

SORAYA AMARO DA SILVA

**ANÁLISE ECONOMÉTRICA DA DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA NOS
SETORES RESIDENCIAL -URBANO E RURAL DO BRASIL, 1970-1999**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2001

SORAYA AMARO DA SILVA

**ANÁLISE ECONOMETRICA DA DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA NOS
SETORES RESIDENCIAL-URBANO E RURAL DO BRASIL, 1970-1999**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 29 de maio de 2001.

Danilo Rolim Dias de Aguiar

José Euclides Alhadas Cavalcanti

Wilson da Cruz Vieira

Orlando Monteiro da Silva
(Conselheiro)

João Eustáquio de Lima
(Orientador)

A DEUS, pela vida e sustento.
A meus pais Severino (*in memoriam*) e Ilda,
pelo incentivo à vida.
À minha irmã Safi, por todo apoio.

AGRADECIMENTO

A Deus, por sua onipresença, onisciência e onipotência.

A meus pais, por sempre terem me incentivado a estudar e por acreditarem em mim, em especial à minha mãe, que me acompanhou nesta etapa.

À minha irmã Safi, que sempre me apoiou em todas as minhas realizações.

À Primeira Igreja Batista de Viçosa, pelo acolhimento.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Economia Rural (DER), pela oportunidade de realização do curso.

À FAPEMIG, pela concessão da bolsa de estudos que possibilitou a realização do curso.

Ao meu orientador, professor João Eustáquio de Lima, pela orientação, pelo apoio, por seus ensinamentos, pela amizade e paciência.

Aos professores Marília Fernandes Maciel Gomes e Orlando Monteiro da Silva, pelas sugestões ao trabalho no decorrer do curso.

Aos professores Danilo Rolim Dias de Aguiar, José Euclides Alhadad Cavalcanti e Wilson da Cruz Vieira, pelas sugestões e pelas críticas na fase final deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Economia Rural, por toda a assistência.

Ao amigo Wildson, que sempre colaborou para a execução deste trabalho e à amiga Andréia, pelo incentivo em todos os momentos.

Aos amigos Daniel Pacífico, Marcelo Marota, Alberto Gomes, Daniela de Paula e Moisés Chaves, pela amizade, companheirismo e pela coragem de lutar por honestidade no curso.

A todos aqueles que, indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

SORAYA AMARO DA SILVA, filha de Severino e Ilda, nasceu no dia 1.º de novembro de 1971, em São Paulo, capital. Em 1988, veio para Viçosa, onde cursou o 2.º grau na Escola Estadual Dr. Raimundo Alves Torres. Em 1993, ingressou no curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Durante sua graduação, participou de pesquisas de campo em assentamentos. O interesse pelos temas econômicos rurais no processo de desenvolvimento nacional a motivou a pleitear uma vaga no Programa de Pós-Graduação em Economia Rural da UFRV, em nível de mestrado, iniciando o curso em março de 1998. No dia 29 de maio de 2001, defendeu sua tese de mestrado.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. O problema de pesquisa	9
1.2. Objetivos	11
2. HISTÓRICO SOBRE A ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	12
2.1. Histórico do setor rural de energia elétrica	16
3. METODOLOGIA	20
3.1. Referencial teórico	20
3.2. Modelo empírico	24
3.2.1. Demanda de energia elétrica	24
3.2.2. Métodos de estimação	26
3.2.3. Teste de raiz unitária	27
3.2.4. Teste de cointegração	30

	Página
3.2.5. Teste de ARCH	31
3.2.6. Teste Breusch-Pagan-Godfrey (serial correlation LM test) .	32
3.3. Fonte de dados	32
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	34
4.1. Evolução do consumo de energia elétrica	34
4.1.1. Consumo residencial-urbano	36
4.1.2. Consumo rural	38
4.2. Análise da estacionariedade das séries	39
4.3. Funções de demanda de energia elétrica	42
4.3.1. Função de demanda urbana de energia elétrica, 1970-1999	42
4.3.2. Função demanda rural de energia elétrica, 1974-1999	45
4.4. Teste de cointegração	47
4.5. Aspectos dos consumos residencial-urbano e rural de energia elétrica	50
4.6. Previsão de consumo residencial e rural de energia elétrica	50
5. RESUMO E CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

RESUMO

SILVA, Soraya Amaro da, M.S., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2001.
Análise econométrica da demanda de energia elétrica nos setores residencial-urbano e rural do Brasil, 1970-1999. Orientador: João Eustáquio de Lima.
Conselheiros: Marília Fernandes Maciel Gomes e Orlando Monteiro da Silva.

A energia elétrica é um serviço à sociedade, podendo garantir melhor conforto e melhor qualidade de vida à população. Neste trabalho, são analisados o consumo residencial-urbano e rural de energia elétrica no Brasil no período de 1970-1999, bem como suas taxas de crescimento no intuito de analisar a evolução da quantidade demandada. Também é analisado o comportamento da quantidade consumida de energia elétrica dos consumidores residencial-urbano e rural frente às alterações nos preços das tarifas médias, preço do eletrodoméstico e renda. O instrumento metodológico utilizado baseia-se na estimação de equações de demanda por diferentes métodos econométricos, ressaltando a utilização de um modelo de correção de erros para se realizar previsões para os diferentes setores. Com base nos resultados, constata-se que as variáveis preço da tarifa média, preço do eletrodoméstico e renda determinaram alterações na quantidade demandada de energia elétrica. Nesse sentido, a utilização destas variáveis implica em alterações na quantidades demandadas. As previsões adotadas foram feitas por simulações, usando-se tarifas diferenciadas, sendo medido os efeitos que

as alterações provocam na quantidade total consumida de energia elétrica, nos diferentes setores e as alterações no consumo médio. Logo, estas estruturas tarifárias são utilizadas para mostrar como o governo e investidores podem ajustar os preços da energia elétrica, atendendo assim as exigências dos consumidores, investidores e governo.

ABSTRACT

SILVA, Soraya Amaro da, M.S., Universidade Federal de Viçosa, May 2001.
Econometric analysis of the electric energy demand from the residential-urban and rural sectors in Brazil, 1970-1999. Adviser: João Eustáquio de Lima.
Committee Members: Marília Fernandes Maciel Gomes and Orlando Monteiro da Silva.

The electric energy is an input that should provide the population with more comfort and a better life quality. This study analyzes the residential-urban and rural consumption of electric energy in Brazil over the period 1970-1999, as well as the growth rates of this consumption in order to analyzing the evolution of the energy demanded amount. The variation of the electric energy amount consumed by the residential-urban and rural consumers are analyzed as a function of the changes in prices of the average tariffs, appliance prices and income. The methodological tool is based on estimation of the demand equations by different econometric methods, as emphasizing the use of an error correction model that forecasts for different sectors. Based on the obtained results, it is verified that the variables price of the average tariff, appliance price and income really determined changes in the demanded amount of electric energy. In this sense, the use of these variables implies some alterations in the demanded amounts of electric energy. The adopted forecasts were obtained by simulations using differentiated tariffs; the effects the alterations usually cause on the total consumed amount of electric energy, as well as in different sectors and on average

consumption were measured. Thus, these tariff structures are used to show how the government and investors, so satisfying the needs of the consumers, investors and government.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica está intimamente ligado às necessidades básicas da sociedade, permitindo tanto ao setor produtivo maior eficiência, como ao setor residencial melhor conforto e, conseqüentemente, melhor qualidade de vida à população.

O perfil mundial de consumo de energia, em que predomina a utilização dos recursos naturais não-renováveis (petróleo, carvão, gás), foi conseqüência do baixo preço relativo do petróleo vigente até o início da década de 70. Posteriormente, os problemas gerados pela crise do petróleo, em conseqüência da elevação de seu preço, foi motivo de preocupação dos governos da maioria dos países.

Durante a crise do petróleo, muitos países dependentes desse produto e que não conseguiram a auto-suficiência ou outras fontes alternativas de energia sofreram impactos profundos em suas economias, destacando-se o caso dos países em desenvolvimento, entre os quais inclui-se o Brasil.

Segundo GOMES (1981), o período de 1970 a 1978, no Brasil, caracterizou-se por grande aumento nas importações de petróleo (de 20,8 para 52,3 milhões de m³), enquanto a produção nacional manteve-se estável em torno de 9 milhões de m³, incapaz de cobrir este déficit, provocando grandes impactos para a economia brasileira que durante este período apresentava altas taxas de crescimento econômico.

As dificuldades para suprir de forma adequada as necessidades de petróleo e o grande potencial hidrelétrico fez o país optar por uma modificação na sua matriz

energética, construindo várias hidrelétricas e milhares de quilômetros de vias de transmissão.

Com a expressiva expansão da economia na década de 70, houve aumento da renda *per capita* nacional e do consumo *per capita* de energia elétrica. Este comportamento não foi mantido na década de 80, onde a economia apresentou comportamento instável (PLANO DECENAL, 1999).

Entre 1980 e 1989, o consumo total de energia elétrica no Brasil acumulou crescimento de 73%, com média anual de 8% a.a. No mesmo período, o Produto Interno Bruto cresceu 22%, ou seja, em média 2,5% a.a., muito próximo da variação da produção industrial, que atingiu a média de 2% a.a., o que evidencia defasagem ao longo da década entre o crescimento do PIB e o aumento do consumo de energia elétrica (RODRIGUES, 1994).

Vários fatores contribuíram para o fato de ter havido uma correlação fraca na evolução das variáveis PIB e consumo de energia elétrica ao longo do período. Segundo RODRIGUES (1994), estes fatores foram os seguintes:

- 1) Substituição de derivados de petróleo por energia elétrica. Após a ocorrência do primeiro choque do petróleo, houve estímulo a essa substituição, basicamente através das alterações nos preços relativos de tais produtos energéticos. Na matriz energética, a energia elétrica passou de uma participação de 20%, em 1974, para 33%, em 1987, enquanto os derivados de petróleo que eram responsáveis por 40%, diminuíram para 28%, em 1987. Essa tendência foi reforçada pela criação de tarifas especiais, a saber: Energia Garantida por Tempo Determinado (EGTD), substituída em 1986 pela Energia Temporária para Substituição Térmica (ETST), que tinham o objetivo de aproveitar excedentes. Essas tarifas contribuíram para manter alto o consumo de energia elétrica;
- 2) Desenvolvimento das indústrias eletrointensivas, mais precisamente alumínio, ferro-liga e cloro. Tais indústrias aumentaram sua participação no consumo industrial de energia elétrica de 25%, em 1973, para 53%, em 1986; e
- 3) Crescimento da economia informal. Nesse caso, teria havido aumento do consumo de energia elétrica neste setor.

Na média, a taxa de crescimento da economia foi positiva, porém inferior à da população, resultando, em 1990, em uma renda *per capita* inferior à de 1980. Tal não ocorreu com o consumo de energia elétrica. Impulsionado pela maturação dos projetos industriais previstos no II PND (Plano Nacional de Desenvolvimento), implantados a

partir do final dos anos 70, e pela queda constante do nível tarifário, o consumo de eletricidade seguiu expandindo-se a taxas significativamente altas (PLANO DECENAL, 1999).

Outro marco deste crescimento na participação da eletricidade é o Plano Real, que foi implementado em 1994. Este plano levou a mudanças nas expectativas de inflação, que passou a apresentar índices progressivamente menores. Ao lado da abertura da economia, iniciada ainda nos primeiros anos da década, os resultados do plano de estabilização criaram condições para a retomada do crescimento. Evidência disso são os indicadores do triênio 1995/1997, que mostraram uma recuperação, em contraste com os do período 1990/1994. Neste primeiro período, o crescimento médio anual do consumo total de energia elétrica foi de 3,3%, e o do PIB, de 2,3% ao ano. Já no período 1995/1997, o consumo cresceu 5,5% ao ano e o PIB 3,6% ao ano (PLANO DECENAL, 1999).

O ano de 1998 foi marcado por forte retração na atividade econômica. As medidas de ajuste econômico adotadas pelo Governo resultaram em impactos no mercado de energia elétrica no ano de 1999. A intensidade elétrica do PIB (kWh/US\$) em 1999 atingiu 0,383 kWh/US\$, encontrou-se entre os mais expressivos do mundo, inclusive contribuindo, pela origem predominantemente hídrica da energia elétrica no País. A participação da eletricidade no Balanço Energético Nacional esteve, em 1999, em torno de 38%.

No Brasil, cerca de 96% de toda eletricidade que é consumida é gerada em usinas hidrelétricas. Apenas pequena parte da energia é produzida em usinas termelétricas e nucleares. O maior consumidor dessa energia é o setor industrial (42,3%), seguindo pelo residencial (28%) e o comercial (15%) no ano de 1999. Os 14,7% restantes são distribuídos entre os segmentos rural, iluminação pública e órgãos do governo (ELETROBRAS, 2001).

O consumo de energia elétrica nos setores residencial-urbano, rural, comercial e industrial, obtiveram crescente aumento em sua demanda quando considerado o período de 1970 a 1999 (BRASIL, 2000).

De acordo com a Tabela 1, pode-se verificar que no período de 1970 a 1999 houve crescimento do consumo de energia elétrica, quando comparado ao PIB, Consumo de Energia Global e a População. Mesmo com uma economia em crise na

década de 80, pode-se notar que este setor apresentou crescimento quando comparado a tais indicadores.

O PIB observado no período apresentou grande crescimento anual na década de 70. O crescimento nas décadas de 80 e 90 não se mostrou na mesma magnitude da década de 70 (Tabela 1).

Tabela 1 - Indicadores da economia e consumo de energia elétrica, Brasil, 1970-99

	1970	1980	70/80 (% a.a.)	1990	80/90 (% a.a.)	1999	90/99 (% a.a.)
POP.*	93	119	2,5	143	1,9	165	1,5
PIB*	248	567	8,6	663	1,6	816	3,6
PIB/hab	2662	4761	6,0	4638	-0,3	4950	2,0
Consumo	40	122	11,8	219	6,0	312	3,0
Consumo/habitante	430	1025	9,1	1531	4,0	1893	3,9

Fonte: PLANO DECENAL (2001).

* População em milhões, PIB em bilhões de dólares, Consumo em TWh e Cons/hab. em Kwh.

Outro indicador da Tabela 1 é a população que apresentou crescimento nas décadas analisadas. Diante destes indicadores, nota-se que o consumo de energia elétrica teve seu crescimento que pode ser explicado pelo crescimento da população, PIB de acordo com os dados.

