

GUSTAV IVES MENDES NICÁ-  
CIO VIANA\*

ALEXANDRE LIMA MARQUES  
SILVA\*\*

geração de energia elétrica e externalida-  
des negativas: o impacto da introdução  
da política de tarifa ótima para o setor  
industrial no Brasil

\* Mestre em  
Economia pela  
Universidade Federal  
de Alagoas.  
Prof. Me. da Facul-  
dade de Cidade de  
Maceió.

\*\* Prof. Dr. da Facul-  
dade de Economia,  
Administração e  
Contabilidade –  
FEAC - UFAL.  
Prof. Dr. do Curso  
de Mestrado em  
Economia Aplicada –  
CMEA - UFAL



## OVERVIEW

### CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A produção de energia elétrica adequada à demanda constitui um fator relevante para a manutenção de taxas de crescimento do produto de uma economia. A afirmativa decorre do fato deste segmento produtivo se constituir num dos componentes de infra-estrutura de uma região. Em seu Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica, o Ministério das Minas e Energia – MME coloca que, considerando o âmbito nacional, a tendência apresentada pela demanda por energia supera a capacidade de geração do país, MME/EPE<sup>1</sup> (2007).

Um segundo aspecto que corrobora a afirmativa precedente constitui no fato de muitos Estados terem revelado preocupação com a elevação de suas bases geradoras; sendo isto evidente na realização de fóruns nacionais, compostos por agentes ligados diretamente à questão energética como o (ONS)<sup>2</sup>, (ANEEL)<sup>3</sup>, (MME)<sup>4</sup>, para discutir medidas e definir metas para o setor no Brasil.

Com relação à capacidade de geração de energia, o Brasil apresenta potencialidades em alguns segmentos que o faz destacar-se no ramo de energia renovável. Mais especificamente, o país apresenta diversificada pauta de geração de eletricidade, concentrando 45% desse total em fontes renováveis. Por outro lado, dos 55% restantes, 45% é proveniente do petróleo e derivados MME (2008).

Considerando este contexto de potencialidade de produção em diversos segmentos versus tendência de insuficiência na oferta, este estudo pretende estimar o comportamento da Curva de Demanda Residencial, Industrial e Comercial por energia elétrica para o País e identificar os reais impactos ao consumo provenientes de uma política de tarifa ótima.

---

<sup>1</sup>(Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética) - Plano Decenal de Expansão Energética 2007/2016 (MME/EPE)

<sup>2</sup>Operador Nacional do Sistema Elétrico

<sup>3</sup>Agência Nacional de Energia Elétrica

<sup>4</sup>Ministério de Minas e Energia

## O CUSTO SOCIAL DA ENERGIA ELÉTRICA

Ao se pensar em geração de energia elétrica, é difícil não associá-la logo de início as hidrelétricas, fonte de geração do qual o Brasil é fortemente dependente. As hidrelétricas são caracterizadas como geradoras de energia limpa, pois não emitem CO<sub>2</sub> na atmosfera, exceto metano, como menciona Muller: *“A energia por hidrelétricas caracteriza-se como não-poluente, já que se utiliza da força da água. Os recursos hidrelétricos são, onde existe esse potencial, os mais econômicos e promissores”* (MULLER, 1995 p.42). Mas, no entanto, impactam no meio ambiente de outras formas: inundação de grandes áreas, comprometendo a fauna e flora da região afetada, alteração no fluxo dos rios, além do problema social de grandes proporções, que se refere à realocação da população residente na área. De maneira ao melhor entendimento dos impactos referentes às hidrelétricas, se utiliza o indicador que mede a potência produzida por hectare (KW/Hectare). Sendo assim, quanto menor essa relação, maior o impacto adverso sobre o meio ambiente. Para o Brasil, a hidrelétrica de Xingó apresentou maior índice, aproximadamente 588,2 KW/Hectare, enquanto a Hidrelétrica de Balbina apresentou 1,1 KW/Hectare, menor índice entre as hidrelétricas do país.

