

NIÁGARA RODRIGUES DA SILVA

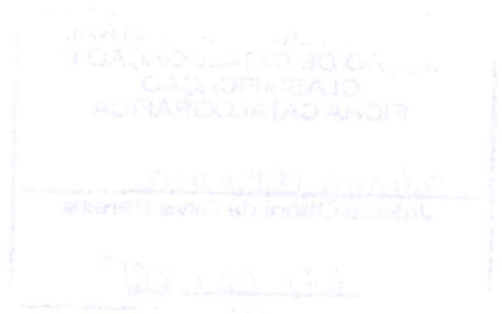
**DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL NO BRASIL
SEGUNDO OS QUANTIS DE CONSUMO**

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

VIÇOSA

MINAS GERAIS – BRASIL

2013



**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

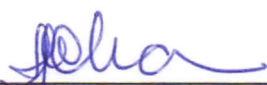
T	Silva, Niágara Rodrigues da, 1986-
S586d	Demanda de energia elétrica residencial no Brasil segundo os quantis de consumo / Niágara Rodrigues da Silva. – Viçosa, MG, 2013.
2013	x, 70f. : il. (algumas color.) ; 29cm.
	Inclui apêndices.
	Orientador: José Gustavo Féres
	Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
	Referências bibliográficas: f. 58-62
	1. Energia elétrica - Consumo - Brasil. 2. Econometria. 3. Comportamento do consumidor. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Economia Rural. Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada. II. Título.
	CDD 22. ed. 333.7932130981

NIÁGARA RODRIGUES DA SILVA

DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL NO BRASIL
SEGUNDO OS QUANTIS DE CONSUMO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

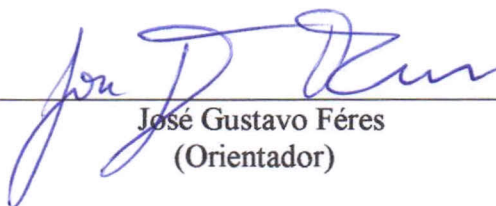
APROVADA: 19 de fevereiro de 2013.



Dênis Antônio da Cunha



Amaro Olimpio Pereira Júnior



José Gustavo Féres
(Orientador)

A Deus

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho concretiza mais uma etapa em minha vida acadêmica. Com esta conquista, gostaria de agradecer a todos que, de alguma forma, estiveram presentes em minha vida ajudando a concluir esta fase.

Em especial, gostaria de agradecer aos meus pais, Laércio e Sandra, por terem me dado plenas condições para que eu me dedicasse aos estudos. Mesmo com a distância que nos separava, sempre estive confortada com as palavras de afeto que foram trocadas por telefone. Assim como eu gostaria de pedir desculpas pela ausência, que foram necessárias para que eu pudesse cumprir todos os requisitos exigidos pelo mestrado.

A meu namorado que dividiu comigo todos os melhores e os mais difíceis momentos: os de angústias para completar as obrigações dentro dos prazos, e os momentos de noites em claro estudando, principalmente, para as provas de microeconomia e econometria. Que aturou meus momentos de ansiedade e insegurança e mesmo assim me confortou e me deu força para seguir em frente. A essa pessoa devo a minha gratidão, obrigada Thiago.

Agradeço também a turma que ingressou comigo no mestrado, em especial Micheliana, Helton, Elizama, Camila, Valquíria, Matheus e Geraldo que foram até o final. À Elizama por ser não só minha companheira de classe como também de república, ao Geraldo por ter dividido comigo as aulas de monitoria e as viagens para Rio Paranaíba (MG) para ministrar as aulas em módulo às turmas de Introdução à Economia. As meninas (Camila e Valquíria) pelas boas conversas de corredor, e a Micheliana por estar sempre presente para dividir anseios e prazeres. E aos amigos que fiz durante o mestrado, em especial a Lora e o Paulo, meus irmãos de pesquisa.

Não posso deixar de agradecer aos meus amigos da “patota” que não me abandonaram mesmo com toda minha ausência. Nesses dois anos de mestrado não deixamos de celebrar nossas conquistas e de dividir momentos memoráveis.

Agradeço ao meu orientador, José G. Féres, por participar efetivamente da elaboração deste trabalho, desde sua concepção à execução e conclusão. E aos membros da banca pelas sugestões.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que concedeu bolsa para financiamento de meus estudos.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações Iniciais	1
1.2. O Problema e sua Importância	4
1.3. Hipóteses	8
1.4. Objetivos.....	9
1.4.1. Objetivo Geral.....	9
1.4.2. Objetivos Específicos.....	9
1.5. Estrutura do trabalho.....	9
2. REVISÃO DA LITERATURA	10
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
4. METODOLOGIA	21
4.1. Referencial Analítico.....	21
4.2. Modelo de Regressão Quantílica Padrão.....	23
4.3. Modelo de Regressão Quantílica com Variável Instrumental	25
4.4. Dados.....	28
4.4.1. Preço da Energia Elétrica e Quantidade Consumida.....	29
4.4.2. Renda Monetária Familiar	31

4.4.3. Temperatura Média do Ar	33
4.4.4. Eletrodomésticos	35
4.4.5. Condições Socioeconômicas dos Moradores e Atributos dos Domicílios	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
APÊNDICE	63

LISTA DE TABELAS

	Página
1 – Estimativas das elasticidades renda e preço de curto e de longo prazo do consumo de energia elétrica residencial da literatura nacional	13
2 – Consumo domiciliar médio de energia elétrica e preço médio por percentil no Brasil, 2008-2009	31
3 – Evolução da despesa no consumo de energia elétrica e da renda monetária mensal dos domicílios das regiões brasileiras segundo os percentis de consumo de energia elétrica residencial (10, 30, 50, 70 e 90)	32
4 – Média, desvio padrão, mínima e máxima da temperatura nas regiões do Brasil, 2008-2009.....	35
5 – Estatísticas descritivas dos eletrodomésticos no Brasil, 2008-2009.....	35
6 – Proporção de domicílios que possuem eletrodomésticos por diferentes níveis de consumo de energia elétrica no Brasil, 2008-2009.....	36
7 – Estatísticas descritivas da idade média em anos dos eletrodomésticos no Brasil, 2008-2009.....	37
8 – Estatísticas descritivas referentes ao domicílio e chefe de família no Brasil, 2008-2009.....	38
9 – Estatísticas descritivas referentes à localização e características dos domicílios no Brasil, 2008-2009	39
10 – Descrição das variáveis binárias	40

11 – Principais coeficientes estimados para a demanda residencial por energia elétrica por MRQVI.....	42
12 – Comportamento dos coeficientes estimados por RQ e MQ2E.....	51
A1 – Coeficientes estimados para a demanda residencial por energia elétrica por MRQVI com MQO no primeiro estágio.....	64
A2 – Demais coeficientes estimados para a demanda residencial por energia elétrica por MRQVI.....	68

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 – Evolução Histórica do Consumo Residencial de Energia Elétrica Brasileira em kWh de 1970 a 2010	1
2 – Evolução Histórica da Participação das Fontes de Energia no Consumo Residencial Brasileiro de 1970 a 2010.....	2
3 – Participação dos eletrodomésticos por consumo final residencial no Brasil – 2005.....	5
4 – Evolução da despesa com energia elétrica e renda monetária das regiões por quantil de consumo de energia elétrica	32
5 – Comportamento dos coeficientes estimados do Logaritmo Natural do Preço da energia elétrica segundo os quantis da distribuição do consumo residencial de energia elétrica.....	45
A3 – Comportamento dos coeficientes estimados da elasticidade-preço e renda segundo os quantis da distribuição do consumo de energia elétrica residencial estimado por RQ.....	70

RESUMO

SILVA, Niágara Rodrigues da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2013. **Demanda de energia elétrica residencial no Brasil segundo os quantis de consumo.** Orientador: José Gustavo Féres.

O consumo de energia elétrica vem apresentando um ritmo de crescimento robusto no Brasil. Em contrapartida, a política de expansão de oferta de energia vem enfrentando forte limitação face às pressões ambientais contra a construção de novas hidrelétricas. Desse modo, estudos do comportamento da demanda de energia elétrica podem contribuir para a formulação de políticas de gestão de demanda que promovam a conservação de energia. Neste contexto, o presente estudo objetiva estudar os determinantes da demanda por energia elétrica residencial para o Brasil. Em particular, investiga-se a presença de heterogeneidade da elasticidade da demanda em relação ao preço da energia elétrica, à renda e à temperatura segundo os quantis de consumo. Utilizando-se dos microdados da POF 2008-2009, a demanda por energia elétrica foi estimada por meio do Método de Regressão Quantílica com Variável Instrumental (MRQVI), que permite estimar a demanda condicional nos diversos quantis da distribuição corrigindo o problema de endogeneidade. Os resultados sugerem a heterogeneidade na resposta da demanda por energia elétrica às variações de preço e renda. Os consumidores localizados nos extremos da distribuição são mais sensíveis às variações de preço, com as maiores elasticidades-preço sendo observadas no segmento dos grandes consumidores. Por outro lado, a elasticidade-renda apresentou pouca variabilidade entre os quantis de consumo. Os resultados também indicam que variações de temperatura no verão proporcionam elevações no consumo de energia elétrica, enquanto que uma elevação no inverno gera economia de energia. Por fim, economias de energia podem ser alcançadas com aumentos tarifários para as maiores faixas de consumo, pois os maiores consumidores são mais sensíveis a variações de preços, e também com políticas não tarifárias, com substituição de refrigeradores antigos por novos e mais eficientes.

ABSTRACT

SILVA, Niágara Rodrigues da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2013. **Residential electrical energy demand from Brazil according to the quantiles of consumption.** Adviser: José Gustavo Féres.

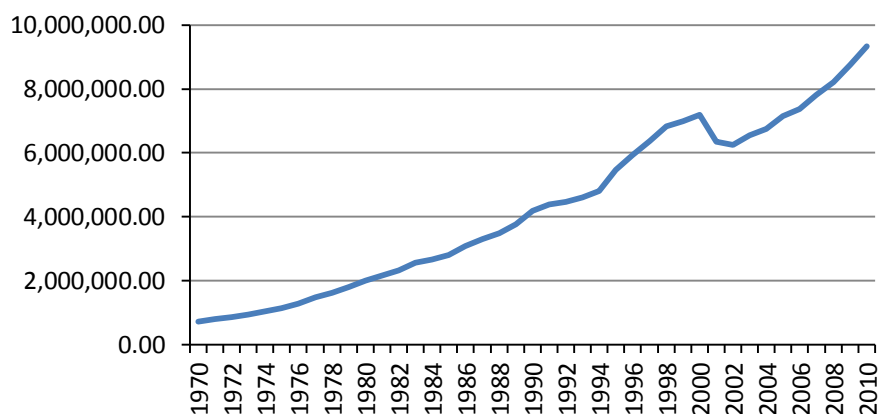
The electricity consumption has shown a robust growth rate in Brazil. On the other hand, the policy of expanding energy supply is facing strong limitation to environmental pressures against the construction of new hydropower. Then, studies of the behavior of electricity demand can contribute to management policies demand, which promote energy conservation. In this case, this paper intends to study the determinants of the demand of energy from Brazil. Particularly, analyses the possible heterogeneity of the elasticity of demand regarding the price of electricity, income and temperature according to the quantis of consumption. By microdata of POF 2008-2009, the demand of electricity was estimated by the instrumental Variable Quantile Regression Method (IVRQ), which can estimate the conditional demand within several quantis of distribution fixing the endogeneity problem. The results suggest heterogeneity in the response of the demand for electricity to changes in price and income. The consumers located at the extremes of the distribution are more sensitive to changes in price, with the highest price elasticities were observed in the segment of large consumers. Otherwise, the income elasticity showed little variability between the quantiles of consumption. The results also indicate that temperature variations in summer provide elevations in electricity consumption, while a rise in winter generates energy savings. However, energy savings can be achieved through tariff increases for higher consumption ranges, because the biggest consumers are more sensitive to price changes, and also with non-tariff policies, replacing old refrigerators with a new and more efficient.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Historicamente, tem-se registrado aumento da participação do setor residencial no consumo total de energia elétrica da economia brasileira. O consumo total brasileiro de energia elétrica cresceu a uma taxa média anual de 6%, passando de 39,67 GWh para 455,66 GWh no período de 1970 a 2010. Por sua vez, o consumo residencial de energia elétrica passou de 8,36 GWh para 108,46 GWh, correspondendo a um incremento médio anual de 7%¹. A evolução do consumo médio de energia elétrica residencial no Brasil pode ser visualizada na Figura 1.

FIGURA 1. Evolução do Consumo Residencial de Energia Elétrica Brasileira em kWh de 1970 a 2010



Fonte: Elaboração do autor com base em EPE (2011).

