

Modelos Econométricos para a Projeção de Longo Prazo da Demanda de Eletricidade: Setor Residencial no Nordeste

M. L. Siqueira, H.H. Cordeiro Jr, H.R. Souza e F.S. Ramos – UFPE e P. G. Rocha - CHESF

Resumo- Este artigo apresenta proposta de modelo de projeção de longo prazo para a Classe de Consumo Residencial para a região do Nordeste. Utiliza-se os modelos desenvolvidos por Andrade e Lobão (1997) do IPEA com o objetivo de se determinar os coeficientes das elasticidades preço da demanda. A série histórica utilizada compreende o período de 1970 a 2000. Percebe-se que, com o racionamento ocorrido nos anos de 2001 e início de 2002, houve uma mudança significativa no comportamento dos consumidores. Adota-se um tratamento diferenciado para as projeções a partir da quebra estrutural do consumo para as projeções dos anos seguintes. Estudou-se a possibilidade da retomada da tendência histórica do consumo a partir de cenários macroeconômicos alternativos, bem como a influência do racionamento de energia elétrica nas tendências de projeção do consumo futuro.

Palavras-chave—Demanda, Eletricidade, Elasticidades, Modelos.

I. INTRODUÇÃO

O novo contexto do setor elétrico tem na competição para o mercado, geração e comercialização, a garantia de menores preços para o consumidor final. Entretanto, tem imputado para as empresas a responsabilidade de pleno atendimento de seu mercado. Para isso a necessidade de melhores projeções de sua demanda passa a ser vital, minimizando possíveis perdas futuras quanto à não contratação de energia e ou sobre contratação pela má previsão do mesmo. Em busca de identificar modelos que melhor representem o mercado, e aqui trabalharemos apenas como o setor residencial, o utilizamos as técnicas de econometria para quantificar e escolher o melhor modelo de demanda. Os dados utilizados abrangem o período de 1970 a 2000. Como resultado o modelo fornecerá as estimativas para as elasticidades renda e preço de curto e longo prazos para a demanda residencial no Nordeste, que serão utilizadas para fazer previsões das demandas futuras para esta classe de consumo.

II. MODELOS ECONÔMETRICOS

O modelo teórico para a demanda da classe residencial foi construído utilizando-se as hipóteses básicas utilizadas por Andrade e Lobão (1997). Para os consumidores residenciais ligados à rede de distribuição, assume-se que toda a quantidade de energia elétrica por eles demandada é efetivamente

fornecida. Ou seja, admite-se que não exista o problema de demanda reprimida e que a oferta do serviço seja infinitamente elástica. Com esta hipótese, pode-se utilizar a quantidade consumida com uma boa aproximação para a quantidade demandada. Com relação ao comportamento da demanda residencial ao longo do tempo, considera-se que o mesmo seja influenciado por três variáveis fundamentais: a tarifa média da classe residencial, a renda familiar e o estoque domiciliar de aparelhos eletrodomésticos. Teoricamente, espera-se que o consumo seja representado pela seguinte função não-linear:

$$C_t = k_1 * P_t^\alpha Y_t^\beta E_t^\gamma \quad (1)$$

Onde:

C_t é o consumo residencial de energia elétrica no tempo t ; P_t é a tarifa residencial média de energia elétrica no tempo t ; Y_t é a renda familiar no tempo t ; e E_t é o estoque domiciliar de aparelhos eletrodomésticos no tempo t .

Andrade e Lobão (1997) também postularam que, como decorrência do uso dos aparelhos domésticos, o estoque domiciliar sofre depreciações ao longo do tempo, cuja reposição ou aumento dependem basicamente dos preços dos eletrodomésticos (PE_t) e da renda familiar (Y_t). Supõe-se, então, que o estoque domiciliar reaja positivamente aos aumentos na renda e negativamente aos aumentos nos preços dos eletrodomésticos, e que estas variáveis se relacionem de acordo com a seguinte expressão:

$$E_t = k_2 * PE_t^\mu Y_t^\theta \quad (2)$$

Onde PE_t é o preço dos eletrodomésticos no tempo t . Substituindo-se a equação (2) em (1) e tomando-se o logaritmo tem-se, então:

$$\ln(C_t) = \Theta_1 + \Theta_2 * \ln(P_t) + \Theta_3 * \ln(Y_t) + \Theta_4 * \ln(PE_t) \quad (3)$$