O consumo *per capita* apresentou crescimento no período de 1970 a 1999 (Tabela 1). A ampliação no consumo de energia elétrica em cada residência certamente pode ser decorrente da crescente entrada de aparelhos eletrônicos no ambiente doméstico, aumentando o estoque total dos mesmos, e, provavelmente, o maior uso do equipamento existente não podendo desprezar o efeito da expansão da quantidade de domicílios no país e do maior acesso destes as redes de distribuição de energia elétrica¹. O maior estoque de eletrodoméstico foi devido ao crescimento do PIB real *per capita* no período, enquanto a intensificação do uso da eletricidade resultou tanto do

¹ A percentagem de domicílios particulares permanentes com iluminação elétrica passou de 39% em 1960 para 99,2%, em 1999 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2001).

crescimento da renda, quanto da queda real observada nas tarifas médias cobradas aos usuários destes serviços.

Em termos regionais, as taxas de crescimento do consumo de energia elétrica foram maiores nas áreas menos desenvolvidas (Tabela 2). Apesar disso, as disparidades regionais são ainda expressivas, o que indica a existência de mercado potencial suficiente para sustentar taxas de expansão de crescimento da quantidade demandada de energia elétrica relativamente elevadas. Assim, é de se esperar que a Região Sudeste, de maior desenvolvimento sócio-econômico, siga sua trajetória de perda progressiva de sua participação relativa no consumo nacional de eletricidade. Outro ponto de destaque diz respeito às taxas médias de crescimento que estão decrescendo no período, nas diferentes regiões o que também pode ser explicado pelo maior desenvolvimento sócio-econômico nas regiões do Brasil.

Tabela 2 - Taxas médias anuais de crescimento do consumo de energia elétrica (%), 1970-1999

Ano	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	Brasil
1970/80	16,9	16,4	11,0	14,6	18,9	12,2
1980/90	16,6	8,3	4,4	7,2	9,5	5,8
1990/98	6,3	4,9	3,7	5,6	7,2	4,5
1998/99	2,9	2,4	0,8	5,7	6,1	2,2

Fonte: PLANO DECENAL (2001).

O setor rural vem apresentando crescentes índices de crescimento no que diz respeito à eletrificação rural. Em 1970 existiam 839.817 residências rurais com iluminação elétrica enquanto em 1999 este número passou para 6.019.764 residências rurais com iluminação elétrica (IBGE, 2001).

A classe rural vem mudando seu comportamento no que diz respeito ao consumo de energia elétrica. O acesso à energia elétrica no setor rural apresenta evolução, que é consequência de medidas como maior investimento, adotadas no passado com o objetivo de estender a rede elétrica para zonas rurais (Tabela 3). Em 1983 foi realizado pela Eletrobrás em conjunto com o Banco Mundial um programa de

financiamento para a eletrificação rural no Paraná e Minas Gerais. Com isso foram eletrificadas 123.000 propriedades no Paraná e 95.000 em Minas Gerais (DEPARTAMENTO NACIONAL DE COOPERATIVISMO E DESENVOLVIMENTO RURAL - DENACOOP, 1991).

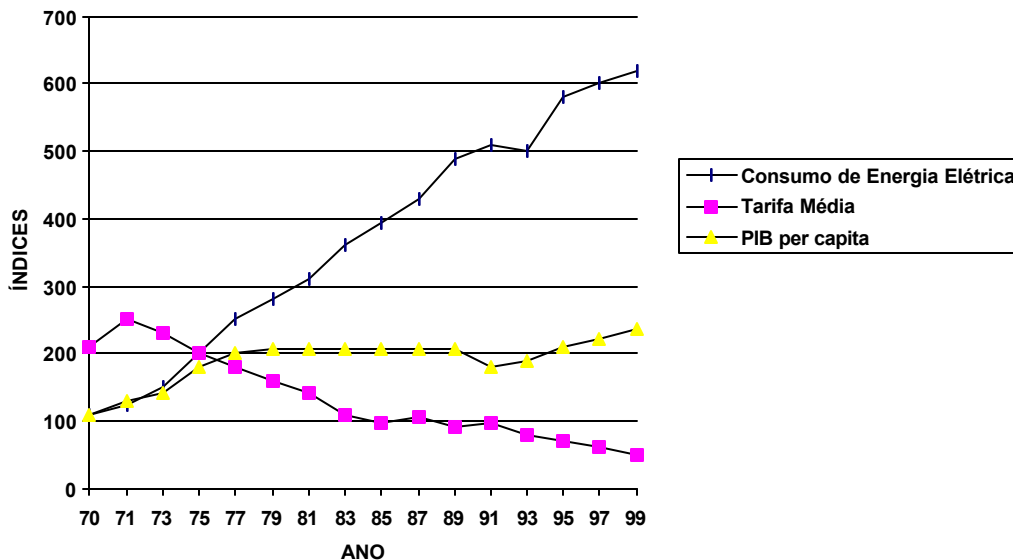
Tabela 3 - Percentual de domicílios sem energia elétrica por macrorregiões e setores, Brasil, 1985 e 1999

Ano	Norte		Nordeste		Sudeste		Sul		Centro-Oeste	
	U	R	U	R	U	R	U	R	U	R
1985	10,6	-	11,3	80,7	4,1	45,2	5,2	36,9	8,7	71,1
1999	2,2	-	2,1	37,1	0,3	11,1	0,6	7,5	0,5	25,1

Fonte: IBGE (2001).

De acordo com a ELETROBRÁS (2001), em 1996 havia uma previsão de que o número de refrigeradores e televisões crescesse ainda mais nos anos seqüentes devido ao maior acesso à energia elétrica; favorecendo desta maneira o maior consumo de energia elétrica no setor rural.

Através da Figura 1 constata-se que, enquanto o PIB *per capita* subiu do nível 100, em 1970, para 250, em meados dos anos 77 (mantendo um valor quase constante daí em diante), a tarifa média aplicável ao consumo residencial-urbano sofreu contínua queda em termos reais, provavelmente estimulando a expansão do consumo por residência. O valor real da tarifa residencial-urbana de energia elétrica, que tinha atingido um índice ápice de cerca de 250, no início dos anos 70, entrou em queda contínua a partir daí, reduzindo seu valor real para cerca de 50, ou seja, o custo da utilização desta energia nas residências caiu pela metade, incentivando o maior uso de novos aparelhos eletrodomésticos bem como dos existentes.



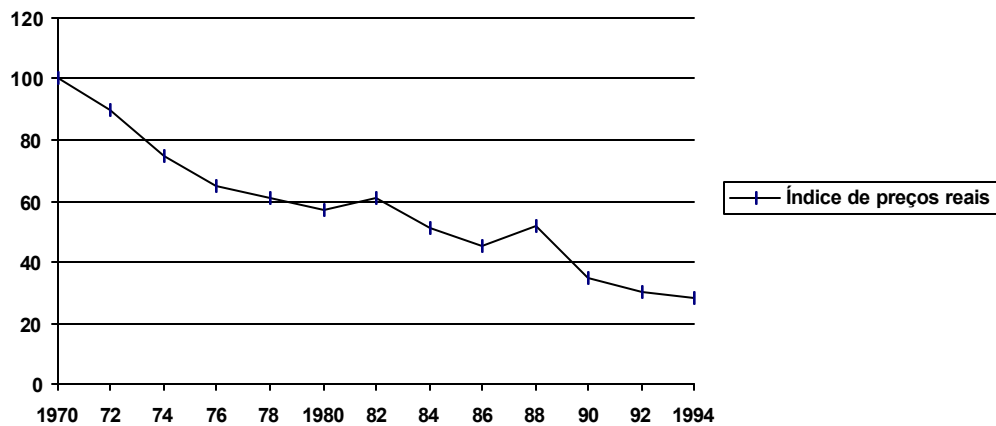
Fonte: PLANO DECENAL (2000).

Figura 1 - Evolução do consumo de energia elétrica por residência, PIB *per capita* e tarifa média, 1970-1999.

Os fatores que impulsionaram esse crescimento do consumo de energia elétrica são: aumento dos rendimentos familiares, que se origina do crescimento econômico do país e ingresso de maior número de membros familiares no mercado de trabalho formal e informal. No entanto, aponta-se que a principal barreira à difusão dos eletrodomésticos na sociedade brasileira é a baixa renda familiar da maioria da população (OLIVEIRA, 1998).

Com relação ao preço médio real dos aparelhos eletrodomésticos, houve queda acentuada no período 1970 a 1999, permitindo que as famílias aumentassem o estoque domiciliar desses bens, contribuindo, dessa forma, para o maior consumo médio de eletricidade nas residências (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS - FGV, 1999). A Figura 2 exhibe a evolução do índice de preços de eletrodomésticos no período 1970/94² e, como se vê, o preço real teve queda de cerca de 70% no período.

² O índice foi construído encadeando-se os índices de preços de atacado (1970/89) e de preços ao consumidor (1990/95) de eletrodomésticos apurados pela Fundação Getúlio Vargas, publicadas na Conjuntura Econômica, deflacionados pelo IPC/FGV (FGV, 1999).



Fonte: FGV (1999).

Figura 2 - Índices de preços reais de eletrodomésticos, Brasil, 1970-1994.

A tarifa de energia elétrica vem apresentando predisposição das autoridades do setor em recuperar pouco a pouco as perdas reais que vinham tendo, o que estava prejudicando os seus resultados operacionais e impedindo que a receita tarifária pudesse financiar parte do custo de expansão da infra-estrutura de geração, transporte e de distribuição de energia elétrica. Ensaiou-se tal recuperação, fazendo-se reajustes tarifários acima da desvalorização provocada pela inflação nos anos iniciais desta década, mas com o advento do Plano Real, em 1994, e a estabilização de preços operada por este plano, a recuperação planejada para as tarifas foi deixada para segundo plano. Em 1994 e em 1995, o consumo urbano médio de eletricidade manteve crescimento, sendo que, neste último ano, cresceu mais de 12% (ANDRADE e LOBÃO, 1997).

De modo geral, o crescimento do consumo de energia elétrica no período 1970 a 1999 refletiu a progressiva alteração na tarifa média de energia elétrica, e no índice de preço de eletrodoméstico que apresentaram queda em seus preços no decorrer do período e do PIB que apresentou crescimento; mesmo não sendo da mesma magnitude que o crescimento do consumo.

O Brasil, que ainda é um país em vias de desenvolvimento, está aumentando seu consumo de energia elétrica devido a fatores como crescimento populacional, maior taxa de urbanização e maior nível de industrialização principalmente. Ao apresentar mudanças, este setor passa por um processo de reestruturação onde os meios de proteger o investidor contra uma concorrência destrutiva, proteger o consumidor contra o abuso de poder de monopólio e salvaguardar o interesse geral no que diz respeito à segurança do abastecimento, podem oferecer melhores serviços à sociedade, bem como melhorar sua eficiência.

1.1. O problema de pesquisa

O setor elétrico em todo o mundo está se deparando com tendência de descentralização e, ou, desregulamentação. A descentralização tem como características mais relevantes a criação de um ambiente de competição, através de diversos instrumentos de organização industrial, como desverticalização, limites ao poder de mercado e privatização. O modelo do setor elétrico hoje é representado por empresas total ou parcialmente verticalizadas, isto é, que atuam em pelo menos dois segmentos da cadeia de produção (geração, transmissão e distribuição). Estas empresas serão desmembradas em empresas específicas para cada um dos segmentos, tornando assim o processo desverticalizado. Ocorrendo a descentralização e desverticalização, o setor passa a ser constituído de diversos agentes, com suas próprias decisões, influenciando no desempenho do setor elétrico, gerenciados por órgão operativo que otimiza a produção frente à demanda (ROCHA, 1999).

Um dos aspectos mais relevantes das recentes reformas introduzidas no setor elétrico é a busca de um modelo tarifário que preserve os interesses dos consumidores, garanta rentabilidade aos investidores e estimule a eficiência setorial (PIRES e PICCINNI, 1999).

O Brasil vem alterando seu modelo de geração e distribuição de energia elétrica de acordo com às tendências constatadas no mundo. Existe uma proposta de reestruturação que foi implementada no Brasil em 1999 (SANTANA e OLIVEIRA, 1999). A competição desejada é o mercado atacadista de energia (MAE), em que se desenvolve um mercado *spot*³, onde também é comercializada a energia assegurada

³ A expressão mercado *spot* tem sido utilizada no setor elétrico para designar comercialização pré-operacional. Segundo BORN e ALMEIDA (1999), o setor elétrico têm sido ou vem sendo reestruturado,

pelas geradoras. É um tipo de estrutura que vem sendo adotado em grande parte dos países em que as reformas já foram concluídas, especialmente naqueles cuja geração tem maior participação de usinas termelétricas. Ainda que se reconheça a importância da competição para a busca da eficiência micro (da empresa) e macroeconômica (da indústria), existem dúvidas quanto à eficácia de tal competição em um sistema cuja geração é predominantemente hidrelétrica. Nesse tipo de sistema, como é o caso brasileiro, existe dependência entre as usinas, o que requer uso de coordenação para maximização dos benefícios.

A principal questão que este trabalho se propõe a discutir é como se dá ou dará a mudança no nível de consumo em relação às modificações no setor que repercutem nos preços de energia elétrica e, também, em relação ao nível de renda do consumidor. Além disso, considera-se a evolução dos preços de eletrodomésticos como determinantes do consumo.

Foram analisados o setor residencial-urbano, através do consumo residencial, e o setor rural, através do consumo rural. Os menores níveis de tarifas para o setor rural certamente incentivaram o maior uso. Por outro lado, esse setor fica na dependência da disponibilidade de oferta que depende da implantação de redes de transmissão e consumo. É importante investigar quais fatores têm maiores efeitos sobre o consumo nos dois setores, o que servirá para prever o comportamento futuro, fornecendo indicações e orientações de investimento na geração e distribuição de energia elétrica.

A hipótese básica a ser testada neste trabalho é que o crescimento da renda e os decréscimos dos preços reais da energia elétrica e do eletrodoméstico são os fatores que contribuíram para o crescimento do consumo de energia elétrica no Brasil, no período de 1970 a 1999.

1.2. Objetivos

O objetivo geral do presente estudo é analisar as relações entre a demanda de energia elétrica e seus principais determinantes no setor residencial-urbano e no setor rural do Brasil, no período 1970 a 1999.

Especificadamente pretende-se:

a energia passando a ser comercializada em bolsas de energia como uma *commodity*. Este preço é determinado num mercado *spot*.

1. Descrever e analisar a evolução do consumo residencial-urbano e rural de energia elétrica;
2. Determinar os efeitos de variações nas tarifas, na renda e nos preços de eletrodomésticos sobre o consumo residencial-urbano e rural de energia elétrica; e
3. Projetar o consumo futuro de energia elétrica sob diferentes cenários de crescimento da renda e níveis de tarifas.

2. HISTÓRICO SOBRE A ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL³

Este capítulo oferece um histórico do desenvolvimento do setor elétrico no Brasil a partir dos anos 70. Focalizam-se os principais acontecimentos políticos, sociais e econômicos do país, visando identificar os principais efeitos destes acontecimentos no setor elétrico.