Pode ser observado na Figura 1 um aumento mais expressivo do consumo residencial a partir de 1995, em decorrência da estabilização econômica propiciada pelo Plano Real. A expansão da renda, principalmente das camadas menos favorecidas da população, se converteu em elevação da posse de eletrodomésticos, e, por conseguinte, aumentou o consumo de energia elétrica residencial (EPE, 2005). Conforme o Balanço Energético Nacional (EPE, 2011), o consumo domiciliar

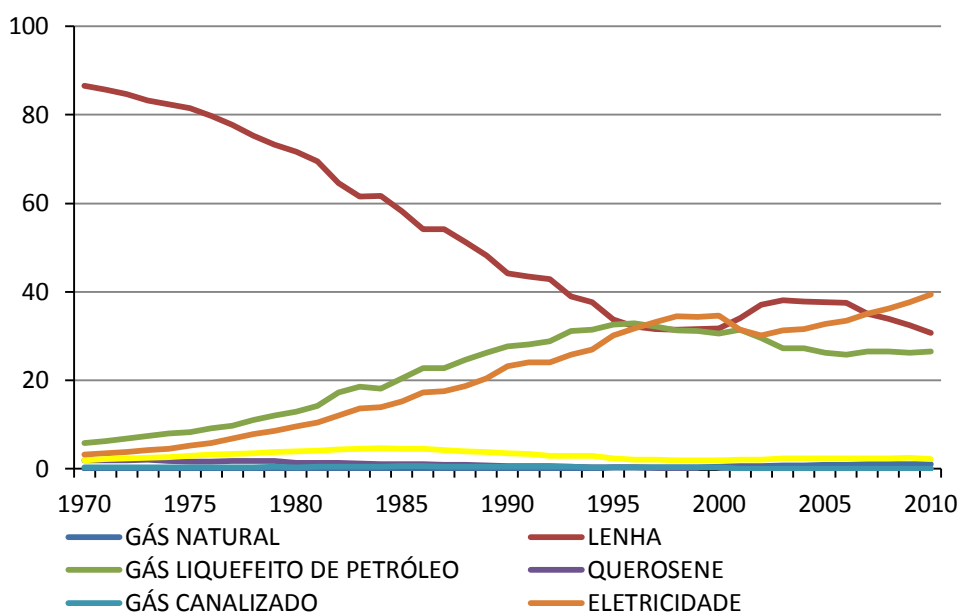
¹ Valores calculados a partir das informações do Ministério de Minas e Energia (MME) disponibilizada pelo Balanço Energético Nacional (EPE, 2011).

médio passou de 358 kWh/habitante/ano em 1994 para 568 kWh/habitante/ano em 2010.

Tal crescimento foi interrompido com o racionamento² de energia elétrica no período de 2001 a 2002, como é possível observar na Figura 1. Em 2002, o consumo residencial nacional voltou a registrar patamares próximos dos verificados em 1997, de 74,04 GWh. Todavia, com o fim do racionamento, iniciou-se uma lenta recuperação do consumo. A retomada do crescimento foi favorecida com a implantação de dois programas do Governo Federal: Bolsa Família, por meio de transferência de renda à população carente, e o Programa Luz Para Todos (PLT)³, em função da evolução do número de novos domicílios atendidos a partir de 2003. Este último, segundo EPE (2011), realizou, aproximadamente, 2,53 milhões de ligações entre 2004 a dezembro de 2010.

A Figura 2 apresenta a evolução da participação das diferentes fontes energéticas no consumo residencial energético total no Brasil.

FIGURA 2. Evolução da Participação das Fontes de Energia no Consumo Residencial Brasileiro de 1970 a 2010



Fonte: Elaboração do autor com base em EPE (2011).

²O Brasil apresentou um déficit, em 2001, entre geração e demanda de energia elétrica, tal déficit culminou no programa de racionamento de energia, implantado pelo Governo Federal nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste, no período de junho de 2001 a fevereiro de 2002; e na região Norte, de agosto de 2001 a janeiro de 2002.

³ O Programa Luz Para Todos foi criado em 2003, e priorizou universalização do acesso à energia elétrica, por meio de novas ligações principalmente nas áreas rurais.

No Brasil a eletricidade vem aumentando sua participação no total de energia residencial final consumida, superando os níveis de consumo de lenha a partir de 1997.

Contudo, a expansão acentuada do consumo de energia elétrica, embora reflita o aquecimento da atividade econômica e melhoria na qualidade de vida, talvez não consiga ser acompanhada pela expansão da oferta (ANEEL, 2008). Políticas de expansão de oferta de energia vêm enfrentando forte limitação face às pressões ambientais contra a construção de novas hidrelétricas. A gestão pela oferta requer ainda elevados investimentos em pesquisas de novas fontes e na construção de novas usinas hidrelétricas. Além disso, há registros cada vez mais frequentes de estresses hídricos. Em vista do esgotamento do modelo de gerenciamento do sistema elétrico via expansão da oferta, fazem-se necessárias formulações de políticas públicas que conciliem gerenciamento de demanda e eficiência energética.

Desse modo, estudos do comportamento da demanda de energia elétrica podem contribuir, via gestão de demanda, para uma maior eficiência energética, pois o conhecimento dos padrões do comportamento da demanda de energia elétrica residencial pode auxiliar o setor elétrico no planejamento de políticas públicas de conservação de energia.

Segundo Kaza (2010), orientações de políticas públicas para conservação de energia não são adequadas se apenas considerarem os efeitos sobre o consumo médio, uma vez que não atingirá os altos consumidores de energia elétrica. A demanda por eletricidade pode responder de forma heterogênea às variações de preço, por exemplo.

Apesar da energia elétrica se configurar como um bem essencial às atividades cotidianas, ela é consumida em diferentes níveis por cada domicílio e pode variar de acordo com o tamanho da residência, número de moradores, quantidade e eficiência dos aparelhos elétricos, condições climáticas locais e renda de cada família. Desse modo, os menores consumidores de energia, assim como os maiores consumidores, podem apresentar padrões de consumo diferenciados dos consumidores médios.

Os maiores consumidores de energia podem apresentar respostas mais sensíveis às variações no preço da energia elétrica do que os menores consumidores de energia. Para os maiores consumidores, os gastos com energia elétrica devem ser destinados a finalidades de uso não essenciais, que são mais fáceis de serem

reduzidos frente a uma elevação da tarifa. Desse modo aumentos tarifário baseado no consumo médio pode implicar em impactos sociais ao setor de baixo consumo, que destinam o consumo de energia elétrica a finalidades essenciais a sobrevivência.

1.2 O problema e sua importância

Este estudo pretende analisar a potencial heterogeneidade da estrutura da demanda por energia elétrica residencial segundo os diferentes níveis de consumo, ou seja, deseja-se averiguar o quão sensível á preço, renda e temperatura é o consumo ao longo de diferentes níveis de consumo de energia elétrica.

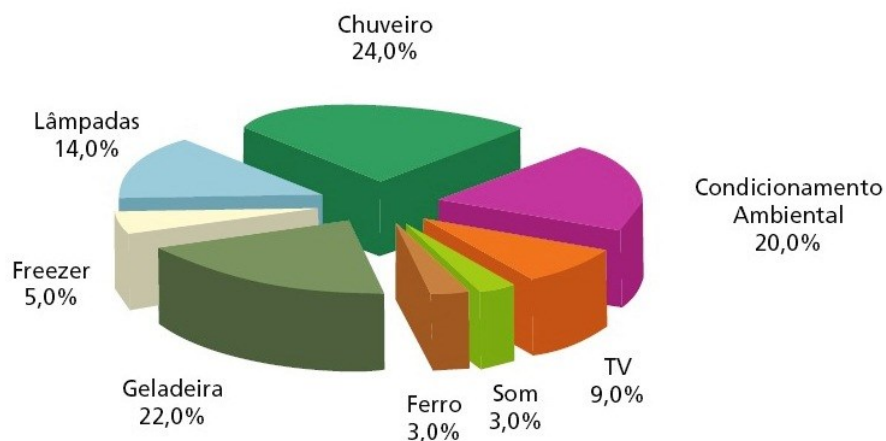
Pretende-se, assim, contribuir para formulação de políticas públicas orientadas a incentivar a conservação de energia nos domicílios. A implementação eficaz de políticas de conservação energética requisita o conhecimento dos padrões de comportamento da demanda por energia elétrica residencial por faixa de consumo. Entre as medidas de gestão de demanda pode-se citar a formulação de uma estrutura tarifária com valores crescentes por faixa de consumo, a qual pode promover a conservação de energia por parte dos consumidores em cada nível de consumo. Dado que é possível que consumidores com diferentes níveis de consumo reajam de maneira distinta às variações na tarifa.

Esta pesquisa não pretende avaliar um determinado programa ou política de conservação de energia, e sim estudar quais são os possíveis impactos das variações de preço e renda, por exemplo, nos diferentes níveis de consumo de energia residencial, tendo em vista que políticas públicas de conservação de energia fundamentadas em estimativas sobre as observações médias podem gerar resultados controversos e errôneos.

Considerar-se-á, também, o impacto das alterações climáticas sobre o consumo de energia elétrica, tendo em vista que o conforto de um domicílio depende do clima da região na qual o domicílio está localizado. Situações em que a temperatura exterior aumenta muito, o conforto pode diminuir devido ao aumento do calor e da umidade relativa do ar, o que proporciona uma elevação da demanda por resfriamento. A elevação do consumo de energia elétrica nas residências decorre, então, da maior utilização de ar condicionado e ventiladores.

A Figura 3 ilustra a participação dos eletrodomésticos mais importantes no consumo médio domiciliar, em nível Brasil.

FIGURA 3. Participação dos eletrodomésticos por consumo final residencial no Brasil–2005.



Fonte: PROCEL (2009)

Pode-se observar que 20% dos eletrodomésticos são destinados ao condicionamento do ambiente residencial.

Autores como Dubin et. al. (1986), Friedman (1987), e Dewees e Wilson (1990) afirmam que a demanda por energia elétrica residencial varia conforme a temperatura ambiente, assumindo que os indivíduos possuem uma temperatura de conforto ótimo.

A demanda por energia residencial e suas relações com a temperatura tem recebido bastante atenção nos estudos internacionais sobre o assunto, dentre eles, pode-se citar Bigano et. al. (2006), que investigaram os efeitos do clima sobre a demanda nos países da OCDE; Mansur et. al. (2008) que analisaram os efeitos do clima na América do Norte; e Eskeland e Mideksa (2010) que fizeram análise semelhante nos países Europeus.

Contudo estes estudos analisam os impactos das variações de preço, renda e fatores climáticos sobre os usuários médios, não considerando que os menores usuários podem apresentar padrões de respostas diferentes dos maiores usuários do serviço elétrico.

Todavia, tem-se observado na literatura científica nacional, pouca ênfase na análise dos fatores climáticos sobre a demanda de energia elétrica, assim como não se tem levado em consideração a heterogeneidade da estrutura da demanda por

energia elétrica segundo os diferentes níveis de consumo. A literatura empírica brasileira sobre demanda residencial de energia limita-se a analisar como o domicílio médio reage a variações nas tarifas e na renda agregada média. Entre eles pode-se citar Modiano (1984), Andrade e Lobão (1997), Schmidt e Lima (2004), Mattos e Lima (2005) e Siqueira et. al. (2006).

Pouca atenção tem sido voltada, também, para a influência da eficiência dos eletrodomésticos sobre o consumo de energia elétrica, e esta é outra questão importante para entender a demanda por energia elétrica residencial. Há uma escassez de informações sobre os ganhos em termos de eficiência energética associado ao uso de eletrodomésticos mais modernos e eficientes. Assim como o impacto que o tipo de habitação exerce sobre a demanda de energia elétrica residencial foi pouco abordado nos estudos nacionais. Contudo, as variáveis acima mencionadas são importantes determinantes da decisão do consumo de energia elétrica residencial. Casas com um número elevado de cômodos requererem um maior consumo de energia do que apartamento, por exemplo.

Boa parte dos estudos para o caso brasileiro, apesar de ser relativamente extenso, não têm levado em consideração os determinantes climáticos na demanda por energia. Estes apenas se detêm no estudo da elasticidade-preço e renda, sem incluir nas especificações a temperatura e a precipitação.

A não inclusão das variáveis climáticas em suas especificações pode tornar o estimador de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) inconsistentes e as variâncias e erros-padrão desses coeficientes podem ser incorretamente calculados, uma vez que estão incorrendo no problema de omissão de variável relevante. Segundo Eskeland e Mideksa (2010), geografia pode estar correlacionada com temperatura, assim como temperatura e renda, esta última gera um sério problema na estimação da elasticidade renda, porque a renda também pode refletir o impacto da temperatura sobre a demanda por energia elétrica.

