

PREVISÃO DO CONSUMO DE PETRÓLEO NO BRASIL POR MEIO DE MODELOS DE INTENSIDADE DE ENERGIA

André T. Furtado¹

Saul B. Suslick²

1. Introdução

A relação entre a evolução do consumo de petróleo no Brasil e o produto econômico é utilizada neste trabalho como uma técnica de previsão. Pode-se definir a intensidade de energia - IE, a nível agregado, como a razão entre o consumo energético total de um setor ou de um determinado energético e o PIB setorial ou total. Esta razão permite uma abordagem da eficácia relativa de um sistema energético, tanto em relação ao tempo, como espacialmente.

A vantagem desta relação reside na sua fácil operacionalização, pois o consumo de energia é geralmente contabilizado em termos físicos, por exemplo em toneladas equivalentes de petróleo, e o PIB em unidades monetárias. Através dos coeficientes de conversão ou de equivalência é possível avaliar as diferentes formas de energia - carvão, petróleo, gás natural, eletricidade - em bases comuns.

Uma análise detalhada sobre a conceito de IE e suas implicações macroeconômicas pode ser encontrada em Percebois (1979). As interrelações entre o consumo de energia e o PIB foram investigadas por Criqui (1982) e uma aplicação do método ao caso brasileiro em Araújo e Oliveira (1984).

Apesar de sua importância como instrumento de previsão, são pouco freqüentes no Brasil os trabalhos envolvendo estudos de projeção de produtos energéticos em termos de macrotendências.

A escolha do IE como parâmetro para a previsão se justifica devido a sua facilidade de modelização. Tendo em vista que se trata de uma razão que tem o PIB como referência, torna-se mais operacionalizável prever o seu comportamento que o consumo energético isoladamente. Trata-se de um recurso visando capturar com mais eficiência as variações presentes na série histórica de consumo energético, possibilitando a sua modelização e previsão.

Neste trabalho será utilizada a relação entre o consumo aparente de petróleo e o PIB, aqui denominada de intensidade energética do petróleo - IEP. A título exploratório, serão avaliados três tipos de modelagens da técnica de IEP. Um primeiro modelo utilizando-se dos métodos de análise de tendências por meio de simples projeções das séries temporais. Uma segunda abordagem empregando-se os modelos de aprendizado ("learning"), e, por último uma previsão baseada no ajuste por meio de modelos translog.

O objeto da previsão é o consumo aparente de petróleo no Brasil no ano 2000, baseando-se em séries históricas de 1960 a 1990. Os testes dos modelos cobrem o intervalo "ex-post"³ de 1985 - 1990, utilizando-se o erro médio quadrático - AAE como critério de aferição.

Uma análise extensiva dos principais determinantes do consumo de petróleo é abordada, com objetivo de auxiliar a modelização e a projeção do consumo no ano 2000 para os diferentes cenários.

2. Consumo de petróleo no Brasil

O período de trinta anos, de 1960 a 1990, que foi utilizado como base para construir as projeções estatísticas, foi preliminarmente objeto de uma análise histórica. Esse período está dividido em duas grandes etapas (figura 1). Uma primeira, vai de 1960 a 1973, quando ocorre a difusão do consumo do petróleo no Brasil. Este energético torna-se a principal fonte da matriz energética do país, deslocando a lenha. A segunda etapa tem início a partir do primeiro choque do petróleo, quando a economia do país procede a uma progressiva reconversão de sua matriz energética. Para poder entender melhor a evolução do consumo e da intensidade energética do petróleo se utilizou certas ferramentas analíticas com a finalidade de se elucidar as principais mudanças estruturais da relação energia e economia nas últimas décadas no Brasil. De fato, o consumo de petróleo, C_{petro} , e a intensidade energética do petróleo, IEP, podem ser equacionados da seguinte maneira:

¹ Departamento de Política Científica e Tecnológica, Instituto de Geociências, UNICAMP

² Departamento de Administração e Política de Recursos Minerais, Instituto de Geociências, UNICAMP

³ Comparação entre os valores observados e os estimados pelos modelos

$$C_{\text{petro}} = (C_{\text{petro}}/C_t) \cdot (C_t/\text{PIB}) \cdot \text{PIB} \quad (1)$$

ou ainda

$$\Delta C_{\text{petro}} = \Delta(C_{\text{petro}}/C_t) \cdot \Delta(C_t/\text{PIB}) \cdot \Delta(\text{PIB}) + \varepsilon \quad (2)$$

onde:

ε = resíduos;

$\Delta(C_{\text{petro}}/C_t)$ = efeito estufa;

$\Delta(C_t/\text{PIB})$ = efeito conteúdo;

C_t = consumo total das fontes energéticas secundárias

ou ainda, na forma de intensidade de petróleo:

$$\Delta \text{IEP} = \Delta(C_{\text{petro}}/\text{PIB}) = \Delta(C_{\text{petro}}/C_t) + \Delta(C_t/\text{PIB}) + \varepsilon \quad (3)$$