Assim como destaca (CARRERA-FERNANDEZ, 2008), a expansão desta atividade geradora de energia representa um potencial para perigosos conflitos pelo uso da água, o crescimento da geração hidráulica de energia no país tem impedido o crescimento sustentável de certas regiões, principalmente pela restrição imposta à expansão da agricultura irrigada. Além disso, mantido os níveis atuais, a produção de energia elétrica pode tornar inviável qualquer projeto de transposição de suas águas para o Nordeste setentrional.

Desta forma, fica claro que a atividade de geração hidráulica não tem internalizado os custos sociais de sustentabilidade nas tarifas de energia elétrica. (CARRERA-FERNANDEZ, 2008) identificam tais custos sociais que o setor elétrico impõe a sociedade ao: (i) restringir o uso dos recursos hídricos a montante da geração, recursos que poderiam ser utilizados com outras finalidades; (ii) ocasionar perdas por evaporação nos reservatórios, além de alterar a vazão a jusante das hidrelétricas.

## METHODS

Em (MATTOS, 2005), estudos para o Brasil vêm aplicando a variável preço médio nas estimações, primeiro em função da não disponibilidade de obtenção da tarifa marginal, e segundo que é de conhecimento do consumidor a tarifa média, quando este decide alterar seu padrão de consumo de energia. Para os demais setores, seu comportamento é melhor descrito como sendo representado por uma função de minimização de custos. Contudo, como para qualquer das classes a demanda por energia elétrica surge da necessidade de se fazer um aparelho ou equipamento funcionar, ela pode ser melhor classificada como um fator que participa da atividade produtora de bens, (SCHMIDT e LIMA, 2004), e a representação desta função demanda derivada, pode ser melhor dada em (1)<sup>5</sup>:

$$\text{Log}C_t = \text{Log}k + \beta \text{Log}Y_t + \beta_2 \text{Log}T_t + \beta_3 \text{Log}P_t + \beta_4 \text{Log}S_t \quad (1)$$

onde:

$C_t$  é o consumo (Industrial), de energia elétrica no tempo;

$k$  é uma constante.

$Y_t$  é a renda (PIB industrial para o setor industrial);

$T_t$  é a tarifa (Industrial), de energia elétrica no tempo;

$P_t$  é o preço de máquinas equipamentos industriais no tempo;

$S_t$  é o preço dos substitutos da energia elétrica no tempo (*proxy*: combustíveis e lubrificantes);

$\beta, \beta_2, \beta_3$  e  $\beta_4$  são as elasticidades renda, preço, preço de máquinas e equipamentos industriais e preço dos substitutos.

Quanto ao comportamento das variáveis em (1), esperamos que  $\beta, \beta_4 > 0$  enquanto que  $\beta_2, \beta_3 < 0$ . Em outras palavras, sendo a elasticidade renda e preço dos substitutos positiva, caracteriza uma elevação no consumo em detrimento de uma elevação destas variáveis e sendo as demais elasticidades negativas, caracteriza uma redução no consumo pela elevação de seus valores.

---

<sup>5</sup>A função de demanda Cobb-Douglas foi utilizada por Modiano (1984), Andrade e Lobão (1997), Schmidt e Lima (2004), Siqueira *et alii.* (2006).

## DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

Alguns trabalhos que tratam da estimação do consumo por energia elétrica utilizaram métodos clássicos<sup>6</sup>, com o intuito de comparar os resultados e a modelagem de Vetores Alto Regressivos – VAR. Este último baseado no procedimento de (JOHANSEN, 1988) e (JOHANSEN e JUSELIUS, 1990) para identificar os coeficientes de co-integração.

A modelagem por VAR<sup>7</sup> considera que as variáveis em questão são determinadas endogenamente não havendo variáveis exógenas neste sistema, (GUJARATI, 2006). A preocupação em relação à existência de simultaneidade diz respeito à possibilidade dela existir entre a variável  $C_t$  - consumo de energia e a variável  $T_t$  - tarifa média. Neste caso, acredita-se que o consumo é determinado pela tarifa, mas existe a possibilidade da tarifa ser determinada pelo consumo.