A década de 70 é caracterizada por uma retomada do investimento no setor de energia elétrica, sob controle da Eletrobrás.

Com o primeiro choque do petróleo e dada a liquidez em que se encontrava o sistema financeiro internacional, a partir de 1974 inaugurou-se nova fase no setor elétrico, cuja característica principal seriam as mudanças na estrutura de financiamento.

O período de 1974 a 79 caracterizou-se por uma fase de transição na medida em que o investimento continuou crescendo, devido ao final de grandes projetos de geração, com taxas acentuadas. Também nesse período, sob o argumento da contenção de taxa de inflação, as tarifas de energia elétrica passaram a evoluir em um patamar abaixo da inflação, obrigando o setor a aumentar o nível de captação de recursos externos, com o conseqüente processo de endividamento.

A década de 80 foi um período marcado em seu início pelo segundo choque do petróleo e pelo aumento das taxas de juros no mercado internacional, que ultrapassaram os 20% a.a..

³ Baseado, principalmente, em MUNDO ELÉTRICO (1989).

Em 1980, o governo brasileiro, através da Companhia Nacional de Energia (CNE), anunciou a elaboração de um novo plano energético nacional, promovendo uma determinação clara dos rumos da política brasileira nessa área, incluindo os demais ministérios do governo envolvidos (MUNDO ELÉTRICO, 1989).

O novo plano tratava das fontes geradoras de eletricidade e do maior uso de recursos renováveis como álcool, especialmente para o setor de transportes, principal preocupação do governo, uma vez que os preços do petróleo importado encontravam-se bastante elevados em razão da segunda crise do petróleo, iniciada em 1979. A CNE tratava igualmente de anunciar novos planos para o álcool e para o carvão. Havia muita expectativa em relação ao Plano 2000 da Eletrobrás. Estimava-se um crescimento de mercado da ordem de 8,4% naquele ano, prosseguindo assim até o final do século. Mas o plano não se mostrava coerente. Na versão inicial, ele se baseava em dados nos quais as características e o estágio de urbanização e industrialização indicavam tendência de que, até 1985, o crescimento seria verificado a taxas mais elevadas que no próximo decênio, levando em conta a natureza da produção brasileira e o estágio de desenvolvimento econômico. Isto era baseado no fato de que certos tipos de atividades industriais, como eletroquímica, siderurgia e eletrometallurgia, consumiam quantidade superior de energia elétrica por unidades monetárias que outros. Em seguida, quando o Brasil passava por fase de industrialização em que predominava o crescimento dessas atividades, a quantidade de energia elétrica consumida por unidade de Produto Interno Bruto (PIB) era superior à anterior ao ciclo de industrialização.

Mais tarde, o panorama se inverte, com o maior crescimento das indústrias leves de maior sofisticação tecnológica, como telecomunicações e computação. Acreditava-se ainda que iria aflorar o esforço de conservação e substituição de energia empreendido pelas indústrias. O Plano 2000, por sua vez, previa que, de 1979 a 2000, o consumo de energia do País se elevaria de 109 mil GWh para 540 mil GWh, enquanto o consumo *per capita* subiria de 1578 kWh para 2355 kWh, com alterações qualitativas na economia e no padrão de vida do brasileiro.

Entretanto o desempenho da economia nacional foi predominado por desaquecimento, que afetou o comportamento do mercado de energia. O consumo global do país aumentou 5,8%, aproximadamente a metade do crescimento registrado em 1979. Na região sudeste, a taxa de elevação foi de 4,5%, ante 10,1% de 1980.

As concessionárias tiveram redução de rentabilidade de 8% para 6,5% sem perspectivas de recuperação através da tarifa energética. Assim, foi verificado um

desequilíbrio da oferta e da demanda no mercado interno e havia grande interesse em incrementar a substituição dos derivados petrolíferos importados no país.

Uma nova estrutura tarifária de “referência” foi divulgada em 1980. Era a tarifa horosazonal onde a fórmula de preços incluía cálculos de custo marginal de atendimento do consumo e tratamento diferenciado para os períodos secos e úmidos, dentro e fora de ponta de carga, diariamente entre 17 horas e 21 horas.

As novas tarifas horosazonais seriam aplicadas em etapas. Os consumidores foram divididos em diversos subgrupos, conforme sua tensão, englobando 40% do consumo nacional. A tarifa horosazonal estava sendo criada como tentativa de eliminar, do horário de ponta de carga, os maiores consumidores, dispensando investimentos em transmissão e distribuição para ampliações do mercado.

A estrutura de financiamento do setor de energia elétrica continuava com recursos externos e as tarifas ainda sofrendo reajustes inferiores aos níveis da inflação. Do lado internacional, em decorrência da decretação da moratória mexicana de setembro de 1982, os banqueiros internacionais se retraem na concessão de novos empréstimos e aumentam as exigências para a rolagem da dívida dos demais países endividados. Em 1982, a Eletrobrás comemorava 20 anos, e a situação do setor elétrico era marcada por dificuldades. O consumo de energia elétrica deveria dobrar a cada seis ou sete anos, contando com um crescimento anual de 10%. Mas, em 1981, o crescimento ficou em 3,2% e se tudo ocorresse conforme as expectativas, em 1982 atingiria 6% (RODRIGUES, 1994).

As concessionárias poderiam reajustar suas tarifas conforme o Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC), mas não tinham meios de prever qual seria seu patamar. Era implementado um desconto às empresas cujo consumo fosse dirigido aos produtos exportáveis. E a substituição do petróleo importado estava cada vez mais em voga.

No final de 1982, o governo criou pequenas centrais hidrelétricas a fim de atenuar o quadro do setor. O objetivo da Eletrobrás era que os consumidores fora das redes interligadas fossem atendidos pelas pequenas centrais.

A aceleração do processo inflacionário, a partir de 1983, e a maxidesvalorização do cruzeiro, no mesmo ano, fizeram com que aumentasse os desequilíbrios do setor, que neste ano eram ainda maior devido as dificuldades financeiras que já existiam em outros anos.

Em 1984 a demanda de energia elétrica crescia 11% ao ano. Deu-se prioridade àquelas obras iniciadas ou em fase de expansão, levando em conta maior demanda e a possibilidade de interligação dos sistemas. A maior taxa de expansão seria no Norte e no Nordeste, uma vez que nessas regiões estavam concentradas as obras de geração já contratadas ou em andamento, faltando reforço no sistema de transmissão.

O ano de 1985 foi marcado por uma decisão do Governo Federal de aumento real das tarifas, que seria destinada ao Imposto Único sobre Energia Elétrica (IUEE), e não mais desviadas para o governo federal.

Tendo seus preços limitados pelas políticas antiinflacionárias e sendo obrigado a suprir energia elétrica como principal fonte no processo de substituição de energéticos importados, o setor elétrico mais uma vez é obrigado a recorrer ao capital de terceiros para a rolagem de curto prazo de suas dívidas. No período 1983-85, o serviço da dívida cresceu 102% e a geração própria de recursos caiu 9% em termos reais.

Era elaborado em 1986 um plano de recuperação do setor elétrico, sendo possível aumentar o crescimento do potencial instalado de 45 mil MW para 57,5 MW em 1989. A Eletrobrás calculava que a demanda deveria crescer 11% ao ano.

Junto com o agravante da situação do segmento energético estava a falta de capital e as tarifas congeladas, afastando os financiamentos externos em atividades problemáticas e sem remuneração como as da eletricidade.

O Plano Nacional de Energia Elétrica 1987/2010, também conhecido como Plano 2010, da Eletrobrás, deveria orientar todo o universo do setor elétrico, bem como o que direta ou indiretamente se relacionasse com ele. Numa primeira versão, previa-se consumo de energia elétrica no país de 195,8 TWh, em 1987, e de 678,6 TWh, em 2010, uma taxa de crescimento de 5,5%, em 1987, 8,1%, em 1988; 7,6%, em 1989, e 7,2%, em 1990. A partir daí, o aumento do consumo era estimado em 6,2% ao ano.

O plano admitia queda nas taxas de progressão do consumo nacional, que, na realidade, estava reprimido, ficando abaixo das médias internacionais dos países industrializados. Esses fatos retratavam-se na elasticidade do consumo de energia elétrica, segundo a Eletrobrás, de 1,19% no período 1970/75; 1,07%, no período 1985/90, reduzindo até 0,91%, no período 2005/2010.

A década de 90 é marcada por mudanças, com diversas leis aprovadas no sentido de dar outro rumo ao setor elétrico. Como exemplo disto têm-se a lei n.º 9074/95 que estabeleceu as bases legais para que os grandes consumidores de energia elétrica possam comprar energia livremente.

O início de operação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), criada pela lei n.º 9427/96, como órgão regulatório do setor, inaugurou nova etapa do setor elétrico brasileiro. A ANEEL passa a delegar o papel de interface entre o governo, as concessionárias e os consumidores.

2.1. Histórico do setor rural de energia elétrica

Com relação ao meio Rural, em 1923, têm-se o primeiro registro do uso da energia elétrica no interior de São Paulo. Na década de 40, no Rio Grande do Sul, deu-se início às primeiras experiências de cooperativas de eletrificação rural, tendo como objetivo a eletrificação de residências.

A partir de 1950 foi iniciado o envolvimento dos governos estaduais na eletrificação com a criação do Serviço Especial de Eletrificação Rural (SEER) no Estado de São Paulo. A partir de 1961 o Departamento de Águas e Energia Elétrica passa a desenvolver um programa de eletrificação rural através de cooperativas.

Em 1970 houve a implantação de sistema de distribuição de energia elétrica rural que resultou num maior impulso da eletrificação rural.

No Nordeste, onde o sistema cooperativista enfrentou uma estrutura fundiária altamente concentradora, as cooperativas foram politicamente manipuladas e o modelo nunca se consolidou. Todavia, em outras regiões, particularmente nos estados do Sul do país, o programa deu grande impulso à eletrificação rural, sendo conectados à rede mais de 28 mil novos consumidores rurais e constituídos 165.000 km de rede de distribuição rural em 10 estados, através de 94 cooperativas. Hoje, 73% das propriedades da região são eletrificadas (ELETROBRÁS, 2000).

No ano de 1976 foi criado, pela Eletrobrás, o Departamento de Eletrificação Rural e um programa de eletrificação rural.

Em 1977 foi iniciado o II Plano Nacional de Eletrificação Rural (PNER); este gerou 40.537 km de rede de distribuição, atendendo a 73.369 propriedades rurais e 20 povoados em 18 estados e Distrito Federal (GRUPO EXECUTIVO DE ELETRIFICAÇÃO RURAL DE COOPERATIVAS - GEER, 1984).

Com recursos do PNER, 113.521 propriedades rurais foram beneficiadas, resultando, ao final de 1983, em percentual de 13,8% das 851.563 propriedades rurais eletrificadas no Brasil. A distribuição por região das propriedades eletrificadas pelo Grupo de Energia Elétrica Rural (GEER) foi bastante desigual. A região Sul foi

contemplada com 56,3%, a região Nordeste com 25,5%, a região Sudeste com 10,5% e a região Centro-Oeste com 7,7% (ELETROBRÁS, 1999).

A partir do final da década de 80, o ritmo de investimento na eletrificação rural diminuiu. Os recursos externos escassearam porque grande parte das análises realizadas pelos órgãos internacionais nos anos 80 mostravam um deslocamento entre as políticas de eletrificação e as de desenvolvimento do meio rural.

A queda no investimento no setor rural, segundo a Eletrobrás, é um problema da situação do setor elétrico a partir da segunda metade da década de 80 : falta de recursos para investimentos e tarifas inadequadas. Com a redução dos investimentos, a Eletrobrás extinguiu seu Departamento de Eletrificação Rural, sendo seguida pela maior parte das concessionárias que tenderam a descentralizar as ações nessa área, sem, no entanto, estabelecer políticas para o atendimento rural. Os investimentos em eletrificação rural passaram a ser efetuados com recursos dos governos estaduais ou de programas de desenvolvimento integrado do Banco Mundial. Segundo a ELETROBRÁS (1999), até 1991 já tinham sido beneficiadas em torno de 50.000 propriedades nessas novas modalidades.

A partir de 1994, iniciativas sinalizaram a retomada do processo de eletrificação das áreas rurais. A Eletrobrás criou o Comitê de Prioridades de Reserva Global de Reversão (RGR), nos termos da Lei 8.631 e do Decreto 774. Em 1995, foram alocados R\$ 21,2 milhões, que foram alavancados das 13 empresas que participaram do programa.

Mesmo diante de metas alcançadas pelo setor elétrico, elevando a taxa de atendimento domiciliar em todo país, existe ainda propriedades sem acesso ao serviço de energia elétrica que o Ministério de Minas e Energia atribui ao seguinte:

- a) priorização ao atendimento dos setores e das camadas da população econômica e politicamente influentes;
- b) elevado custo de extensão da rede elétrica para áreas rurais devido a baixa demanda;
- e
- c) subsídios e mecanismos de verificação de preços idealizados, como compensação às regiões distantes.

O setor rural tem mudanças a partir de 1996, quando a ANEEL estabeleceu que 50% da RGR fosse direcionado para as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste e os outros 50% fossem alocados para programas em eletrificação rural.

Recentemente, a ANEEL inaugurou um órgão designado do trabalho de eletrificação rural - Programa Luz no Campo. Com o programa, o Governo Federal pretende fornecer energia elétrica para um milhão de propriedades e domicílios rurais, com benefícios para cerca de cinco milhões de habitantes, buscando, assim, soluções para os grandes problemas sócio-econômicos do meio rural (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, 2001).

O setor energético na década de 90 é marcado por forte reestruturação, onde está ocorrendo a desregulamentação deste setor.

À pressão externa pela abertura de mercados, tanto de bens e serviços como financeiros, associam-se as decisões internas, de recuo do governo na sua participação em atividades produtivas, e de supressão de subsídios e incentivos fiscais, com o objetivo de criar condições competitivas na economia nacional.

O setor elétrico passa ainda por mudanças estruturais, no que diz respeito à desverticalização. Essas mudanças estruturais permitem de certa forma, que a expansão na oferta de energia elétrica ocorra e preços relativamente baixos, juntamente com melhor qualidade do serviço ocorram, pois existe agora maior concorrência devido à privatização de alguns setores. Tudo isto torna fundamental para o sucesso do setor de energia elétrica brasileiro no que diz respeito à própria empresa bem como a qualidade de serviços prestados ao consumidor.