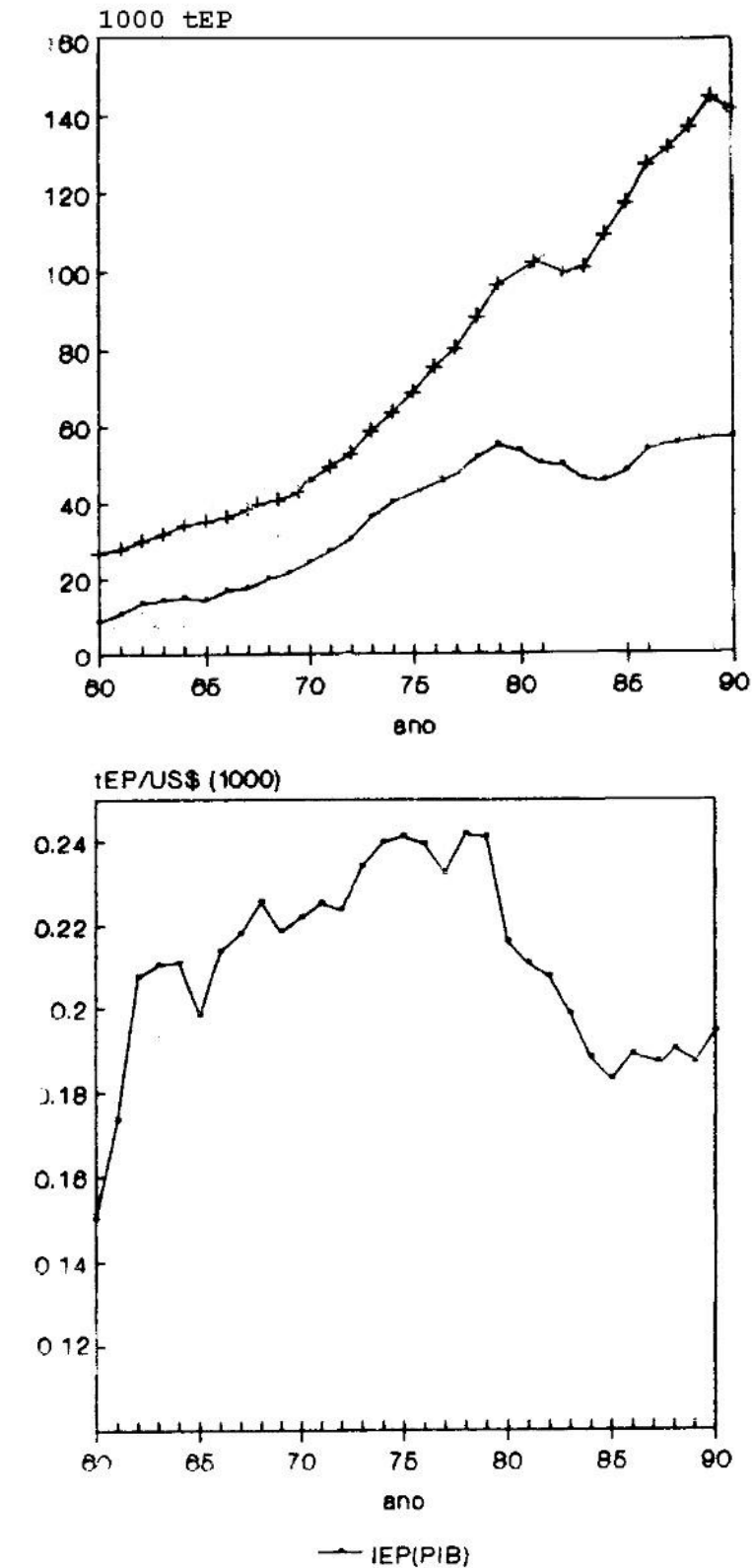


Figura 1 - Consumo das fontes energéticas secundárias e do petróleo e Intensidade energética do petróleo

A equação (3) indica que a intensidade do consumo de petróleo em função do PIB irá depender, fundamentalmente, de como evoluirão a participação do petróleo na matriz energética (efeito estrutura) e a própria intensidade energética do PIB (efeito conteúdo). Porém, para se analisar o comportamento do consumo, se utilizará, doravante, a equação (2).

2.1 O período 60-73, de difusão do consumo de petróleo

Este período se caracteriza pela ampla difusão do consumo de petróleo na economia brasileira. A participação do petróleo alcançou o seu ponto máximo na matriz energética brasileira em 1973-74⁴.

No entanto, nesse período se observa duas fases distintas; uma primeira que se estende de 1960 a 1967 e outra que vai de 1967 a 1973. Embora nessas duas fases o consumo de petróleo tenha crescido a taxas semelhantes, as causas foram diferentes, como pode ser observado utilizando-se a equação (2) (tabela1).

$$\Delta C_{\text{petro}} = \Delta(C_{\text{petro}}/C_t) + \Delta(C_t/\text{PIB}) + \Delta \text{PIB} + \varepsilon$$

$$11,07 = 5,54 + 0,10 + 5,20 + 0,23 : 1960 \text{ a } 1967$$

$$12,33 = 4,06 - 2,88 + 11,14 + 0,21 : 1967 \text{ a } 1973$$

Na fase de 1960 a 1967 verifica-se que o rápido crescimento do consumo de petróleo teve como causas principais tanto a rápida penetração deste energético na matriz energética nacional (efeito estrutura) como o crescimento da economia. A intensidade de petróleo do PIB, IEP aumentou consideravelmente nessa etapa 5,51 %a.a.- devido ao efeito estrutura positivo (tabela 1).

Tabela 1 - Variação média anual dos percentuais dos principais determinantes do consumo de petróleo

ano	$\Delta C_{\text{petro}}/C_t$	$\Delta C_t/\text{PIB}$	ΔC_{petro}	ΔPIB	ΔIEP	ΔC_t
1960-67	5,54	0,10	11,07	5,20	5,51	5,23
1967-73	4,06	-2,88	12,33	11,14	1,06	7,93
1973-79	-2,62	0,97	5,10	6,90	-1,64	7,89
1979-85	-3,93	1,91	0,13	2,28	-2,16	4,18
1985-90	-1,22	1,99	1,44	0,77	0,73	2,76

C_{petro} = consumo aparente de petróleo;

C_t = consumo total de fontes energéticas secundárias;

$\text{IEP} = C_{\text{petro}}/\text{PIB}$;

Dados de consumo: Balanço Energético Nacional (vários anos);

Dados de PIB: Relatório do Banco Central (vários anos), FGV (vários anos).

Na fase seguinte, de 1967 a 1973, percebe-se um comportamento bastante distinto dos efeitos, embora o consumo se comporte quase que da mesma forma. De fato, o PIB cresceu a taxas muito superiores, em função do chamado "milagre econômico", tornando-se o fator principal de aumento do consumo. Mesmo assim, o petróleo prosseguiu sua penetração dentro da matriz energética nacional. Porém, o consumo de petróleo somente não aumentou mais porque houve uma queda do

efeito conteúdo, - 2,88% a.a.. As razões desse processo já foram analisadas em outros estudos. Elas tem origem em mudanças substanciais na estrutura produtiva nacional e no conseqüente aumento do coeficiente de importações da economia (Furtado, 1985) .

