



**MODELO DE PROJEÇÃO DE USO DE ENERGIA BASEADO  
EM COEFICIENTES SETORIAIS DE INTENSIDADE  
ENERGÉTICA: PRINCÍPIOS E METODOLOGIA**

**Superintendência de Estudos Estratégicos**

**Agosto de 2001**

## **AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO**

Autarquia sob regime especial, com personalidade jurídica de direito público e autonomia patrimonial, administrativa e financeira, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, com prazo de duração indeterminado, como órgão regulador da indústria do petróleo, nos termos da Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997.

**Diretor-Geral:** David Zylbersztajn

**Diretores:** Eloi Fernández y Fernández  
Júlio Colombi Netto  
Giovanni Toniatti  
Luiz Augusto Horta Nogueira

As **NOTAS TÉCNICAS** têm por objetivo divulgar resultados de estudos desenvolvidos pela Agência, visando dar suporte à constituição de uma base de conhecimento interna sobre a indústria do petróleo e gás. Objetiva-se também prover um amplo acesso externo aos conhecimentos gerados internamente, procurando assegurar transparência e credibilidade às decisões e regulamentações promovidas pela Agência.

### **Escritório Central**

Rua Senador Dantas, 105 - 13º andar  
Centro - Rio de Janeiro - RJ - 20031-201  
Tel.: (21) 3804-0000  
Fax: (21) 3804-0102 / 03 / 04  
<http://www.anp.gov.br>  
e-mail: [webmaster@anp.gov.br](mailto:webmaster@anp.gov.br)

### **SEDE**

SGAN, Quadra 603, Módulo I, sala 304  
Brasília - DF - 70830-902  
Tel.: (61) 312-5440 / 5315  
Fax: (61) 226-0699

### **Unidades Administrativas Regionais**

#### **São Paulo**

Av. Paulista, 1804 - 20º andar  
São Paulo - SP - 01310-200  
Tel.: (11) 253-5090  
252-1592  
Fax: (11) 289-4517

#### **Salvador**

Av. Tancredo Neves, 776  
Edifício Anexo do Desembanco  
Salvador - BA - 41823-900  
Tel.: (71) 340-5861  
Fax: (71) 341-1550

**EQUIPE TÉCNICA**  
Giovani Vitória Machado

## I. Introdução

A energia, em seu conceito mais geral, é um “bem” essencial para a existência e para a atividade humana. Por um lado, a energia é um bem final que fornece bem-estar aos indivíduos, direta (climatização de ambiente, aquecimento de água, refrigeração de alimentos, iluminação, etc.) ou indiretamente (bem complementar para a utilização de outros bens: utensílios domésticos, veículos, etc.). Por outro, a energia é um insumo fundamental (força motriz, calor de processo, refrigeração, iluminação, etc.) para a produção, transporte e distribuição de outros bens e serviços requeridos pela sociedade. É possível abrir mão de uma “forma” de energia, como já se fez com o óleo de baleia e com o querosene iluminante (YERGIN, 1993). Mas não é possível abrir mão de energia “em geral” ou de toda e qualquer forma de energia; de fato, a eletricidade substituiu o óleo de baleia e o querosene na iluminação. É até possível, dentro de certos limites (2º Princípio da Termodinâmica), reduzir a quantidade de energia necessária para realizar um dado serviço ou trabalho (conceito físico), aumentando-se a eficiência com que se converte esta energia no serviço requerido (o rendimento térmico do GLP é superior ao da lenha e a lâmpada fluorescente compacta gera o mesmo efeito iluminante que a incandescente utilizando muito menos energia). Todavia, há uma quantidade mínima de energia necessária para realizar cada serviço a partir da qual não há redução possível (GEORGESCU-ROEGEN, 1976).

O atendimento da demanda por energia é, portanto, condição necessária para a ocorrência das atividades humanas e, não raramente, da própria existência (energia para a cocção e calefação, por exemplo)<sup>1</sup>. Nas sociedades modernas, por envolver grandes volumes, a oferta de energia demandada pelos agentes sociais exige uma infra-estrutura cujo estabelecimento requer longo prazo de maturação. Assim, é preciso prever a demanda por energia com certa antecedência para garantir a disponibilidade de oferta em tempo hábil.

A realização de avaliações de demanda futura por energia torna-se, por conseguinte, uma tarefa fundamental nas sociedades modernas. Erros de previsão de demanda acarretam perdas econômicas e/ou sociais (bem-estar). Subestimar a demanda, ofertando menos energia do que a requerida, resulta em perdas econômicas para

---

<sup>1</sup> Isto para não se mencionar a energia solar que garante as condições de vida na Terra e a energia dos alimentos que atende as demandas calóricas dos organismos vivos. Estas questões, contudo, estão além do escopo deste trabalho e não serão aprofundadas. Para detalhes vide ODUM (1988).

empresas do setor energético (quer porque outra empresa atenderá o mercado, quer por perda de oportunidade econômica) e de outros setores (“gargalos econômicos” impedindo outras oportunidades de negócios que dependem de energia). Ademais, há também perdas sociais relacionadas à perda de bem-estar pelos indivíduos em virtude do não atendimento de serviços demandados (falta de eletricidade e combustíveis para usos diversos). Superestimar a demanda, ofertando mais energia do que a requerida, também resulta em perdas econômicas para empresas do setor (afeta a rentabilidade do empreendimento) e de outros setores (redução da disponibilidade de recursos financeiros para outros investimentos). Também neste caso há perdas sociais relacionadas, por exemplo, a impactos desnecessários sobre o meio ambiente (o setor energético é um dos grandes agressores ao meio ambiente).

Neste sentido, elaborar, avaliar e aperfeiçoar modelos de previsão de uso de energia é uma das tarefas fundamentais do planejamento energético, quer na esfera empresarial, quer na esfera governamental (política energética). É neste contexto que a Superintendência de Estudos Estratégicos (SEE) vem avaliando diferentes modelos de previsão de uso de energia disponíveis, analisando suas vantagens e desvantagens.

Nesta nota técnica, em particular, apresenta-se um modelo de previsão de uso de energia baseado em coeficientes setoriais de intensidade energética, enfocando seus princípios e sua metodologia. Este modelo apresenta nítidas vantagens sobre outros modelos de previsão analisados pela SEE. Em primeiro lugar, por ser um modelo desagregado por setor, reduz-se o denominado “erro de composição estrutural”. “Erros de composição estrutural” ocorrem quando a composição estrutural implícita nos parâmetros de um modelo não representam mais a composição estrutural real, levando a erros na determinação da variável dependente. Por exemplo, um modelo econométrico de previsão de uso de energia que tenha o Produto Interno Bruto (PIB) como variável explicativa está pressupondo uma dada composição setorial (implícita nos parâmetros) que em algum momento pode não ser mais adequada (diferente da realidade), provocando erros de previsão consideráveis (diferentes setores apresentam demandas específicas por energia distintas). O mesmo pode ocorrer com um modelo de séries temporais.