Os coeficientes Θ_1 , Θ_2 e Θ_3 representam, respectivamente, as elasticidades da demanda residencial de energia elétrica com relação ao preço de energia elétrica, à renda familiar e ao preço dos eletrodomésticos. Deve-se notar que no caso das elasticidades renda e preço dos eletrodomésticos, as elasticidades estimadas medem efeitos diretos e indiretos que estas variáveis têm sobre as quantidades demandadas. Por exemplo, para a elasticidade-renda, o valor a ser estimado para este parâmetro refere-se ao efeito direto que a variação da renda tem sobre a quantidade demandada de eletricidade.

dade mais o efeito indireto sobre esta quantidade como resultado da variação do estoque de eletrodomésticos (provocada pela variação da renda). Ou seja, uma renda maior possibilita um uso maior do equipamento existente e permite um crescimento do estoque de equipamentos, ambos contribuindo para uma quantidade maior demandada de eletricidade (Andrade e Lobão, 1997). Assim, essa elasticidade mede o efeito uso e o efeito de variação daquele estoque. No caso da elasticidade-preço dos aparelhos eletrodomésticos, sua elasticidade estimada será a resultante do efeito que este preço tem sobre o estoque e de como este estoque afeta a quantidade demandada de eletricidade. Feitas as considerações acima acerca do modelo de previsão da demanda por energia elétrica da classe residencial, passamos a analisar suas variáveis.

A Tabela 1 abaixo nos mostra, em detalhes, a descrição de cada variável, a proxy utilizada para representá-la, sua fonte e a respectiva unidade de medida.

TABELA I
IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO MODELO RESIDENCIAL

Tamanho	Proxy Utilizada	Fontes	Unidade Medida
Demanda Residencial	Consumo Residencial/população do NE	Chesf e IBGE	kWh/hab
Tarifa da Classe Residencial	Tarifa Média Residencial Nacional	IPEA/ELETROBRÁS	R\$/MWh
Preço de Eletrodomésticos	Consumo Duráveis Utilidades Domésticas	FGV/IPA	Índice
Renda per capita do NE	PIB per capita do NE	Sudene/Boletim Conjuntural	R\$/hab

Fonte: Elaboração dos Autores

III. ESTIMAÇÃO DO MODELO RESIDENCIAL

A equação (3) foi estimada por três diferentes métodos econométricos usualmente utilizados em estudos desta natureza. O primeiro a ser utilizado foi o tradicional método de mínimos quadrados ordinários (MQO) sob as hipóteses do modelo linear geral. Entretanto, em se tratando da estimação de um modelo de demanda, é provável que a hipótese de correlação nula entre regressor e erro possa estar sendo violada, devido à existência de uma eventual simultaneidade entre o consumo e a tarifa de energia elétrica. Por este motivo, apresenta-se uma estimação de Mínimos Quadrados de Dois Estágios (MQ2E), com a inclusão de variáveis instrumentais (VI), com o intuito de corrigir os possíveis vieses gerados pela estimação direta de MQO. O terceiro método a ser aplicado consistiu na modelagem de um vetor autoregressivo (VAR) sob a representação de um modelo de correção de erro (VEC), utilizando-se os procedimentos de estimação e testes desenvolvidos por Johansen (1988 e 1991). Deve-se ressaltar que no caso de modelagem de séries temporais não-estacionárias, que é o caso específico deste estudo, conforme mostram os gráficos acima, este método é o que fornece o tratamento estatístico e econométrico mais indicado, tanto para estimar a função demanda de longo prazo quanto para realizar previsões do consumo futuro

de energia elétrica. Inicialmente são analisados de forma conjunta os resultados referentes às duas primeiras estimativas, os quais estão reportados na Tabela 2 a seguir.

TABELA 2
ESTIMAÇÃO DA DEMANDA RESIDENCIAL
(RESULTADOS PARA A EQUAÇÃO 3)

Variável Explicativa	Modelo MQO		Modelo MQO2E	
	Coefficiente	Estatística - t	Coefficiente	Estatística - t
Constante	10.08047	4.049889	6.694683	1.546133
P_t	-0.777856	-7.286022	-0.742383	-4.321557
Y_t	0.552546	2.515174	0.881473	2.264492
PE_t	-0.955629	-11.61513	-0.857020	-8.776058

TESTES DE DIAGNÓSTICO E QUALIDADE DO AJUSTE

R^2	0.9799993	0.977344
R^2 Ajustado	0.9777770	0.974729
Teste F	440.8476	376.0624
Teste LM	28.78217	-
Est.DW	1.484373	1.465757
Akaike	-1.598850	-
Schawartz	-1.413819	-

Nota: As estimativas de MQ2E(VI) foram realizadas utilizando-se como instrumentos a variável PE_t e os valores defasados de P_t e Y_t .