2.2 O período 1973 a 1990, de substituição do petróleo

Esse período também é bastante heterogêneo, embora ele tenha sido marcado pelo recuo constante da participação relativa do petróleo na matriz energética nacional. Ele foi dividido em três fases.

A primeira fase, que compreende o período entre os dois choques dos preços do petróleo, de 1973 a 1979, esteve marcada pelo prosseguimento do crescimento do consumo de petróleo, 5,1% a.a., como pode ser visto abaixo:

$$\Delta C_{\text{petro}} = \Delta(C_{\text{petro}}/C_t) + \Delta(C_t/\text{PIB}) + \Delta \text{PIB} + \varepsilon$$

$$5,10 = -2,62 + 0,97 + 6,90 - 0,15 : 1973 \text{ a } 1979$$

⁴ 62%, contra 32% em 1960

As causas desse aumento do consumo são fundamentalmente o crescimento da economia, que foi bastante elevado comparando-se com as etapas seguintes. No entanto, já se esboça, a partir do primeiro choque, um significativo recuo na participação do petróleo dentro da matriz energética nacional (efeito estrutura), ao mesmo tempo em que aumenta o efeito conteúdo, 0,97% a.a.. Esse aumento da IE foi causado por mudanças na estrutura produtiva, que decorreram essencialmente da intensificação do processo de substituição das importações, com o II PND. Nota-se, conseqüentemente, que a IEP começa a cair, -1,64% a.a., principalmente em função do efeito estrutura, assinalado acima.

Na fase seguinte, de 1979 a 1985, a economia brasileira sofre o impacto do segundo choque dos preços do petróleo, ao qual se associa a crise do Balanço de Pagamentos, que obrigará a realização de ajustes muito mais profundos na matriz energética, com vistas à redução da dependência das importações de petróleo.

Durante essa fase, o consumo de petróleo praticamente estagna, como pode ser visto abaixo:

$$\Delta C_{\text{petro}} = \Delta(C_{\text{petro}}/C_t) + \Delta(C_t/\text{PIB}) + \Delta \text{PIB} + \varepsilon$$

$$0,13 = -3,93 + 1,91 + 2,28 + 0,13 : 1979 \text{ a } 1985$$

Observa-se a intensificação da substituição (efeito estrutura) do petróleo por outros energéticos. De fato, o efeito estrutura negativo reflete, nesta etapa, a substituição entre energéticos, enquanto na etapa anterior tratava-se muito mais de mudanças na estrutura produtiva, que tiveram importantes desdobramentos sobre o consumo energético. A substituição de petróleo que ocorreu na fase 1979 a 1985 se deu da seguinte forma: substituiu-se óleo combustível, principalmente no setor industrial, por eletricidade industrial, carvão vapor e carvão vegetal (Furtado, 1990). No setor de transportes a gasolina foi deslocada pelo álcool etílico produzido a partir da cana de açúcar.

Por outro lado, a IE aumenta ainda mais por causa da intensificação da industrialização por substituição de importações e da guinada exportadora que adota a economia brasileira para fazer frente às necessidades de realizar importantes saldos comerciais positivos. O PIB, embora com um desempenho irregular e inferior à média histórica, teve um papel positivo sobre o crescimento do consumo. Como resultante dessas forças contraditórias, a IEP continua a cair, mesmo porque o consumo de petróleo cresceu bem menos que o PIB.

A etapa mais recente, que transcorre de 1985 a 1990, se caracteriza pela continuação e, até certo ponto, a agravação da crise econômica na qual o país está imerso. No entanto, o consumo de petróleo volta a aumentar.

Essa evolução pode ser observada abaixo:

$$\Delta C_{\text{petro}} = \Delta(C_{\text{petro}}/C_t) + \Delta(C_t/\text{PIB}) + \Delta \text{PIB} + \varepsilon$$

$$1,44 = -1,22 + 1,99 + 0,77 - 0,10 : 1985 \text{ a } 1990$$

A volta do crescimento do consumo, embora modesta, está associada a mudanças no panorama internacional, que levaram à queda do preço internacional, e também nacional, do petróleo. No entanto, o efeito estrutura continuou sendo negativo, porém a um nível bastante inferior ao que foi observado anteriormente. Em compensação, o efeito conteúdo continuou crescendo a uma taxa muito elevada, demarcando uma tendência da economia brasileira, que se configura após o primeiro choque do petróleo e se aprofunda durante a década de 80.

Por seu lado, o PIB teve um crescimento praticamente nulo no período, em grande parte em função da sua espetacular retração no ano de 1990. Como resultado desse processo, observou-se uma surpreendente retomada do crescimento da IEP, que foi de 0,73% a.a..

3. Metodologia

O roteiro das principais etapas a serem seguidas para a previsão do consumo de petróleo e da IEP é análogo ao utilizado por Suslick (1990) para o caso das substâncias minerais. Os dados que foram usados para o exercício prospectivo referem-se ao consumo aparente de petróleo nas três últimas décadas (1960-90). A seqüência dos passos pode ser descrita da seguinte forma:

- Ajuste de uma função ao PIB ou PIB per capita. No caso brasileiro, o melhor ajuste foi dado por uma exponencial modificada para ambas as variáveis;
- Cálculo da IEP e ajuste por meio de diferentes modelos: logístico, "learning" e translog;
- Avaliação dos resultados por meio do erro médio relativo - AAE;

- Previsão do consumo no ano 2000, baseado em cenários para o PIB (IPEA,1991) e preços relativos do petróleo e seus substitutos.

Diversos autores abordaram o uso da razão intensidade de energia para a projeção do consumo de produtos energéticos. Bensussan e Guerra (1991) afirmam que a correlação entre o PIB e a demanda de energia não possuem um comportamento linear, principalmente a partir de 1973, devido ao primeiro choque de petróleo. A falta de correlação se torna mais evidente após o segundo choque, ocorrido em 1979, conforme assinalado anteriormente. Em função da complexidade dessas relações, foram construídos modelos extremamente detalhados como o MEDEE (Chateau e Lapillone, 1977).