Em segundo lugar, este modelo permite a intervenção do analista (“modelo de

intervenção”), que pode formular hipóteses sobre o comportamento das variáveis do modelo. Tal hipótese pode considerar apenas informações do passado ou pode incorporar expectativas sobre o futuro. Já modelos de regressão (econométricos ou de séries temporais) projetam o futuro com base em informações do passado e não permitem intervenção do analista, sendo modelos “rígidos”. Assim, mesmo que se obtenham informações seguras sobre mudanças futuras (o programa de termelétricas a gás natural do governo federal, por exemplo) não será possível interceder no modelo para que ele considere a mudança (embora sempre seja possível corrigir o erro *a posteriori*). Na verdade, aplicando-se técnicas de simulação ao modelo de previsão proposto, é possível elaborar cenários baseados em modelos de regressão (cenário base ou tendencial) e de intervenção (cenário alternativo).

Nas seções a seguir, discutem-se o conceito de intensidade energética e sua utilização em modelos de previsão (seção II), descreve-se o modelo (seção III), definem-se as fontes de energia e a classificação setorial (seção IV), apresenta-se um exemplo de aplicação do modelo (seção V) e apontam-se considerações finais e desenvolvimentos futuros (seção IV). A aplicação do modelo de previsão baseado em coeficientes setoriais de intensidade energética à economia brasileira (setor a setor) será objeto de notas técnicas subsequentes.

## II. Conceito de Coeficiente de Intensidade Energética e sua utilização em Modelos de Previsão de Uso de Energia:

O uso de energia de um país é função de suas características demográficas, climáticas, econômicas, tecnológicas e socioculturais, as quais podem variar com o tempo<sup>2</sup>. Parte relevante do trabalho de modelagem é justamente identificar os fatores determinantes do uso de energia de um país (ou qualquer outra unidade de referência) e estilizar-los na forma de variáveis e coeficientes (ou variáveis paramétricas). Seguindo a regra da simplicidade<sup>3</sup>, uma prática usual na elaboração de modelos é buscar a sintetização de diversas características de um país em coeficientes de natureza abrangente e aplicá-los a variáveis independentes relevantes.

Face à estreita relação entre atividade econômica e uso de energia nas sociedades modernas, muitos modelos energéticos apoiam-se simplesmente na aplicação de coeficientes de correlação energia/produto sobre indicadores de atividade econômica. É neste contexto que o conceito de intensidade energética se insere<sup>4</sup>. O conceito mais conhecido e utilizado de intensidade energética ( $e_n$ ) relaciona uso de energia total ( $E_n$ ) e produto econômico ( $Y_n$ ) – em geral, PIB como *proxy* –, de uma economia no tempo “n”. Ou formalmente:

$$e_n = E_n / Y_n \quad (1)$$

Neste sentido, o coeficiente de intensidade energética do PIB expressa a quantidade de energia associada a uma unidade de PIB (“x” tEP/US\$ 1, por exemplo). De tal forma que sua aplicação ao produto econômico resulta no uso total de energia do país no tempo “n”. Isto é:

$$E_n = e_n Y_n \quad (2)$$

Aparentemente tautológico, este modelo pode ser utilizado com êxito na previsão do uso de energia se a intensidade energética do PIB ( $e_n$ ) apresentar uma evolução

---

<sup>2</sup> Esta assertiva é verdadeira para qualquer unidade de referência espacial: mundo, continente, país, região, estado, município, bairro, etc.

<sup>3</sup> A regra da simplicidade postula que se dois modelos chegam a resultados semelhantes deve-se optar pela utilização do mais simples.

<sup>4</sup> Outro conceito muito utilizado é o de elasticidade da energia ao PIB ( $m$ ), definido por:

$m = (\Delta E / E) / (\Delta Y / Y)$ , onde E é o uso total de energia e Y é o PIB. CHEVALIER et al. (1986) mostram que a elasticidade da energia ao PIB e o coeficiente de intensidade energética são conceitos associados.

estável, não necessariamente constante, no tempo. Ou seja, se a intensidade energética do PIB ( $e_n$ ) registrar uma trajetória “bem comportada” ou “previsível” ao longo do tempo. Embora esta situação seja possível em épocas de estabilidade tecnológica, estrutural e de padrão de consumo, é pouco provável que tais situações se verifiquem como regra (vide as últimas décadas, por exemplo). PERCEBOIS (1979 e 1989), DARMSTADTER et al. (1977), LEACH et al. (1986), GELLER e ZYLBERSZTAJN (1991), SCHIPPER et al. (1992) entre outros abordam este tipo de problema.

Para superar estes problemas foram desenvolvidas técnicas de decomposição que permitem obter um modelo mais desagregado, explicitando coeficientes e pesos setoriais outrora implícitos (BOYD et al., 1987; SCHIPPER et al., 1992; SCHIPPER e MEYERS, 1993; MARTIN et al., 1994)<sup>5</sup>. Nesta abordagem mais desagregada, o pesquisador ganha margem de manobra, embora veja aumentar o número de hipóteses adicionais que deve estabelecer. Assim, a intensidade energética do PIB ( $e_n$ ) pode ser descrita como a média ponderada dos coeficientes de intensidade energética setoriais:

$$e_n = \sum_i e_{in} \times w_{in} \quad (3)$$

onde:

$e_n [= E_n/Y_n]$  é a intensidade energética da economia no tempo “n”;

$e_{in} [= E_{in}/Y_{in}]$  é a intensidade energética do setor “i” no tempo “n”;

$w_{in} [= Y_{in}/Y_n]$  é o peso do valor agregado (VA) do setor “i” ( $Y_{in}$ ) – *proxy* do produto econômico do setor - no PIB ( $Y_n$ ) no tempo “n”.

Substituindo-se (3) em (2), obtém-se um modelo desagregado por setor:

$$E_n = Y_n \sum_i e_{in} \times w_{in} \quad (4a) \quad \text{ou} \quad E_n = \sum_i e_{in} \times Y_{in} \quad (4b)$$

---

<sup>5</sup> Um estudo sobre a trajetória da intensidade energética da economia brasileira para o período 1973-88 mediante análise de coeficientes setoriais de intensidade energética é apresentado em GELLER e ZYLBERSZTAJN (1991).



Utiliza-se a equação (4a) em abordagens de agregação decrescente (*top-down*); possível apenas quando a unidade da variável de escala é a mesma no total e nos setores (unidades monetárias). Já a equação alternativa (4b) é aplicada quando se quer utilizar como variável de escala ou de nível de atividade unidades físicas distintas por setor. Isto porque em alguns setores o valor agregado (ou outra *proxy* de produto econômico) pode não ser o melhor indicador para aferir a escala ou o nível de atividade do setor<sup>6</sup>. Neste caso, não é possível calcular ponderadores ( $w_{in}$ ), pois a soma de quantidades de produtos de setores distintos não faz sentido (bananas, automóveis, eletrodomésticos, serviços bancários, etc.). Cabe explicitar, portanto, que, em setores cujos produtos sejam homogêneos, o coeficiente de intensidade energética pode ser redefinido para levar em consideração unidades físicas de escala ou nível de atividade, ao invés de unidades monetárias<sup>7</sup>.