Recentes estudos nacionais passaram a levar em consideração os potenciais impactos das mudanças climáticas no sistema energético brasileiro, são eles: Schaeffer et. al.(2008) e Rodrigues (2012).

Schaeffer et. al.(2008) examinou a interação entre mudança climática e fontes renováveis de energia, investigando as possíveis vulnerabilidades do setor brasileiro de energia aos efeitos da mudança no clima. Entretanto, não consideraram uma possível heterogeneidade na resposta da demanda por energia elétrica às variações de

preço e renda. Outra questão a ser atentada para esses dois trabalhos, refere-se ao fato de utilizarem dados agregados de consumo de energia elétrica em séries temporais, se referindo aos grandes grupos de consumidores ao invés de consumidores individuais. Segundo Deaton e Muellbauer (1980), a demanda agregada derivada de dados macro ou agregados cria um problema, pois não se sabe se essa demanda é consistente com a teoria microeconômica em que as estimativas da demanda são baseadas no comportamento dos consumidores individuais. Para superar o problema de agregação há uma série de condições que devem ser adotadas⁴, contudo, os trabalhos anteriormente citados não fazem menção das hipóteses de agregação em seus modelos.

Em paralelo a esses estudos, que fazem uso de dados agregados de séries temporais, surgiram trabalhos que passaram a utilizar microdados para modelar a demanda por energia elétrica. Pode-se destacar Cohen (2002) e Hollanda, Dias e Dutra (2010). Todavia, os mesmos não incorporaram os fatores climáticos incorrendo no viés de omissão de variável relevante descrito anteriormente, assim como não consideraram uma possível heterogeneidade na resposta da demanda segundo os diferentes quantis de consumo de energia.

Existem, também, estudos de demanda de energia que utilizam modelos técnico-econômicos, pode-se citar Achão (2003). Todavia, Dubin et. al. (1986) argumentam que os modelos técnico-econômicos geralmente superestimam a economia de energia, ao afirmar que aparelhos mais eficientes promovem elevadas economias de energia. No entanto, os benefícios do uso de aparelhos mais eficientes podem ser neutralizados pela maior intensidade de uso, dado que o preço do serviço do aparelho mais eficiente será menor.

Desse modo, esta pesquisa pretende preencher tal lacuna da literatura, fazendo uso do modelo de Regressão Quantílica (RQ), metodologia capaz de captar a heterogeneidade dos efeitos marginais ao longo da distribuição do consumo de energia elétrica. Além de incluir nas especificações do modelo variável de clima, a eficiência e posse dos eletrodomésticos, e fatores relacionados às características dos domicílios.

Considerando a relevância do tema, e os espaços de pesquisa presentes, este trabalho busca responder os seguintes questionamentos:

⁴ Para maiores detalhes sobre hipóteses de agregações ver Deaton e Muellbauer (1980)

- i) Os consumidores de diferentes estratos de consumo de energia elétrica residencial no Brasil são sensíveis de modo distinto às variações de temperatura?
- ii) Os consumidores nos diferentes níveis de consumo de energia elétrica respondem de forma heterogênea às variações de preço e renda? Em caso afirmativo, como essas elasticidades variam por nível de consumo?
- iii) Quais são os ganhos em termos de conservação de energia associados ao uso de aparelhos elétricos mais modernos e eficientes?

1.3. Hipóteses

i) Espera-se que usuários de diferentes níveis de consumo reajam de forma heterogênea às variações do preço da energia. Onde grandes consumidores de energia sejam mais sensíveis às mudanças de preço por apresentarem menor utilidade marginal do que os menores consumidores.

ii) É esperada uma maior elasticidade-renda no segmento de menor consumo, uma vez que estes comprariam mais eletrodomésticos com o aumento da renda.

iii) Espera-se, também, que haja uma relação não-linear entre demanda de energia elétrica residencial e variações de temperatura. De modo que aumento da temperatura em dias frios reduza a demanda por energia devido a menor necessidade de refrigeração do ambiente, enquanto que um aumento em dias quentes leve a uma elevação da demanda por energia para amenizar o desconforto térmico.

iv) Por conseguinte, espera-se que grandes consumidores sejam mais sensíveis a aumentos de temperatura, uma vez esta classe de consumo destina parte do consumo de energia para atividades não essenciais, como refrigeração do ambiente.

v) A expectativa quanto aos eletrodomésticos é de que os bens duráveis mais antigos, de menor eficiência energética, consumirão mais energia do que os eletrodomésticos com menor tempo de uso.

vi) Espera-se que diferentes tipos de habitação pressionem o consumo de energia elétrica de forma distinta. Estima-se que apartamento consumirá menos energia elétrica do que casas destacadas por causa das superfícies comuns. Domicílios que não realizam dispêndios com aluguel da moradia, seja o proprietário ou ocupante que reside em domicílio cedido, consumirá menos energia do que os locatários, uma vez que os proprietários devem estar dispostos a investir em sistemas mais eficientes de refrigeração do espaço.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

A presente pesquisa tem como objetivo compreender como alterações no preço da energia, na renda e nos fatores climáticos afetam os diferentes níveis de consumo de energia elétrica residencial no Brasil.

1.4.2 Objetivos Específicos

Especificamente pretende-se:

- i) Analisar a potencial heterogeneidade na resposta da demanda por energia elétrica às variações de preço e renda, segundo o nível de consumo dos domicílios;
- ii) Analisar a mudança no consumo de energia elétrica residencial dada as variações de temperatura; e
- iv) Verificar como posse e eficiência dos eletrodomésticos podem afetar a demanda de energia elétrica residencial.

1.5. Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em seis seções, além dessa seção inicial que é introdutória, na segunda seção está apresentada uma revisão dos resultados mais relevantes da literatura sobre demanda por energia elétrica. Na terceira seção é apresentado o referencial teórico. Na quarta seção estão as especificações econométricas, os dados utilizados e suas estatísticas descritivas. Na quinta seção estão apresentados os principais resultados e discussões e por fim, a sexta seção traz as considerações finais e recomendações em termos de políticas públicas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Dentre os estudos internacionais que analisam os possíveis efeitos dos fatores climáticos sobre a demanda de energia elétrica destaca-se Bigano et. al. (2006), que investigou os efeitos do clima sobre a demanda por diferentes vetores energéticos (carvão, gás, eletricidade, petróleo e produtos derivados do petróleo) por usuários residenciais, comerciais e industriais nos países da OCDE e alguns não pertencentes à OCDE para o período de 1978 a 2000. Para tanto, foi feito uso de um modelo em painel dinâmico aplicando o Método de Momentos Generalizados (MMG) na tentativa de extrapolar uma relação de longo prazo entre a temperatura média anual e a demanda de energia. Assim, foi possível concluir que a temperatura exerce distintas influências sobre a demanda dos diferentes vetores energéticos. Quando a energia se caracteriza como um bem de consumo final, a demanda residencial responde negativamente aos aumentos de temperatura, apontando para uma prevalência da necessidade de aquecimento na determinação da demanda residencial.

Já Mansur et. al. (2008) se dedicaram à análise dos efeitos do clima (temperatura e precipitação) sobre a demanda de energia elétrica residencial e comercial Norte Americana, além de projetar até 2100 os impactos das mudanças climáticas, baseados nos cenários futuros do clima do IPCC. Os autores estimaram os parâmetros da demanda por energia usando dados em painel e fazendo uso de um modelo multinomial discreto contínuo. Os resultados apontam que com a mudança climática – elevação da temperatura – irá aumentar o consumo de eletricidade por refrigeração e reduzir o uso de outros combustíveis para aquecimento. Portanto, concluem que consumidores que enfrentam temperaturas mais quentes no inverno consomem menos energia para aquecimento, enquanto aqueles que enfrentam verões mais quentes consomem mais eletricidade.

Por fim, Eskeland e Mideksa (2010) objetivaram estudar, principalmente, as relações entre o consumo de eletricidade europeia e a temperatura externa das residências. Para tanto, estimaram a demanda residencial de energia elétrica e do setor de serviços por meio de um painel de dados de 31 países Europeus, de 1995 a 2005. Como os preços não são exógenos ao consumo, uma vez que preço no mercado e quantidade demanda de energia são determinados conjuntamente, foi

utilizado variável exógena instrumental para o preço da energia. Os coeficientes estimados de temperatura, medidos em *Cooling Degree Days* (CDD) e *Heating Degree Days* (HDD)⁵, produzem impacto significativamente estatístico sobre a demanda residencial de energia. E o impacto marginal de CDD é cerca de quatro vezes maior do que os HDD. A simulação de mudanças climáticas para os próximos 100 anos, mantendo os demais fatores constantes, possibilitou concluir que a demanda no sul da Europa no verão se elevará, e diminuirá durante o inverno no Norte europeu.

O setor de energia no Brasil vem sendo amplamente pesquisado, os trabalhos pioneiros não levaram em consideração os fatores climáticos em suas especificações de demanda. O primeiro trabalho a utilizar métodos econométricos para verificar a sensibilidade da demanda aos seus determinantes, para fins de planejamento de políticas de conservação, foi Modiano (1984), no período de 1966 a 1981. Este autor estudou a demanda por energia elétrica para as principais classes de consumo por meio do método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Modiano (1984) não considerou a existência de simultaneidade na determinação do preço e do consumo de energia elétrica, no entanto ele assume essa limitação e admite que suas estimativas possam estar viesadas. Se as variáveis são co-integradas⁶, os estimadores de MQO embora sejam consistentes, não são eficientes, assim, as inferências não são confiáveis.

Boa parte dos trabalhos posteriores passou a adotar metodologias que possibilitassem corrigir os problemas ocasionados pela endogeneidade preço levantado por Modiano (1984). Este é o caso de Andrade e Lobão (1997) que fizeram uso da modelagem de um Vetor Auto-Regressivo (VAR) sob a representação de um Mecanismo de Correção de Erros Vetoriais (MCEV). Esta metodologia, além de considerar que todas as variáveis do modelo são determinadas endogenamente, permitindo, também, a distinção de uma análise de curto e de longo prazo do consumo de energia elétrica. Desse modo, Andrade e Lobão (1997) analisaram a evolução do consumo residencial de energia elétrica brasileira no período de 1963 a 1995 e realizaram, também, projeções das quantidades demandadas para o período de 1997 a 2005.

⁵ HDD ocorre quando a temperatura exterior permanecer acima da temperatura de conforto, e CDD ocorre quando a temperatura exterior estiver abaixo da de conforto.

⁶ Variáveis são co-integradas se tiverem entre elas uma relação de longo prazo ou de equilíbrio.

Fazendo uso do mesmo método, Schmidt e Lima (2004) estimaram através do MCEV as elasticidades, preço e renda, de longo prazo da demanda por energia elétrica para as classes residencial, comercial e industrial. Além de executar previsões de demanda de energia elétrica para o período de 2000 a 2005. Contudo, os autores concluem que suas previsões para o período de 2002 a 2005 podem ter sido prejudicadas pelo racionamento de energia ocorrido em 2001, o qual não foi considerado na estimação. Mattos e Lima (2005) reproduziram este estudo para Minas Gerais ao estimar a demanda residencial por energia elétrica, considerando, agora, o programa de racionamento de energia elétrica ao adicionar uma variável binária. A variável *dummy* foi adicionada a fim de captar uma mudança estrutural da demanda de energia elétrica em virtude do programa de racionamento de energia.

Finalmente, Siqueira, Cordeiro Jr. e Castelar (2006) também se propuseram a incorporar os efeitos do programa de racionamento de energia nas previsões da demanda por energia elétrica para as três principais classes de consumo do nordeste brasileiro, utilizando, também, o MCEV. Adicionalmente, constataram uma tendência de recuperação de consumo no período pós-acionamento, que foi verificada por meio da redução da diferença percentual entre o valor previsto a partir das elasticidades obtidas no período pré-acionamento e o valor real observado nos anos 2002 e 2003.

Cabe ressaltar, que os estudos nacionais até aqui mencionados não incorporam temperatura como determinante da demanda por energia elétrica, assim como não consideram a questão da eficiência energética dos eletrodomésticos.

Já Rodrigues (2012) considera os potenciais impactos da variável climática temperatura na demanda por energia elétrica. Este trabalho investigou os determinantes (elasticidade-preço, renda e temperatura) das demandas residencial, comercial e industrial de energia elétrica do Brasil no período de 1991 a 2002, dando maior ênfase aos fatores climáticos, encontrando para o primeiro trimestre do ano elasticidade-temperatura de 0,0476, para o segundo trimestre -0,0801, e 0,0010 e -0,0041 para o terceiro e quarto trimestre, respectivamente.