3. METODOLOGIA

3.1. Referencial teórico

A demanda por determinado bem ou serviço é influenciada por vários fatores. A teoria relevante, por meio da relação estatística da demanda por bens e serviços, baseia-se na maximização da utilidade do consumidor, dada uma restrição orçamentária (VARIAN, 1994). Essa relação pode ser representada da seguinte forma:

$$Q_{it}^d = f(p_{it}, \dots, p_{nt}, Y_t, \text{pop}_t), \text{ com } i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

em que Q_{it}^d é a quantidade consumida de determinada mercadoria i ; p_{it}, \dots, p_{nt} são os preços das mercadorias, incluindo a mercadoria em questão; Y_t é a renda; pop_t é a população; e t é o tempo.

A teoria econômica sugere que, num modelo de demanda, de forma geral, sejam incluídos, além do preço do produto, os preços dos bens substitutos e ou, complementares, nível de renda, população e outras variáveis de interesse específico.

A forma geral representada pela equação (1) mostra a demanda de mercado por determinado bem, resultante da agregação das demandas individuais, em cada nível de preço.

Os preços de outras mercadorias no modelo informam sobre a interdependência entre a mercadoria e as mercadorias substitutas ou

complementares no consumo e servem para deslocar a curva de demanda por determinado bem para a direita ou para a esquerda de sua posição de origem. Já as variações nos preços do produto específico provocam deslocamentos ao longo da curva de demanda.

O deslocamento em uma curva de demanda é explicado por alterações nas variáveis que afetam a demanda, exceto o próprio preço. Conhecida a curva de demanda, pode-se analisar o efeito das variáveis na quantidade demandada, através das elasticidades.

A elasticidade-preço da demanda por determinado bem é dada pela variação percentual na quantidade demandada do bem em questão, dividida pela variação percentual do seu preço; logo, pode-se dizer que é a resposta relativa da quantidade demandada às variações relativas do preço.

Por sua vez, a elasticidade renda é dada pela relação percentual entre as mudanças da quantidade demandada pela variação percentual na renda do consumidor.

As informações sobre elasticidades entre variáveis aumentam as noções de causa e efeito dos fenômenos, fornecendo, desta maneira, maior êxito às previsões.

Com relação às elasticidades, é esperado a relação inversa entre o preço do produto e a quantidade demandada, onde isto pode ser explicado por meio dos efeitos substituição e renda que resultam das variações de preço. A relação entre o preço do produto substituto e a quantidade demandada deve ser positiva, enquanto a relação entre o preço do produto complementar e a quantidade demandada deve ser negativa. Espera-se relação positiva entre renda e a quantidade demanda, *ceateris paribus*. É esperada também uma relação positiva entre o crescimento populacional, que representa o crescimento do mercado e a quantidade demandada.

Um outro conceito é o da curva de indiferença, onde esta é determinada mediante cesta de consumo que é formada por todas as cestas de bens que deixam o consumidor indiferente entre elas e a cesta considerada.

Entretanto, existem certos bens que não seguem estas características, no que diz respeito à relação entre preços e quantidades demandadas, pois tais mercadorias possuem preços em bloco. Casos típicos são o da energia elétrica e da água.

Em virtude da dificuldade de especificar a demanda desses bens que não possuem um único preço de equilíbrio e sim uma lista de preços, passa-se, a seguir a discutir essa teoria.

Na literatura econômica sobre demanda por eletricidade existe duas linhas de discussão. Tem-se a controvérsia a respeito da especificação da variável preço onde, de um lado, existem os defensores do uso do preço marginal e *diferença*⁴ e, do outro, os que preferem o preço médio. GOTTLIEB (1963) e HOWE e LINAWEAVER JR. (1967) explicam que a diferença existe porque a eletricidade, assim como a água, é ofertada segundo tarifas que variam por blocos de consumo. O preço médio é o valor total da conta dividido pela quantidade consumida de eletricidade, enquanto o preço marginal é o preço cobrado por unidade de consumo referente ao bloco onde recai a quantidade total consumida. Gottlieb prefere o preço médio enquanto Howe e Linaweaver Jr. preferem o uso do preço marginal.

TAYLOR (1975) faz levantamento dos estudos realizados sobre a demanda por eletricidade nos Estados Unidos, intensificando a discussão a partir dos anos 80. Nesta época, as tarifas cobradas eram decrescentes em relação ao consumo. São examinados 11 artigos, onde apenas dois (HOUTHAKKER, 1951 e HOUTHAKKER et al., 1973) especificam preço marginal em suas estimativas de demanda. Os outros nove utilizam preços médios.

Taylor critica a preferência pelo preço médio. Para o autor, a especificação correta deve conter as duas variáveis (preço médio e preço marginal) como argumentos da função demanda.

NORDIN (1976) altera a recomendação de Taylor, propondo, em lugar do preço médio, a definição de uma variável equivalente ao pagamento que o consumidor precisa fazer antes de poder consumir as unidades que desejar ao preço marginal. Este pagamento se transformaria em subsídio no caso de tarifas crescentes com o consumo.

TAYLOR (1975) discute também que para a determinação do preço médio ou do preço marginal é preciso discutir o problema de simultaneidade e tendenciosidade das estimativas de elasticidade-preço caso haja omissão de uma de duas variáveis preço. Este viés é resultado da correlação positiva entre preço médio e marginal.

FOSTER JR. e BEATTIE (1979), divergindo de Taylor, especificam um modelo de demanda usando preços médios. Esta escolha é reconhecida pelos próprios autores como uma indução a um problema de simultaneidade. Para estes autores, o uso da variável preço marginal leva a resultados estatisticamente super estimados. Devido à complexidade da estrutura tarifária e ao desconhecimento, por parte dos consumidores,

⁴ Diferença é definida como a diferença entre o valor da conta de luz pago e o valor da conta ao preço marginal.

da existência de preço marginal, o preço médio seria, então, uma boa *proxy* para o preço percebido pelos consumidores.

Numa tentativa de unir as duas vertentes, OPALUCH (1982) sugere em seu trabalho qual dos dois conceitos de preço médio ou marginal deve fazer parte da demanda.

CHICOINE e RAMAMURTHY (1986) testam empiricamente o procedimento idealizado por Opaluch utilizando dados de uma pesquisa por domicílios realizada em região rural de Illinois, USA. Os dados consistem em séries temporais para os 12 meses de 1982.

Usando a estrutura estabelecida por OPALUCH (1982) os autores sustentam empiricamente que a especificação apropriada é a medida decomposta no preço médio.

Baseado na teoria econômica, hipóteses de que os consumidores agem de forma racional, que são restritos às suas rendas e definem as suas preferências quanto às quantidades dos diversos bens que podem adquirir (neste caso a energia elétrica) pode-se derivar uma função de demanda geral.

Diante da teoria discutida por diversos autores, este trabalho utiliza em seu modelo de estimação da demanda o preço médio das tarifas admitindo, desta forma, que este preço é uma boa escolha para responder as alterações nas quantidades demandadas de energia elétrica tanto no setor residencial-urbano, quanto no setor rural de energia elétrica do Brasil.

3.2. Modelo empírico

3.2.1. Demanda de energia elétrica

Para adotar a especificação de uma função de demanda por energia elétrica é preciso realizar, num primeiro momento, algumas considerações.

De acordo com ANDRADE e LOBÃO (1997), para se estimar um modelo de energia elétrica deve-se considerar as seguintes hipóteses:

- a) 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, para grande parte dos consumidores, 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 como boa aproximação para a quantidade demandada.

- b) Com relação ao comportamento da demanda residencial ao longo do tempo, considera-se que o mesmo seja influenciado por três variáveis fundamentais: a tarifa cobrada pelo serviço, a renda familiar e o estoque domiciliar de aparelhos eletrodomésticos. Teoricamente, espera-se que o consumo reaja negativamente aos aumentos de tarifa e positivamente aos aumentos de renda e do estoque de eletrodomésticos, de acordo com a seguinte função não-linear⁵:

$$Q_t = K \cdot T_t^\alpha \cdot Y_t^\beta \cdot EI_t^\delta \quad (2)$$

$$K > 0, \alpha < 0, \beta > 0 \text{ e } \delta > 0$$

em que Q_t = consumo de energia elétrica no tempo t ; T_t = tarifa de energia elétrica no tempo t ; Y_t = renda familiar no tempo t ; EI_t = estoque de aparelhos eletrodomésticos no tempo t .

Segundo ANDRADE e LOBÃO (1997), outra hipótese básica é a existência do problema da depreciação ao longo do tempo, onde, para se repor ou aumentar este estoque, existe a dependência de preços dos eletrodomésticos (PEI_t) e da renda familiar. Logo, pode-se assumir que o estoque domiciliar irá reagir positivamente aos aumentos na renda e negativamente aos aumentos nos preços dos eletrodomésticos, e que esta variáveis se relacionam de acordo com a seguinte expressão:

$$EI_t = \Delta \cdot PEI_t^\mu \cdot Y_t^\psi \quad (3)$$

$$\Delta > 0; \mu < 0; \psi > 0$$

Substituindo (3) em (2) e tomando o logaritmo, chega-se à seguinte equação linear para a demanda residencial de energia elétrica:

$$\ln Q_t = \zeta_1 + \zeta_2 \ln T_t + \zeta_3 \ln Y_t + \zeta_4 \ln PEI_t + \varepsilon_t \quad (4)$$

em que $\ln Q_t$, $\ln T_t$, $\ln Y_t$ e $\ln PEI_t$ são, respectivamente, os logaritmos de Q , T , Y e PEI , $\zeta_1 = \ln(K\Delta^\delta)$, $\zeta_2 = \alpha < 0$, $\zeta_3 = \beta + \delta\psi$ e $\zeta_4 = \delta\mu < 0$; ε_t é um termo de erro aleatório, sob as pressuposições do modelo linear geral.

⁵ Tal forma funcional tem muitas aplicações em economia, sobretudo na estimação de função demanda. O uso desta forma funcional permite o cálculo de elasticidade constante. De modo geral o uso da função é adequado toda vez que uma variável cresce com o aumento da outra.

Os coeficientes ζ_2 , ζ_3 e ζ_4 representam, respectivamente, as elasticidades da demanda de energia elétrica com relação ao preço de energia elétrica, renda e preço dos eletrodomésticos. Ao considerar-se as elasticidades renda e preço dos eletrodomésticos, as elasticidades estimadas medem efeitos diretos e indiretos que estas variáveis terão sobre as quantidades demandadas.

Quando existe uma renda maior, pode-se dizer que esta possibilita maior uso do equipamento e, com isso, crescimento do estoque de equipamentos e estes, por sua vez contribuirão para uma quantidade maior demandada de eletricidade. Logo, através das elasticidades pode se medir o efeito-uso e o efeito de variação daquele estoque. No caso da elasticidade-preço dos aparelhos eletrodomésticos, sua elasticidade estimada mede o efeito que este preço tem sobre o estoque e de como este estoque afeta a quantidade demandada de eletricidade.

Os setores residencial-urbano e rural foram adotados por possuírem características semelhantes com relação aos consumidores.

Para estimar a equação (4) para os setores urbano e rural, foram consideradas as seguintes variáveis:

- IQU_t = logaritmo do consumo urbano total de energia elétrica em MWh .
- ITU_t = logaritmo da tarifa média urbana em valores reais de 1994; os valores foram deflacionados pelo IGP -DI da FGV (média 1994=100).
- IYU_t = logaritmo do PIB em valores reais de 1994, como *proxy* para o logaritmo da renda familiar real.
- IYR_t = logaritmo do PIB agropecuário em valores reais de 1994, como *proxy* para o logaritmo da renda rural.
- IPe_t = logaritmo do índice de preços de eletrodomésticos em valores reais de 1994.
- IQR_t = logaritmo do consumo rural total de energia elétrica em MWh.
- ITR = logaritmo da tarifa média rural em valores reais de 1994; os valores foram deflacionados pelo IGP -DI da FGV (média 1994=100).

3.2.2. Métodos de estimação

Devido à possível existência do problema de simultaneidade em estimativas de demanda feitas pelo Método dos Mínimos Quadrados Ordinários, a equação (4) foi estimada por três diferentes métodos.

O primeiro foi o método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), sob hipóteses do modelo linear geral, onde o objetivo da estimação é o de obter estimativas dos parâmetros de modo que os erros ou resíduos sejam mínimos.

Em estudo sobre demanda de energia elétrica NORDIN (1976), constatou que tanto nos modelos que utilizaram as variáveis de preço em bloco como naqueles que usaram somente o preço médio, existe o problema de simultaneidade, uma vez que a quantidade consumida determina o preço e este, por sua vez, é determinante da quantidade. Se o método de estimação dos mínimos quadrados ordinários (MQO) é usado, estimativas tendenciosas e não consistentes dos parâmetros da demanda são obtidas.

Devido a este viés, a estimação pelo método de Variáveis Instrumentais (VI), do tipo dois estágios (MQ2E) foram utilizadas, com a finalidade de corrigir os possíveis erros gerados pela estimação direta de MQO.

O terceiro método de estimação que foi usado consiste em um Modelo de Correção de Erros (MCE) que contorna o problema de não-estacionariedade das séries envolvidas na relação de demanda de energia elétrica.

Uma série de dados é dita estacionária se as características do processo estocástico, gerador da série em questão, não se alteram ao longo do tempo. Por outro lado, se o processo estocástico se mantiver alterado estatisticamente no tempo, a série é dita não-estacionária.

Ao diferenciar uma série econômica para torná-la estacionária, pode haver perdas de informações de longo prazo; para isso é necessário introduzir o Modelo de Correção de Erro (MCE). O MCE é conceituado como a forma a considerar as relações de equilíbrio de longo prazo estabelecida pela teoria econômica e os desvios de curto prazo em relação a este equilíbrio, sendo apropriado para realizar previsões.

A realização de previsões e modelagens que envolvem séries temporais baseia-se na pressuposição que o processo estocástico, gerador da série de dados, comporta-se de forma estacionária. Logo, na análise de séries temporais, um dos primeiros procedimentos consiste em verificar como a série em estudo se comporta ao longo do tempo.

Variáveis não-estacionárias podem tornar-se estacionárias por diferenciação, isto é, se Y_t é não estacionária, sua primeira diferença, dada por $\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$, pode ser estacionária. O número de vezes que uma série é diferenciada para torná-la estacionária é denominado ordem de integração da série.

A modelagem de variáveis não-estacionárias exige que elas sejam cointegradas, ou seja, apresentem relação de equilíbrio estável ao longo do tempo.

O primeiro passo consiste em determinar se as variáveis são estacionárias. Para isso existe teste específico que é abordado a seguir.

3.2.3. Teste de raiz unitária

O teste de raiz unitária é utilizado para verificação do comportamento, ao longo do tempo, do processo estocástico gerador da série em estudo. Se existem características do processo que passam por mudanças com o tempo, o processo seria chamado não-estacionário, sendo difícil a modelagem de seu comportamento, passado e futuro, simplesmente por meio de uma equação algébrica.