Neste trabalho, porém, se está analisando tendências macroeconômicas de longo prazo e séries históricas longas; nesse caso, a utilização do PIB favorece o uso da IEP como instrumento de previsão, pois não se está investigando a estrutura e o consumo dos energéticos individualmente dentro de cada setor da economia.

Na metodologia aqui empregada, os dois primeiros modelos - logístico e "aprendizado" - relacionam o consumo de petróleo com a atividade econômica, enquanto no modelo translog utiliza-se o preço do petróleo, dos seus substitutos e a componente tecnológica numa tentativa de capturar todos os efeitos explicativos da variação global da razão entre a quantidade de petróleo consumida, D_t , e a renda nacional, Y_t , expressa tanto na forma de PIB ou PNB. O modelo de intensidade de energia do petróleo (IEP) pode ser descrito da seguinte forma:

$$IEP_t = D_t/Y_t = f(y_t) \quad (4)$$

Malenbaum (1978) mostrou para as substâncias minerais que a intensidade de uso em função da renda per capita, y , exibe a forma de um "U" invertido, ou seja, assimetria negativa, para economias altamente industrializadas. A relação funcional aproxima-se de uma distribuição lognormal.

Embora esta técnica seja bastante simples e fácil de aplicar, ela não incorpora diversos elementos determinantes no consumo dos energéticos, tais como importações e exportações, efeitos dos preços na substituição dos energéticos e da tecnologia na inovação e economia de energia.

Numa tentativa de preservar a robustez do padrão lognormal pode-se desenvolver a equivalência entre os modelos lognormal e translog, baseando-se na variação da elasticidade - renda, conforme segue:

$$IEP_t = (K/\sigma\sqrt{2\pi}) e^{-\frac{1}{2}((\ln y_t - \mu)/\sigma)^2} = A_0 y_t^{B_0 + B_1 \ln y_t} \quad (5)$$

onde:

K , σ e μ são parâmetros da curva lognormal, e A , B_0 e B_1 são parâmetros da função translog⁵.

Partindo da definição de IEP, tem-se:

$$IEP_t = D_t/Y_t = (D_t/POP_t)/(Y_t/POP_t) = d_t/y_t \quad (6)$$

A equação (6) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$d_t = IEP_t \cdot y_t \quad (7)$$

onde d_t e y_t são o consumo de petróleo per capita e a renda per capita, respectivamente, e POP_t é a população no tempo t . Para os modelos lognormal e translog tem-se a seguinte equivalência:

$$d_t = A y_t^{\beta_0 + 1 + \beta_1 \ln y_t} \Leftrightarrow IEP_t = A y_t^{\beta_0 + \beta_1 \ln y_t}$$

Finalmente, tem-se:

$$D_t = d_t \cdot POP_t = IEP_t \cdot Y_t$$

Deste modo, a elasticidade-renda da demanda de petróleo per capita é $\beta_0 + 1 + \beta_1 \ln y_t$, e a elasticidade-renda da intensidade energética do petróleo é $\beta_0 + \beta_1 \ln y_t$.

Definindo o modelo translog por $T(y, B)$, onde $B' = [A, B_1, B_2]$, e recorrendo-se à teoria da demanda derivada, que postula uma descrição mais abrangente da IEP, onde participam o preço do

⁵ $\ln A = \ln K - \ln \sqrt{2\pi} - \mu^2/\sigma^2$
 $\beta_0 = \mu/\sigma^2$
 $\beta_1 = -1/\sigma^2$

petróleo, P , o preço de um energético substituto, P_e , e a mudança tecnológica, z , tem-se o modelo abaixo:

$$IEP_t = T(y, P, P_s, \tau, \Omega) \quad (10)$$

onde Ω é vetor dos coeficientes do modelo translog expandido. Utiliza-se, usualmente, a regressão passo a passo para se eliminar os produtos cruzados das variáveis redundantes.

Tendo em vista a dificuldade de obtenção de informações detalhadas dos usos setoriais e finais para determinar as quantidades energéticas nos diversos produtos que contém petróleo nas importações e exportações brasileiras, serão utilizados os dados de IEP baseados no consumo secundário aparente de petróleo.