Ressalte-se que o nível de desagregação do modelo pode ser redefinido até o nível desejado ou possível, para o qual haja informações disponíveis (em tese, produto a produto). A estrutura de desagregação do modelo, usando os coeficientes de intensidade energética como exemplo (a variável de escala segue a mesma lógica), é apresentada na Fig. 1.

---

<sup>6</sup> FREEMAN et al. (1997) avaliam o efeito sobre a intensidade energética de várias indústrias de se utilizar diferentes indicadores como variável de escala ou de nível de atividade do setor. Em particular, os autores apontam os efeitos de mudanças nos preços dos produtos e/ou dos insumos (dependendo da variável de escala escolhida) na determinação dos coeficientes físico-econômicos de intensidade energética das indústrias consideradas. A recomendação do estudo é sempre que possível utilizar indicadores físicos, pois estes não estão sujeitos a variações de natureza meramente monetária.

<sup>7</sup> Parte da literatura especializada prefere denominar “conteúdo energético” ou “consumo específico de energia” ou “coeficiente físico de intensidade energética” este coeficiente de intensidade energética cujo denominador é expresso em unidades físicas ao invés de em unidades monetárias (MARTIN et al., 1994; PHYLIPSEN et al., 1998; TOLMASQUIM e SZKLO, 2000). De qualquer forma, a essência do modelo não é modificada, tratando-se apenas de uma discussão semântica.

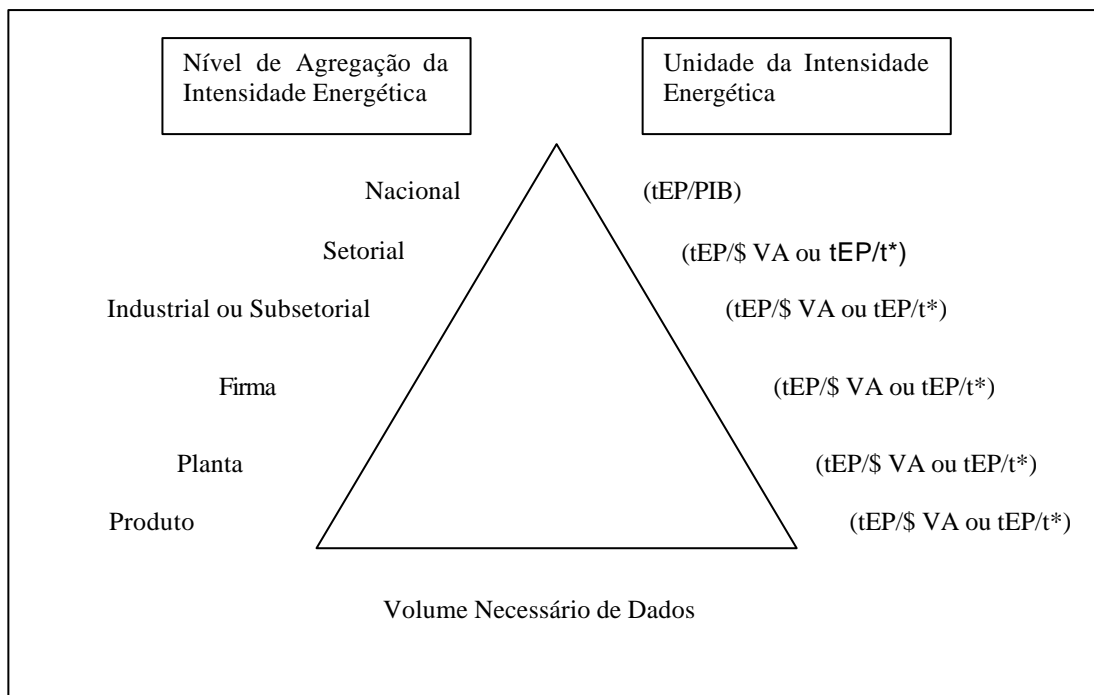


Fig. 1 Triângulo de coeficientes de intensidade energética

Fonte: Baseado em MARTIN et al. (1994)

Nota: \* Coeficientes físicos de intensidade energética só são aplicáveis a produtos com características homogêneas (no limite, produto a produto)

Finalmente, deve-se destacar que a lógica geral do modelo de intensidade energética pode ser adaptada para levar em consideração diferentes fontes de energia e variáveis de escala específicas por setor (toneladas produzidas ou número de domicílios, por exemplo, ao invés de produto econômico), como se mostrará a seguir.

### III. Descrição do Modelo

O modelo de previsão de uso de energia baseado em coeficientes setoriais de intensidade energética proposta por este trabalho segue a mesma lógica apresentada na seção anterior: aplicação de coeficientes de intensidade energética a variáveis de escala ou de nível de atividade. No modelo proposto, contudo, explicita-se a participação relativa das diferentes fontes de energia. Deve-se ressaltar que o modelo proposto desagrega a economia até o nível setorial (subsetorial em alguns casos), embora seja possível desagregá-lo mais se houver necessidade e informações disponíveis. Assim, a expressão formal do modelo é dada por:

$$E_n = \sum_k \sum_i Y_{in} \times s_{in}^k \times e_{in} \quad (5)$$

onde:

$E_n$  é o uso total de energia no tempo “n”;

$Y_{in}$  é a variável de escala (VA, toneladas produzidas, número de domicílios, passageiro/tonelada-km, etc.) do setor “i” no tempo “n”;

$e_{in} [= E_{in} / Y_{in}]$  é o coeficiente de intensidade energética do setor “i” no tempo “n”;

$s_{in}^k [= E_{in}^k / E_{in}]$  é a participação da fonte de energia “k” ( $E_{in}^k$ ) no uso de energia do setor “i” ( $E_{in}$ ) no tempo “n”.

Note que a equação (5) permite encontrar diferentes soluções parciais em função da ordem que se resolve os somatórios:

$$E_n = \sum_i E_{in} = \sum_k E_n^k = \sum_k \sum_i E_{in}^k = \sum_k \sum_i Y_{in} \times s_{in}^k \times e_{in} \quad (5')$$

onde:

$E_{in}$  é o uso total de energia no setor “i” no tempo “n”;

$E_n^k$  é o uso de energia “k” no tempo “n”;

$E_{in}^k$  é o uso de energia “k” no setor “i” no tempo “n”;

Cabe destacar também que, como a agregação dos resultados setoriais na equação (5) é realizada em unidades comuns de energia, não há problema em se utilizar variáveis de escala distintas por setor. Dessa forma, pode-se utilizar, por exemplo, números de domicílios para o setor residencial, valor agregado para o setor de serviços, número de passageiros transportados por quilometro rodado para o subsetor transporte rodoviário de passageiro, toneladas transportadas por quilometro rodado para o subsetor transporte rodoviário de carga, toneladas de aço bruto produzido para o setor siderúrgico, etc. Em outras palavras, nesta abordagem de agregação crescente (“*bottom-up*”), pode-se selecionar como variável de escala o indicador mais adequado (estável) para cada setor, sem que isto acarrete problemas no processo de agregação dos dados setoriais.