O processo estocástico pode ser chamado estacionário se sua média e variância forem constantes ao longo do tempo e se o valor da covariância entre dois períodos de tempo depender apenas da defasagem entre esses períodos e não do período atual, no qual a variância é calculada (GUJARATI, 1995). Entretanto, na prática, as séries temporais nem sempre são estacionárias. Existem as séries temporais não estacionárias que podem ser diferenciadas uma ou mais vezes, fazendo com que a série resultante se torne estacionária. Este fenômeno é chamado de ordem de homogeneidade ou ordem de integração. Em geral, uma série temporal é diferenciada “d” vezes para tornar-se estacionária; dessa maneira, afirma-se que ela seja integrada de ordem “d” ou I(d). Por outro lado, se a série fosse integrada de ordem zero, o processo I(0) resultante representaria uma série temporal estacionária no próprio nível e não nas diferenças.

Há vários testes, na literatura, para se testar a estacionaridade de séries temporais. Um deles é o chamado teste de *raiz unitária*, introduzido por DICKEY e FULLER (1979). Considere-se, inicialmente, o seguinte modelo:

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + \mu_t \quad (5)$$

em que μ_t é um erro estocástico, também conhecido como ruído branco, que obedece às pressuposições clássicas de média zero, variância constante e série não-autocorrelacionada.

A partir daí, testa-se a seguinte hipótese:

$H_0: \rho = 1$ (série tem raiz unitária)

contra a hipótese

$H_1: \rho < 1$

Se ρ for igual a um ($\rho=1$), isso caracterizaria um problema de raiz unitária, ou seja, uma situação de não-estacionaridade.

O teste de estacionaridade de uma série de tempo Y_t visa testar se ρ é, estaticamente, igual a um. O valor de t obtido não segue uma distribuição de t de *student*, mesmo para amostra grande. Para testar a hipótese nula de que ($\rho=1$), a estatística t é calculada e é conhecida como estatística τ (tau), também chamada de teste de Dickey-Fuller (DF). Os valores críticos foram ampliados por Mackinnon, por meio de novas simulações, e os programas econométricos como Econometric Views (EViews, 1997) geralmente apresentam os valores críticos de Mackinnon para o teste Dickey-Fuller.

Assim, o teste Dickey-Fuller (DF) é feito da seguinte forma:

- Se $|t|$ calculado $> |t|$ crítico: rejeita-se $H_0: \rho = 1 \rightarrow$ série é estacionária;
- Se $|t|$ calculado $< |t|$ crítico: não se rejeita $H_0: \rho = 1 \rightarrow$ série é não estacionária.

Por razões teóricas e práticas, o teste DF é aplicado a regressões que admitem as seguintes formas de acordo com FAVA (2000).

$$\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + \mu_t \quad (6)$$

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \delta Y_{t-1} + \mu_t \quad (7)$$

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_{t-1} + \mu_t \quad (8)$$

em que t é a variável tempo ou tendência. Em cada caso, a hipótese nula é de que $\delta = 0$, isto é, há uma raiz unitária. A diferença entre (6) e as outras duas regressões está na inclusão da constante (intercepto) e do termo tendência.

Se o termo de erro for autocorrelacionado, a equação (8) é modificada, da seguinte forma:

$$\Delta Y_t = \beta_{1t} + \beta_{2t} + \delta Y_{t-1} + \alpha \sum_{i=1}^p \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (9)$$

em que $\Delta Y_{t-1} = (Y_{t-1} - Y_{t-2})$, $\Delta Y_{t-2} = (Y_{t-2} - Y_{t-3})$ etc., ou seja, usam-se termos diferenciados defasados. O número de termos diferenciados defasados, incluídos no modelo, é, muitas vezes, determinado empiricamente, de modo que o termo de erro da equação (9) seja serialmente independente. A hipótese nula é a de que $\rho = 1$, isto é, há uma raiz unitária e Y é não estacionário. Quando o teste DF é aplicado da forma descrita na equação (9), ele é conhecido como teste Dickey-Fuller Ampliado (DFA). No teste DFA, têm-se as mesmas distribuições assintóticas do DF, utilizando-se, portanto, os mesmos valores críticos tabulados por Mackinnon.

3.2.4. Teste de cointegração

O teste de co-integração consiste em verificar se ε_t de uma equação na forma:

$$X_{1t} = \sigma_0 + \sigma_2 X_{2t} + \dots + \sigma_k X_{kt} + \varepsilon_t \quad (10)$$

é estacionário, ou seja, se $\varepsilon = X_{1t} - \sigma_0 - \sigma_2 X_{2t} - \dots - \sigma_k X_{kt}$ é $I(0)$. Neste caso o resíduo ε_t irá ser testado pelo procedimento da raiz unitária, para se observar se o ε_t é ou não estacionário.

A existência ou não de mais de duas variáveis em um vetor de variáveis cointegradas pode apresentar mais de uma relação de cointegração entre as variáveis.

JOHANSEN (1988) discute uma forma de estimar as relações de co-integração. Esta forma baseia-se na seguinte equação:

$$\Delta Y_t = \phi_1 \Delta Y_{t-1} + \dots + \phi_{p-1} \Delta Y_{t-p+1} + \eta Y_{t-1} + u + \varepsilon_t \quad (11)$$

em que Y_t é um vetor ($k \times 1$) de variáveis estocásticas, ε os erros e $\eta = \alpha\beta$, em que α e β são matrizes ($k \times r$), sendo r o posto da matriz (Y_t), que é igual ao número de vetores de co-integração linearmente independentes.

O número de relações (vetores) de co-integração é igual ao número de raízes características (λ) estatisticamente diferentes de zero.

JOHANSEN e JUSELIUS (1990) sugerem o teste do traço e o teste do auto valor máximo bem como seus valores críticos para verificar a existência do número máximo de vetores (v) de co-integração.

O teste estatístico do traço é dado pela seguinte fórmula:

$$Q_r = -T \sum_{i=r+1}^k \log(1 - \lambda_i) \quad (12)$$

em que $r = 0, 1, \dots, k-1$, quando λ_i é o i -ésimo auto valor. Q_r que é o traço estatístico e o teste $H_0(r)$ contra $H_1(k)$, se Q_r calculado $< Q_{r,critico}$, não há rejeição.

JOHANSEN (1988) também propõe o teste do auto valor máximo com $H_0(r)$ contra $H_1(r+1)$. Este auto valor máximo pode ser calculado a partir do teste do traço.

$$Q_{max} = -T \log(1 - \lambda_{r+1}) = Q_r - Q_{r+1} \quad (13)$$

Quando as variáveis são não estacionárias, mas integradas, a estimação do MCE é indicada, pois tal modelo força o ajustamento gradual da variável dependente em direção ao seu valor de equilíbrio no longo prazo, possibilitando também a dinâmica de curto prazo nas variáveis explanatórias, enquanto o termo de correção de erro capta o ajustamento em direção ao equilíbrio de longo prazo, reintroduzindo no modelo a informação perdida através da diferenciação.

Estes modelos VAR/MCE têm-se mostrado convenientes para previsão e permitem, na sua forma convencional, análises dinâmicas sem a necessidade de especificar previamente o modelo teórico que mostre como as variáveis se relacionam intertemporalmente, fazendo com que os dados, neste caso, desempenhem papel importante na especificação da estrutura do modelo.

3.2.5. Teste de ARCH

Através do modelo de ARCH pode-se detectar se há presença de heterocedasticidade e autocorrelação nos resíduos.

De acordo com GUJARATI (1995), a idéia-chave de ARCH é a de que variância u (erro) pode apresentar autocorrelação.

Um processo ARCH (p) pode ser escrito como:

$$\text{Var}(u_t) = \alpha_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \alpha_2 u_{t-2}^2 + \dots + \alpha_p u_{t-p}^2 \quad (14)$$

Caso não haja a presença de autocorrelação na variância do erro, tem-se $H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_p = 0$, caso em que $\text{Var}(u) = \alpha_0$ e tem-se o caso de variância do erro homocedástica.

A hipótese nula H_0 pode ser testada através do teste F ou pelo seguinte coeficiente $n \cdot R^2 \sim \chi_p^2$, em que n é o número da amostra, R^2 é o coeficiente de determinação seguido da distribuição qui-quadrada com gl , graus de liberdade, igual ao número de termos autoregressivos na regressão auxiliar.

3.2.6. Teste Breusch-Pagan-Godfrey (serial correlation LM test)

De acordo com GUJARATI (1995), suponha que o modelo de regressão linear de K variáveis seja dado pela seguinte equação:

$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + u_i \quad (15)$$

considere que a variância do erro σ_i^2 seja:

$$\sigma_i^2 = f(\alpha_1, \alpha_2 Z_{2i} + \dots + \alpha_m Z_{mi}),$$

ou seja, σ_i^2 é função linear dos Z s. Se $\alpha_2 = \alpha_3 = \dots = \alpha_m = 0$; $\sigma_i^2 = \alpha_1$ que é uma constante. Logo para testar se σ_i^2 é homocedástico, pode-se testar a hipótese de que $\alpha_2 = \alpha_3 = \dots = \alpha_m = 0$. Portanto, quando o χ^2 calculado exceder χ^2 tabelado em nível escolhido de significância, pode-se rejeitar a hipótese de homocedasticidade e vice-versa.

3.3. Fonte de dados

Neste trabalho, foram utilizados dados referentes ao consumo de energia elétrica no setor residencial-urbano e no setor rural, tarifa média residencial-urbana, tarifa média rural, renda e preço de eletrodoméstico.

No intuito de se trabalhar com preços médios, optou-se por selecionar tarifas médias dos setores residencial-urbano e rural, no período 1970 a 1999. Estas tarifas foram fornecidas pelo banco de dados da biblioteca da Eletrobrás. Vale ressaltar que os dados referentes às tarifas médias rurais foram obtidos no período 1974 a 1999 por não existirem dados anteriores.

O estudo também englobou dados referentes ao consumo residencial-urbano, rural, comercial, industrial e outros, provenientes do Balanço Energético do Ministério de Minas e Energia nos anos de 1999 e 2000.

Com relação aos índices de preços de eletrodomésticos foram obtidos em vários números da revista Conjuntura Econômica, publicada mensalmente pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), nos anos de 1970 a 1999.

O PIB nacional e o PIB agropecuário que foram utilizados como *proxy* da renda foram obtidos das publicações da Fundação Getúlio Vargas, periódico Conjuntura Econômica.

O número de consumidores urbanos residenciais e rurais foram obtidos nas publicações do IBGE, no período 1970 a 1999.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. Evolução do consumo de energia elétrica

Nesta parte é analisada a evolução do consumo de energia elétrica nos setores residencial-urbano e rural, no período de 1970 a 1999. São destacados os aspectos de consumo por classe de consumidor e o aumento do número de consumidores.

Através das Tabelas 4 e 5 pode-se verificar os valores de consumo das classes residencial-urbana, comercial, industrial, rural e do governo, bem como suas participações no consumo total e taxas de crescimento.

O consumo total de energia elétrica cresceu no período analisado. A quantidade consumida passou de cerca de 42 bilhões Mwh, em 1970, para 314 bilhões, em 1999. Pode-se destacar que o setor que mais contribuiu para isto foi o setor industrial, onde teve praticamente 50% da sua participação no consumo total no período 1970-99. Um outro setor que merece destaque é o setor residencial-urbano que assume o segundo lugar na sua participação total (Tabela 4).

As taxas médias de crescimento do consumo de energia elétrica apresentaram decréscimo ao longo do período. Vale ressaltar que, mesmo com decréscimo nas taxas médias totais ao longo do período, o setor rural, no período 1997/99, apresentou os maiores índices de médias de crescimento quando comparado aos demais setores (Tabela 5).

Tabela 4 - Quantidades consumidas (milhões de Mwh) e estrutura de participação do consumo (%) de energia elétrica no Brasil, 1970-1999

Ano	Residencial	Comercial	Industrial	Rural	Outros	Total
1970-Q	9,25	5,69	22,09	1,02	4,43	42,48
1970-P	21,70	13,40	52,00	2,37	10,53	100
1980-Q	23,20	13,80	68,22	2,01	15,40	122,63
1980-P	18,90	11,25	55,60	1,64	12,61	100
1990-Q	48,60	23,82	112,23	6,66	26,16	217,57
1990-P	22,30	10,94	51,61	3,06	12,09	100
1999-Q	81,33	44,00	138,46	12,38	38,94	314,68
1999-P	25,84	13,85	44,00	3,93	12,38	100

Fonte: Dados da pesquisa.

Q = Quantidade; P = Participação.

Tabela 5 - Taxas médias de crescimento de consumo de energia elétrica no Brasil, 1970-1999

Ano	Residencial	Comercial	Industrial	Rural	Outros	Total
1970/80	10,60	10,14	13,47	25,21	10,50	11,82
1980/90	7,07	9,60	6,10	12,90	13,54	6,32
1990/97	14,31	6,89	2,62	6,54	4,47	4,30
1997/99	4,67	6,61	1,07	6,83	3,76	3,28

Fonte: Dados da pesquisa.

Por outro lado, os dados referentes à participação dos setores no consumo de energia elétrica retratam que o setor que mais participou no ano de 1999 foi o setor industrial (44%) seguido pelo setor residencial-urbano (25,84%). Os demais setores, comercial, rural e outros também colaboraram no desenvolvimento da estrutura de participação (Tabela 4). O setor comercial apresentou participação em torno de 12% no decorrer dos anos, juntamente com o setor outros, que também participou com o consumo de energia elétrica. Já o setor rural tem a menor participação no volume total, mesmo assim apresentam crescimento em sua participação durante o período analisado.

4.1.1. Consumo residencial-urbano

O setor residencial-urbano apresentou crescimento de 10,6%, no período 1970/80 (Tabela 5). O consumo residencial-urbano evoluiu de uma participação de 21,7% em 1970, para 25,84% em 1999 (Tabela 4). De acordo com o PLANO DECENAL (1999), estes resultados são sustentados por fatores, tais como o intenso consumo de eletricidade nas residências e um volume expressivo de aparelhos eletrônicos, principalmente nos primeiros anos do Plano Real.

Na década de 1980, chamada “década perdida”, houve evolução da quantidade consumida que apresentou taxa de crescimento de 7,07% a.a. (Tabela 5), ou seja, mesmo diante de uma economia com problemas econômicos, o consumo residencial-urbano de energia elétrica cresceu durante aquele período. Com relação à estrutura de participação na década de 80, o setor residencial-urbano mostrou-se em segundo lugar na sua participação do consumo total, perdendo apenas para o setor industrial que teve comportamento marcante ao longo dos anos.