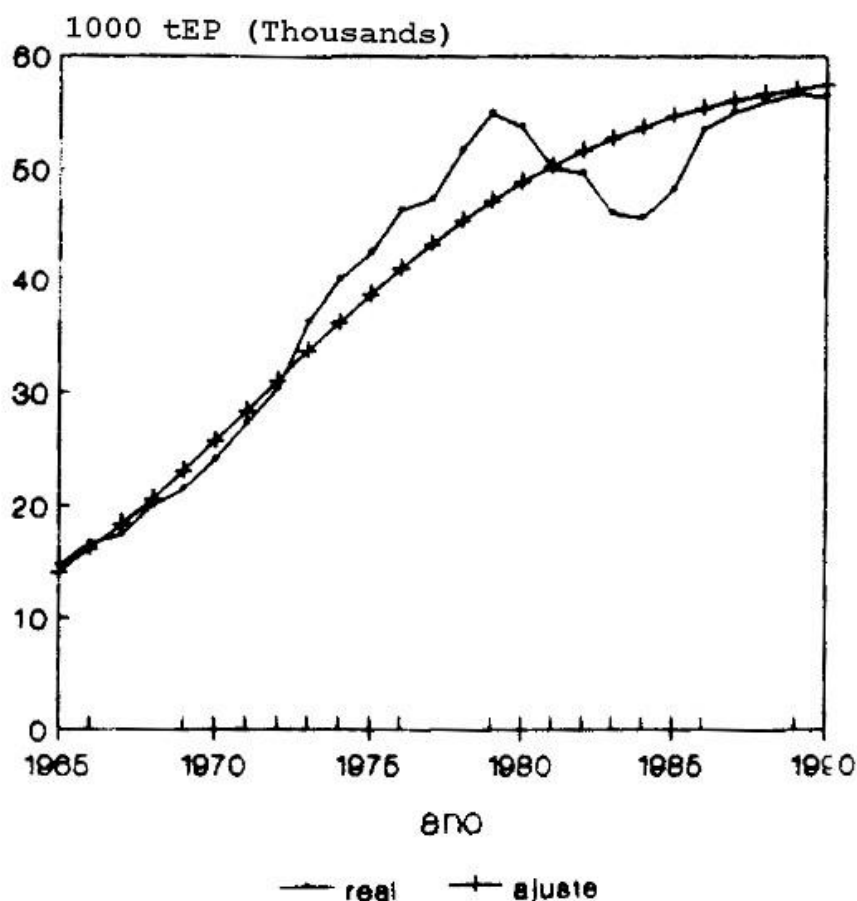
3.1 Ajuste do modelo logístico

Uma das técnicas mais conhecidas para o ajuste de series históricas é o método de projeção de tendências. Este método baseia-se no princípio que o consumo energético ao longo do tempo possuem um comportamento de crescimento, ou declínio, regular, e portanto, passível de previsão. A lógica do funcionamento do método de tendência pressupõe que a dinâmica dos eventos presentes e futuros estão contidas no passado. Existe uma infinidade de modelos matemáticos que podem ser ajustados aos dados⁶.

Baseando-se nos trabalhos de Gregg et alli (1966) e Harris Jeon (1988), foi desenvolvido o programa Serfit para seleção e ajuste de curvas de tendências. Os dados de consumo de petróleo foram submetidos a este programa, resultando no modelo logístico com a seguinte forma:

$$d_t = (15.406,68)/(0,26 + 0,84^t) \quad t = 1,26 \quad (11)$$

O resultado do ajuste do consumo de petróleo com o modelo logístico encontra-se na figura 2.



⁶ Logístico, gompertz, exponencial, normal, etc.

Figura 2 - Consumo de petróleo segundo o modelo logístico

3.2 Modelos de conhecimento

Os modelos de conhecimento ou aprendizagem⁷ baseiam-se na noção intuitiva que o desempenho de um sistema que é repetitivo e previsível, pode ser resultado da aprendizagem. Esta técnica descreve a relação empírica entre as quantidades produzidas⁸ e quantidades de certos insumos⁹, onde o aumento de produtividade, observável, é fruto do conhecimento.

Esses modelos são muito utilizados como instrumentos de planejamento nas áreas de avaliação e previsão da produtividade, avaliação de custos e análises econômicas em geral (BELKAOUI, 1986).

Segundo SUSLICK & HARRIS (1990), existem duas motivações básicas para o emprego dos modelos de conhecimento na previsão do consumo das substâncias minerais, que podem, aqui, ser estendidas ao petróleo. A primeira motivação baseia-se nas mudanças tecnológicas provocadas pela utilização da energia,

que refletem um certo grau de aprendizado. A outra motivação está ligada à natureza das séries temporais, onde existe uma forte analogia entre essas e suas derivadas no tempo, que são muito mais susceptíveis para a modelização.

Em tempos formais, o modelo de conhecimento pode ser definido através das seguintes relações que representam simples valores acumulados:

$$\dot{D}_t / \dot{Y}_t = L(Y)_t$$

onde:

$\dot{D}_t$ é o consumo acumulado de petróleo;

$\dot{Y}_t$ é o PIB per capita acumulado; e t

$L()$ é a função de conhecimento ou aprendizado. Assim que os parâmetros do modelo de conhecimento $L()$ para W_t , o consumo acumulado de petróleo/PIB per capita acumulado, são determinados, o modelo pode ser transformado para descrever o consumo anual, D_t :

$$D_t = [\dot{L}'(Y_t)Y_t + L(Y_t)] Y_t, \text{ onde } (13)$$

$$L'(\dot{Y}_t)_{dt} = d[W_t]/dt = d[L(Y_t)]/dt \text{ e } Y_t = d[Y_t]/dt \quad (14)$$

A figura 3 mostra um ajuste de W em relação Y . Um padrão robusto pode ser obtido por t intermédio da aplicação da regressão linear simples, produzindo a seguinte equação:

⁷ "Learning models"

⁸ "Output"

⁹ "Input"

