,7	2,7%	2,1%	1,9%	1,6%	1,5%
Minerais não metálicos	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	3,0%	2,6%	2,5%	2,3%	2,3%
siderurgia	18,2	18,8	19,3	19,8	20,3	20,7	3,3%	2,7%	2,6%	2,1%	2,1%
Met não ferrosos e outros metal	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	3,0%	2,5%	2,4%	2,2%	2,1%
Papel e Celulose	7,8	8,0	8,2	8,3	8,5	8,7	2,8%	2,3%	2,1%	1,9%	1,8%
Química	7,5	7,7	7,8	8,0	8,1	8,2	2,2%	1,7%	1,5%	1,4%	1,3%
Ítexil	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	2,3%	1,7%	1,4%	1,2%	1,1%
Alimentos e Bebidas	21,7	22,2	22,6	23,0	23,2	23,5	2,4%	1,8%	1,6%	1,3%	1,2%
Comércio e Serviços	6,4	6,5	6,7	6,8	6,9	7,0	2,4%	1,8%	1,6%	1,5%	1,4%
Transportes	60,7	62,2	63,3	64,3	65,2	66,1	2,3%	1,8%	1,6%	1,4%	1,3%
Administração Pública	4,6	4,9	5,1	5,4	5,6	5,9	4,9%	4,9%	4,9%	4,9%	4,9%
Outros Setores	8,4	8,6	8,9	9,1	9,4	9,6	3,2%	2,9%	2,7%	2,7%	2,6%
Total	157,8	161,9	165,3	168,5	171,4	174,3	2,6%	2,1%	1,9%	1,7%	1,6%

Fonte: Elaboração dos autores.

Tabela 6: Previsões 2005-2010 para o Consumo de Energia – *Cenário Retraído*

Setor	Máximo \ Setores					Mínimo \ Setores					Variação em %
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2006	2007	2008	2009	
Agropecuária	9,9	10,1	10,2	10,2	10,2	10,2	2,0%	0,6%	0,0%	-0,1%	-0,2%
Industria Mineral	4,2	4,3	4,4	4,4	4,4	4,3	2,0%	0,8%	0,0%	-0,1%	-0,2%
Minerais não metálicos	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,2%	1,4%	0,0%	-0,1%	-0,2%
Derurgia	18,2	18,8	19,1	19,1	19,0	19,0	2,8%	1,6%	0,0%	-0,1%	-0,1%
Sete não ferrosos e outros metal	4,3	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	2,5%	1,5%	0,0%	-0,1%	-0,1%
Apel e Celulose	7,8	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	1,3%	0,2%	0,0%	-0,1%	-0,2%
Química	7,5	7,6	7,7	7,7	7,7	7,6	1,3%	0,3%	0,0%	-0,1%	-0,2%
Extil	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0%	0,6%	0,0%	-0,1%	-0,2%
Alimentos e Bebidas	21,7	22,1	22,3	22,3	22,3	22,3	2,2%	0,7%	0,0%	-0,1%	-0,2%
Comércio e Serviços	6,4	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	1,6%	0,3%	0,0%	-0,1%	-0,2%
Transportes	60,7	61,7	62,0	62,0	61,9	61,8	1,6%	0,4%	0,0%	-0,1%	-0,2%
Administração Pública	4,6	4,4	4,2	4,2	4,2	4,2	-5,0%	-5,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Outros Setores	8,4	8,6	8,8	8,8	8,7	8,7	2,6%	1,9%	0,0%	-0,1%	-0,1%
Total	157,8	160,5	161,4	161,4	161,2	160,9	1,7%	0,6%	0,0%	-0,1%	-0,2%

Fonte: Elaboração dos autores.

Conforme explicado na seção 4, o consumo total dos 13 setores não iguala o consumo final energético do Balanço Energético Nacional (BEN; ver Brasil/MME, 2004). Isso acontece porque no processo de compatibilização com a matriz de insumo produto ajustes precisam ser feitos. Por exemplo, o consumo energético inclui também o consumo residencial, além do consumo total dos 13 setores da MIPN.

Dados do BEN indicam que o consumo final energético em 2003 foi de 168,5 milhões de tep, de forma que o consumo total dos 13 setores, que foi de 131,8 milhões de tep naquele ano, representou 78,2%. As previsões do modelo EC+IP aberto no cenário expansionista apontam que o consumo total dos setores ultrapassará a partir de 2009 o consumo final energético de 2003. A previsão feita é de 171,4 milhões de tep em 2009 e de 174,3 milhões de tep em 2010. No cenário retraído, o consumo final energético de 2003 não chega a ser ultrapassado em momento algum.

Considerando que atualmente o cenário expansionista talvez seja o mais provável, isso reforça a necessidade de que várias ações continuem sendo feitas pelos órgãos de planejamento energético para que oferta e demanda de energia se ajustem a médio e longo prazo. Uma vantagem de modelos desagregados como o aqui apresentado é que eles ajudam a identificar setores onde concentrar o foco de certas ações. Por exemplo, o setor siderúrgico apresenta maior taxa de consumo de eletricidade dentre os 13 setores (MME, 2004) e, neste caso, as pesquisas de aumento da eficiência no uso de eletricidade são preponderantes. No caso de comércio e serviços, e também administração pública, outras ações como campanhas de conservação são mais relevantes.