De fato, o setor residencial-urbano apresentou crescimento ao longo dos anos, que pode ser explicado pelo aumento no consumo por consumidor residencial-urbano e no número de consumidores.

No que diz respeito ao número de consumidores de energia elétrica residencial-urbano, o crescimento passou de 1,37%, em 1970, para 2,85%, em 1999 (Tabela 6). O número de consumidores urbanos evoluiu de 7,7 para 34,5 milhões de consumidores no período 1970-99 (Tabela 7).

Tabela 6 - Taxa de crescimento do número de consumidores de energia elétrica no Brasil, 1970-1999 (%)

	N.º de consumidores residenciais (ncr)	N.º de consumidores rurais (ncru)
1970/80	1,37	7,09
1980/90	5,61	10,39
1990/97	3,47	3,73
1997/99	2,85	6,60

Fonte: Dados da pesquisa.

Segundo o PLANO DECENAL (1999), em nível nacional, 92% dos domicílios do país dispõem do serviço de energia elétrica.

Outra constatação é o consumo *per capita* que apresentou crescimento no período 1990-99. Com o Plano Real (1994) houve uma melhora do nível de renda da população, pois obteve-se o controle sobre o processo inflacionário e, com isso, o índice de aparelhos eletrodomésticos tiveram sua participação acrescida nos domicílios o que colaborou com o crescimento médio do consumo que passou de 1.827 Kwh/residência, em 1990, para 2.351 Kwh/residência em 1999, ou seja, o consumo médio teve aumento considerável no período (Tabela 7).

Tabela 7 - Número de consumidores e consumo urbano residencial de energia elétrica (kwh), Brasil, 1970-1999

Ano	N.º de consumos residenciais (milhões)	Consumo - Kwh (milhões)	Consumo médio kwh/residência (a.a.)
1970	7,76	9.250	1.190
1980	16,12	23.200	1.442
1990	26,63	48.600	1.827
1997	32,66	74.070	2.267
1999	34,58	81.330	2.351

Fonte: Dados da pesquisa.

4.1.2. Consumo rural

Respondendo, em 1997, por somente 4% da energia elétrica consumida no país, o consumo rural apresentou crescimento durante o período 1970-99. No entanto, cabe registrar que na década de 80, a participação do setor rural no consumo total sofreu decréscimo, que pode ser explicado pelo ritmo de investimento na eletrificação rural que decresceu na década de 80. Por este setor ser em parte beneficiado por recursos externos, os organismos internacionais demonstraram falta de incentivo pelo desenvolvimento do setor rural de energia elétrica e as políticas de eletrificação, reduzindo, assim, os benefícios dos programas de eletrificação rural (OLIVEIRA, 1998).

O setor rural, mesmo com queda em sua participação na década de 80, apresentou crescimento no período compreendido entre 1970 e 99. Isto pode ser explicado pelo número de consumidores, que aumentou, fazendo com que o consumo médio também aumentasse. O consumo médio rural passou de 1.200 Kwh/residência em 1970, para 2.056 Kwh/residência em 1999; isto demonstra o crescimento do consumo rural no período (Tabela 8).

Tabela 8 - Número de consumidores e consumo rural de energia elétrica (kwh), Brasil, 1970-1999

Ano	N.º de consumos rurais (milhões)	Consumo - Kwh (milhões)	Consumo médio kwh/residência (a.a.)
1970	0,83	1.008	1.200
1980	1,69	2.017	1.191
1990	4,59	6.666	1.450
1997	5,27	10.799	2.047
1999	6,01	12.380	2.056

Fonte: Dados da pesquisa.

Mesmo passando por problemas de investimento na década de 80, o setor rural de energia elétrica apresentou recuperação na década de 90. Exemplo destes investimentos são a RGR; recursos do orçamento estadual, que permitiram a

incorporação de novos consumidores rurais; e programas voltados para a eletrificação rural. Logo, quando analisa-se a Tabela 4 onde o consumo de energia elétrica no setor rural evoluiu em sua participação de 2,37%, em 1970, para 3,93%, em 1999, e o seu consumo médio de energia elétrica que também apresentou evolução de 1.200 KWh/residência para 2.056 Kwh/residência (Tabela 8), pode-se concluir que tais investimentos foram significativos.

Outra explicação para o crescimento do consumo médio seria o aumento do uso de eletrodomésticos no meio rural, onde fatores estão impulsionando a dinâmica de penetração destes produtos. Fatores estes que são crescimento econômico do país, queda de preço dos eletrodomésticos, sistema de crédito para estimular o consumo das famílias de menor renda que, de acordo, com SANTANA e OLIVEIRA (1999), esta famílias têm aumentado o seu consumo por eletrodomésticos nos últimos anos, devido às facilidades de crédito.

De acordo com a análise acima, o crescimento na quantidade consumida de energia elétrica, tanto no setor residencial-urbano quanto no rural contribuíram para o crescimento do consumo total da energia elétrica, mesmo não dispensando o crescimento do número de consumidores no Brasil e ao maior acesso à rede de distribuição, que, de acordo com o IBGE (1998) os domicílios com iluminação elétrica passaram de 39%, em 1960, para 99,2%, em 1999, no setor residencial-urbano e o setor rural tendo um terço das propriedades rurais eletrificadas, em 1999 (ELETROBRÁS, 2001). Também não se pode dispensar a participação dos demais setores na contribuição para o crescimento total.

4.2. Análise da estacionariedade das séries

Para verificação do comportamento das variáveis, consumo residencial-urbano de energia elétrica (QU), consumo rural de energia elétrica (QR), tarifa urbana (TU), tarifa rural (TR), renda urbana (YU), renda rural (YR) e preço de eletrodoméstico (Pel), ao longo do tempo, realizou-se o teste Dickey-Fuller Aumentado (DFA), na análise de estacionariedade das séries em estudo.

A Tabela 9 mostra os resultados do teste de raiz unitária em nível, onde apenas o Pel e YR se mostraram estacionárias $I(0)$. Diante disso, foi realizado o teste de raiz unitária nas primeiras diferenças, onde agora todas as variáveis mostraram-se integradas de ordem 1, $I(1)$.

Tabela 9 - Resultados do teste ADF para estacionariedade em nível I(0)

Variável	Equação do teste	Ordem de (K)	Estatística t (ADF)	Valor crítico (5%)
QU	cons	1	-1,50	-2,97
QR	cons + tend	1	-1,80	-2,99
TU	cons	1	-1,68	-2,95
TR	cons	1	-1,96	-2,99
YU	cons + tend	1	-1,32	-2,95
YR	constante	1	-3,51	-2,99
Pel	constante	1	-5,62	-2,95

Fonte: Dados da pesquisa.

K = n.º de defasagens.

A Tabela 10 mostra os resultados encontrados para o teste DFA. Em todas as séries encontrou-se $|\tau|$ calculado maior $|\tau|$ crítico, rejeitando-se, conseqüentemente, a hipótese nula de que $\delta = 0$, ou seja, de que as variáveis diferenciadas não seriam estacionárias.

Os resultados do teste indicam, portanto, que todas as variáveis consideradas são integradas de ordem um I(1), ou seja, as variáveis diferenciadas QU, QR, TU, TR, YU, YR, Pel representam processos estocásticos, com propriedades estatísticas invariantes no tempo e com comportamento estável ao longo do período analisado.

Tabela 10 - Resultados do teste ADF para estacionariedade I(1)

Variável	Equação do teste	Ordem de (K)	Estatística t (ADF)	Valor crítico (5%)
QU	cons + tend	1	-3,28	-3,22
QR	cons + tend	0	-4,65	-4,39
TU	cons + tend	0	-5,07	-4,32
TR	cons + tend	1	-5,04	-3,74

YU	constante	0	-4,39	-3,68
YR	constante	0	-8,07	-3,73
Pel	constante	1	-4,35	-2,97

Fonte: Dados da pesquisa.

K = n.º de defasagens.

As variáveis consumo e tarifa, em ambos os setores, tiveram melhor especificação com os termos constante e tendência, o mesmo não se podendo dizer com relação ao número de defasagens para a variável consumo residencial urbano e tarifa rural, que apresentaram defasagem; nas demais variáveis, ou seja, consumo rural e tarifa urbana, o melhor resultado foi sem defasagem (Tabela 10).

Com relação à renda (YU, YR) e preço do eletrodoméstico (Pel), a melhor especificação se deu com a constante considerando que houve defasagem para o (Pel) e nenhuma para as rendas (YU, YR) (Tabela 10).

O valor de k foi determinado pelo teste Akaike.

ANDRADE e LOBÃO (1997) encontraram resultados distintos na análise do comportamento do preço do eletrodoméstico e renda do setor urbano residencial. Provavelmente essas diferenças sejam devido à própria forma de tratamento de dados, visto que a série de preço e renda possui um período maior neste trabalho.

Com base nos resultados obtidos na análise do comportamento das variáveis analisadas, procedeu-se a estimação da função demanda de energia elétrica por diferentes métodos de estimação.

4.3. Funções de demanda de energia elétrica

O modelo analítico do presente trabalho consiste em estimar a demanda de energia elétrica por meio de diferentes métodos de estimação. Primeiramente, foi realizada a estimação através do método MQO; a partir disso o teste de Hausman foi utilizado, no sentido de se observar se o preço e a quantidade apresentavam simultaneidade.

O Teste de Hausman foi significativo, indicando, assim, que o MQ2E fosse utilizado, para corrigir possíveis vieses gerados pela simultaneidade.

Diante disso, foram estimadas equações de demanda para o setor residencial urbano e rural utilizando os métodos de MQO e MQ2E.

Outro modelo utilizado foi o modelo de correção de erros (MCE) sob a representação VAR.

Em todos os modelos foram utilizados os testes LM e ARCH para testar a presença ou não de autocorrelação residual e heterocedasticidade.

A estimação para a demanda do setor residencial-urbano foi realizada no período 1970 a 1999, enquanto a estimação para a demanda do setor rural foi realizada no período 1974 a 1999, por falta de dados sobre tarifa neste setor nos primeiros anos da década de 70.

4.3.1. Função de demanda urbana de energia elétrica, 1970-1999

Através da Tabela 11 observa-se as funções consumo residencial urbano de energia elétrica estimada por MQO e por MQ2E .

O valor do teste “t” de *student* para todos os parâmetros foi significativo em nível de 1%, com exceção da constante cujo valor foi significativo na estimativa por MQO a 5% e em MQ2E a 10% (Tabela 11).

Com relação aos sinais dos coeficientes, todos foram coerentes com a teoria econômica, ou seja, sinais negativos para o preço do eletrodoméstico e preço da tarifa e sinal positivo para a renda.

O coeficiente de determinação se mostrou significativo, ou seja, nos dois modelos pode-se afirmar através do R^2 que 99% das variações ocorridas no consumo de energia elétrica urbano são explicadas pelo preço do eletrodoméstico, preço da tarifa e renda.

A Tabela 11 mostra os resultados encontrados para os testes LM e ARCH, para as estimativas de dados em estudo.

O teste LM para a estimação da demanda de energia elétrica residencial-urbana apresenta valor significativo em nível de 1%, aceitando a hipótese nula, ou seja, aceitando que não existe a presença de autocorrelação nesta estimativa.

Com relação ao teste ARCH, este apresentou valores significativos a 1%, aceitando-se a hipótese nula de não existência de heterocedasticidade e autocorrelação residual nos erros das equações de MQO e MQ2E, logo os erros são homocedásticos, ou seja, a variância do erro não correlaciona serialmente.

Tabela 11 - Parâmetros estimados da demanda de energia elétrica, setor residencial-urbano, Brasil, 1970-1999

Variável explicativa	Estimativa MQO	Estimativa MQ2E
Constante	-7,217 (-1,95)**	-3,33 (-1,12)***
PeI	-0,27 (-5,80)*	-0,31 (-8,13)*
YU	1,29 (7,23)*	1,11 (7,82)**
TU	-0,09 (-2,07)**	-0,15 (-3,46)*
R ²	0,99	0,99
F	710,12	900,83
LM	0,59 ⁺	0,54*
ARCH	0,13*	0,32*

Fonte: Dados da pesquisa.

* valores significativos a 1%; ** valores significativos a 5%; *** valores significativos a 10%;
() valores de t estatístico.

O modelo de equação residencial-urbana de energia elétrica pode ser escrito da seguinte forma:

$$\text{Eq. urbana (MQO): } QU_t = 7,21 - 0,27PeI_t + 1,29YU_t - 0,09TU_t \quad (16)$$

$$\text{Eq. urbana (MQ2E): } QU_t = 3,33 - 0,31PeI_t + 1,11YU_t - 0,15TU_t \quad (17)$$

De acordo com a Tabela 11, as elasticidades estimadas para o setor residencial-urbano foram obtidas e condizem com a teoria no que diz respeito a seus sinais.

A estimação do consumo de energia elétrica, para o setor residencial-urbano (16) apresentou valor inferior à unidade para a elasticidade preço para o eletrodoméstico (PeI) no Brasil, indicando que a demanda de energia elétrica no setor residencial-urbano é inelástica em relação aos eletrodomésticos. Isto quer dizer que se

houvesse uma diminuição no preço do eletrodoméstico de 10%, permanecendo as demais variáveis constantes, haveria um aumento na quantidade demandada de energia elétrica de 2,7%. No que diz respeito à equação residencial-urbana (MQ2E), a elasticidade-preço do eletrodoméstico também apresenta valor inferior à unidade, porém superior quando comparado com o da equação urbana por MQO; logo, um aumento no preço do eletrodoméstico de 10% *ceateris paribus* reduziria a quantidade consumida de energia elétrica no setor residencial-urbano em 3,1%.

Com relação à tarifa residencial-urbana, a demanda também é inelástica, tanto na equação (16) quanto na equação (17), ou seja, se houver uma diminuição no preço da energia elétrica de 10%, haveria um aumento na quantidade demandada de energia elétrica no setor residencial-urbano de 0,9%.

A elasticidade renda comportou-se de forma a classificar o consumo de energia elétrica no setor residencial-urbano como um bem superior, indicando, desta forma, que um aumento na renda faria com que o consumo de energia elétrica aumentasse de forma mais que proporcional que o aumento da renda.

A presença de simultaneidade entre preço e quantidade pela estimativa de MQO sugere que uma estimativa mais robusta seja dotada pelo modelo de MQ2E; logo, através das elasticidades analisadas, percebe-se que o preço da energia elétrica, preço do eletrodoméstico e renda foram fatores que realmente influenciaram o consumo residencial-urbano de energia elétrica no período 1970 a 1999.

4.3.2. Função demanda rural de energia elétrica, 1974-1999

A Tabela 12 apresenta os parâmetros estimados para a demanda de energia elétrica do setor rural. Com relação ao teste “*t*” de *student*, os valores foram significativos para todos os parâmetros adotados no modelo em nível de significância de 1%, com exceção do eletrodoméstico que apresentou valor de 10% de significância no modelo de MQ2E.