Ressalta-se também que é possível associar funções específicas de comportamento para os parâmetros da equação (5): “ $e_{in}$ ” e “ $s_{in}^k$ ”. Tais funções podem ser definidas no tempo (por taxa de variação média anual histórica ou por ajuste de série temporal) ou podem apresentar relações causais com outras variáveis (preço das fontes de energia, por exemplo). A necessidade de se aperfeiçoar ou não as funções de comportamento dos parâmetros dependerá dos resultados obtidos em cada setor.

Neste sentido, setores com parâmetros voláteis merecerão tratamento mais aprofundado e estudos específicos, enquanto setores com parâmetros aparentemente<sup>8</sup> estáveis poderão seguir regras mais simples de projeção. O mesmo ocorre com as variáveis de escala ( $Y_{in}$ ). Ainda que haja instabilidade no comportamento dos parâmetros “ $e_{in}$ ” e “ $s_{in}^k$ ” e das variáveis de escala “ $Y_{in}$ ” do modelo, é possível obter informações relevantes sobre a evolução futura do uso de energia mediante a simulação de cenários alternativos (análise de sensibilidade) para estes componentes do modelo.

SCHIPPER et al. (1992), por exemplo, simulam cenários alternativos (tendencial, estimulado e prioritário) de coeficientes setoriais de intensidade energética por fonte (combustíveis e eletricidade), considerando um único cenário para as variáveis de

---

<sup>8</sup> “Aparentemente” porque só há certeza sobre a estabilidade da trajetória no passado. Sempre existirão incertezas sobre se a estabilidade se manterá no futuro ou não.

escala setoriais (tendencial), para projetar o uso de energia dos países da OCDE com base em um modelo de previsão similar ao aqui proposto. Um versão resumida desse trabalho é apresentada em SCHIPPER e MEYERS (1993).

A elaboração de cenários alternativos é, de fato, um recurso técnico interessante, pois permite trabalhar com uma hipótese de evolução tendencial das variáveis do modelo e, simultaneamente, formular hipóteses alternativas sobre o cenário base (tendencial). Assim, pode-se definir um cenário base a partir de uma hipótese de manutenção da tendência histórica e testar sua sensibilidade a hipóteses alternativas de evolução (por exemplo, “supondo uma maior participação do gás natural na matriz energética, o que aconteceria com o uso de GLP e de gás canalizado?” ou “supondo um crescimento de renda das famílias, o que aconteceria com a intensidade energética do setor residencial?”).

A expressão formal desta técnica aplicada ao coeficiente de intensidade energética é dada por:

*Cenário Base (hipótese de manutenção da tendência)*

$e_{in}^0 = f(e_{i(n-1)}, e_{i(n-2)}, \dots)$ , onde “ $e_{in}^0$ ” é a intensidade energética do setor “i” no tempo “n” projetada por sua tendência histórica (hipótese base ou zero). A tendência histórica pode ser projetada pela taxa média de crescimento anual ou por técnicas estatísticas mais sofisticadas (modelos econométricos ou de séries temporais).

*Cenário Alternativo (hipótese de alteração da tendência)*

$e_{in}' = e_{in}^0 \times ? \times a + e_{in}^0 (1 - a)$ , onde “ $e_{in}'$ ” é a intensidade energética do setor “i” no tempo “n” projetada por mudança na tendência histórica (hipótese alternativa), “?” é o índice de variação potencial em relação à tendência histórica ( $e_{in}' / e_{in}^0$ ) e “a” é a parcela sobre a qual a mudança se aplica (se  $a = 1$ , a mudança se aplica sobre o total; se  $a = 0$ , a mudança não se aplica, de tal forma que  $e_{in}' = e_{in}^0$ ).

A idéia de se utilizar pesos de propagação da mudança é poder simular medidas ou políticas que só se apliquem a uma parcela do total, podendo-se, inclusive, criar curvas de saturação para as mudanças. Suponha, por exemplo, que o BNDES crie um programa de financiamento para a substituição de processos de produção “via úmida”

por “via seca” no setor cimento e que tal substituição promova uma redução de 40% ( $\alpha = 0,6$ ) no uso de energia da produção de cimento. Note que esta informação não está implícita no passado e, portanto, a tendência histórica não a levará em consideração. Tal programa, contudo, só se aplicaria a 8% do setor cimento, que é parcela que ainda utiliza processo de produção “via úmida” ( $\beta = 0,08$ ). Assim:

$$e'_{in} = e_{in}^0 \times 0,6 \times 0,08 + e_{in}^0 (1 - 0,08) = e_{in}^0 (0,968)$$

Em outras palavras, a intensidade energética do setor cimento no cenário alternativo ( $e'_{in}$ ) será 3,2% menor do que a intensidade energética no cenário base ( $e_{in}^0$ ).  
Formalmente:  $(e'_{in} - e_{in}^0) / e_{in}^0 = e_{in}^0 (0,968 - 1) / e_{in}^0 = -3,2\%$ .

Esta mesma lógica pode ser aplicada a outras variáveis do modelo (variável de escala e peso das fontes de energia).

#### IV. Definição das Fontes de Energia e dos Setores do Modelo

Nesta etapa do trabalho de avaliação de modelos pela SEE, está-se interessado somente na previsão da demanda de energia pelos usuários finais<sup>9</sup> da economia brasileira. Assim, o conceito de uso de energia adequado aos objetivos deste trabalho é o de uso final de energia. Ou seja, a energia comprada pelo usuário final mais a energia produzida intra-planta (auto-produção) menos a energia usada na transformação de formas de energia intra-planta (PHYLIPSEN et al., 1998).

Decidiu-se utilizar, ao menos inicialmente, como base para a aplicação deste modelo à economia brasileira as fontes de energia de uso final e classificação setorial (determina o destino da energia final desagregado por setor) definidas pelo Balanço Energético Nacional (MME, 2000). Isto porque o BEN é a fonte oficial de dados de energia para o Brasil, sendo a única publicação abrangente (cobre todas as fontes relevantes), consolidada (balanceia oferta e demanda de energia) e consistente (contrasta informações de diversas fontes para corrigir inconsistências metodológicas e sistêmicas antes de agregá-las) disponível.

Enfatize-se que esta decisão define, implícita e indiretamente, a própria classificação setorial das variáveis de escala ( $Y_{in}$ ). Uma vantagem adicional desta escolha, além de se evitar o trabalho de compatibilização metodológica e consolidação de dados de diferentes referências, é que boa parte das variáveis de escala ( $Y_{in}$ ) necessárias para a aplicação do modelo proposto encontra-se disponível no próprio BEN em classificação compatível com os dados de energia, tornando mais simples a obtenção dos dados requeridos pelo modelo.

Assim, aplicação deste modelo nas próximas notas técnicas seguirá a seguinte definição geral de fontes de energia e de classificação setorial:

##### Fontes de energia final

1. Gás Natural
2. Carvão Vapor

---

<sup>9</sup> Usuários finais de energia são aqueles usuários para quem a conversão de energia não é o objetivo primário de suas atividades (PHYLIPSEN et al., 1998).