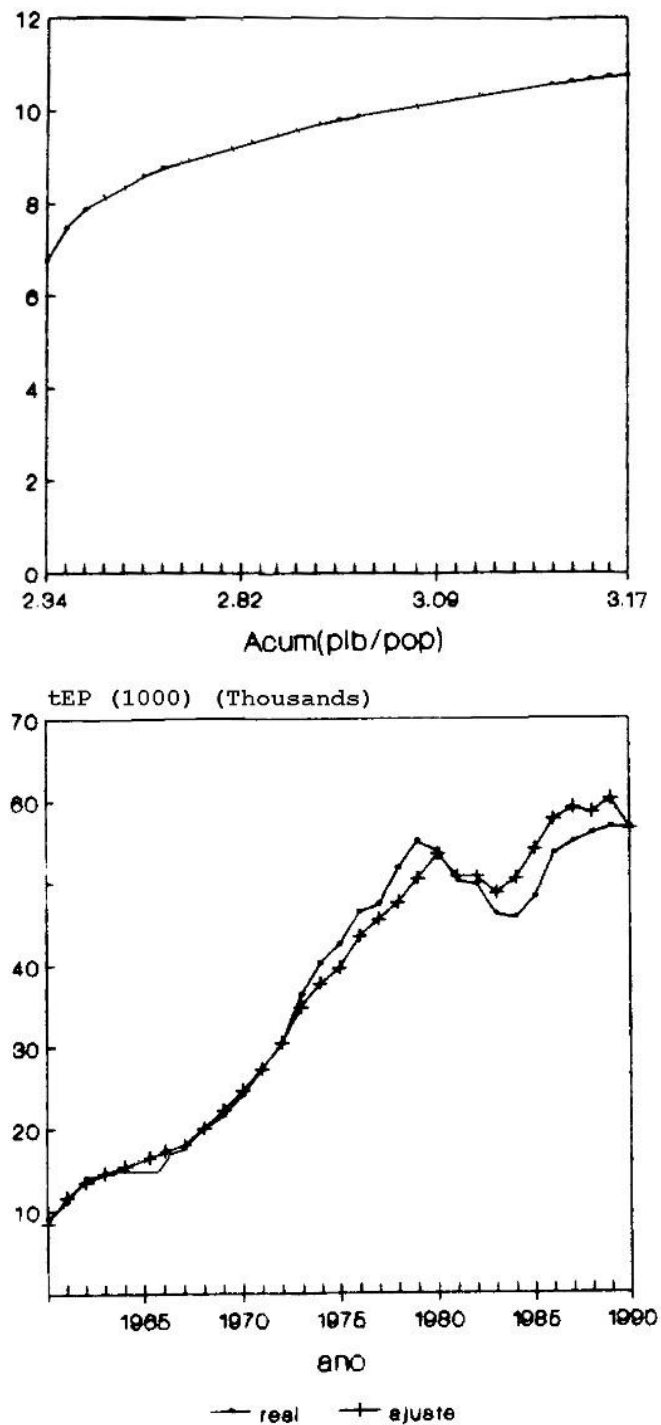


Figura 3 - Modelo de aprendizagem para projeção do consumo de petróleo

$$\ln \dot{W}_t = 0,7883 + 0,2029 \ln Y_t \quad R^2 = 0,992 \quad (15)$$

Logo:

$$\dot{W}_t = 2,1997 \cdot Y_t^{0,2029} \quad (16)$$

Finalmente, substituindo a equação (16) na (13) obtém-se:

$$D_t = 19,8519 Y_t \cdot Y_t^{0,2029} \quad (17)$$

A Figura 3 mostra, também, o resultado do modelo de conhecimento simples para o consumo de petróleo, onde o consumo para os anos futuros é estimado através da projeção do PIB per capita.

3.3 Modelo translog

Partindo da equivalência demonstrada anteriormente, pode-se construir um modelo translog, conforme evidenciado na equação (5). O preço do energético substituto, Pst , foi calculado por meio de uma ponderação, tendo como referência os percentuais de consumo da eletricidade industrial, carvão vegetal, carvão-vapor e álcool na matriz energética brasileira. Os energéticos restringiram-se aos mencionados, em decorrência de possuírem um impacto mais significativo na substituição do petróleo e seus derivados. A mudança tecnológica foi levada em conta através de uma variável "proxy"¹⁰: tempo, τ . O período considerado no modelo foi de 1973 a 1990, devido à disponibilidade de série histórica de preços.

A seleção dos produtos cruzados evidenciados na equação (14) foi realizada por meio da aplicação da análise de regressão passo a passo, utilizando-se o pacote estatístico SAS/STAT (1988). Gerou-se o seguinte modelo translog:

$$\begin{aligned} \ln D_t = & -1,6268 + 1,07867 \cdot \ln(y_t) - \\ & (2,7196) \quad (0,2267) \\ & 0,006653 \cdot \ln(\tau_t) \cdot \ln(P_t) - 0,013049 \cdot \ln(y_t) \cdot \ln(Pst_t) + \\ & (0,0019) \quad (0,0065) \\ & 0,058241 \cdot \ln(\tau_t) \cdot \ln(Pst_t) + 0,102848 \cdot \ln(\tau_t)^2 \quad (18) \\ & (0,0156) \quad (0,0158) \end{aligned}$$

ou,

$$\begin{aligned} D_t = & 0,1966 \cdot y_t^{1,0787-0,0067 \cdot \ln(P_t)-0,013 \cdot \ln(Pst)} \\ & \tau_t^{0,0582 \cdot \ln(Pst_t) - 0,1028 \cdot \ln(\tau_t)} \cdot \quad (19) \end{aligned}$$

onde:

D_t = consumo de petróleo, em tep¹¹;

y_t = PIB, em US\$, valores constantes de 1989¹²;

P_t = preço do petróleo, em US\$/barril equivalente de petróleo, valores constantes de 1987;

Pst = preço do "energético substituto", em US\$/barril equivalente de petróleo, valores constantes de 1987

τ_t = mudança tecnológica.

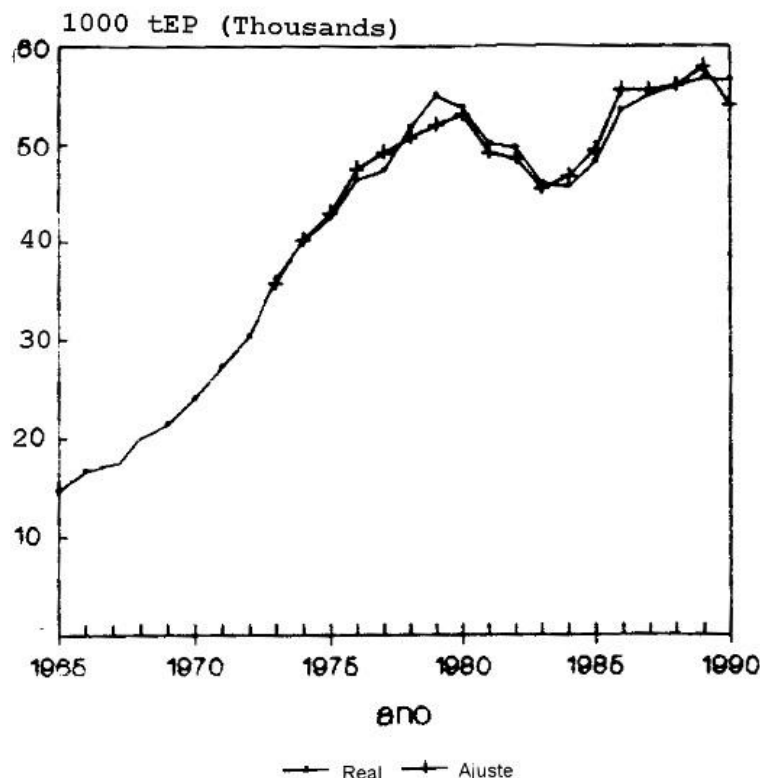
¹⁰ "Aproximação"

¹¹ Fontes de dados: BEN (diversos) e PETROBRÁS/DIPLAN (1991)

¹² Fonte de dados: Relatório do Banco Central (diversos)

Os resultados do modelo translog para a série histórica estão apresentados na figura 4.