No que diz respeito aos sinais, todos os coeficientes apresentaram sinais coerentes com o esperado, ou seja, negativo para o preço do eletrodoméstico e preço da energia elétrica rural e positivo para a renda.

Tabela 12 - Parâmetros estimados da demanda de energia elétrica, no setor rural, Brasil, 1974-1999

Variável explicativa	Estimativa MQO	Estimativa MQ2E
Constante	9,2 (4,73)*	9,65 (4,41)*
PeI	-0,31 (-2,91)*	-0,25 (-1,63)***
YR	0,59 (4,76)*	0,63 (4,31)*
TR	-1,03 (-6,70)*	-1,14 (-4,26)*
R ²	0,92	0,91
F	90,97	69,63
LM	0,027***	0,024***
ARCH	0,27*	0,51*

Fonte: Dados da pesquisa.

* valores significativos a 1%; ** valores significativos a 5%; *** valores significativos a 10%;
() valores de t estatístico.

O coeficiente de determinação R² apresentou valor significativo para ambas equações, mostrando que pelo menos 91% das variações ocorridas no consumo rural são explicadas pelas variáveis adotadas.

Com relação aos testes LM e ARCH, encontraram-se os seguintes resultados:

1. para o teste LM, tanto no modelo de MQO quanto no MQ2E os valores foram significativos a 10%, aceitando, assim, a hipótese nula ; ou seja, não existe a presença de autocorrelação; e
2. com relação ao teste ARCH, foi aceita a hipótese nula, ou seja, a variância do erro não correlaciona serialmente; são homocedásticos.

Os modelos de equação para o setor rural podem ser escritas da seguinte forma:

$$\text{Eq. rural (MQO): } QR_t = 9,82 - 0,31PeI_t + 0,59YR_t - 1,03TR_t \quad (18)$$

$$\text{Eq. rural (MQ2E): } QR_t = 9,65 - 0,25PeI_t + 0,63YR_t - 1,14TR_t \quad (19)$$

De acordo com a equação (18) do consumo de energia elétrica rural, a elasticidade preço do eletrodoméstico se comportou de forma inelástica, ou seja, um

aumento no preço do eletrodoméstico de 10% fará com que haja diminuição no consumo de energia elétrica rural de 3%. A mesma análise pode ser considerada para o consumo de energia elétrica do setor rural estimado por dois estágios (MQ2E), ressaltando que, nesta estimação, os valores dos parâmetros, preço da tarifa e renda rural foram maiores.

No que diz respeito às tarifas rurais, tanto a equação (18) quanto a equação (19), apresentaram comportamento elástico, sugerindo que um aumento na tarifa rural irá diminuir, numa proporção, maior a quantidade consumida de energia elétrica rural.

Também no modelo de estimação da demanda rural, houve a presença de simultaneidade pelo MQO. Desta forma, uma melhor estimação para representação da demanda rural de energia elétrica é a equação de MQ2E.

O índice de preço de eletrodoméstico calculado para a estimação da demanda rural é o mesmo utilizado para a estimativa da demanda residencial-urbana. Tal índice não levou em consideração a presença de máquinas e equipamentos que estão presentes no setor rural, podendo, assim, a estimativa da demanda rural de energia elétrica rural apresentar valores tendenciosos.

4.4. Teste de cointegração

Para se obter a cointegração entre as variáveis é necessário a definição do número de defasagens do modelo VAR. Este número de defasagens é determinado pelos critérios de informações de Schwarz, Hanna-Quinn, Akaike ou Likelihood. Estes critérios de informações foram utilizados no presente trabalho e o modelo foi especificado com uma defasagem, de acordo com os critérios de informações.

Diante disto, o modelo foi estimado em primeiras diferenças e o teste de cointegração, de acordo com a Tabela 13, apresentou valores significativos indicando, assim, que as variáveis QU_t , TU_t , YU_t , Pe_t são cointegráveis. As estatísticas do traço e do auto valor máximo representam os resultados obtidos.

Tabela 13 - Teste do traço - setor residencial-urbano

Hipótese nula (H_0)	Hipótese alternativa (H_1)	Estatística do teste	Valor crítico (5%)	Valor crítico (1%)
-------------------------	--------------------------------	----------------------	--------------------	--------------------

$r = 0$	$r > 0$	60,18931	39,89	45,58
$r \leq 1$	$r > 1$	23,94894	24,31	29,75
$r \leq 2$	$r > 2$	11,30629	12,53	16,31
$r \leq 3$	$r > 3$	0,007467	3,84	6,51

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 14 - Teste do auto valor máximo - setor residencial -urbano

Hipótese nula (H_0)	Hipótese alternativa (H_1)	Estatística do teste	Valor crítico (5%)	Valor crítico (1%)
$r = 0$	$r = 1$	36,2404	23,8	28,82
$r = 1$	$r = 2$	12,6427	17,9	22,99
$r = 2$	$r = 3$	11,2988	11,4	15,69
$r = 3$	$r = 4$	0,0007	3,84	6,51

Fonte: Dados da pesquisa.

Através destes testes pode-se concluir que não é possível rejeitar a hipótese nula de que o posto de integração é $r=1$, em nível de significância de 5%, ou melhor, de que há relação de cointegração entre as variáveis. As variáveis cointegram e a relação entre elas é dada pela equação que denota a relação de longo prazo entre as variáveis adotadas no modelo:

$$QU = -0,27Pe_t + 0,9374YU_t - 0,010TU_t \quad (20)$$

Para o setor rural o mesmo procedimento foi adotado.

Ao analisar as Tabelas 15 e 16 pode-se constatar que as variáveis adotadas no modelo do setor rural são cointegradas. Pode-se concluir que existe relação de longo prazo entre as variáveis adotadas, onde o posto de integração é $r=1$ e o modelo de demanda é:

$$QR_t = -0,22Pe_t + 0,31YR_t - 1,51TU_t \quad (21)$$

Ao se comparar os três métodos utilizados no presente trabalho pode-se constatar que os valores obtidos para as elasticidades são semelhantes.

De maneira geral, a demanda residencial-urbana de energia elétrica no Brasil é inelástica; o mesmo não se pode dizer a respeito da demanda rural que apresenta valores elásticos no que diz respeito às suas tarifas.

Tabela 15 - Teste do traço - setor rural

Hipótese nula (H_0)	Hipótese alternativa (H_1)	Estatística do teste	Valor crítico (5%)	Valor crítico (1%)
$r = 0$	$r > 0$	44,99568	39,89	45,58
$r \leq 1$	$r > 1$	23,03676	24,31	29,75
$r \leq 2$	$r > 2$	6,752168	12,53	16,31
$r \leq 3$	$r > 3$	0,497867	3,84	6,51

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 16 - Teste do auto valor máximo - setor rural

Hipótese nula (H_0)	Hipótese alternativa (H_1)	Estatística do teste	Valor crítico (5%)	Valor crítico (1%)
$r = 0$	$r = 1$	21,9589	23,8	28,82
$r = 1$	$r = 2$	16,2846	17,9	22,99
$r = 2$	$r = 3$	6,2543	11,4	15,69
$r = 3$	$r = 4$	0,497867	3,8	6,51

Fonte: Dados da pesquisa.

Quando se compara os resultados do presente trabalho com o *survey* clássico de TAYLOR (1975), pode-se constatar que, com relação às elasticidades-preço, estas foram elásticas como no setor rural.

Mesmo o setor residencial-urbano apresentando pequenas elasticidades, o declínio nos preços tem contribuído para o aumento na quantidade demandada de energia elétrica residencial-urbana (ANDRADE e LOBÃO, 1997). Quanto ao setor rural, no que diz respeito a preço de eletrodoméstico, pode-se dizer que este também tem colaborado com o aumento do consumo, porém, com relação à tarifa rural, esta é mais sensível a alterações em seus preços, refletindo, assim, em alterações no consumo.

4.5. Aspectos dos consumos residencial-urbano e rural de energia elétrica

Da análise conjunta dos dois setores, pode-se resumir os seguintes resultados:

1. tanto a demanda residencial-urbana quanto a demanda rural de energia elétrica no Brasil, mesmo sensível às variações do preço do eletrodoméstico são inelásticas a esta variável explicativa; e
2. com relação ao comportamento da renda, esta se comportou diferente nos setores residencial-urbano e rural. A partir das estimações obtidas, pode-se adotar medidas de retenção ou expansão de consumo, uma vez que, no setor residencial-urbano, a renda apresentou participação significativa sobre a quantidade consumida de energia elétrica. Mesmo os resultados sendo diferentes, o setor rural pode adotar políticas através da renda no sentido de realizar alterações na quantidade consumida.

Segundo ANDRADE e LOBÃO (1997), existem, no decorrer dos anos 70 até 1995 queda no preço da tarifa média de energia elétrica no Brasil.

Mesmo sendo as elasticidades tarifa e preço de eletrodoméstico pequenas no setor residencial-urbano e um pouco maior no setor rural, a diminuição dos preços da tarifa tanto no setor rural quanto residencial-urbano contribuíram mais para o aumento da quantidade consumida de energia elétrica no Brasil. De acordo com ANDRADE e LOBÃO (1997), o preço de eletrodoméstico continua a sofrer queda e existe maior concorrência entre produtos importados e produtos nacionais; esperando-se que a quantidade consumida de energia elétrica nos setores esteja crescendo pela expansão do uso de eletrodomésticos.

Finalmente, com vista em inferir a previsão de consumo para os setores residencial-urbano e rural de energia elétrica, foi feita análise de previsão através do MCE que é apresentado a seguir.

4.6. Previsão de consumo residencial e rural de energia elétrica

O processo de previsão foi feito para o período 2001/2004 objetivando mostrar o comportamento da demanda de energia elétrica de acordo com as políticas tarifárias adotadas no setor de energia elétrica.

Diante disto, adotou-se duas políticas alternativas para o setor.

Como primeiro cenário, assumiu-se que a tarifa, tanto residencial-urbana quanto rural, não mantenha a tendência de continuada desvalorização e que, para isso, mantenha o valor real observado no ano de 1999.

Outra hipótese é adotar uma política tarifária, onde, ao final de cinco anos, o governo consiga recuperar parte da tarifa média adotada antes. De acordo com ANDRADE e LOBÃO (1997), a tarifa real praticada em 1995 é de aproximadamente 260% para recuperação total desta tarifa. Para isso, seria necessário adotar um aumento de 13,7% a.a., porém isto é pouco provável que aconteça por estar em vigor uma política de estabilização de preços. Diante disto, supõe-se uma política de acréscimo na tarifa de 5% a.a.

Para a realização da previsão, adotou-se as equações (22) e (23) do MCE com hipóteses adicionais para os dois cenários nos diferentes setores.

Para os dois cenários de política tarifária, assumiu-se que o PIB crescerá a uma taxa anual de 5% e que os preços dos eletrodomésticos manter-se-ão constantes em valores de 1999.

Estes cenários são semelhantes aos cenários adotados para previsão da Eletrobrás (PLANO DECENAL, 1999).

O modelo adotado para estimação foi o MCE, por ser um modelo de ajuste no longo prazo.

Os MCE estimados para os diversos setores são os seguintes:

$$\Delta QR_t = -0,073u_{t-1} - 0,193\Delta QR_{t-1} - 0,226\Delta Pe_t + 0,074\Delta YR_t - 0,046\Delta TR_t \quad (22)$$

$$\Delta QU_t = -0,000262u_{t-1} - 0,322\Delta QU_{t-1} - 0,130\Delta Pe_t + 0,006\Delta YU_t - 0,009\Delta TU_t \quad (23)$$

Estas equações representam a dinâmica de longo prazo para o consumo rural e residencial-urbano de energia elétrica.

A Tabela 17 mostra os resultados das previsões obtidas para os cenários adotados.

Tabela 17 - Previsões para o consumo rural e residencial-urbano de energia elétrica, Brasil, 2001-2004

Período	Setor rural				Setor urbano-residencial			
	Cenário I		Cenário II		Cenário I		Cenário II	
	Consumo total (milhões- MWh)	Consumo médio (KWh)	Consumo total (milhões- MWh)	Consumo médio (KWh)	Consumo total (milhões- MWh)	Consumo médio (KWh)	Consumo total (milhões- MWh)	Consumo médio (KWh)
2000	13,46	2.130	13,38	2.117	90,44	2.527	90,50	2.529
2001	14,34	2.161	14,09	2.123	98,07	2.652	96,67	2.614
2002	15,34	2.202	14,82	2.127	106,21	2.781	105,42	2.761
2003	16,50	2.255	15,57	2.128	115,09	2.922	114,26	2.901
2004	17,83	2.320	16,34	2.127	124,71	3.073	123,86	3.052
Taxa de crescimento (2000/2004)	5,2%	-	4%	-	6,17%	-	6%	-

Fonte: Dados da pesquisa.

A previsão realizada no cenário I, onde a tarifa é mantida constante, mostra que haverá aumento na quantidade demandada total de energia elétrica do setor residencial-urbano, onde o consumo total passa de 81 milhões MWh, em 1999, para 124 milhões MWh, em 2004. Por sua vez, o setor rural apresenta aumento na quantidade consumida, em 2004, de 17 milhões de MWh.

A previsão do cenário II apresenta acréscimo na quantidade demandada, mas em menor magnitude quando comparado com o cenário I, chegando ao ano 2004 com 123 milhões de MWh de energia consumida no setor residencial-urbano e 16 milhões de MWh no setor rural.

Ao propor uma recuperação na tarifa do setor residencial-urbano no cenário II, há contenção na expansão do consumo médio, quando comparado ao consumo médio no cenário I.

Os resultados obtidos nos dois cenários ilustram o fato de que a elasticidade-preço da demanda do setor residencial-urbano por eletricidade é relativamente baixa, variando entre (0,01) e (0,15), conforme as estimativas.

As alterações obtidas no consumo de energia elétrica pode ser um parâmetro para uma política de racionamento do consumo via preço. De acordo com os cenários, quando há aumento da tarifa, esta foi capaz de reduzir a quantidade total demandada, no ano de 2004, de 124 milhões MWh para 123 milhões de MWh, o que indica praticamente 1% de redução.

Por sua vez, o setor rural apresenta nas suas funções estimadas, elasticidades preços-elásticas; logo políticas tarifárias atingem em maior magnitude a quantidade demandada de energia elétrica no meio rural. Os cenários adotados para o setor rural retratam esta afirmativa, onde, no cenário I, o consumo médio atinge 2.320 KWh/residência no ano de 2004, e, quando há a presença de aumento da tarifa, o consumo médio se reduz, em 2.127 KWh/residência em 2004 (cenário II).