3. Carvão Metalúrgico
4. Lenha
5. Produtos da Cana (Bagaço)
6. Outras Fontes Primárias
7. Óleo Diesel
8. Óleo Combustível
9. Gasolina Automotiva
10. Gasolina de Aviação
11. GLP
12. Nafta
13. Querosene
14. Gás de Cidade
15. Gás de Coqueria
16. Eletricidade
17. Carvão Vegetal
18. Álcool Etílico
19. Outras Fontes Secundárias de Petróleo
20. Produtos Não-Energéticos de Petróleo
21. Alcatrão

#### Classificação setorial

1. Agropecuária;
2. Extrativa Mineral;



3. Cimento;
4. Cerâmica;
5. Metalurgia;
  - 5.1. Siderurgia;
  - 5.2. Metais Não-Ferrosos e Outras Metalurgias;
  - 5.3. Ferro-Ligas;
6. Química;
7. Papel e Celulose;
8. Alimentos e Bebidas;
9. Têxtil e Vestuário;
10. Outras Industrias;
11. Energético;
12. Serviços
  - 12.1. Comercial;
  - 12.2. Administração Pública;
  - 12.3. Outros Serviços;
13. Transporte;
  - 13.1. Rodoviário;
  - 13.2. Ferroviário;
  - 13.3. Hidroviário;
  - 13.4. Aéreo;
14. Residencial
15. Não-Energético

Cabe destacar, todavia, que é possível aplicar o mesmo modelo a partir de outras bases de dados. Mas reafirma-se que para um trabalho abrangente, considerando as diferentes fontes de energia, o BEN é a fonte mais apropriada (ainda que sejam necessários alguns ajustes metodológicos a serem explicados em outra oportunidade).

## V. Exemplo de Aplicação do Modelo

Apresenta-se nesta seção uma aplicação do modelo de previsão de uso de energia baseado em coeficientes setoriais de intensidade energética, utilizando-se como exemplo o setor residencial brasileiro. Neste exemplo, considerou-se como variável de escala para o setor residencial o número de domicílios, sendo o coeficiente de intensidade energética do setor definido, portanto, pela razão entre uso de energia e número de domicílios em um dado ano. Os dados utilizados para formular o exercício foram obtidos no BEN e na Pesquisa Nacional Por Amostra de Domicílios (PNAD) – vide MME (2000) e IBGE (1983-1998).

Note-se que, tal como definido neste modelo, o uso de energia é função do número de domicílios e da intensidade com que se usa energia em cada domicílio (intensidade energética do setor residencial). Assim, mudanças no estoque de equipamentos (eletrodomésticos e utensílios domésticos) e em suas características (potência média, fonte de energia utilizada – por exemplo, fogão a gás canalizado, a gás natural, elétrico, a lenha ou a carvão vegetal, etc.) e nos hábitos de uso (tempo médio de utilização, estado de conservação, manutenção, etc.) modificam a intensidade energética do setor residencial (i.e., a “média” de uso de energia por domicílio) e o crescimento habitacional, relacionado ao crescimento populacional, determina o número de domicílios e, portanto, a escala a qual se aplica a intensidade energética do setor residencial. Em outras palavras, com apenas duas variáveis é possível abranger, de maneira sintética, uma série de fatores que influem no uso de energia do setor.

Para que se pudesse avaliar a qualidade da previsão (comparando-se os valores projetados e observados), truncaram-se as séries históricas (período 1983-1998) de uso de energia por fonte e de número de domicílios do setor residencial no antepenúltimo ano (1996)<sup>10</sup>. Assim, projetaram-se os dois últimos anos da série (1997 e 1998), comparando-os com os respectivos valores observados. Cabe ressaltar, contudo, que apesar dos dados serem reais, a projeção realizada para o setor residencial é fruto de um exercício simples de aplicação do modelo. Neste sentido, as hipóteses adotadas para a projeção das variáveis do modelo são preliminares e serão, provavelmente, aperfeiçoadas quando se estiver estudando o setor residencial mais profundamente.

## Hipóteses de Evolução das Variáveis do Modelo

Neste exercício, a hipótese básica para prever as trajetórias da variável de escala (número de domicílios) e das variáveis paramétricas (coeficiente de intensidade energética e participação relativa das fontes de energia) foi a manutenção da taxa de crescimento do último ano observado (1996). Ressalte-se, novamente, que esta é uma hipótese simples, proposta apenas para este exercício e que, provavelmente, será aperfeiçoada no estudo aprofundado do setor residencial. Neste exercício, não se propôs nenhum cenário alternativo para se contrapor ao cenário base (embora isto pudesse ser feito).

A definição desta hipótese baseou-se na observação do comportamento passado das variáveis no período 1983-1996, quando ocorreram muitas modificações nas tendências de evolução das variáveis (vide Figuras 2, 3 e 4). Assim, constatou-se que seria pouco provável que a taxa de crescimento média anual de um período longo (1983-1996 como um todo ou subperíodos longos, como 1990-1996) apresentasse boa performance na projeção das variáveis, pelo menos para a projeção de curto prazo (1997 e 1998). Assim, a projeção do uso de energia do setor residencial neste exercício foi realizada com base em tendências recentes. Todavia, deve-se considerar que a tendência recente pode não se confirmar; ou porque novas mudanças de tendência podem ocorrer (período de instabilidade), ou porque a tendência de curto prazo pode ser apenas um “desvio” da tendência de longo prazo (vide, por exemplo, o período 1989-1991 – colapso do sistema financeiro de habitação e instabilidade aguda de preços).

---

<sup>10</sup> Embora o MME (2000) apresente dados até 1999, decidiu-se não utilizar os valores de 1999, visto que os dados do último ano da série apresentada no BEN são sempre revisados no ano seguinte.