De uma forma geral os resultados da estimação pelos métodos clássicos são bem expressivos, sendo que o melhor resultado obtido refere-se ao caso da estimativa por MQO. Neste caso, a hipótese de nulidade individual é rejeitada para todos os coeficientes com níveis de significância inferiores a 5%, as estimativas dos coeficientes apresentam os sinais teoricamente esperados, negativos para os dois preços (tarifa de energia elétrica e preço dos eletrodomésticos) e positivo para a renda; e os resíduos não apresentam problemas quanto a autocorrelação serial, heterocedasticidade e normalidade dos erros. A seguir são apresentados os resultados da modelagem VAR-VEC¹, iniciando-se com os testes de raízes unitárias que têm por objetivo testar a ordem de integração das variáveis do modelo.

a) Testes de Raízes Unitárias

A Tabela 3 traz os resultados dos testes de raízes unitárias para as variáveis do modelo. As análises são executadas usando dados anuais e a amostra cobre o período entre 1970 e 2000. São usadas as variáveis logaritimizadas. Os valores críticos para a hipótese nula de uma raiz unitária são apresentados por Fuller (1976).

TABELA 3
RESULTADOS DOS TESTES DE RAIZ UNITÁRIA (*)

Variáveis	Nível da Variável (X_t)			Primeira Diferença da Variável (X_t)		
	Coeffici-	Estatí-	Prob.	Coeffici-	Estatí-	Prob.

¹ Maiores detalhes sobre a modelagem VAR-VEC, com ênfase na análise de co-integração podem ser vistos nas referências Greene (2000) e Hamilton (1994).

	ente	sitca - t		ente	tica - t	
Const (0)	-0.026	-1.318	0.127	-0.689	-3.716	0.000
P _t (1)	-0.103	-1.792	0.083	-1.131	-5.933	0.000
Y _t (0)	-0.144	-1.914	0.096	-0.876	-4.655	0.000
PE _t (1)	0.001	0.023	0.981	-1.058	-5.502	0.000

Os valores entre parênteses representam o comprimento de lags que tornam os resíduos ruído branco. As primeiras diferenças de todas as variáveis são significantes ao nível de 1%, logo todas as séries são I(1). (*) Utilizou-se o teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) para um modelo com intercepto e sem tendência.

Os resultados sugerem que a hipótese nula de raiz unitária não pode ser rejeitada ao nível de 5 por cento para todas as variáveis. Por outro lado, ela é fortemente rejeitada ao nível de 1 por cento para as primeiras diferenças de todas elas, concluindo-se serem tais variáveis integradas de ordem um.

b) Análise de Co-integração

Depois que a ordem de integração foi determinada, as propriedades de co-integração da série são analisadas usando-se o procedimento de estimação de Johansen no contexto da seguinte equação (4):

$$\Delta X_t = \Pi X_{t-1} + \sum_{i=1}^{k-1} \Gamma_i \Delta X_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4)$$

Onde X_t contém séries I(1), $\Pi = 1 - \pi_1 - \pi_2 \dots - \pi_k$ e Γ_i são combinações lineares dos π_i . Como X_t é estacionário e os níveis individuais em X_{t-1} são não-estacionários, uma relação entre o X_t e o ΠX_{t-1} implica uma ou mais combinações lineares estacionárias. Se o Posto de Π for r com $0 < r < p$, podemos escrever $\Pi = \alpha\beta$, onde β é a matriz dos vetores de co-integração e α é a matriz dos coeficientes de correção de erro (os pesos com o qual cada vetor co-integrante entra na equação do mecanismo de correção de erro). Ele pode ser também interpretado como a velocidade de ajuste para o equilíbrio de longo prazo (JOHANSEN, 1988).

O processo de ajuste no consumo de energia elétrica é o elemento chave na determinação da influência das políticas tarifárias e do crescimento econômico sobre a demanda residencial por energia elétrica. Um aumento no nível real dos preços (tarifas e preços de eletrodomésticos) tem um impacto negativo sobre o consumo, reduzindo-o. Portanto, uma relação negativa entre os preços e a demanda é esperada na relação de co-integração. Uma outra variável importante nas equações de demanda é a renda. Um acréscimo nesta resulta num aumento do consumo. Conseqüentemente, uma relação positiva é esperada entre a renda e demanda na relação de co-integração.