Este resultado se mostra interessante na medida em que se imagina a possibilidade de racionamento, que pode ser gerado pelo alto crescimento da demanda e dificuldade financeira de novos investimentos no setor. Logo, quando existe a preocupação em recuperar parte do valor real da tarifa de energia elétrica, isso faz com que a receita das empresas de energia elétrica aumente, podendo com isso, expandir seus investimentos e reprimindo o alto crescimento do consumo.

De acordo com os dados de oferta de energia elétrica no período 1970 a 2000 do BRASIL (2000) houve um crescimento da oferta de energia elétrica de 4% a.a. no período considerado.

Através do PLANO DECENAL (1999) há uma previsão de que o investimento com obras em sistema de distribuição urbana e rural cresça 3% a.a. nos próximos 10 anos, dessa forma supõe-se que a oferta pode apresentar um crescimento de 5% a.a., visto que sem tais investimentos já apresentaram 4% a.a.

A ELETROBRÁS (1999) estima que haverá um crescimento no consumo industrial de 3,5% a.a. 2000-2004 baseada na expansão do PIB, e também da consequência de investimento no setor nos últimos anos. Com relação ao consumo de energia elétrica da classe comercial a taxa projetada foi de 6% a.a., no período 2000-2004, onde está ligado à intensificação do processo de expansão, fortalecido e modernização do comércio e dos serviços em geral, assim como o processo de terceirização da economia. Para os outros setores está previsto um crescimento de 4,6% a.a. no período 2000-2004.

Diante disto, com as previsões realizadas para o setor residencial-urbano e rural que apresenta uma taxa média de crescimento de 6% e 4% a.a. respectivamente somados com as taxas de crescimento projetadas par o setor industrial (3,5%), comercial (6%) e demais setores (4,6%) espera-se que o consumo total de energia elétrica cresça à uma taxa média de 4,82% a.a.. dado que a oferta projetada crescerá 5% a.a. haverá um *superávit* de 0,18% a.a.

Em suma, esta projeção visou testar o impacto de ajuste tarifário sobre as quantidades demandadas futuras de energia elétrica nos setores residencial-urbano e rural, onde adotou-se crescimento da renda de 5% ao longo dos anos, preços reais dos eletrodomésticos constantes, crescimento do número de consumidores de 5% a.a. para o setor rural e para o setor residencial-urbano de 3% a.a. No entanto, não foi considerado a tendência de queda nos preços dos eletrodomésticos, que nos últimos 29 anos tem sofrido reduções. Este fator pode indicar que as projeções feitas podem estar subestimando as quantidades demandadas futuras. Outro ponto de destaque diz respeito a projeção industrial, comercial e demais setores somada as projeções residencial-urbana e rural e comparadas com a projeção da oferta de energia elétrica no período 2001-2004 apresentando *superávit* na oferta de energia elétrica de 0,18% a.a.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O setor elétrico foi marcado entre o pós-guerra e a década de 70 pela organização em monopólios verticalizados, sendo as tarifas reguladas pelos custos de serviços. Este período foi marcado pelo maior acesso da população aos serviços elétricos.

Na segunda metade da década de 70 houve elevações nos custos setoriais que coincide com a redução das oportunidades de melhoria de eficiência. A década de 80 foi marcada por uma economia instável, mas apresentando crescente aumento na quantidade demanda de energia elétrica.

No início da década de 90 o setor toma novo rumo de mudanças, seguido por alterações na economia brasileira e reformas no setor elétrico. A concorrência, a desverticalização e a privatização fazem parte agora do setor elétrico brasileiro.

Após os aumentos do preço do petróleo na década de 70, a energia elétrica passou a ser mais utilizada, contribuindo, assim, para que a quantidade demanda de energia elétrica crescesse. O setor industrial, que é responsável pela maior parte da demanda do Brasil, manteve se como principal setor responsável pelo consumo total.

Por sua vez o setor residencial-urbano, o segundo setor que demanda energia elétrica no país, obteve avanço em sua utilização ao longo dos anos analisados.

O setor rural, mesmo com participação pequena em relação aos outros setores, tem apresentado crescimento contínuo.

O comportamento da demanda por energia elétrica do Brasil considera as variáveis renda, tarifa e preço do eletrodoméstico no modelo analisado.

Por ser tratar de séries de longo prazo, foi utilizado um modelo VAR sob a representação do modelo MCE no sentido de não se perder informações no longo prazo.

O modelo teórico aqui utilizado para analisar a demanda do consumo de energia elétrica no setor residencial-urbano e rural, baseou-se na argumentação teórica de TAYLOR (1975) e CHICOINE e RAMAMURTHY (1986), que segundo os últimos autores, o preço ideal para ser utilizado numa estimativa de demanda de energia elétrica é o preço médio.

Quanto à hipótese, tanto no setor residencial-urbano de energia elétrica, quanto no setor rural de energia elétrica, é que o crescimento da renda e o decréscimo dos preços reais são fatores que contribuíram para o consumo de energia elétrica, no Brasil, no período de 1970 a 1999.

Os principais resultados encontrados, no que se refere à demanda de energia elétrica, demonstra que o consumo médio do setor residencial-urbano evoluiu de 1.190 KWh/residência, em 1970, para 2.351 KWh/residência, em 1999, enquanto o setor rural apresentou uma evolução de 1.200 KWh/residência, em 1970, para 2.056 KWh/residência, em 1999.

As elasticidades do setor residencial-urbano, nos diferentes métodos utilizados, comprovam que o preço da energia elétrica e o preço do eletrodoméstico são inelásticas em relação à quantidade demandada. Mesmo as elasticidades possuindo valores baixos, não implica que seu efeito possa ser menosprezado, pois há quedas de tarifas médias cobradas e do preço do eletrodoméstico; dessa forma, há indicações de que o aumento na quantidade demandada tem sido beneficiada positivamente por estas oscilações nos preços.

Com relação as variáveis adotadas para estimação da demanda de energia elétrica estas são co-integradas indicando assim que existe uma relação de longo prazo entre as variáveis; a partir disto, adotou-se o MCE como forma de realizar as previsões futuras para este setor.

As previsões simuladas são baseadas em aumentos reais nas tarifas, obtendo-se reduções pouco expressivas nas quantidades futuras demandadas de energia elétrica. Esta reorganização dos valores das tarifas pode vir a ser utilizada para que haja privatização no setor de energia elétrica, fazendo com que se torne mais atraente a parte financeira das empresas privadas que venham a ser ofertantes deste serviço. Outra justificativa seria que o aumento tarifário pode ser utilizado para conter o crescimento do consumo de energia elétrica.

Em suma este trabalho visou estimar as elasticidades preço e renda da demanda residencial-urbana e rural de energia elétrica no Brasil. Diante disto adotou-se um modelo econométrico não apenas em função da renda e da tarifa deste serviço, mas também em função do preço dos equipamentos eletrodomésticos. Logo a elasticidade-renda da demanda captou não apenas o efeito direto que a renda tem sobre o uso deste serviço, mas também seu efeito indireto via impacto sobre a quantidade de eletrodoméstico.

No exercício de projeção para as quantidades demandadas de energia elétrica residencial-urbana e rural até o ano 2004, foram simulados aumentos reais tarifários, obtendo-se reduções nas quantidades consumidas. Quando comparou-se o crescimento da oferta de energia elétrica com as projeções da demanda de energia elétrica obteve-se um *superávit* de 0,18% a.a. indicando desta forma o impacto de aumentos reais nas tarifas de energia elétrica teriam sobre o consumo residencial-urbano e rural, afetando de modo significativo o ritmo de crescimento da quantidade demandada, sem prejudicar a oferta de energia elétrica no Brasil.

De maneira geral, os resultados produzidos neste trabalho retratam que políticas de ajuste na demanda de energia elétrica podem ser realizadas adotando como variável o preços da tarifa e considerando a renda dos consumidores. Ajustamentos nas devidas tarifas podem conter ou expandir a quantidade consumida de energia elétrica.

O governo possui intenções de retomar as perdas dos preços reais nas tarifas de energia elétrica. Isto levaria à retenção do consumo e à necessidade de novos investimentos, mesmo que a política do governo seja de manter estável o nível de preços da economia, logo adotar aumento nas tarifas levaria a aumento nos custos de produção da indústria, e conseqüentemente, de vários produtos.

Este trabalho não pretende fornecer uma conclusão definitiva sobre a relação dos preços e renda na demanda de energia elétrica dos setores residencial-urbano e rural, no Brasil, visto que outras variáveis como clima, região, estoque de eletrodoméstico, podem também influenciar a quantidade demandada de energia elétrica. Mas, espera-se que este trabalho realize no meio acadêmico e nos agentes ligados ao setor elétrico interesses em aprofundar essa análises, auxiliando assim em análises futuras da demanda de energia elétrica para resultados positivos para a sociedade bem como para o país como um todo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Programa luz no campo: apresentação**. [20 jan.2001]. (<http://www.aneel.gov.br>).
- ANDRADE, T.A., LOBÃO, W.J.A. **Elasticidade renda e preço da demanda residencial de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: IPEA, 1997. (Texto para discussão, 489).
- BORN, P.H., ALMEIDA, A.A. **Mudanças estruturais no setor elétrico: formação e regulação de preços**. [24 maio 1999]. (<http://www.prossiga.br>).
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE). **Política de suporte para redução do custo de geração de energia elétrica em sistemas isolados: balanço energético nacional**. Brasília, 2000. 375 p.
- CHICOINE, D.L., RAMAMURTHY, G. Evidence on the specification of price in the study of domestic water demand. **Land Economics**, v. 62, p. 26-32, 1986.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE COOPERATIVISMO E DESENVOLVIMENTO RURAL - DENACOOOP. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Energia para o campo - Programa Nacional de Eletrificação Rural**. Brasília, 1991.
- DICKEY, D.A., FULLER, W.A. Distribution of the estimator for autoregressive time series with a unit root. **Journal of the American Statistical Association**, n. 74, p. 427-431, 1979.
- ELETROBRAS. **Estudo de mercado**. [09 ago. 1999]. (<http://www.eletrobras.gov.br>).
- ELETROBRAS. **Estudo de mercado**. [08 nov. 2000]. (<http://www.eletrobras.gov.br>).
- ELETROBRAS. **Estudo de mercado**. [05 jan. 2001]. (<http://www.eletrobras.gov.br>).

- ENERGIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Universalização do acesso e segurança de abastecimento**. Rio de Janeiro, 1998. 159 p.
- EVIIEWS. **User's guides**. 1997. 656 p.
- FAVA, V.L. Teste de raiz unitária e co-integração. In: VASCONCELLOS, M.A.S., ALVES, D. **Manual de econometria**. São Paulo: Atlas, 2000. p. 245-252.
- FOSTER JR., S., BEATTIE, B.R. Urban residential demand for water in the United States. **Land Economics**, v. 55, p. 43-58, 1979.
- FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS - FGV. **Análise do eletrodoméstico**. [15 set. 1999]. (<http://www.fgv.br/publicações>).
- GOMES, M.F.M. **Demanda rural de energia do Estado do Espírito Santo** Viçosa: UFV, 1981. 61 p. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Universidade Federal de Viçosa, 1981.
- GOTTLIEB, M. Urban domestic demand for water: a Kansa study. **Land Economics**, v. 39, p. 204-210, 1963.
- GRUPO EXECUTIVO DE ELETRIFICAÇÃO RURAL DE COOPERATIVAS - GEER. **Eletrificação rural no Brasil**. Brasília, 1984.
- GUJARATI, D. **Econometria básica**. 3.ed. New York. McGraw-Hill, 1995. 752 p.
- HOUTHAKKER, H.S. Some calculations of electricity consumption in great Britain. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 114, part III, p. 351-371, 1951.
- HOUTHAKKER, H.S., VERLEGER, P.K., SHEEHAN, D.P. **Dynamic demand analysis for gasoline and residential electricity**. Data Resources, 1973.
- HOWE, C., LINAWEAVER JR., F.P. The impact of price on residential water demand and its relation to system design and price structure. **Water Resources Research**, v. 3, n. 1, p. 13-32, 1967.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo demográfico 1998**. Rio de Janeiro, 1998.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios - PNAD**. [10 jun. 2001]. (<http://www.ibge.gov.br>).
- JOHANSEN, S. Statistical analysis of cointegrating vectors. **Journal of Economics Dynamics and Control**, v. 12, p. 231-254, 1988.
- JOHANSEN, S., JUSELIUS, K. Maximun likelihood estimation and inference on cointegration, with application to the demand for money. **Oxford Bulletin of Economics and Statistic**, v. 52, p. 169-210, 1990.

- MUNDO ELÉTRICO. **30 anos de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Gruenwald, 1989.
- NORDIN, J.A. A proposed modification of Taylor's demand analysis: comment. **The Bell Journal of Economics**, v. 7, p. 719-721, 1976
- OLIVEIRA, A. (Coord.). **Energia e desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS/Ministério de Minas e Energia/Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético/Instituto de Economia da UFRJ, 1998. 160 p. (Relatório Final).
- OPALUCH, J.J. Urban residential demand for water in the United States: firther discussion. **Land Economics**, v. 58, p. 225-227, 1982.
- PIRES, J.C.L., PICCINNI, M.S. **Modelos de regulação tarifária do setor elétrico**. [04 jun. 1999]. (<http://www.prossiga.br>).
- PLANO DECENAL. **Plano decenal de expansão 1999/2008: mercado de energia elétrica e aspectos econômico-financeiro**. Rio de Janeiro, 1999. 307 p.
- PLANO DECENAL. **Plano decenal de expansão 2000/2009: mercado de energia elétrica**. [08 nov.2000]. (<http://www.ccpe.gov.br>).
- PLANO DECENAL. **Plano decenal de expansão 2001/2010: mercado de energia elétrica**. [13 jun. 2001]. (<http://www.ccpe.gov.br>).
- PROGRAMA LUZ NO CAMPO. **Apresentação**. [20 jan. 2001]. (<http://www.eletronbras.gov.br>).
- ROCHA, P.G.R. **Uma abordagem sobre determinação de preços no sistema de transmissão de energia elétrica**. [04 jun. 1999]. (<http://www.prossiga.br>).
- RODRIGUES, A.P. **Estado e energia elétrica**. Rio de Janeiro: Instituto Liberal, 1994. 147 p.
- SANTANA, E.A., OLIVEIRA, C.A.C.N.V. Análise da indústria de energia elétrica no Brasil: abordagem através da economia dos custos de transação. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 2, p. 273-290, 1999.
- TAYLOR, L.O. The demand for eletricity: a survey bell. **Journal of Economics**, Arizona, v. 6, p. 74-110, 1975.
- VARIAN, H.R. **Princípios básicos de microeconomia**. 2.ed. Rio de Janeiro: Campus, 1994. 710 p.