## BASE DE DADOS

Abaixo, na Tabela 1, encontra-se, em resumo, a definição e as respectivas fontes, além do tratamento dado as variáveis relevantes:

Tabela 1: Fonte e Dados Utilizados

	Variáveis (série anual 1975-2006)	Fontes e Tratamento
	Caso Industrial	
C	Consumo Industrial Total (MWh)	Eletrobrás <i>in</i> IPEA
Y	PIB Industrial (milhões)	IBGE - Contas Nacionais <i>in</i> IPEA – Deflator Implícito
T	Tarifa Média Industrial (MWh)	Eletrobrás <i>in</i> IPEA - Deflator IGP-DI - FGV <i>in</i> IPEA
P	Câmbio Real Efetivo	BCB/Boletim <i>in</i> IPEA - Deflator IPA-DI
S	Preço Médio – Óleo Combustível	ANP <sup>1</sup> <i>in</i> IPEA - Deflator IGP-DI

Fonte: Elaboração própria

<sup>6</sup>Os métodos clássicos a que nos referimos são MQO - Mínimos Quadrados Ordinários e IV - Variáveis Instrumentais

<sup>7</sup>O termo auto-regressivo se dá pelo fato da defasada da variável dependente aparecer do lado direito e o termo vetorial por tratarmos e um vetor de uma ou mais variáveis.

## CONSIDERAÇÕES SOBRE O CUSTO SOCIAL DA ENERGIA ELÉTRICA

Para as estimativas seguintes, utilizar-se-á a estimativa alcançada por (CARRERA-FERNANDEZ, 2008)<sup>8</sup> quanto ao custo social para a bacia do São Francisco, que deve subestimar os resultados quanto à redução do consumo, ou seja, a diferença percentual entre o consumo com e sem a introdução de uma política de custo social é inferior (espera-se que esta diferença seja ainda maior), considerando uma estimativa de CS a nível nacional, onde os conflitos pelo uso da água são grandes.

Ao contrário de se pensar que tal política visa penalizar ao agente pelo consumo da energia elétrica, tal política sinalizaria qual o verdadeiro custo da energia. Isto proporcionaria uma mudança de comportamento a este agente, ao ponto de que este utilize este recurso de forma mais eficiente, no nível socialmente ótimo.

### RESULTS (SETOR INDUSTRIAL)

Observou-se, exceto para Consumo e Preço dos Substitutos da Energia, que as variáveis rejeitaram a presença de raiz unitária a 1%. A 5%, todas rejeitaram a presença de Raiz Unitária e neste caso, as variáveis são I(1) e é possível que sejam co-integradas.

Seguindo os procedimentos adotados nas estimações anteriores, procedeu-se com a definição do número ótimo de defasagens, onde se verificou o número ótimo de 1 (uma) defasagem.

Analisando o comportamento da função abaixo, é possível afirmar que os sinais estão de acordo com o esperado e os coeficientes são estatisticamente significativos. A função que exprime o comportamento do consumo de energia da classe industrial pode ser representada como em (7):

$$C_t^{Ind} = 0,833Y_t^{Ind} - 0,648T_t^{Ind} - 0,043P_t^{Ind} + 0,055S_t + 0,027t \quad (7)$$

---

<sup>8</sup> Agência Nacional do Petróleo

<sup>9</sup> Em função da insuficiência de dados para esta estimação, optou-se por utilizar a estimativa de CS para a bacia do São Francisco, que corresponde a R\$ 13,32 por MWh.

Em seguida procedeu-se com os resultados para o Modelo de Correção de Erros. Em resumo, quanto aos resíduos do VEC, são normalmente distribuídos, homocedásticos e não-autocorrelacionados com base nos testes do Multiplicador de Lagrange (LM) para correlação serial, White para Heterocedasticidade e o teste de Jarque-Bera para normalidade dos resíduos. Pelo VEC estimado, a velocidade de ajustamento em relação ao equilíbrio de longo prazo é 0,504; ou seja, 50,4% do desequilíbrio de curto prazo em relação à trajetória de longo prazo é corrigido a cada período.