As estatísticas padrões e as estimativas para os procedimentos de Johansen estão listadas abaixo. Para a equação de demanda, como visto, as variáveis são: o consumo por habitante (C_t), a tarifa média residencial (P_t), a renda per capita (Y_t) e o preço de eletrodomésticos (PE_t). O comprimento apropriado da defasagem no sistema VAR é obtido usando os critérios de informação de Akaike, que indica uma ordem de integração igual a 1.

Os resultados dos testes de traço e de máximo autovalor para o sistema de equações na tabela 4 indicam a presença de um vetor co-integrante. Desde que há um único vetor co-integrante, normalizá-lo com respeito a um de seus elementos é suficiente para identificá-lo. Neste caso, a análise estatística do vetor estimado de co-integração, os testes t dos coeficientes de α e o teste de exogeneidade fraca na tabela 5 mostram que o vetor de co-integração pode ser normalizado com respeito ao consumo por habitante (C_t). Os sinais dos coeficientes no primeiro vetor foram como o esperado, ou seja, a renda é positivamente relacionada ao consumo, enquanto os preços mostraram-se negativamente relacionados.

TABELA 4
ANÁLISE DE CO-INTEGRAÇÃO(*)
VARIÁVEIS NO SISTEMA: $\Delta C_t = \Delta P_t - \Delta Y_t - \Delta PE_t$ (VAR = 1)

Hipótese Nula	Hipótese Alternativa	Teste de Máximo Valor	Teste do Traço (*)	Valor Crítico do Traço (5%)
$r = 0$	$r = 1$	0.5971	55.8619	47.21
$r = 1$	$r = 2$	0.4933	29.4943	29.58
$r = 2$	$r = 3$	0.2826	9.7771	15.41
$r = 3$	$r = 4$	0.0005	0.1454	3.76

Nota: Valores críticos tirados de Ostwald e Lenum (1992).

(*) O teste de traço indica uma equação cointegrante ao nível de 1%.

TABELA 5
ESTIMATIVAS DOS COEFICIENTES DE LONGO PRAZO E
TESTE DE EXOGENEIDADE FRACA

Variável	Coefficientes Estimados	Coefficientes Normalizados	Teste de Exogeneidade Fraca
C_t	-11.1268	1.0000	4.1254
P_t	-4.5891	0.4124	1.2566
Y_t	15.9001	-1.4289	0.5689
PE_t	-8.16287	0.7336	1.2356

(*) Valor crítico ao nível de 5% é 3.84. O teste de traço indica uma equação cointegrante ao nível de 1%.

Os resultados da análise de co-integração e os resultados do teste de exogeneidade acima sugerem que a seguinte relação de longo prazo pode ser definida para o período em estudo:

$$\Delta C_t = -0.4124* \Delta P_t + 1.4289* \Delta Y_t - 0.7336* \Delta PE_t \quad (5)$$

A tabela 6 a seguir resume os resultados obtidos para as elasticidades de longo prazo pelos três diferentes métodos de estimação propostos.

TABELA 6
ESTIMATIVAS DAS ELASTICIDADES DE LONGO PRAZO

Método de Estimação	ELASTICIDADES		
	Tarifa Residencial (Pt)	Renda Familiar (Yt)	Preços de Eletrodomésticos (PEt)

MQO	-0.778	0.553	-0.956
MQ2E	-0.742	0.881	-0.857
Jahansen	-0.412	1.429	-0.734

Fonte: elaboração dos autores .

c) Estimação do modelo de correção de erro

Nesta parte do estudo, a dinâmica de curto prazo será examinada usando uma estrutura econométrica que leve em consideração a relação de longo prazo entre as variáveis econômicas. Portanto, à luz dos resultados da análise de co-integração, esta seção desenvolve um modelo de correção de erro de uma única equação para a equação da demanda residencial de energia elétrica, que leva em conta as relações de curto e longo prazo entre as variáveis no sistema. As equações estimadas tomam, então, a seguinte forma:

$$\Delta C_t = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \Delta P_t + \alpha_2 \cdot \Delta Y_t + \alpha_3 \cdot \Delta PE_t + \alpha_4 \cdot \sum_{i=1}^k \Delta P_{t-i} + \alpha_5 \cdot EC_{t-1} + \varepsilon_t \quad (6)$$

Onde: Δ indica a primeira diferença da variável; C_t , P_t , Y_t , e PE_t , as variáveis previamente definidas; EC , o Termo de Correção de Erro.