Em Paralelo a esses estudos, que fazem uso de dados agregados de séries temporais, surgiram trabalhos que passaram a utilizar microdados para modelar a demanda por energia elétrica. Dentre estes estudos pode-se destacar Cohen (2002) que buscou relacionar a questão dos padrões de consumo com aspectos energéticos e ambientais fazendo uso dos dados da Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) 1995-

1996 para avaliar a demanda de energia direta – consumida diretamente pelas famílias, e indireta – energia embutida na aquisição de um bem ou serviço. Dos estudos que lançaram mão do uso de microdados, o trabalho que proporcionou maiores avanços foi de Hollanda, Dias e Dutra (2010), que estimaram um modelo de painel linear com os dados da POF 2002-2003 procurando relacionar despesas orçamentárias familiares, padrões de consumo de eletrodomésticos e demanda total de energia.

A Tabela 1 traz um resumo dos principais resultados obtidos para elasticidades preço e renda para o Brasil.

TABELA 1. Estimativas das elasticidades renda e preço do consumo de energia elétrica residencial da literatura nacional.

Referência	Abrangência	Metodologia**	Elasticidade preço	Elasticidade renda
Modiano (1984)	Brasil	MQO	-0,40	1,13
Andrade e Lobão (1997)	Brasil	MQO	-0,06	0,21
		VI (MQ2E)	-0,06	0,21
		VAR-VCE	-0,05	0,21
Schmidt e Lima (2004)	Brasil	VAR-VCE	-0,09	0,54
Mattos e Lima (2005)	Minas Gerais	VAR-VCE	-0,26	0,53
Siqueira, Cordeiro Jr. e Castelar (2006)	Nordeste	MQO	-0,78	0,55
		VI(MQ2E)	-0,74	0,90
		VAR-VCE	-0,41	1,40
Hollanda, Dias e Dutra (2010)	Brasil	Pseudo-Painel	-0,35	0,00*
Rodrigues (2012)	Brasil	Arellano-Bond	-0,0367	0,7408

Elaboração do autor.

Notas: *Valor estimado: $4,499 \times 10^{-5}$. ** MQO – Mínimos Quadrados Ordinários; VAR – Vetores Autorregressivos; VCE – Vetor de Correção de Erros; VI- Variáveis Instrumentais; MQ2E – Mínimo Quadrados de Dois Estágios.

É possível observar que as elasticidades-preço encontradas pelos autores listados na Tabela 1 possuem em comum a baixa sensibilidade do consumo de energia elétrica às variações de preço. É interessante observar, ainda, que apesar de utilizar variáveis diferentes e metodologia distintas, a elasticidade-renda de Siqueira Cordeiro Jr. e Castelar (2006) se assemelha à encontrada por Modiano (1984) – alta elasticidade renda, diferente dos demais estudos que constaram demanda inelástica às variações de renda.

Existem, também, estudos de demanda de energia que utilizam modelos técnico-econômicos, pode-se citar Achão (2003), o qual fez uso dos dados da POF de

1995-1996 e dos dados do Censo Demográfico de 1991 (disponibilizados pelo IBGE) para estudar a estrutura do consumo de energia direta⁷. Este estudo pretendeu identificar a relação entre o nível de renda e das diferenças regionais no consumo familiar de energia, podendo concluir que o consumo de energia elétrica destina-se principalmente à conservação de alimentos (34,9%), sendo a geladeira a maior responsável pelo consumo de energia elétrica. Iluminação (17,2%) e aquecimento de água (17%). Achão (2003) pôde, também, constatar que houve um aumento do uso da eletricidade para condicionamento ambiental, e esse aumento é atribuído a expansão urbana, onde as temperaturas médias costumam ser mais elevadas e, assim intensifica o uso de ventiladores e ar condicionados.

Até então, na literatura nacional, a questão dos potenciais impactos da variável climática temperatura na demanda por energia elétrica foi pouco trabalhada, assim como a heterogeneidade da elasticidade da demanda em relação ao preço da energia elétrica, à renda e a temperatura segundo os quantis de consumo não foi explorado. Outra questão importante que foi pouco explorada é a questão de eficiência energética dos eletrodomésticos. Analisar essas questões que ainda estão pendentes na literatura é importante para a formulação de políticas de conservação de energia por faixa de consumo. Nesse contexto, esta pesquisa tem por objetivo explorar esses espaços de pesquisa ainda em aberto.

⁷ Energia consumida diretamente pelos eletrodomésticos dos domicílios

3. REFERENCIAL TEÓRICO

O problema em análise envolve suposições microeconômicas clássicas da Teoria do Consumidor, em que o consumidor individual maximiza sua utilidade sujeita a uma restrição orçamentária. Nesse sentido, a demanda por um bem é definida como as várias quantidades desse bem que os consumidores adquirirão a todos os preços alternativos possíveis em dado período de tempo, permanecendo tudo o mais constante (VARIAN, 2002).

Este trabalho, contudo, se baseia no quadro teórico proposto por Eskeland e Mideksa (2010), ao invés de utilizar o referencial clássico da escolha do consumidor. A escolha desse referencial se justifica pelo tratamento microeconômico dado ao modelo estrutural. Os autores permitem inserir a questão do consumo de energia elétrica na demanda do consumidor, ao introduzir a questão do clima no modelo estrutural, o que não era possível na teoria clássica da demanda do consumidor.

Eskeland e Mideksa (2010) especificam a utilidade como uma função separável do conforto térmico e do consumo dos demais bens e serviços da economia. A função utilidade por eles elaborada está descrito a seguir:

$$U_{it} = u(Q_{it}, C_{it}) \quad (1)$$

em que U_{it} é a utilidade, Q_{it} é um vetor dos demais bens e serviços, e C_{it} o conforto, sendo $v \in (Q_{it}, C_{it})$ representativo das derivadas parciais em relação a cada componente da função utilidade. Onde o subscrito i remete-se aos consumidores e t ao tempo. Para garantir convexidade em relação à origem da função utilidade à taxa marginal de substituição entre Q_{it} e C_{it} tem que ser decrescente, assim, assume-se que $u_v(Q_{it}, C_{it}) > 0$ e $u_{vv}(Q_{it}, C_{it}) < 0$. A primeira derivada positiva garante que a utilidade marginal deve ser crescente com o consumo, enquanto que a segunda derivada deve ser negativa para garantir que a utilidade cresce a taxas decrescentes, o que garante um ponto de máximo.

A função de conforto térmico descrita por Eskeland e Mideksa (2010) adaptada a este estudo pode ser expressa da seguinte forma:

$$C_{it} = f(T, E_{it}, W_t, h_i) \quad (2)$$

em que C_{it} está em função da temperatura exterior T , dado que o clima pode influenciar o uso dos equipamentos reguladores de temperatura como ventilador, ar condicionado e aquecedor, assim como depende da quantidade de energia elétrica consumida pelo indivíduo i no período t (E_{it}), da eficiência energética (W_t), assumindo que esta varia com a evolução tecnológica no tempo, e por fim, está em função do isolamento térmico (h_i) que depende das características da construção do domicílio (número e tamanho das janelas, tipo de material utilizado nas construções, etc.).

Eskeland e Mideksa (2010) pressupõem que quando a temperatura está relativamente baixa e há um aumento desta, o conforto aumenta, porém o conforto diminui às altas temperaturas. Em regiões de temperaturas menores ou em estações frias, uma elevação da temperatura leva a redução da demanda por aquecimento, e, assim, a parcela da renda gasta com energia elétrica pode ser destinada aos demais bens e serviços. O inverso também é válido, em regiões de clima mais quente ou em estações com temperatura mais elevada uma redução da temperatura libera o uso dos recursos ao dispêndio com outros bens, devido a menor necessidade de refrigeração dos ambientes. Desse modo, a demanda por energia elétrica pode ser expressa como uma função não linear da temperatura.

Duas são as abordagens que consideram a não linearidade do efeito da temperatura, os que usam temperaturas sazonais ou mensais, e os que utilizam o conceito de *Heating Degree Days* (HDDs) e *Cooling Degree Days* (CDDs)⁸. Este trabalho faz uso das temperaturas sazonais, médias da temperatura no verão e no inverno. Assim a temperatura T da equação (2) pode ser expressa em temperatura de inverno (T_B) e verão (T_A):

$$C_{it} = f(T_B, T_A, E_{it}, W_t, h_i) \quad (3)$$

Essa relação pode ser derivada da função conforto sob a especificação de uma função do tipo Cobb-Douglas:

⁸HDD ocorre quando a temperatura exterior permanecer acima da temperatura de conforto, assim como CDD ocorre quando a temperatura exterior estiver abaixo da de conforto. De modo que $HDD = 18 - T_{it}$ e $CDD = T_{it} - 22$. Eskeland e Mideksa (2010), utilizam esta última abordagem, a qual considera a temperatura ambiente entre 18°C e 22°C.

$$C_{it} = c E_{it}^m T_{Bit}^{\alpha_j} T_{Ait}^{-\alpha_k} \quad (4)$$

sendo $c = h_i(w_t)^m; \alpha > 0; e m > 0$, em que α_j e α_k são, respectivamente, a elasticidade do conforto em relação às variações da temperatura baixa (T_B) e estações de temperatura alta (T_A), e m denota a produtividade da eletricidade em reduzir o desconforto causado pelas variações da temperatura. Tomando-se a diferencial total de (4) e assumindo que $\Delta C = 0$ e $\Delta T_A = 0$, chega-se:

$$E = -\delta T_B, \text{ em que } \delta = \frac{dE}{dT_B} \times \frac{m}{\alpha_j} \quad (5)$$

Assim como, ao tomar a diferencial total de (4) e assumir que $\Delta C = 0$ e $\Delta T_B = 0$, chega-se:

$$E = \delta T_A, \text{ em que } \delta = \frac{dE}{dT_A} \times \frac{m}{\alpha_k} \quad (6)$$

Tal especificação permite trabalhar com o efeito não linear da temperatura sobre o conforto térmico. No tocante a equação (5) pode-se demonstrar que a quantidade de energia elétrica consumida pelos indivíduos (E) apresenta relação inversa com temperaturas nas estações frias (T_B), e da equação (6) verifica-se que apresenta relação direta com a variação da temperatura em estações quentes (T_A). Portanto, aumento da temperatura em dias frios reduz a demanda por energia, enquanto que, um aumento da temperatura em dias quentes leva a um aumento da demanda por energia. Note também, que para dado nível de temperatura (T_B e T_A), o conforto aumenta com a quantidade de energia elétrica consumida pelos indivíduos.

Para encontrar a demanda por energia elétrica residencial considera-se a função de utilidade de elasticidade de substituição constante (CES):

$$U_{it} = \frac{a Q_{it}^{1-\gamma} + (1-a) C_{it}^{1-\gamma}}{1-\gamma}, a \in (0,1) \quad (7)$$

onde (γ) descreve a substitutibilidade entre conforto e consumo e satisfaz as seguintes propriedades: $\gamma > 0$ e $\gamma \neq 1$.

Assume-se que o consumidor gaste toda a sua renda no consumo dos bens: eletricidade (E_{it}) e conjunto dos demais bens (Q_{it}). Normalizando o preço dos demais bens (P_{it}) e tomado Q_{it} como numerário, a sua restrição orçamentária pode ser definida como:

$$Q_{it} + P_{E_{it}}E_{it} = R_{it} \quad (8)$$

em que R_{it} é a renda do consumidor e $P_{E_{it}}$ é o preço da eletricidade.