Tabela 8: Previsões e Comparações – Setor Industrial (*one-step ahead*)

Valores Previstos				Diferença %		
Cenário 1 (GWh)	Cenário 2 (GWh)	Cenário 3 (GWh)	EPE (GWh)	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
184.111,11	184.111,11	184.111,11	187.956	-2,05	-2,05	-2,05
195.306,37	195.361,06	195.413,82	196.037	-0,37	-0,34	-0,32
209.876,54	210.105,43	210.107,53	203.269	3,25	3,36	3,36
223.436,99	223.745,54	223.334,23	209.152	6,83	6,98	6,78
233.770,40	233.702,62	232.727,78	216.561	7,95	7,92	7,47
241.683,60	240.538,33	238.827,00	224.516	7,65	7,14	6,37
249.550,04	246.797,82	243.990,54	232.169	7,49	6,30	5,09
259.705,80	254.856,19	250.600,35	242.392	7,14	5,14	3,39
272.892,91	265.363,20	259.420,28	251.826	8,37	5,38	3,02

Fonte: Dados da Pesquisa

OBS: Os valores da EPE correspondem às previsões geradas em MME/EPE (2008a). A diferença percentual foi calculada com base na diferença entre os valores da EPE e o do trabalho.

## REAJUSTE TARIFÁRIO

É por meio do reajuste das tarifas que o CS é internalizado, já que o setor elétrico estaria estabelecendo um mecanismo de correção de distorções entre preços de mercado e preços sociais, além de permitir que as concessionárias adotem níveis tarifários compatíveis com as novas condições de concorrência e tecnologia gerando ganhos a sociedade.

Com base na metodologia descrita em (CARRERA-FERNANDEZ, 2008), as tarifas ótimas de energia elétrica são determinadas a partir da solução do seguinte sistema de equações:

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma_j^* (1 + \gamma_j^*) = \alpha / |\varepsilon_j| \\ \sum_j \gamma_j^* T_j S_j - \mathcal{S}_e = 0 \end{array} \right. \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (8)$$

Onde:  
 $\gamma_j^*$  - é a alíquota ótima de reajuste;  
 $\alpha$  - é uma constante de proporcionalidade que reflete a diferença relativa entre benefício e custos marginais;  
 $|\varepsilon_j|$  - é a elasticidade preço da demanda em módulo da classe j;  
 $T_j$  - é a tarifa da classe j;  
 $S_j$  - é a proporção do consumo da classe j.

Mediante a análise dos efeitos ocasionados pela atividade de geração de energia a luz do que a teoria de falhas de mercado pode afirmar, é possível que tal atividade possa gerar efeitos adversos para demais agentes econômicos, assim como discutido anteriormente. Caso os custos incorridos por esta atividade (geração de energia) – Custo Privado – sejam menores que os custos que a sociedade esteja arcando – Custo Social – caracteriza a existência de externalidades negativas. A solução para este problema poderia ser alcançada pela determinação da propriedade privada ou por intervenções governamentais. Sendo a primeira não suficiente para solucionar o problema – os agentes buscariam formas de solucionar tais problemas sem a necessidade da participação do governo – caberia ao governo propor soluções. Neste caso, o equilíbrio eficiente seria aquele em que a produção ou geração de energia apresentaria redução, visto que aumentos na geração de energia podem agravar os efeitos adversos provenientes da atividade, o que significaria redução de satisfação por parte da sociedade. A redução do consumo e geração de energia passa pela internalização dos reais custos gerados por esta atividade – custo privado mais custos sociais.

Pela abordagem da tarifa ótima, o custo social – custo incorrido pela sociedade – seria inserido na atividade de consumo a ponto de proporcionar redução no consumo de energia. Em se apresentando redução do consumo,

não haveria necessidade de uma forte expansão na atividade geradora de energia e parte dos recursos para financiar esta expansão pode ser canalizada para pesquisa e desenvolvimento de demais fontes de energia.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são gerados utilizando as mesmas formas funcionais utilizadas para as previsões de 2009-2017. As tarifas re-calculadas são referentes a este período, também sendo para este período as comparações entre o consumo com e sem a política de custo social. Abaixo seguem os resultados para o período de 2009-2017:

Tabela 9: Diferença percentual entre o Consumo de Energia com e sem a Introdução da Política de Custo Social (GWh)

Ano	Com Política de Custo Social	Sem Política de Custo Social	Diferença %
	Indust.	Indust.	Indust.
2009	184.111	184.111	0,00
2010	194.877	195.361	-0,25
2011	206.545	210.105	-1,69
2012	216.753	223.746	-3,13
2013	224.750	233.703	-3,83
2014	231.523	240.538	-3,75
2015	238.839	246.798	-3,22
2016	247.990	254.856	-2,69
2017	258.925	265.363	-2,43