No contexto dessa equação, a dinâmica de curto prazo é estimada por MQO, visto que a dinâmica de longo prazo é capturada pela introdução do termo de correção de erro à equação (5). Todas as variáveis estão na forma logarítmica e foram “estacionarizadas”.

A tabela 7 abaixo mostra os resultados da estimação. Os sinais dos coeficientes das variáveis obtidos foram os esperados. O termo de correção de erro obtido do vetor de co-integração - a equação (5) - tem um coeficiente significativo, indicando que, depois que um determinado choque, o sistema se ajusta para o equilíbrio de longo prazo.

As estatísticas de diagnóstico não indicam nenhum problema em termos de autocorrelação, de especificação do modelo e de forma funcional.

TABELA 7
RESULTADO DAS ESTIMATIVAS DO MODELO DE CORREÇÃO DE ERRO

Variável	Coefficiente (α)	Teste t
ΔP_t	0.060785	7.172297
ΔY_t	-0.133336	-2.320622
ΔPE_t	0.110374	1.000102
ΔEC_t	-0.172570	-1.855027
$\Delta EC_t(-1)$	-0.214815	-3.461775

Estatísticas de Teste do modelo:

R^2 : 0.698102; R^2 Ajustado: 0.601799; SQR: 0.033413;

LR: 159.43179; Durbin-Watson: 1.807772

Nota: Os valores entre parênteses são os comprimentos das defasagens das variáveis. Todas as variáveis foram logaritmizadas.

IV. RACIONAMENTO E RECUPERAÇÃO DO CONSUMO

Para a modelagem econométrica utilizou dados de 1970 a 2000, para realizar as previsões de longo prazo do consumo anual de energia elétrica no Nordeste para o período de 2001 a 2010. Optou-se por não utilizar os dados de 2001 a 2003, já disponíveis, pois o racionamento de energia elétrica, iniciado em 01 de junho de 2001 e encerrado em 01 de março de 2002 alterou o comportamento de longo prazo dos consumidores, de tal forma que a inclusão de tais dados comprometeria os resultados de estimação das elasticidades de longo prazo. Assim, com as elasticidades estimadas, pôde-se definir a tendência de longo prazo do consumo de energia elétrica sem os efeitos do racionamento. A questão importante após a quebra estrutural introduzida pelo racionamento é: como se comportou (e como se comportará) o consumidor a partir de então? Haverá uma recuperação da tendência de longo prazo do consumo de cada classe, após o fim do racionamento? Como se dará essa recuperação? Esse comportamento, diferirá entre as classes de consumo? Com o passar dos anos se poderá responder a tais perguntas com precisão, mas, no entanto, os planejadores do mercado de energia elétrica não podem esperar para antecipar as suas decisões de investimento e precisam, portanto, de ferramentas que lhes permitam “revisar” as previsões do consumo futuro em cada classe.

No Gráfico 1, a seguir, nota-se que o racionamento imposto para a região - devido às condições de oferta e energia disponível da região e dada as condições de restrições da transmissão à época, forçou o mercado a mudar os hábitos de consumo.

Um fator importante observado foi à racionalização do próprio consumo, onde parte das famílias trocou as lâmpadas “quentes” por lâmpadas “frias” que apesar de serem mais caras eram significativamente mais econômicas em termos de energia. De certa forma o racionamento levou o mercado para uma eficiência energética, mesmo que temporária.

Dependendo da tendência do crescimento econômico, e aqui se pode estabelecer alguns cenários de taxas de crescimento do PIB regional, vê-se que a tendência original pré-racionamento somente será atingida após 10 anos de projeção.

A manutenção dos estudos de tendência de crescimento do mercado de eletricidade deve ser perseguida, dada as possíveis alterações do comportamento dos consumidores, em particular o das famílias. Aposta-se que, a mudança de hábito dos usuários de energia poderá arrefecer e voltar às condições iniciais, antes do racionamento. Para tanto é necessário que se tenha a garantia da oferta futura, caso contrário poderemos estar diante de um novo racionamento, antecipando as tendências para muito antes de dez anos, apontados no estudo elaborado.