Dada uma função de utilidade do tipo (7), o problema do consumidor consiste em maximizar a sua utilidade, sujeito a restrição orçamentária (8). Matematicamente:

$$\begin{aligned} \text{Maximizar } U(Q_{it}, C_{it}) = U_{it} &= \frac{aQ_{it}^{1-\gamma} + (1-a)C_{it}^{1-\gamma}}{1-\gamma} \\ \text{Sujeito a : } Q_{it} + P_{E_{it}}E_{it} &= R_{it} \\ \text{em que } C_{it} &= vE_{it}^m T_{Bit}^{\alpha_j} T_{Ait}^{-\alpha_k} \end{aligned} \quad (9)$$

As equações expressas em (9) representam um problema de maximização condicionada, solucionado pelo método de Lagrange. Assim, pode ser reescrito do seguinte modo:

$$\mathcal{L} = U(Q_{it}, C_{it}) + \lambda(R_{it} - Q_{it} - P_{E_{it}}E_{it}) \quad (10)$$

A partir das condições de primeira ordem $\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial Q} = 0$ e $\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial C} = 0$, obtém-se, respectivamente:

$$\lambda = aQ_{it}^{-\gamma} \quad (11)$$

$$\lambda = \frac{(1-a)C_{it}^{-\gamma} (vT_{Bit}^{\alpha_j} T_{Ait}^{-\alpha_k} mE_{it}^{m-1})}{P_{E_{it}}} \quad (12)$$

Igualando (11) e (12) e fazendo $\pi = \frac{m(1-a)}{a}$, chega-se:

$$P_{E_{it}}E_{it} = \pi Q_{it}^{\gamma} C_{it}^{1-\gamma} \quad (13)$$

Substituindo (4) na equação (13) e resolvendo para E_{it} , encontra-se a curva de demanda por energia elétrica:

$$P_{E_{it}} E_{it} = \pi Q_{it}^{\gamma} (c E_{it}^m T_B^{\alpha_j} T_A^{-\alpha_k})^{1-\gamma}$$

$$E_{it} = \left(\frac{1}{\pi}\right)^{\frac{1}{(m(1-\gamma)-1)}} \left(\frac{1}{c}\right)^{\frac{(1-\gamma)}{[.]}} P_{E_{it}}^{\frac{1}{[.]}} T_B^{\frac{[-\alpha_j(1-\gamma)]}{[.]}} T_A^{\frac{[\alpha_k(1-\gamma)]}{[.]}} Q_{it}^{\frac{-\gamma}{[.]}} \quad (14)$$

Aplicando o logaritmo natural em ambos os lados da equação (14) obtém-se a curva de demanda por energia elétrica em termos de elasticidade:

$$\ln E_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln P_{E_{it}} + \beta_2 \ln Q_{it} + \beta_3 T_{B_{it}} + \beta_4 T_{A_{it}} + \mu_t + c_i + v_{it} \quad (15)$$

A equação (8) pode ser reescrita da seguinte forma: $Q_{it} = R_{it} - P_{E_{it}} E_{it}$. Dividindo ambos os lados da equação por $P_{E_{it}} E_{it}$ e em seguida aplicando o logaritmo natural, chega-se:

$$\ln Q_{it} = \ln P_{E_{it}} + \ln E_{it} + \ln \left(\frac{R_{it}}{P_{E_{it}} E_{it}} - 1 \right) \quad (16)$$

Usando a aproximação⁹ $\ln \left(\frac{R_{it}}{P_{E_{it}} E_{it}} - 1 \right) \approx \ln \left(\frac{R_{it}}{P_{E_{it}} E_{it}} \right)$ obtém-se que $\ln Q_{it} = \ln R_{it}$. Dessa forma é possível reescrever a equação (15):

$$\ln E_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln P_{E_{it}} + \beta_2 \ln R_{it} + \beta_3 T_{B_{it}} + \beta_4 T_{A_{it}} + \mu_t + c_i + v_{it} \quad (17)$$

A equação (17) define a demanda por energia elétrica em função do preço relativo na energia elétrica ($P_{E_{it}}$), da renda (R_{it}), temperatura média das estações frias ($T_{B_{it}}$), das estações quentes ($T_{A_{it}}$), das características das residências (μ_t) que varia no tempo, dos aparelhos (c_i) que variam entre domicílios e o termo do erro v_{it} . Onde os subscritos i referem-se aos domicílios e t ao ano. Os coeficientes estimados

⁹ O valor do numerador é superior ao denominador de tal forma que a aproximação seja válida, tendo em vista que o gasto com energia elétrica representa uma pequena parcela da renda. Com base nos dados da POF 2008-2009, os consumidores destinam em média 2,5% da renda para despesas com energia elétrica.

na equação (15) guardam a seguinte relação com os parâmetros estruturais do modelo: $\beta_0 = \ln \pi^{-1/(m(1-\gamma)-1)}$; $\beta_1 = 1/(m(1-\gamma) - 1)$; $\beta_2 = -\gamma/(m(1-\gamma) - 1)$; $\beta_3 = -\alpha_j(1-\gamma)/(m(1-\gamma) - 1)$; $\beta_4 = \alpha_k(1-\gamma)/(m(1-\gamma) - 1)$; $\mu_t = [-m(1-\gamma)/(m(1-\gamma) - 1)]W_t$; $c_i = [(-1 + \gamma)/(m(1-\gamma) - 1)]\ln h_i$.

Para estimar a demanda por energia elétrica residencial este trabalho faz uso de dados em seção transversal¹⁰, desse modo, o termo temporal (t) não aparecerá na forma estrutural da equação de demanda, assim como as características das residências (μ_t) que varia no tempo, e aparelhos (c_i) que variam entre domicílios. Desta forma a equação (17), que define a demanda por energia elétrica, pode ser expressa da seguinte forma:

$$\ln E_i = \beta_0 + \beta_1 \ln P_{E_i} + \beta_2 \ln R_i + \beta_3 T_{B_i} + \beta_4 T_{A_i} + v_i \quad (18)$$

¹⁰ Dados coletados de diferentes unidades de observação no mesmo período de tempo

4. METODOLOGIA

4.1 Referencial Analítico

Para estimar uma função de demanda por energia elétrica é necessário considerar implicações importantes, uma delas é que preço de mercado da tarifa de energia elétrica não é uma variável exógena. A tarifa pode ser considerada endógena devido aos cálculos efetuados para extrair o preço da energia elétrica da base de dados (POF 2008-2009) e devido à relação mutuamente dependente entre preço e consumo.

Nesta pesquisa, fez-se uso do valor unitário como substituto do preço da energia elétrica. O valor unitário é obtido por meio da divisão da despesa total com energia elétrica pela quantidade adquirida em kWh para cada unidade de consumo. Entretanto, o valor unitário não pode ser utilizado como substituto direto do verdadeiro preço da energia elétrica. Cox e Wohlgemant (1986) e Deaton (1997) alertam que a utilização de valores unitários pode comprometer a estimação da equação de demanda por energia elétrica residencial, pois é comum que eles não sejam exógenos, incorporando atributos como qualidade do bem, diferenças regionais e efeitos sazonais. A utilização do valor unitário pode acarretar em inconsistência na estimação, já que a quantidade consumida é também utilizada como variável dependente da estimação, o que denota a endogeneidade das variáveis preço e consumo no modelo a ser estimado.

O segundo motivo da endogeneidade preço advém da possível relação de causa e efeito, a quantidade demandada de energia elétrica influencia a determinação do ajuste tarifário, assim como o preço da energia elétrica influencia as decisões de consumo. Nos procedimentos de cálculo do reajuste tarifário anual leva-se em consideração o crescimento do número de consumidores e o aumento do consumo do mercado existente, dentre outros fatores.

Na presença de simultaneidade entre o regressor (tarifa da energia) e o regressando (demanda por energia elétrica) fica impossibilitada a aplicação do Método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), pois, provavelmente, a hipótese de correlação nula entre o regressor e o termo de erro estocástico possa ser violada, e

conduziria, assim, a estimativa tendenciosa da elasticidade preço da demanda. Para solucionar este problema serão utilizadas variáveis instrumentais. Para testar a validade dos instrumentos utilizados será aplicado o teste de Sargan e Hansen, teste este que busca verificar a existência de correlação entre os resíduos da regressão e os instrumentos utilizados.

Outra implicação importante, destacada por Andrade e Lobão (1997), e assumida por esta pesquisa é a hipótese de que a quantidade demandada de energia elétrica é efetivamente fornecida e que a oferta do serviço é infinitamente elástica, não incorrendo no problema de demanda reprimida. A partir dessas hipóteses pode-se utilizar a quantidade consumida de energia como *proxy* da quantidade demandada.

Para alcançar os objetivos desta pesquisa – verificar como os consumidores de diferentes estratos de consumo reagem às variações de preço, renda e temperatura, principalmente – a fim de contribuir para que política de conservação de energia atinja todos os níveis de consumo, foi feito uso da técnica de Regressão Quantílica (RQ), ao invés de aplicar técnicas que estimam com base na média condicional, a exemplo do MQO. O resultado fornecido pelo MQO, em termos de formulação de política para se alcançar melhor eficiência energética, não é adequado, uma vez que analisa os efeitos sobre as médias condicionais, não fornecendo, necessariamente um bom indicador sobre os efeitos nas caudas superiores e inferiores da distribuição.

Uma vez que se deseja investigar os diferentes impactos das variáveis, aqui selecionadas, sobre o consumo de energia elétrica em diferentes quantis, fez-se uso da técnica de Regressão Quantílica (MRQ), método sugerido por Koenker e Basset (1978) para estimar como os consumidores caracterizados por diferentes níveis de consumo de energia elétrica respondem às alterações das variáveis explicativas por meio da regressão dos quantis individuais da variável dependente em função das co-variáveis (KOENKER e HALLOCK, 2001), permitindo compreender, por exemplo, como a alteração no preço da energia afeta os diferentes níveis de consumo de energia elétrica.

Estimação alternativa pelo mecanismo de segmentação da variável dependente em subconjuntos para, então, estimar um MQO nas sub-amostras pode produzir resultados desastrosos. Essa estratégia foi condenada ao fracasso por todas as razões estabelecidas em Heckman (1979), dado que esse truncamento da variável dependente pode incorrer em problema de viés de amostragem. Enquanto que Regressão Quantílica usa a totalidade da amostra para estimar os efeitos sobre a

distribuição, permitindo identificar o impacto diferencial de uma determinada variável sobre toda a distribuição do consumo.

Alternativa, em vez de estimar modelos lineares quantílicos condicionais, seria a estimação por meio de um dos modelos da família de probabilidade binária. Modelos de resposta binária da probabilidade de que a variável de resposta exceda alguns valores de corte pré-especificados, como por exemplo, Logit Multinomial. Porém, Koenker e Hallock (2001) argumentam que a Regressão Quantílica é a saída mais natural dado que abriga erros independentes e identicamente distribuídos.

4.2 Modelo de Regressão Quantílica Padrão

Regressão Quantílica (RQ) é uma importante ferramenta para estimar modelos de quantis condicionais, e oferece um método simples para estimar como diferentes níveis de consumo de energia elétrica respondem a mudanças nas variáveis dependentes. O método de RQ tem sido utilizado em muitos estudos empíricos.

Uma das características mais atraentes do modelo RQ é a sua capacidade para estimar efeitos específicos por quantil que descrevem os efeitos das co-variáveis, não só na média, mas também nas caudas da distribuição.

A Regressão Quantílica é uma abordagem mais flexível e mais informativa, seu método de estimação permite identificar as variações entre quantis, oferecendo, assim, informações dos impactos marginais ao longo da distribuição do consumo de energia elétrica, o que o método de MQO não comporta, por ser baseado apenas na média da distribuição condicional. Este último método, também, pode trazer resultados viesados dos impactos marginais, na presença de *outliers*¹¹, ao passo que o modelo de RQ fornece estimativas mais robustas, uma vez que a estimação é avaliada na mediana, que é uma medida mais resistente por não ser influenciada por valores extremos.

Outra vantagem da RQ é a não necessidade da suposição básica de erros homocedásticos, o que propicia um estimador mais robusto quando a distribuição dos erros for heterocedástica e/ou não-Gaussiana.

O modelo RQ pode ser definido como:

¹¹Como a regressão por MQO baseia-se na média da distribuição condicional do regressando, tende a superestimar os efeitos dos *outliers* sobre a variável dependente.

$$y_i = x'_i \beta_\theta + u_{\theta i}, i = 1, \dots, n \quad (19)$$

sendo x'_i o vetor de variáveis exógenas, β_θ o vetor de parâmetros a ser estimado para cada θ -ésimo quantil de y_i e $u_{\theta i}$ é o erro idiossincrático.

Assim como se pode definir a média da amostra (μ) como a solução do problema de minimização da soma dos quadrados dos resíduos condicionado no método de MQO, os quantis condicionais no modelo de Regressão Quantílica são definidos por meio do problema de otimização, sendo a mediana (m) a solução do problema, minimizando a soma absoluta dos resíduos.

$$\min_{\beta \in \mathbb{R}^p} \sum_{i=1}^n \rho_\theta(y_i - m(x_i, \beta)) \quad (20)$$

A Regressão Quantílica θ pode ser definida como solução do seguinte problema:

$$\begin{aligned} \min_{\beta} \frac{1}{n} \{ \sum_{i: y_i > x'_i \beta} \theta |y_i - x'_i \beta| + \sum_{i: y_i < x'_i \beta} (1 - \theta) |y_i - x'_i \beta| \} = \\ \min_{\beta} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_\theta(u_{\theta i}) \end{aligned} \quad (21)$$

Os demais quantis são identificados por diferentes pesos dados aos quantis negativos e positivos. Onde ρ_θ é a função cheque, definida por:

$$\rho_\theta(u) = \begin{cases} \theta(u), & \text{se } u \geq 0 \\ (\theta - 1)u, & \text{se } u < 0 \end{cases} \quad (22)$$

A forma funcional da equação de demanda por eletricidade residencial pode ser escrita como:

$$Q_\theta(\ln kWh_i) = \beta_{\theta,0} + \beta_{\theta,1} \ln P_i + \beta_{\theta,2} \ln R_i + \beta_{\theta,3} T_{A,i} + \beta_{\theta,4} T_{B,i} + \beta_{\theta,n} X_i + u_{\theta,i} \quad (23)$$

em que P_i é o preço da energia elétrica, para o domicílio i , R_i é a renda total do domicílio i , X_i é um vetor de variáveis relacionadas a características do domicílio i , do agregador familiar e dos bens-duráveis disponíveis no domicílio i . $T_{A,i}$ e $T_{B,i}$ são as temperaturas de verão e de inverno no domicílio i , respectivamente. E por fim, os

parâmetros $\beta_{\theta,1}$ e $\beta_{\theta,2}$, $\beta_{\theta,3}$, $\beta_{\theta,4}$ representam, respectivamente, as elasticidade preço, renda, temperatura de verão e de inverno em cada quantil (θ).