Fonte: Dados da Pesquisa

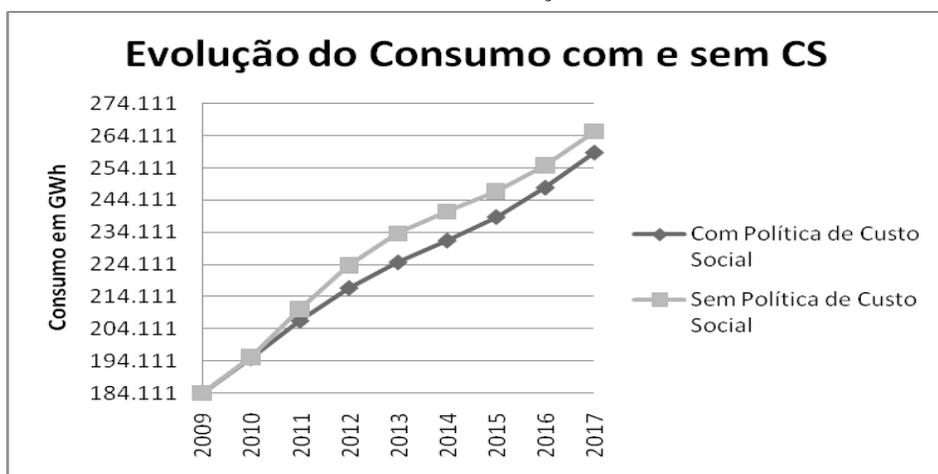
Para o ano de 2009, os valores com e sem a introdução da Política de Custo Social não se altera, para nenhum dos setores, já que o mecanismo de previsão *one-step ahead* considera as informações passadas para determinar o comportamento da variável um período à frente. Como em 2008 não houve alteração no comportamento das variáveis, 2009 não sofre alteração de valor.

Assim como destacado anteriormente, o peso do reajuste será maior para o setor cujo menor tenha sido a elasticidade preço, que para o presente

estudo foi o setor industrial. A redução no consumo de energia provocada por esta política chega próxima a 4%.

Considerando que o preço cobrado pelo uso da energia (tarifa) é inferior a seu preço social, isso gera uma alocação ineficiente do recurso, uma vez que os usuários são induzidos a utilizarem estes recursos intensivamente, além do nível social ótimo, gerando perdas a sociedade. Tal política proporciona uma redução no consumo de energia, considerando o verdadeiro custo incorrido pela sociedade, podendo ainda contribuir com a gradual substituição da geração hidrelétrica por fontes alternativas, através de programas que possam canalizar os recursos advindos da tarifa reajustada para esses fins.

Gráfico 1 Consumo com e sem a Introdução da Política de Custo Social



Fonte: Dados da Pesquisa

## CONCLUSIONS

Tal política de custo social proporciona uma redução no consumo de energia, considerando o verdadeiro custo incorrido pela sociedade, podendo ainda contribuir com a gradual substituição da geração hidrelétrica por fontes alternativas, através de programas que possam canalizar os recursos advindos da tarifa reajustada para esses fins.

O Setor Industrial apresentou algumas reformulações em relação a outros trabalhos. A princípio buscou-se trabalhar com a forma funcional