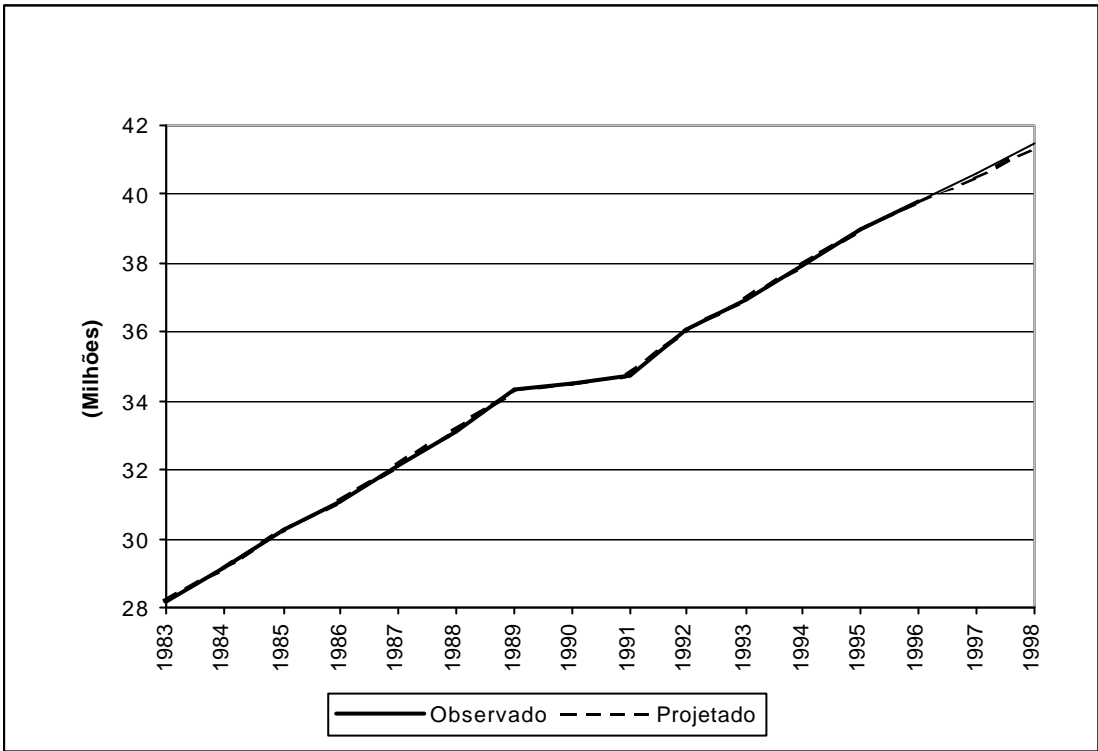


Fig. 2 Evolução do Número de Domicílios  
 Fonte: Baseado em IBGE (1983-1998)

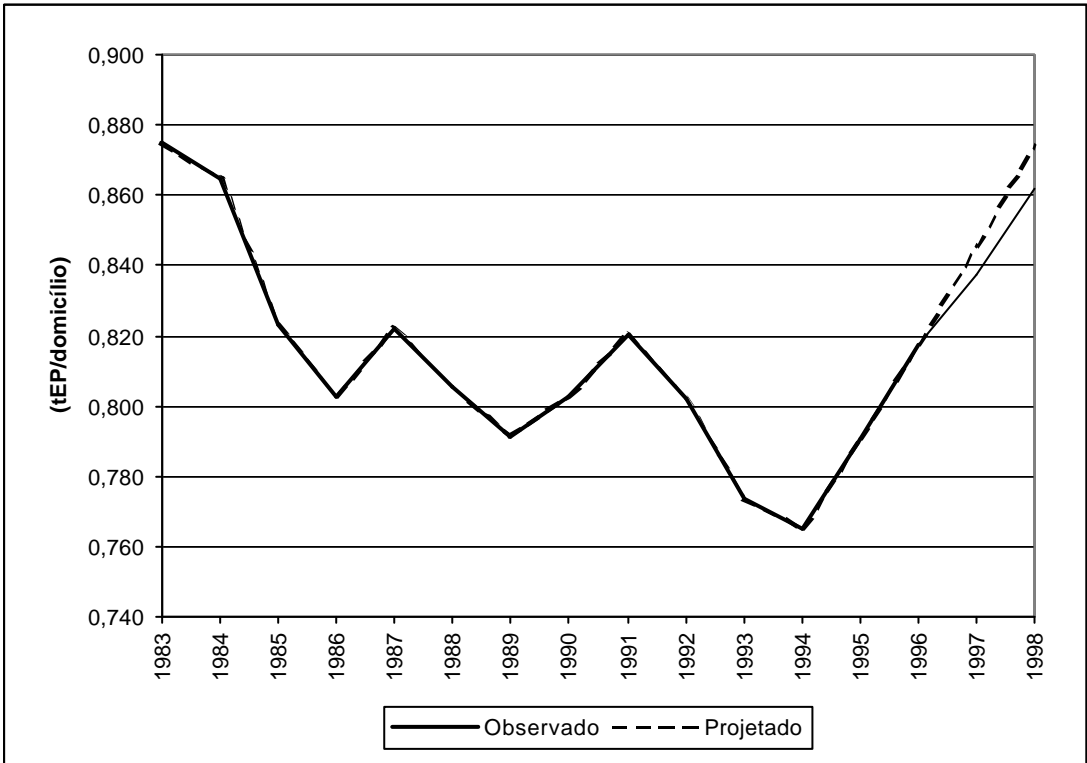


Fig. 3 Intensidade Energética do Setor Residencial  
 Fonte: Baseado em MME (2000) e IBGE (1983-1998)

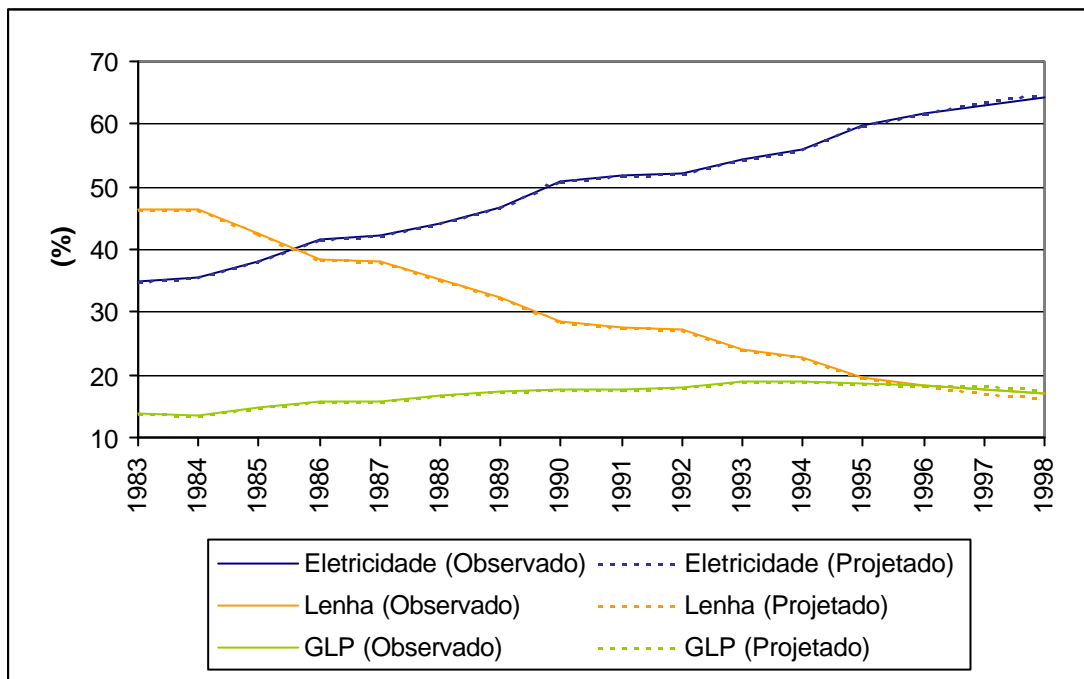


Fig. 4 Participação Relativa por Fonte no Uso Final de Energia (I)  
Fonte: Baseado em MME (2000)