Figura 4 - Consumo de petróleo segundo o modelo translog



4. Avaliação dos modelos

Um dos aspectos mais significativos na avaliação da previsão é a capacidade do modelo utilizado reproduzir, em níveis satisfatórios, as condições reais do processo de consumo energético. Para tanto deve-se recorrer aos critérios de validação, que consistem em testes para avaliar se o método é uma reprodução adequada dos elementos e relações do sistema em referência.

Neste trabalho foi utilizado o erro médio absoluto, AAE, para avaliar a "performance" dos valores simulados. Este parâmetro é definido por meio da seguinte expressão:

onde:

$$AAE = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{|Ac - Pr|}{Ac} \right)}{n}$$

Ac = valor real ou observado;

Pr = valor simulado ou previsto

n - intervalo de tempo.

A avaliação dos resultados foi realizada em dois níveis. O primeiro cobriu o período-teste, de 1985 a 1990, onde os dados de consumo medido foram eliminados para a estimativa dos modelos. No passo seguinte, o conjunto global de dados foi considerado na avaliação, e, em seguida, utilizado para a projeção do consumo de petróleo para o ano 2000. Os resultados obtidos para o erro médio absoluto dos modelos estão indicados na tabela 2 e as projeções do consumo para o ano 2000 na tabela 3. Os cenários alternativos para o PIB no ano 2000 para os modelos, exceto o logístico, foram formulados pelo IPEA (1991), baseando-se em um crescimento médio para o final da década de 2,0% no cenário pessimista, e 5,8% no cenário otimista.

Tabela 2 - Erro médio absoluto dos modelos analisados para a previsão de petróleo no Brasil

Método	Período Observado	AAE	Período ex-post	AAE
Logístico	1965-1990	0,07	1985-1990	0,04
"Learning"	1960-1990	0,05	1985-1990	0,05
Translog	1973-1990	0,02	1985-1990	0,02

Pode-se observar que o modelo logístico se ajusta adequadamente nos últimos 4 anos (1987-1990) e se afasta nos períodos quando o consumo de petróleo atingiu um mínimo, em 1983-84, e um máximo, em 1978-80. Este fato reflete as características do modelo logístico, com séries temporais crescendo lentamente no início e seguido por um curto período com uma taxa de crescimento alta, e, eventualmente, atingindo um patamar, mas nunca exibindo um decréscimo absoluto.

Este comportamento está refletido na projeção encontrada para o ano 2000 com este modelo, 59.152 tep, que representa um crescimento insignificante de 5.0% no consumo num período de 10 anos. O modelo logístico antecipa a saturação do consumo de petróleo devido à crise energética, e demonstra pouca sensibilidade para uma possível retomada do consumo. Este modelo se ajusta mais para prever o comportamento de economias maduras, onde as tendências de crescimento do PIB são mais lentas. Os resultados seriam mais favoráveis ao modelo logístico caso se utilizasse o consumo energético total, onde não ocorrem oscilações bruscas devido às substituições entre os energéticos.

Os resultados obtidos com o modelo de aprendizado ("learning") foram 109.586 tep e 74.913 tep, para os dois cenários. O modelo "learning" não indica saturação do consumo e representa mais adequadamente o contexto de retomada recente do consumo petrolífero. A grande vantagem do modelo é que ele permite a incorporação dos sucessivos choques de petróleo e a introdução de variável PIB, a nível de cenários alternativos. Em consequência, esse modelo não antecipa a saturação do consumo, tal como o modelo logístico, o que o torna mais adequado para representar o estágio de nação industrial jovem do Brasil.

Segundo Harris (1984), o sistema de conhecimento simples pode ser transformado numa forma mais complexa, que permite descrever as variáveis intervenientes no consumo mineral de maneira mais abrangente, incluindo os preços e as componentes das mudanças tecnológicas, utilizando-se de uma adaptação da função translog mencionada anteriormente. Dado o escopo deste trabalho, não serão abordadas, aqui, as diferentes alternativas e extensões do modelos de aprendizado. Detalhes sobre aplicações dos modelos de aprendizado ou conhecimento à previsão do consumo das substâncias minerais podem ser encontrados em Suslick & Harris (1990).

Os resultados das séries para o modelo translog foram muito positivos, conforme pode ser observado na figura 4. Isto evidencia o grau de representatividade deste modelo quando enriquecido com variáveis que buscam capturar preços e a dinâmica da mudança tecnológica na descrição do consumo de petróleo.

A projeção dos modelos translog esbarra na dificuldade operacional da previsão dos preços. O preço é um elemento determinante nesses modelos; entretanto, projeções confiáveis de preço no mundo real são de difícil execução. Para superar esta restrição utiliza-se, geralmente, uma tendência de preços, assumida "a priori", para delinear os diversos cenários. Neste trabalho foram adotadas, duas alternativas para os preços do petróleo e seus substitutos: a primeira, definida na tabela 3 como translog (1), assume que os preços no ano 2000 continuarão no patamar atual e a segunda alternativa, translog (2), prevê que os preços repetirão as altas experimentadas no período de 1980 a 1985.

A variável "proxy" tempo para mudança tecnológica foi adotada em decorrência da dificuldade de obtenção de um índice de produtividade que reunisse igualmente as características de abrangência do setor energético e de especificidade, representado pelos setores finais.

Os resultados obtidos no ajuste são bastante significativos. AAE = 0,02. O coeficiente de determinação R² = 0,95 e os testes da regressão foram positivos, indicando a robustez do modelo gerado pela regressão "stepwise". Analisou-se a possibilidade de autocorrelação por meio do teste de Durbin-Watson, obtendo-se o valor 1,164, para n = 18 e nível de significância igual a 95%, o que revelou a inexistência de autocorrelação entre as variáveis.

De modo análogo aos demais modelos, o PIB na equação do modelo translog tem um papel preponderante como variável explanatória do consumo de petróleo, conforme indicado pelo seu

coeficiente na equação (18): 1,0787. Este comportamento é também reforçado pelos baixos valores dos coeficientes indicativos das elasticidades dos preços, P_t e Ps_t , e da componente tecnológica, τ_t .

Tabela 3 - Previsão do consumo de petróleo no Brasil no ano 2000, em 10³ tep

Método	Cenário Pessimista (PIB = 2,0%)	Cenário Otimista (PIB = 5,8%)	Projeção
Logístico	n.a.	n.a.	59.152
"Learning"	74.913	109.586	n.a.
Translog(1)	68.773	95.944	n.a.
Translog(2)	64.298	89.469	n.a.