utilizada na maioria dos casos, tendo como *proxy* para formulação de estoques a variável preço dos equipamentos industriais. As estimações não se mostraram contundentes e optou-se por inserir outra *proxy*, ao contrário de se trabalhar apenas com o consumo em função de duas variáveis (renda e tarifa). A variável utilizada como esta *proxy* foi câmbio real efetivo, que por sua introdução, considera a abertura do mercado de bens – possibilidade de transação por consumidores e firmas entre bens internos e externos; as firmas estariam aptas a adquirir bens de capital importados, além de adquiri-los internamente. A dinâmica externa se dá considerando que não existam em alguns casos máquinas similares. Um câmbio desfavorável aos importadores (depreciado), evita que o indivíduo adquira bens de capital no período imediato levando-o a adquirir-los no período posterior. A dinâmica interna é determinada pela renda e tarifa, onde a ampliação da restrição orçamentária atrelada a alterações no valor da tarifa (considerando que a energia é um bem consumível e a tarifa é seu preço) faz com que o indivíduo possa ou não adquirir bens de capital. Com base nos resultados, ou parte das máquinas utilizadas não possui similares produzidos no país ou boa parte das máquinas produzidas no país necessita de peças produzidas no exterior. Com uma elevação cambial tem-se uma redução no estoque de equipamentos em função da elevação do preço das máquinas produzidas no país em consequência da elevação do preço das peças importadas e da elevação dos preços das máquinas importadas que não possuam similares produzidos no país. Seu sinal permanece negativo frente à variável consumo.

O setor industrial apresentou baixa elasticidade preço da demanda, o que resultou em maior peso do custo social sobre a tarifa, gerando maior alíquota incidente sobre esta classe de consumo. Pelo reajuste, a redução no consumo para o período previsto seria, na média, de 2,33%.

Ao contrário de apenas se pensar em utilizar-se desta política para proporcionar uma redução no consumo com a finalidade de ajustar à capacidade instalada o consumo de energia, deve-se ter em mente os problemas sociais e ambientais gerados pela atividade geradora de energia através das hidrelétricas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, T.; LOBÃO, W. *Elasticidade-renda e preço da demanda residencial de energia elétrica no Brasil*. Rio de Janeiro: IPEA, 1997. (Texto para Discussão, n. 489).

CARRERA-FERNANDEZ, J.O *Custo Social da Energia Hidrelétrica e uma Política de Tarifação Social Ótima para o Setor Elétrico*. Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza, v. 39, nº 4, out-dez. 2008.

CARRERA-FERNANDEZ, J.; PEREIRA, R. *A política de tarifação social ótima para a energia elétrica*. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 30, 2002, Nova Friburgo. Anais... Nova Friburgo: ANPEC, 2002.

GUJARATI, Damodar N.; *Econometria Básica*. Editora Campus, 4ª edição, 2006

JOHANSEN, S. *Statistical analysis of cointegrating vectors*. Journal of Economic Dynamics and Control, v.12, p. 231-254, 1988.

JOHANSEN, S., JUSELIUS, K. *Maximun likelihood estimation and inference on cointegration, with application to the demand for money*. Oxford Bulletin of Economics and Statistics, v.52, p.169-210, 1990.

MATTOS, Leonardo Bornacki.; LIMA, João Eustáquio de. *Demanda Residencial de Energia Elétrica em Minas Gerais: 1970 a 2002*. Nova Economia, Belo Horizonte, V.15, n. 3, p. 31-52, 2005.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Balanço Nacional Energético de 2007*. Disponível: <<http://www.mme.gov.br>> . Acesso em: 24 de Abril de 2009.

\_\_\_\_\_, *Resenha Energética Brasileira de 2008*. Disponível: <[www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)>. Acesso em : 24 de Abril de 2009.

MME/EPE - Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética, *Plano Decenal de Expansão de Energia 2007/2016*, Brasília. 2007.

\_\_\_\_\_, *Projeções da Demanda de Energia Elétrica – Plano Decenal de Energia 2008/2017*. Série Estudos da Demanda, Rio de Janeiro, Maio de 2008a.

MODIANO, E. M. *Elasticidade renda e preços da demanda de ener-*

*gia elétrica no Brasil*. Rio de Janeiro: Departamento de Economia da PUC, 1984. (Texto para Discussão, n. 68).

MULLER, Arnaldo. *Hidrelétricas, Meio Ambiente E Desenvolvimento*, Editora Líder. São Paulo.1995.

SCHMIDT, C. A. J.; LIMA, M. A. M. *A demanda por energia elétrica no Brasil*. *RBE*, Rio de Janeiro, v. 58, n. 1, p. 67-98, 2004.

SIQUEIRA, M. L., CORDEIRO JR., H. H.; CASTELAR, I. *A demanda por energia elétrica no Nordeste brasileiro após o racionamento de 2001-2002: previsões de longo prazo*. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, v. 36, n. 1, p. 137-178, 2006.