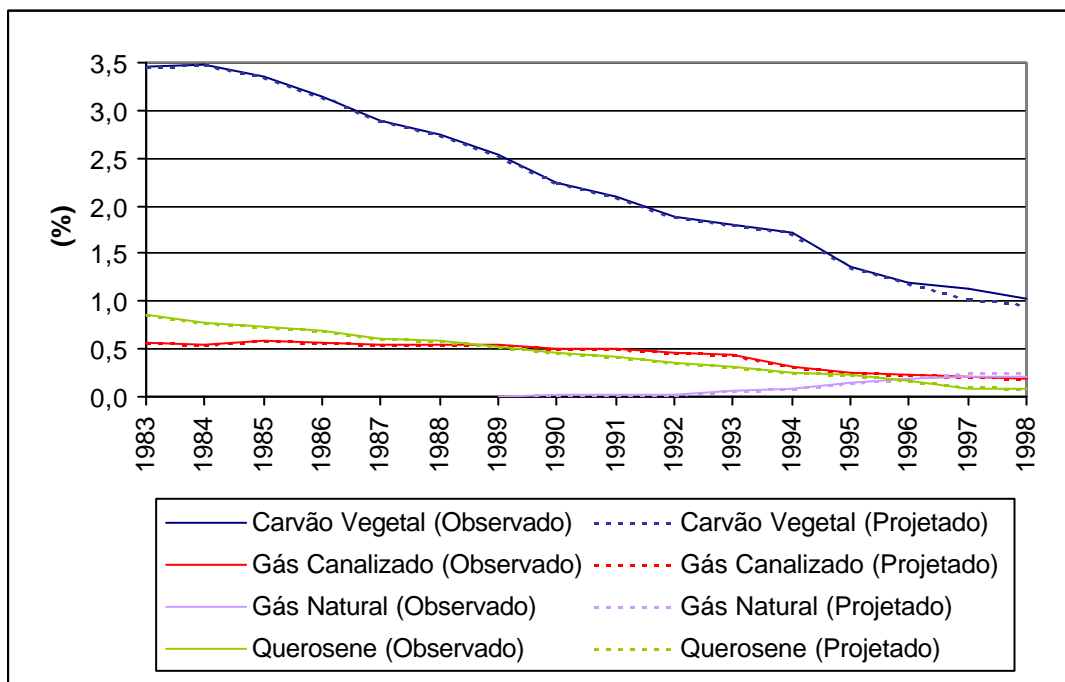


Fig. 5 Participação Relativa das Fontes no Uso Final de Energia (II)  
Fonte: Baseado em MME (2000)

## Projeção do Uso de Energia e Avaliação dos Resultados

Estimados o número de domicílios, a intensidade energética do setor residencial e a participação relativa das fontes de energia final para os anos de 1997 e 1998, a projeção do uso de energia do setor residencial por fonte pode ser realizada a partir da aplicação do modelo de previsão proposto (vide equação 5, seção III).

A Tabela 1 apresenta as estimativas de número de domicílios, intensidade energética e participação relativa das fontes para os anos 1997 e 1998, bem como a projeção do uso de energia por fonte para o setor residencial nos mesmos anos.

Tabela 1 Estimativas das Variáveis do Modelo e Resultados

	1997	1998
Número de Domicílios (Milhões)	40,5	41,3
Intensidade Energética (tEP/Domicílio)	0,845	0,874
Gás Natural (%)	0,2	0,3
Lenha (%)	16,9	16,3
GLP (%)	18,2	17,5
Querosene (%)	0,1	0,1
Gás Canalizado (%)	0,2	0,2
Eletricidade (%)	63,5	65,0
Carvão Vegetal (%)	1,0	1,0
Uso de Energia Final (1000 tEP)	34343	36259
Gás Natural (1000 tEP)	85	95
Lenha (1000 tEP)	5795	5899
GLP (1000 tEP)	6250	6335
Querosene (1000 tEP)	39	27
Gás Canalizado (1000 tEP)	72	67
Eletricidade (1000 tEP)	21751	23484
Carvão Vegetal (1000 tEP)	350	352

Fonte: Baseado em MME (2000) e IBGE (1983-1998)

À guisa de exemplo, o uso de GLP no setor residencial em 1998 apresentado na Tabela 1 é projetado por (número de domicílios x intensidade energética x participação relativa do GLP):  $(41,3 \times 10^6) \times (0,874) \times (17,5/100) \approx 6335$  mil tEP [o erro de aproximação desaparece quando se utilizam mais casas decimais].

Resta, então, contrastar os resultados da projeção e os valores efetivamente observados a fim de avaliar a qualidade das hipóteses de evolução das variáveis do

modelo. Cabe ressaltar que esta avaliação é relativa à qualidade das hipóteses e não à qualidade do modelo, visto que é possível definir diferentes hipóteses sobre o comportamento das variáveis. O problema é que em períodos de alta instabilidade ou incerteza é pouco provável que se consiga definir uma hipótese que antecipe corretamente o comportamento das variáveis.

A Tabela 2 apresenta uma avaliação dos resultados obtidos com a projeção do uso de energia para o setor residencial. Constata-se que os resultados registram desvios aceitáveis para a maior parte das fontes; sobretudo, para o uso total de energia e para as principais fontes (eletricidade, lenha e GLP). Os maiores desvios ocorrem em fontes com menor participação relativa, sinalizando que pequenas diferenças absolutas resultam em grandes desvios relativos (o que não afeta a qualidade da projeção do uso total, nem das fontes mais importantes). Destaque-se também que estas fontes menos significativas são também fontes que estão passando por processos de substituição consideravelmente instáveis no curto prazo (grande variação nas taxas de crescimento anual).

Tabela 2 Uso de Energia do Setor Residencial: Avaliação dos Resultados

	Projetado (1000 tEP)		Observado (1000 tEP)		Desvio (%)	
	1997	1998	1997	1998	1997	1998
Gás Natural	85	95	69	75	24	26
Lenha	5795	5899	5986	6136	-3	-4
GLP	6250	6335	6022	6078	4	4
Querosene	39	27	30	28	31	-4
Gás Canalizado	72	67	68	68	6	-1
Eletricidade	21751	23484	21480	23020	1	2
Carvão Vegetal	350	352	386	371	-9	-5
Total	34343	36259	34041	35776	1	1

Fonte: Baseado em MME (2000) e IBGE (1983-1998)

Independente da boa performance geral das hipóteses propostas neste exercício é importante empreender estudos mais aprofundados para o setor residencial. Isto porque embora a hipótese de comportamento das variáveis proposta (manutenção da taxa de crescimento de 1996) tenha se mostrado apropriada para 1997 e 1998, o mesmo pode não ocorrer em outros períodos.

## VI. Considerações Finais e Desenvolvimentos Futuros

Esta nota técnica teve como objetivo apresentar um modelo de previsão de uso de energia baseado em coeficientes setoriais de intensidade energética, discutindo-se seus princípios e aspectos metodológicos. A idéia subjacente ao modelo é a definição de poucas variáveis abrangentes que permitam sintetizar os vários fatores que determinam o uso de energia de uma economia, estabelecendo hipóteses sobre seus comportamentos no futuro. Tais hipóteses podem estar ancoradas em técnicas estatísticas mais sofisticadas (funções econométricas ou séries temporais) ou não (taxa média de crescimento anual ou expectativa de mudança – de um especialista, por exemplo).