Cenários para o PIB: IPEA(1991)

Translog (1) = patamares de preços, para o petróleo = 15,8 US\$/tep e para o "energético substituto" = 42,7 US\$/tep, a preços constantes.

Translog.(2) = patamares de preços, para o petróleo = 36,1 US\$/tep e para o "energético substituto" = 51,2 US\$ tep, a preços constantes.

5. Considerações finais

O objetivo deste trabalho se resumiu a fazer uma análise da evolução da IEP e do consumo de petróleo durante os últimos 30 anos, a partir da qual foi realizado um exercício de previsão do consumo de petróleo para o ano 2000, por meio de uma interação de métodos quantitativos e variáveis econômicas ajustadas para uma projeção de longo prazo, enfatizando-se a intensidade energética do petróleo.

A análise da série histórica de consumo, de 1960 a 1990, mostrou que a queda na participação relativa do petróleo, iniciada em 1973, na matriz energética, está se esgotando. Portanto, é provável que o efeito estrutura tenderá a ser nulo ou até ligeiramente negativo. O fator determinante para a evolução da IEP será a própria IE. Na medida em que a IE continuar crescendo a taxas muito altas, como se verifica desde 1973, é provável que a IEP seja positiva. No entanto, existe um evidente "trade-off" entre crescimento da IE e o crescimento do PIB. O aumento do conteúdo energético implica numa queda da taxa de crescimento do PIB, por uma questão de falta de viabilidade econômica do modelo de desenvolvimento intensivo em energia.

Os modelos utilizados para a previsão do consumo de petróleo no ano 2000 apresentaram uma certa concordância entre si. As projeções se situaram dentro dos limites compreendidos entre 70.000 e 95.000.103tep. Essas diferenças se atribuem fundamentalmente àquelas que são esperadas em relação às taxas de crescimento do PIB nos modelos de aprendizagem e translog. A avaliação dos resultados do erro médio absoluto indicou o modelo translog como sendo o mais satisfatório. Em decorrência de sua capacidade de incorporar não somente o PIB, mas também os preços do petróleo e seus substitutos e a componente tecnológica, o modelo translog exibiu também os resultados mais satisfatórios no que se refere à descrição do consumo.

6. Bibliografia

- Araujo, J.L.R.H. & Oliveira, A. Resposta do Setor Industrial Brasileiro ao Segundo Choque do Petróleo e à Recessão. In: Rosa, L.P.(ed. Energia e Crise. São Paulo, Ed.Vozes, 1984, p.121.138.
- Belkaoui, A. The Learning Curve: A Management Accounting Tool, ed , London Quorum Books. 245p, 1986
- Bensussan, J.A. & Guerra, S.M.G. Investigação e Modelos de Previsão. Porto Alegre, Secret. Minas Energia Comunicações, 1991. 52p.(Série Energia)
- Ministério da Infra-Estrutura. Balanço Energético Nacional (BEN), Brasília, 144p, vários anos
- Chateau, B. e Lapillonnerie B. La Prevision à Long Terme de la Demande d'Energie: le Modele Medée, Paris, Editions du CNRS, Collection "Energie et Société", 1977
- Criqui, P. Impacts du Premier Choc Pétrolier sur les Consommations d'Energie Finale. Economie Prospective Internationale, n°.11, 3°- trimestre, 1982
- Furtado, A. A crise energética mundial e o Brasil. Novos Estudos CEBRAP, n°.11, p.17-19, janeiro 1985

- Furtado, A. As Grandes Opções da Política Energética Brasileira: o caso da indústria de 80 a 85, Revista Brasileira de Energia, Vol.1 nº., p.77-92, 1990
- Harris, D. P. Mineral Resource Appraisal - Mineral Endowment, Resources and Potential Supply: Concepts, Methods and Cases. Oxford, Clarendon Press, 1984, 445p.
- Harris, D.P. & Jeon, G.J. Improved Methods for Long-Range Forecasting. Tucson, Mineral Economics, Department of Mining and Geological Engineering, College of Engineering and Mines, University of Arizona, Research Project, 1987, 161p.
- Harris, D.P. 1989. Forecasting of Mineral Industries. Mineral Economics Program. Department of Mining and Geological Eng., College of Mines. University of Arizona, lectures notes MnEc-665, 220p.
- IPEA. Projeto de Reconstrução Nacional: Cenários Sócio-Econômicos para o Brasil do Ano 2000. Brasília, 1991
- Percebois, J. Le Concept D'Intensité Énergétique Est-il Significative Revue D'Économie Politique, v.89, nº.4, p.509-527, octo, 1979
- Malenbaum, W. World Demand for Raw Materials in 1985 and 2000, New York, McGraw-Hill, 1978, 126p.
- SAS Inst. Inc. SAS/STAT™ User's Guide, Release 6.03 Ed., Cary, NC:SAS Institute Inc., 1988, 1028p.
- Suslick, S. B. Métodos de Previsão da Demanda Mineral. Instituto de Geociências, UNICAMP, Tese de Livre-Docência, 1990, 150p.
- Suslick, S. B. & Harris, D. P. Long-Range Consumption Forecasts Using Innovative Methods: The Case of Aluminum in Brazil to the Year 2000. Resources Policy. v.16, nº.3, p.184-199, 1990.

Agradecimentos: Os autores desejam expressar seus agradecimentos ao CNPq pelo apoio no desenvolvimento do projeto Serfit, do ajuste dos modelos de tendência. Agradecimentos particulares são dirigidos ao Prof. Sérgio V. Bajay pelas sugestões e revisão final do manuscrito.

Abstract

The purpose of this work is to forecast the petroleum consumption in Brazil for the year 2000 based upon logistic models, learning models, and translog models using the intensity of energy. The models used a time series of 30 years for projection. An investigation of the main determinants of petroleum consumption were made. In the valuation of the forecasts the translog model proved to be the most accurate. The models indicated that the GDP is the main determinant for the growth of petroleum consumption in the future.