No entanto, ao estimar uma equação de demanda as estimativas calculadas por RQ padrão poderiam ser tendenciosas, pois não levam em conta a heterogeneidade individual não observada. Então, será introduzida uma abordagem de Regressão Quantílica com Variável Instrumental (RQVI) desenvolvido por Lee (2007).

Modelos de Regressão Quantílica com variáveis explicativas endógenas têm sido previamente considerados na literatura, entre eles pode-se citar: Amemiya (1982), Abadie et al. (2002), Koenker (2004), Ma and Koenker (2006), Kim and Muller (2004), Chernozhukov and Hansen (2005, 2006), and Blundell and Powell (2005), entre outros.

Amemiya (1982) apresenta uma ampla teoria de estimação em dois estágios; Abadie et al. (2002), desenvolveu modelos de efeito tratamento quantílico; já o modelo formulado por Chernozhukov e Hansen (2005) trata de modelos endógenos de Regressão Quantílica não parametricamente identificados e MaandKoenker (2006), trata do método de função controle para o modelo paramétrico, enquanto que Chernozhukov e Hansen (2006) desenvolveu métodos de estimação e procedimentos de inferência para modelos lineares endógenos de Regressão Quantílica.

4.3 Modelo de Regressão Quantílica com Variável Instrumental (MRQVI)¹²

Como uma alternativa aos métodos existentes na literatura, Lee (2007) estende a metodologia de abordagem da função controle para o modelo de regressão de quantis estrutural semiparamétricos. Ele mostra que, sob condições adequadas, o estimador obtido a partir da abordagem da função controle é consistente e assintoticamente normalmente distribuído.

O modelo ajusta a endogeneidade adotando uma função de controle e apresenta um estimador de dois estágios simples que explora a estrutura parcialmente linear do modelo.

O primeiro estágio consiste em estimar os resíduos da equação na forma reduzida, onde são inclusos os instrumentos, enquanto que o segundo estágio

¹² Esta seção está baseada em Lee (2007)

consiste na estimação da equação primária incluindo o resíduo da forma reduzida como uma variável explicativa adicional.

Baseado na versão de Regressão Quantílica semiparamétrica de Newey, Powell, e Vella (1999), o modelo considerado por Lee (2007) toma a seguinte forma:

$$\begin{aligned} Y_i &= X\beta(\tau) + Z'_1\gamma(\tau) + U \\ X &= \mu(\alpha) + Z'\pi(\alpha) + V \end{aligned} \quad (24)$$

em que Y_i é a variável dependente consumo de energia elétrica para o domicílio i ; X é a variável exploratória endógena; $Z = (Z_1, Z_2)$ é um $(d_z \times 1)$ vetor de variáveis instrumentais exógenas excluídas; U e V são variáveis aleatórias não observadas, $\beta(\tau)$ e $\gamma(\tau)$ são parâmetros estruturais desconhecidos de interesse, e $\mu(\alpha)$ é um parâmetro desconhecido, $\pi(\alpha) \equiv [\pi_1(\alpha), \pi_2(\alpha)]$ é um $(d_z \times 1)$ vetor de parâmetros desconhecidos para alguns quantis τ e α , tal que $0 < \tau < 1$ e $0 < \alpha < 1$.

Por identificação, assume-se que existe pelo menos um componente de Z que não está incluído em Z_1 , e que há pelo menos um coeficiente diferente de zero para os componentes excluídos de Z . Isto é, $d_{z_1} < d$ e $\pi_2(\alpha) \neq 0$, onde d_{z_1} é a dimensão de Z_1 . Ou seja, a condição de identificação é similar ao de Mínimos Quadrados em Dois Estágios (MQ2E), onde tem que existir pelo menos um instrumento (variável exógena excluída) para o modelo ser identificado.

Adicionalmente, assume-se que:

$$Q_{U|X,Z}(\tau|x, z) = Q_{U|V,Z}(\tau|v, z) = Q_{U|V}(\tau|v) = \lambda_\tau(v) \quad (25)$$

$$e Q_{U|Z}(\alpha|z) = 0 \quad (26)$$

$Q_{U|X,Z}(\tau|x, z)$ denota o τ° quantil de U condicional em $X = x$ e $Z = z$. E as outras expressões são compreendidas de forma semelhante. Na primeira igualdade em (25) v é valor de V que satisfaz $v = x - \mu(\alpha) - z'\pi(\alpha)$. A segunda igualdade em (25) assume independência quantílica de U em Z condicional em V .

Dos pressupostos (25) e (26) pode-se tirar que:

$$Q_{Y|X,Z}(\tau|x, z) = x\beta(\tau) + z'_1\gamma(\tau) + \lambda_\tau(v) \quad (27)$$

$$Q_{Y|Z}(\alpha|z) = \mu(\alpha) + z'\pi(\alpha) \quad (28)$$

O que sugere que $\beta(\tau)$ e $\gamma(\tau)$ pode ser estimado por meio de uma regressão quantílica parcialmente linear de Y em (Y, Z_1, V) .

Na prática V não é observado, entretanto pode ser consistentemente estimado pelo resíduo da Regressão Quantílica linear de X em $(1, Z)$. Além do mais, $\beta(\tau)$ e $\gamma(\tau)$ pode ser estimado por meio de um procedimento em dois estágios. O primeiro passo é a construção do resíduo estimado \hat{V} a partir da Regressão Quantílica linear de X em $(1, Z)$. O segundo estágio é a regressão parcialmente linear de Y em X, Z_1 e \hat{V} .

Esta abordagem corrige endogeneidade adicionando estimativas de V como uma variável explicativa adicional e, portanto, pode ser vista como uma variante do método de função controle.

No entanto, é difícil de realizar inferência padrão para $\lambda_\tau(v)$ utilizando resultados assintóticos na série do estimador $\hat{\lambda}_\tau(v)$, porque é difícil de obter a distribuição assintótica da série do estimador $\lambda_\tau(v)$. Uma alternativa é estimar $\lambda_\tau(v)$ através da realização de uma Regressão Quantílica polinomial de $Y - X\hat{\beta}(\tau) - Z'_1\hat{\gamma}(\tau)$ em \hat{V} . Desde que $\hat{\beta}(\tau)$, $\hat{\gamma}(\tau)$, e \hat{V} forem estimados com taxa de $n^{-1/2}$. Desse modo, o estimador resultante é assintoticamente eficiente¹³.

A estrutura parcialmente linear em (27) é motivada pelo fato de que é muito difícil assumir a forma funcional das relações estocásticas entre duas variáveis não observadas U e V condicionais em Z .

O procedimento de estimativa resume-se em dois estágios: o primeiro passo é a construção de resíduos estimados por uma regressão linear mediana $\hat{V}_i = X_i - \hat{\mu} - Z'_i\hat{\pi}$, ($i=1, \dots, n$), por uma Regressão linear Quantílica de X em $(1, Z)$, onde $(\hat{\mu}, \hat{\pi})$ é uma solução de:

$$\min_{\mu, \pi} n^{-1} \sum_{i=1}^n \rho_\alpha(X_i - \mu - Z'_i\pi) \quad (29)$$

onde $\rho_\alpha(\cdot)$ é a função check de tal forma que $\rho_\alpha(u) = |u| + (2\alpha - 1)u$, para $0 < \alpha < 1$.

O segundo passo é a estimativa de uma Regressão Quantílica parcialmente linear de Y em (X, Z_1, V) utilizando os resíduos estimados \hat{V}_i no lugar do não

¹³A teoria assintótica do estimador pode ser aprofundada em Lee (2004 e 2007).

observado V_i' . O segundo estágio é realizado por meio de uma série de estimações. Em que $W_1 = (X, Z_1)'$, $W = (X, Z_1, V)'$, $\widehat{W} = (X, Z_1, \widehat{V})'$, $W_{1i} = (X_i, Z_{1i})'$, $W_i = (X_i, Z_{1i}, V_i)'$, e $\widehat{W}_i = (X_i, Z_{1i}, \widehat{V}_i)$. Além disso, $\{p_k: k = 1, 2, \dots\}$ denota uma base para funções suaves de tal forma que uma combinação linear de $\{p_k: k = 1, 2, \dots\}$ pode aproximar $\lambda_\tau(\cdot)$.

Para qualquer k inteiro positivo, define:

$$P_k(w) = [x, z_1, p_1(v), \dots, p_k(v)]' \quad (30)$$

Permitindo $\hat{\theta}_{nk}$ ser solução de :

$$\min_{\theta} S_{nk}(\theta) \equiv n^{-1} \sum_{i=1}^n t(\widehat{W}_i) \rho_\tau[Y_i - P_k(\widehat{W}_i)' \theta] \quad (31)$$

onde $\rho_\tau(\cdot)$ é novamente a função check tal que $\rho_\tau(u) = |u| + (2\tau - 1)u$, para $0 < \tau < 1$.

No segundo passo, uma aproximação polinomial de terceira ordem foi utilizada para estimar as elasticidades em valores diferentes de τ . Onde $t(\widehat{W}_i) = 1$, para todo i .

O segundo passo na minimização (31) tem uma representação de programação linear e, por conseguinte, é facilmente resolvidos por métodos computacionais desenvolvidos para modelos de Regressão Quantílica linear (LEE, 2007).

4.4 Dados

Os dados utilizados nessa dissertação originam basicamente da Pesquisa de Orçamento Familiar do Brasil (POF), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em todo o território nacional, cobrindo as áreas urbanas e rurais para os anos 2008-2009.

Esta pesquisa coleta informações detalhadas sobre a composição das despesas familiares, fornecendo dados sobre o consumo de eletricidade contabilizado a partir das despesas da última fatura paga, além de fornecer informações sobre características dos domicílios, incluindo estoque de aparelhos elétricos de cada

domicílio, assim como fornece características sociais da família e de cada morador, tais como níveis de educação e renda familiar.

O período de realização da POF 2008-2009 tem início em maio de 2008 e término em maio de 2009, combinando um período de coleta de 12 meses. A POF 2008 – 2009 conta com uma amostra de 59.548 domicílios, que se restringiu a 47.037, após extrair informações referentes ao chefe de família. De modo que a divisão geográfica ficou organizada da seguinte maneira: 34,52% dos domicílios estão concentrados na região Nordeste, 26% na Sudeste, 13,84% na região Centro Oeste, sendo que 12,82% ficaram concentrados Sul e 11,83 no Norte.

A POF 2008-2009 pode ser considerada como uma base de dados com plano amostral complexo, uma vez que no desenho de amostragem adotado é realizada a estratificação da amostra, conglomeração ao adotar um plano amostral de conglomerado em dois estágios, além de fazer um ajuste de pesos amostrais.

Dados obtidos de amostras complexas não podem ser considerados independentes e identicamente distribuídos (i.i.d), e estimações com desenho amostral complexo requer a incorporação do plano amostral (peso, conglomerado e estratificação). A não declaração do plano amostral pode subestimar ou superestimar a variância verdadeira.

Entretanto, os pacotes estatísticos de estimação por MRQVI¹⁴ não suportam a declaração do plano amostral, sendo esta uma limitação desta pesquisa.

4.4.1 Preço da Energia Elétrica e Quantidade Consumida

A variável preço da energia elétrica pago por cada residência não está disponível na POF, contudo, está disponível a despesa total com energia elétrica e a quantidade adquirida em kWh para cada unidade de consumo. A divisão da despesa total pela quantidade adquirida resulta no valor unitário em R\$/kWh, que é uma *proxy* do preço final.