A vantagem deste tipo de modelo é que o analista tem uma margem de intervenção maior sobre o modelo, não ficando restrito às trajetórias passadas, embora possa levá-las em conta, para determinar as trajetórias futuras das variáveis do modelo. Em períodos de grandes mudanças, esta flexibilidade pode ser decisiva para o êxito de um modelo de previsão, desde que as mudanças sejam “previsíveis” (por exemplo, o impacto sobre o uso de gás natural do programa de termelétricas do governo federal). Ainda assim, freqüentemente a escassez de informação sobre o futuro e/ou as incertezas sobre o comportamento das variáveis tornam a definição de hipóteses “robustas” uma tarefa difícil.

Não obstante, deve-se estar ciente de que em “modelos de intervenção” os erros de previsão estão mais associados à ignorância do analista acerca do futuro, e por conseguinte à adoção de hipóteses equivocadas sobre o comportamento das variáveis, do que à natureza do modelo. De fato, a confusão entre qualidade das hipóteses e do modelo é freqüente. É comum se questionar a adequação e/ou qualidade de um dado modelo quando suas previsões malogram. Todavia, no caso de “modelos intervenção”, o problema não está propriamente no modelo em si, mas nas hipóteses de comportamento das variáveis; ou seja, na “calibragem” do modelo.

Já no caso de “modelos de regressão” (econométrico ou de séries temporais) há muitas condições implícitas, expressas nos parâmetros do modelo, que são “engessadas” pelo passado (em busca do melhor ajuste da série histórica). Neste caso, mesmo que fosse dado ao analista a possibilidade de consultar oráculos



(divindades da mitologia grega que prediziam o futuro) sobre o comportamento futuro das variáveis do modelo, nada poderia ser feito pois estes modelos não permitem intervenção. Alternativamente, em “modelos de intervenção” o analista pode determinar o comportamento das variáveis, permitindo, em tese, melhor performance de previsão do que os “modelos de regressão” - caso haja informações adicionais, além da tendência histórica, sobre o futuro.

Como no caso de “modelos de intervenção” também são vedadas ao analista as consultas aos oráculos, resta ao analista empreender testes de sensibilidade do modelo, simulando diferentes hipóteses de comportamento para as variáveis do modelo. A utilização de técnicas de simulação, possível apenas em “modelos de intervenção”, permite ao analista verificar, de maneira sistemática, o efeito de eventos específicos (cenários alternativos) sobre os resultados (projeções).

### ***Desenvolvimentos Futuros***

Definidos os princípios e a metodologia do modelo de previsão baseado em coeficientes setoriais de intensidade energética proposto nesta nota técnica, cabe aplicá-lo à economia brasileira. Para tal, decidiu-se aplicar o modelo proposto setor a setor (estudos setoriais), divulgando seus resultados em futuras notas técnicas. Enfatize-se que para cada setor identificar-se-á os fatores fundamentais que determinam o comportamento das variáveis do modelo, conferindo maior consistência à elaboração das hipóteses de comportamento das variáveis. Cobertos todos os setores, divulgar-se-á uma nota técnica adicional, enfocando-se a projeção do uso de energia final por fonte e a contribuição dos diferentes setores ao total por fonte.

À guisa de conclusão, ressalta-se que o procedimento de trabalho envolverá a determinação de um cenário base, construído a partir da extrapolação das tendências de evolução das variáveis do modelo, e de cenários alternativos, procurando-se simular diferentes hipóteses de comportamento para as variáveis. No caso do cenário base, utilizar-se-á métodos estatísticos sofisticados (modelos econométricos ou de séries temporais) para derivação das tendências de evolução das variáveis do modelo. Realizadas as simulações, o cenário que for considerado o mais provável será utilizado como referência de previsão.

## VII. Referências

- BOYD, G., MCDONALD, J.F., ROSS, M. e HANSON, D.A. (1987). "Separating the Changing Composition of US Manufacturing Production from Energy Efficiency Improvements: A Divisia Index Approach", *The Energy Journal*, 8 (2): pp. 77-96.
- CHEVALIER, Jean-Marie, BARBET, Philippe e BENZONI, Laurent (1986). *Économie de L'Énergie*. Paris: Dalloz.
- DARMSTADER, J., DUNKERLY, J. and ALTERMAN, J., (1977). *How industrial societies use energy? A comparative analysis*. Baltimore, London: John Hopkins University.
- FREEMAN, Scott L., NIEFER, Mark J. e ROOP, Joseph M. (1997). "Measuring Industrial Energy Intensity: Practical Issues and Problems", *Energy Policy*, 25 (7-9): pp. 703-714.
- GELLER, Howard S. e ZYLBERSZTAJN, David (1991). "Energy-Intensity Trends in Brazil", *Annual Review of Energy*, 16: pp. 179-203.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas (1976). *Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Economic Essays*. New York: Pergamon (1ª versão em 1972, texto de discussão apresentado em palestra na Universidade de Yale).
- IBGE (1983-1998). Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios. Rio de Janeiro: IBGE.
- LEACH, Gerald, LORENZ, Jarass, OBERMAIR, Gustav e HOFFMANN, Lutz (1986). *Energy and Growth: A Comparison of 13 Industrial and Developing Countries*. Guilford: Butterworth Scientific.
- MARTIN, Nathan, WORRELL, Ernst, SCHIPPER, Lee e BLOK, Kornelis (1994). *International Comparisons of Energy Efficiency*. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory (workshop proceedings).
- MME (2000). *Balanço Energético Nacional*. Brasília: Ministério de Minas e Energia.

- ODUM, Eugene P. (1988). *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- PERCEBOIS, Jacques (1979). "Is the Concept of Energy Intensity Meaningful?", *Energy Economics*, 1 (3): pp. 148-155.
- PERCEBOIS, Jacques (1989). *Économie de L'Énergie*. Paris: Économica.
- PHYLIPSEN, G.J.M., BLOK, K., WORRELL, E. (1998). *Handbook on International Comparisons of Energy Efficiency in the Manufacturing Industry*. Utrecht: Utrecht University.
- SCHIPPER, Lee, MEYERS, Stephen, HOWARTH, Richard e STEINER, Ruth (1992). *Energy Efficiency and Human Activity: Past Trends, Future Prospects*. Cambridge: Cambridge University Press.
- SCHIPPER, Lee e MEYERS, Stephen (1993). "Using Scenarios to Explore Future Energy Demand in Industrialized Countries", *Energy Policy*, 21 (3): pp. 264-275.
- TOLMASQUIM, Maurício T. e SZKLO, Alexandre S. [Coords.] (2000). *A Matriz Energética Brasileira na Virada do Milênio*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ; ENERGE.
- YERGIN, Daniel (1993). *O Petróleo: Uma História de Ganância, Dinheiro e Poder*. São Paulo: Scritta.