V. RESULTADOS

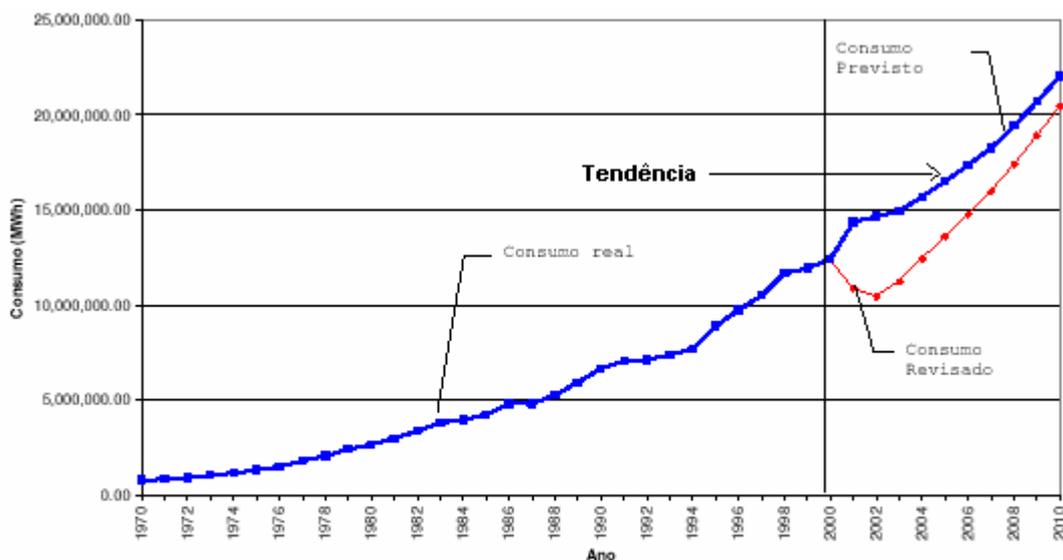


Figura 1 - Consumo Residencial

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CHESF pelo o apoio financeiro via programa de P&D que financiou a pesquisa e o desenvolvimento do modelo – software – para a simulação dos cenários da economia no estudo da demanda do setor residencial no Nordeste.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANDRADE. T e LOBÃO. W. Elasticidade-renda e preço da demanda residencial de energia elétrica no Brasil. **Texto para discussão nº 489**. IPEA. Rio de Janeiro. 1997.
- [2] BRAGA. J.M. **A modelagem da demanda residencial de energia elétrica no Brasil**. Tese de Mestrado - UFRJ. 96 p. Rio de Janeiro – RJ. 2001.
- [3] ELETROBRÁS. **Energia elétrica: previsão da carga dos sistemas interligados. Período 2003/2007**. CCPE - CTEM, Rio de Janeiro, abril de 2003. ELETROBRÁS. **Informe Mercado 22**. CCPE – DEM - CTEM, Rio de Janeiro, fevereiro de 2003.
- [4] ELETROBRÁS. **Plano Decenal de Expansão 2003/2012**. CCPE, Rio de Janeiro, janeiro de 2003.
- [5] FULLER. D.. **Time Series**. New York: John Wiley. 1976.
- [6] GREENE. W.H. **Econometric analysis**. Upper saddle River. New Jersey: Prentice-Hall. Inc.. 2000.
- [7] HAMILTON. J. **Time series analysis**. Princeton: Princeton University Press. 1994.
- [8] JOHANSEN. S. **Statistical Analysis of Co-integration Vectors**. Journal of Economic Dynamic and Control. V.12. p.231-254. 1988.
- [9] _____. **Estimating and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models**. Econometrica. v.59. n.6. p.1.551-1. 580. 1991.
- [10] MODIANO. E.M. **Elasticidade-renda e preço da demanda de energia elétrica no Brasil**. **Texto para discussão nº 68**. Departamento de Economia. PUC/RJ. 1984.
- [11] OSTERWALD-LENUM. M. **A Note with Quantiles of the Asymptotic Distribution of the Maximum Likelihood Co-integration Rank Test Statistics**. Oxford Bulletin of Economics and Statistics. V.54. p.461-472. 1992.
- [12] SCHMIDT. C.A.J. e LIMA. M.A. **Estimações e Previsões da Demanda por Energia Elétrica no Brasil**. SEAE/MF - Documento de Trabalho nº 16. 2002.
- [13] TAYLOR. L.. **The demand for electricity: a survey**. **The Bell Journal of Economics**. Vol. 6. pp.74-110. 1975.
- [14] WESTLEY. G.D. **New directions in econometric modeling of energy demand**. **Inter-American Development Bank**. Washington. D. C. February. 1992.