Optou-se por realizar esse procedimento para extrair da POF 2008-2009 o preço final da energia elétrica, ao invés de fazer uso da tarifa disponibilizada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

¹⁴ O modelo foi estimado no software Stata utilizando o código disponibilizado por Amanda Kowalski na sua web site: <http://www.econ.yale.edu/~ak669/research.html>

O IBGE não divulga a que município o domicílio está situado, ele apenas informa o estado que um dado agregado familiar está localizado¹⁵. E por outro lado, existem Estados servidos por mais de uma empresa distribuidora de eletricidade, dessa forma teria que calcular uma tarifa média para cada Estado, e ao inserir essa variável na POF todos os domicílios que pertencessem ao mesmo estado apresentariam a mesma tarifa média, o que reduziria a variabilidade dessa variável.

Desse modo, ao utilizar o valor unitário em R\$/kWh, estão incluídos no preço da energia considerada na estimação os tributos e outros elementos que fazem parte da conta de energia elétrica. São eles: Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação (ICMS) e a Tarifa de Iluminação Pública.

Este trabalho considera que a variável preço é determinada endogenamente, e um dos meios para corrigir os problemas por ela ocasionados, é a utilização de variáveis instrumentais, para tanto é necessário entender os fatores que determinam essa variável.

Segundo a Lei nº 8.631/1993, que pôs fim a uniformização da tarifa, a tarifa de energia elétrica passou a ser fixada por concessionária, conforme características específicas de cada área de concessão, garantindo, assim que as características como custo da energia comprada, tamanho do mercado, número de consumidores, e os tributos estaduais refletissem as peculiaridades de cada região, e distinguem-se suas tarifas.

Os instrumentos da variável preço da energia elétrica residencial utilizada foram: custo da energia elétrica comprada pelas distribuidoras de energia e o preço da energia no período anterior (2007), disponibilizado pela ANEEL.

O custo da energia elétrica comprada pelas distribuidoras pode ser utilizado como instrumento por ser correlacionado com o preço final do consumidor, e se tratar de um componente de custo da distribuidora, que ao mesmo tempo não deve estar correlacionado com a demanda de energia elétrica. O consumidor não olha para o preço que a distribuidora paga pela energia elétrica para tomar suas decisões de demanda.

A Tabela 2 apresenta as estatísticas descritivas da quantidade de energia adquirida média por domicílio em kWh/mês e o preço médio em R\$/kWh no Brasil.

¹⁵Além de informar se o domicílio está localizado na capital do estado, na região metropolitana, em outra cidade fora da região metropolitana, ou em uma área rural.

A média mensal de consumo foi de 145,40kWh, contudo o consumo apresenta uma grande dispersão. O primeiro quantil da distribuição indica que a demanda mensal dos domicílios que estão entre os 10% menores consumidores de energia não ultrapassa 45 kWh, enquanto o nono quantil mostra que os 10% maiores consumidores de energia possuem uma demanda mensal de 280 kWh. Por seu turno, o preço médio nacional aumenta com o nível de consumo dos domicílios.

TABELA 2. Consumo domiciliar médio de energia elétrica e preço médio por percentil no Brasil, 2008-2009.

Variável	Média	Desvio-padrão	p10	p30	p50	p70	p90
Quantidade (kWh/mês)	145,40	133,29	42,00	78,00	111,00	160,00	280,00
Preço (R\$/ kWh)	0,42	0,43	0,19	0,30	0,40	0,49	0,63

Fonte:Elaboração própria com base na Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2008-2009.

Obs.: p10 – percentil 10; p30 – percentil 30; p50 – percentil 50; p70 – percentil 70; p90 – percentil 90.

4.4.2 Renda Monetária Familiar

A POF 2008-2009 coleta a renda monetária mensal do domicílio, que é obtido por meio do somatório do rendimento bruto monetário mensal, exceto a variação patrimonial, de todos os moradores do domicílio que constituem uma unidade de orçamento. São somados os rendimentos do trabalho¹⁶ e as transferências, esta última registra 18,5% de participação no orçamento, e inclui aposentadoria, pensões pública e privada, bolsas de estudo e transferência de renda originária de programas sociais do governo.

A Tabela 3 descreve a evolução da renda por região à medida que se passa dos menores consumidores de energia elétrica para os maiores consumidores, distinguidos por quantis de consumo de energia elétrica. Assim como apresenta a evolução dos dispêndios com energia elétrica residencial, permitindo acompanhar e comparar a evolução destas duas variáveis.

¹⁶Refere-se à remuneração monetária bruta proveniente do trabalho de empregado - público, privado ou doméstico - e de empregador e conta-própria.

TABELA 3. Evolução da despesa no consumo de energia elétrica e da renda monetária mensal dos domicílios das regiões brasileiras segundo os quantis de consumo de energia elétrica residencial (10, 30, 50, 70e 90).

Estado	Percentis de consumo de energia elétrica residencial									
	p10		p30		p50		p70		p90	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Norte	12,72	1327,52	29,84	1473,65	47,43	1831,74	70,36	2292,31	162,00	4499,60
Nordeste	12,59	972,98	27,83	1335,53	47,95	1768,30	78,52	2912,14	163,15	5878,37
Sudeste	19,73	1548,42	35,67	1797,27	56,35	2208,45	75,30	2795,45	137,69	4876,67
Sul	16,96	1503,24	29,65	1759,80	46,12	2184,05	68,00	2748,33	113,74	4225,94
Centro Oeste	17,42	1288,45	29,45	1766,95	48,93	2097,18	72,96	2623,88	158,88	5565,24

Nota: (1) Despesa com energia elétrica em R\$

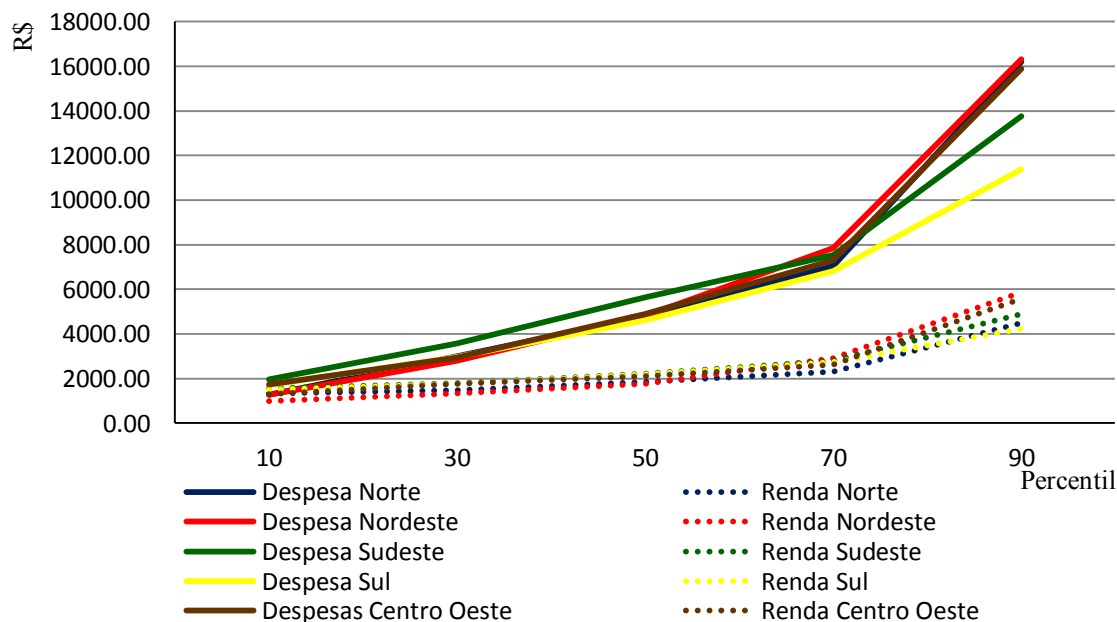
(2) Renda Mensal em R\$

Fonte:Elaboração própria com base na Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2008-2009.

Obs.: p10 – percentil 10; p30 – percentil 30; p50 – percentil 50; p70 – percentil 70; p90 – percentil 90.

Por meio da Tabela 3, pode-se perceber que dos 10% menores consumidores de energia até os 10% maiores consumidores as despesas com energia elétrica residencial crescem, assim como a renda monetária. O que nos permite afirmar que os menores consumidores são os que apresentam menor renda disponível, e quanto maior a renda maior os gastos com energia elétrica residencial por domicílio. Essa relação pode ser facilmente observada na Figura 4.

FIGURA 4. Evolução da despesa com energia elétrica e renda monetária das regiões por quantil de consumo de energia elétrica.



Nota: Despesa com energia elétrica multiplicado por 10²

Fonte: Elaboração própria com base na Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2008-2009.

4.4.3 Temperatura Média do Ar

Para tratar a influência do clima sobre a demanda por energia elétrica residencial, foram coletados dados referentes à temperatura do ar terrestre disponíveis por Matsuura e Willmott (2009). Os dados de temperatura em °C, foram compilados por Matsuura e Willmott (2009) a partir de várias fontes atualizadas¹⁷.

A principal base de dados utilizada foi Global Historical Climatology Network (GHCN2) devido a qualidade das medidas de controle. Quando não havia observações disponíveis na GHCN2, os registros de outras estações foram fundidas para criar uma composição de séries históricas de variáveis climáticas mensais especialmente interpoladas.

Segundo Matsuura e Willmott (2009), os registros de estações que tiveram as mesmas coordenadas geográficas foram intercalados ou misturados para criar uma única série histórica da estação para esse local. Se houvesse duas ou mais observações da estação para um determinado mês, a mediana destes valores foi tomada para esse mês. Observações das estações que tinham diferentes coordenadas geográficas foram assumidas pertencer a registros de estações diferentes. Esse procedimento foi realizado a fim de que fizesse o uso de todos os dados disponíveis.

Foram empregados métodos geográficos de interpolação espacial, que compõem uma grade mundial de 0,5 graus de latitude e 0,5 de longitude para o período de 1900 a 2008 para o Brasil. Tal grade é usada para espacializar os valores municipais de temperatura de 2007 e 2008.

De posse desses dados foram calculadas as médias das temperaturas do verão e do inverno por Estado, uma vez que o IBGE só divulga o estado a que pertence um dado agregado familiar, e se o domicílio está localizado na capital do estado, na região metropolitana, ou em outra cidade fora da região metropolitana, ou se está situado em uma área rural.

A escolha pelo uso das temperaturas médias do verão e do inverno se justifica por serem estações climáticas mais bem definidas no Brasil. O período de verão em

¹⁷Incluindo a recente versão do Global Historical Climatology Network; o Atmospheric Environment Service/Environment Canada; o State Hydrometeorological Institute, St. Petersburg, Russia; Greenland—da GC-Net (Steffen et al., 1996); o Automatic Weather Station Project (courtesy of Charles R. Stearns at the University of Wisconsin-Madison); o Global Synoptic Climatology Network (Dataset 9290c, courtesy of National Climatic Data Center); e o Global Surface Summary of Day (GSOD).

todo o território é marcado por temperaturas elevadas, assim como na estação do inverno o clima é predominantemente mais frio. O Brasil possui uma diversidade climática devido à ampla dimensão continental, estados como Minas Gerais e São Paulo, por exemplo, apresentam temperaturas divergentes dentro do mesmo estado, para a primavera e o outono.

Embora os dados de Matsuura e Willmott (2009) apresentem uma longa série histórica, estes possuem uma limitação da grade para o Brasil, uma vez que ela não dispõe uma cobertura plena de todo o território brasileiro, devido à ausência de estações climatológicas em determinadas regiões do Brasil. De modo que 10% dos municípios brasileiros não apresentam informações de temperatura, totalizando 595 municípios. A fim de solucionar este problema foram empregados métodos geográficos para espacializar as temperaturas dos municípios que não possuíam registros, de modo que estes assumiram a temperatura do vizinho mais próximo.

De posse das médias das temperaturas no inverno e no verão por estado, essas informações foram inseridas na POF 2008-2009, de modo que todos os domicílios que pertencem ao mesmo estado apresentam a mesma média de temperatura em cada estação.

A Tabela 4 traz um resumo das estatísticas descritivas da temperatura em cada região Brasileira. Pode-se observar que a região que apresenta a maior amplitude entre o inverno e o verão é o Sul do país. E nas regiões Norte e Nordeste a temperatura média entre o inverno e o verão são bem próximas. Esses estados são caracterizados por apresentarem climas mais quentes em todo o ano.

TABELA 4. Média, desvio padrão, mínima e máxima da temperatura nas regiões do Brasil, 2008-2009.

Região	Estação	Média	Desvio Padrão	Mínima	Máxima
Norte	Inverno	25.13	2.96	15.20	27.84
	Verão	25.75	0.78	24.03	27.58
Nordeste	Inverno	23.06	3.02	15.20	26.90
	Verão	26.09	1.01	24.03	28.09
Sudeste	Inverno	19.19	1.45	15.20	22.87
	Verão	23.60	1.13	21.03	26.83
Sul	Inverno	14.09	1.49	12.66	16.26
	Verão	22.82	0.65	20.77	24.03
Centro Oeste	Inverno	22.20	1.10	20.00	23.31
	Verão	24.46	1.27	21.60	25.91

Elaboração própria com base em Matsuura e Willmott (2009)

4.4.4 Eletrodomésticos

Foram selecionados para análise os principais aparelhos das cestas de eletrodomésticos dos domicílios brasileiros e os mais intensivos em energia. Os aparelhos estão listados na Tabela 5, que trás suas estatísticas descritivas.