O setor elétrico em 2003 forneceu eletricidade no montante de 29,4 milhões de tep, o que representava então cerca de 14,5% do consumo final energético. Desses 29,4 milhões de tep, cerca de 71 %, ou 21 milhões de tep, eram usados pelos 13 setores aqui considerados. Isto significa que 20,4 % do consumo dos setores era de eletricidade. Embora o setor elétrico conte com um planejamento bastante elaborado e consubstanciado no Novo Modelo do Setor Elétrico deslanchado em 2004, segundo Furtado (2005), a perspectiva é de que o fornecimento só esteja garantido até 2009. A se manter uma taxa próxima de 20,4% (de 2003) no âmbito de um cenário expansionista para 2005-2010, isso significa que o consumo de eletricidade dos setores chegaria a 37,4 milhões de tep em 2010, um aumento de 27,3% sobre o consumo de 2003.

Aqui, reforça-se a necessidade de gestões, dentro das regras do Novo Modelo, para garantir os novos investimentos em geração que tanto se fazem necessários. Vale observar que, ainda dentro das novas regras, o uso de modelos de previsão de longo prazo como o apresentado na seção anterior são relevantes também para reduzir o risco dos agentes nos fechamentos de

Este trabalho apresentou um método alternativo, baseado em modelos integrados econométrico+insumo produto, ou EC+IP, para se fazer previsões a longo prazo da demanda de energia no Brasil. Os resultados apresentados confirmam as preocupações vigentes no debate energético de que um cenário de retomada do crescimento econômico pode ser restringido por um desequilíbrio negativo entre oferta e demanda de energia.

Na construção do modelo EC+IP, buscou-se fazer uso na montagem do módulo EC dos modernos enfoques da econometria de séries temporais, como as representações de modelos VCE e VAR. São dignas de nota as relações estabelecidas aqui, no âmbito de uma estratégia particular de integração por ligação, entre ausência/presença de co-integração das variáveis endógenas no modelo econômico e o tipo de modelo IP (aberto/fechado) que deve ser usado. O esforço feito indica boas perspectivas para se avançar metodologicamente na integração dos modelos econôméticos de séries temporais com os modelos de insumo produto.

Como o modelo integrado que foi aqui apresentado é uma versão ainda simples, isso faz com que vários aspectos possam ser explorados para incrementá-lo em pesquisas futuras. Em particular, é relevante explorar o uso de mais variáveis exógenas no módulo EC uma vez que já existe atualmente uma significativa literatura para servir de base. Também, é preciso explorar a desagregação das previsões por tipos de energia consumida (petróleo, eletricidade, etc.) e por região espacial de consumo. No último caso, isso envolverá o uso de modelos IP inter-regionais. Esses esforços de desagregação poderão trazer benefícios adicionais significativos para o desenho de políticas energéticas e a gestão estratégica do suprimento de energia.

Referências

- Azzoni, C. R. e Kadota, D. K. An econometric input-output model for the state of São Paulo. Brazil. Texto para Discussão Nemesis.S/D.
- Brasil. Ministério das Minas e Energia (MME). Brazilian Energy Balance 2002. Brasília: 2002.
- _____. Balanço Energético Nacional 2004. Brasília: 2004.
- Conway, R.S. The Washington Projection and Simulation Model: A regional interindustry econometric model. International Regional Science Review 13, 141-165, 1990.
- Enders, W. Applied econometric time series. Nova York: Wiley. 2003.
- Furtado, C. Promessas e incertezas. Desafios do Desenvolvimento (PNUD/IPEA), 2, 11,16-23. 2005.



IPLANCE. Impactos da restrição de consumo de energia elétrica sobre a economia cearense. Governo do Estado do Ceará, Secretaria de Planejamento e Coordenação. Fundação Instituto de Pesquisa e Informação do Ceará – IPLANCE. Fortaleza. 2001.

Izard, W., Bramhall, D. F., Carrothers, G. A., Cumberland, J. H., Moses, L. N., Price, D.O. e Schooler, E. W. *Methods of regional analysis*. Cambridge, MA: M.I.T. Press, 1960.

Izard, W., Azis, U. J., Drennan, M. P., Miller, R.E., Saltzman, S. e Thorbecke, E. *Methods of interregional and regional analysis*. Brookfield: Ashgate, 1998.

LeSage, J. P. e Rey, S J. *Restrictions integrated econometric+input-output modeling*. Discussion Paper, 1994.

Miller, R. E. e Blair, P. D. *Input-output analysis. Foundations and extensions*. Nova Jersey: Prentice Hall. 1985.

Project Link Research Centre. *World Economic Outlook (meeting forecasts)*. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/ipeaweb.dll/NSerie>. Acesso em: 10 de junho 2005.

Rey, S. J. *Integrated regional econometric+input-output modeling: issues and opportunities*. *Papers in Regional Science*, 79, 271-292, 2000.

Rey, S. J., West, G. R. e Janikas, M. V. *Uncertainty in integrated regional models*. *Economic Systems Research*, 16, 3, 259-277. 2004.