TABELA5. Estatísticas descritivas dos eletrodomésticos no Brasil, 2008-2009.

Variável	% domicílios	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Freezer	14,31	0,15	0,39	0	3
Geladeira	91,96	0,95	0,34	0	5
Lavadora de roupas	39,38	0,41	0,52	0	3
TV	94,90	1,40	0,83	0	9
Ar condicionado	8,82	0,13	0,48	0	9
Ventilador	64,50	1,09	1,12	0	10
Ferro elétrico	75,66	0,81	0,53	0	6
Microcomputador	24,03	0,28	0,54	0	9
Micro-ondas	20,33	0,21	0,41	0	2
Chuveiro elétrico	48,09	0,59	0,71	0	9

Fonte: Elaboração própria com base na Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2008-2009.

Dentre os eletrodomésticos, Geladeira e TV, são os bem duráveis mais presentes entre os domicílios da POF 2008-2009, estando presente em 91,96% e 94,90% dos domicílios, respectivamente. Em contrapartida, eletrodomésticos mais intensivos em energia como freezer e ar condicionado apresentam-se em menor proporção, apenas 14,31% dos domicílios possuem freezer, e 8,82% possuem ar condicionado.

Para uma melhor visualização da distribuição dos eletrodomésticos na POF 2008-2009, está apresentada na Tabela 6 a distribuição dos bens duráveis entre os domicílios nos diferentes níveis de consumo de energia elétrica.

TABELA6. Proporção de domicílios que possuem eletrodomésticos por diferentes níveis de consumo de energia elétrica no Brasil, 2008-2009.

Variável	Percentis por nível de consumo de energia elétrica residencial				
	p10	p30	p50	p70	p90
Freezer	4,61	5,56	10,02	17,21	34,14
Geladeira	79,75	93,33	95,13	95,57	96,00
Lavadora de roupas	15,38	25,19	37,22	51,6	67,52
TV	91,89	94,8	95,15	96,06	96,58
Ar condicionado	1,57	2,6	5,26	9,62	25,05
Ventilador	50,24	60,31	66,25	71,19	74,51
Ferro elétrico	58,13	71,66	77,56	82,86	88,10
Microcomputador	5,18	10,31	20,07	33,08	51,51
Micro-ondas	4,57	9,29	16,56	27,8	43,43
Chuveiro elétrico	23,26	34,74	49,12	61,81	71,51

Fonte: Elaboração própria com base na Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2008-2009.

Obs.: p10 – percentil 10; p30 – percentil 30; p50 – percentil 50; p70 – percentil 70; p90 – percentil 90.

Podem-se observar na Tabela 6 que geladeira e TV estão presentes na maioria dos domicílios em todos os percentis de consumo de energia elétrica. Em quanto que freezer e ar condicionado apresentam elevada participação nos domicílios que compõe os 10% maiores consumidores de energia elétrica. É interessante observar que à medida que se eleva o consumo de energia elétrica maior é a proporção de domicílios que possuem bens duráveis.

As variáveis de idade média dos eletrodomésticos foram construídas a partir das informações referentes ao ano de aquisição do aparelho, e refletem não só o tempo de uso dos aparelhos, mas também a sua eficiência, e estão presentes na estimação para captar o impacto da vida útil de cada bem durável sobre o consumo de energia elétrica residencial. Suas estatísticas descritivas estão apresentadas na Tabela 7.

Contudo, a utilização do tempo de uso dos eletrodomésticos como *proxy* da eficiência energética apresenta limitações. Aparelhos mais novos que possuem função *stand by*¹⁸, por exemplo, consomem energia mesmo estando desligado, e por

¹⁸ O consumo de uma TV de 20 polegadas, por exemplo, na posição *stand by* apresenta um consumo mensal de 4,3 kWh, enquanto que o consumo das micro-ondas é de 13,7 kWh por

isso podem consumir mais energia do que eletrodomésticos com maior tempo de uso e que não contam com essa tecnologia.

TABELA7. Estatísticas descritivas da idade média em anos dos eletrodomésticos no Brasil, 2008-2009.

Idade Média	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Freezer	1,17	3,66	0	46
Geladeira	6,45	5,89	0	71
Lavadora de roupas	2,34	4,42	0	49
TV	4,51	4,26	0	62
Ar condicionado	0,49	2,10	0	34
Ventilador	2,74	3,82	0	53
Ferro elétrico	4,50	5,21	0	51
Microcomputador	0,70	1,66	0	20
Micro-ondas	1,03	2,75	0	30
Chuveiro elétrico	1,73	3,05	0	49

Fonte: Elaboração própria com base na Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2008-2009.

Da Tabela 7 pode-se constatar que dentre os bens duráveis geladeira e TV são os que apresentam maior idade média, com destaque para a geladeira que registra em média 6,45 anos de uso.

Bens duráveis que apresentam idade mínima igual a zero são bens que foram adquiridos no ano de aplicação do questionário. O que chama a atenção são as idades máximas dos eletrodomésticos, uma residência que possui uma geladeira comprada nos anos 1940, 1960 e 1980, certamente não apresenta mesma eficiência energética que uma geladeira comprada a partir da década de 1990, período em que o selo da Procel¹⁹ de Economia de Energia surgiu e passou a instruir os consumidores quais aparelhos apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria. Este é outro ponto importante que a *proxy* de eficiência não incorpora, que é a informação da energia consumida por cada equipamento.

mês. Essas informações e de outros aparelhos elétricos podem ser encontradas no site do endereço eletrônica da ANEEL <<http://www.aneel.gov.br>>.

¹⁹O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) promove a racionalização do consumo de energia elétrica, para combater o desperdício e reduzir os custos e os investimentos setoriais, aumentando a eficiência energética. Instituído em 1993, o Selo Procel de Economia de Energia indica ao consumidor, no ato da compra, os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética. O Selo categoriza os eletrodomésticos por meio de letras. A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) classifica os equipamentos, veículos e edifícios em faixas, em geral de “A” (mais eficiente) a “E” (menos eficiente) (ELETROBRAS, 2011).

A POF 2008-2009 não traz informações da classificação indicada no Selo de Economia de Energia da Procel. Desse modo, um eletrodoméstico novo pode apresentar baixo nível de eficiência energética se estiver dentro de uma categoria menos eficiente, por outro lado, um aparelho com mais anos de uso pode estar classificado em uma categoria de alta eficiência energética.

Outrossim, modelos mais recentes podem apresentar tecnologias mais avançadas que podem vir a proporcionar maior economia de energia, do que um modelo com tecnologia já ultrapassada. O que justifica a utilização dessa *proxy* para a eficiência no consumo de energia de cada aparelho elétrico.

4.4.5 Condições Socioeconômicas dos Moradores e Atributos dos Domicílios

Na Tabela 8, estão relacionados algumas informações sobre a estrutura da amostra. As variáveis listadas são usadas como variáveis de controle no modelo.

TABELA8. Estatísticas descritivas referentes ao domicílio e chefe de família no Brasil, 2008-2009.

Variável	Média	Desvio Padrão	Percentis por nível de consumo de energia elétrica residencial				
			p10	p30	p50	p70	p90
Idade*	47,84	15,69	47,52	47,13	47,06	47,56	49,92
Anos de estudo*	6,53	4,65	4,56	5,56	6,48	7,42	8,61
Total Morador	3,40	1,67	3,13	3,26	3,40	3,50	3,69
Cômodos	6,10	2,16	5,30	5,62	5,88	6,31	7,41

Fonte:Elaboração própria com base na Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2008-2009.

Obs.: p10 – percentil 10; p30 – percentil 30; p50 – percentil 50; p70 – percentil 70; p90 – percentil 90.

*Referem-se as informações do chefe de família por domicílio.

Idade média do chefe de família apresenta elevada dispersão, entretanto as idades médias dos chefes em cada percentil de consumo de energia elétrica não apresenta grande variabilidade. Assim como a quantidade de moradores por domicílio, os quais, em média, são compostos por três indivíduos.

Já a variável ano de estudo do chefe de família apresenta-se crescente à medida que se caminha dos menores consumidores para os maiores consumidores, a mesma tendência é observada com número de cômodos.

As demais variáveis de controle estão apresentadas na Tabela 9, tais variáveis são variáveis binárias.

TABELA9. Estatísticas descritivas referentes à localização e características dos domicílios no Brasil, 2008-2009.

Variável	Proporção	Total
Casa	92,01	43280
Domicílio próprio	75,59	35555
Domicílio cedido	9,20	4328
Piso frio	89,27	41992
Parede alvenaria	89,16	41939
Telha	80,75	37984
Área urbana	82,03	38583
Norte	11,83	5563
Nordeste	34,52	16238
Sudeste	26,00	12228
Sul	12,82	6030
Centro Oeste	14,84	6978

Fonte: Elaboração própria com base na Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2008-2009.

A *dummy* de identificação entre casa e apartamento foi adicionada a estimativa com o intuito de captar dentre as duas formas de habitação qual consome menos energia. Uma vez que segundo Kaza (2010) habitações multifamílias em grandes edifícios, como apartamentos, tem substancial economia de energia por causa das paredes e pisos compartilhados. Segundo os dados da POF 2008-2009, habitação unifamiliar (casa) é o tipo de habitação predominante no Brasil, responsável por mais de 90% do parque habitacional.

As *dummies* que identificam se os residentes não realizam dispêndios com moradia, seja ele proprietário ou morador de domicílio cedido, são adicionadas ao modelo com intuito de captar se estes consomem menos ou mais energia do que os residentes em domicílios alugados. No Brasil, as famílias residem predominantemente em residências próprias, registrando 75,59% da amostra.

As variáveis binárias “ piso frio”, “alvenaria” e “telha”, foram adicionadas com objetivo de controlar o isolamento térmico que varia entre domicílios. Piso frio identifica o material que predomina no piso, são eles: Cerâmica, Lajota, Pedra e cimento. Alvenaria é o material que predomina nas paredes, em comparação a madeira e taipa. E o material que predomina na cobertura – telha – é contraposta a laje, madeira e chapa metálica, os quais retém mais calor do que a telha.

As demais variáveis de localização buscam identificar as diferenças entre os níveis de consumo entre os domicílios que estão localizados em área rurais e urbanos, e entre as regiões (Norte, Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-Oeste).

As variáveis binárias foram estabelecidas conforme explicitado na Tabela 10.

TABELA10. Descrição das variáveis binárias

Variável	Descrição
Casa	Variável binária que recebe o valor “1” se o domicílio for uma casa, “0” caso contrário
Próprio	Variável binária que recebe o valor “1” se o domicílio for próprio, “0” caso contrário
Cedido	Variável binária que recebe o valor “1” se o domicílio for cedido por terceiros, “0” caso contrário
Piso Frio	Variável binária que recebe o valor “1” se o piso do domicílio for predominantemente constituído por Cerâmica, Lajota, Pedra e cimento. “0” caso contrário
Parede alvenaria	Variável binária que recebe o valor “1” se a parede do domicílio for predominantemente feita de alvenaria, “0” caso contrário
Telha	Variável binária que recebe o valor “1” se a cobertura do domicílio for predominantemente coberta de telha, “0” caso contrário
Área urbana	Variável binária que recebe o valor “1” se o domicílio estiver localizado em área urbana, “0” caso contrário
Norte	Variável binária que recebe o valor “1” se o domicílio estiver localizado no Norte, “0” caso contrário
Nordeste	Variável binária que recebe o valor “1” se o domicílio estiver localizado no Nordeste, “0” caso contrário
Sul	Variável binária que recebe o valor “1” se o domicílio estiver localizado no Sul, “0” caso contrário
Sudeste	Variável binária que recebe o valor “1” se o domicílio estiver localizado no Sudeste, “0” caso contrário
Centro Oeste	Variável binária que recebe o valor “1” se o domicílio estiver localizado no Centro Oeste, “0” caso contrário

Fonte: Elaboração própria

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foram realizados testes para averiguar a provável presença de multicolinearidade entre posse de eletrodomésticos e renda, o que não foi constatado²⁰, sendo assim, a variável renda foi mantida no modelo²¹.

As estimativas do termo da função controle obtidas no primeiro estágio foram geradas através de Regressão Quantílica. Os resultados que seguem são robustos, uma vez que, após a implementação no primeiro estágio da especificação alternativa, estimação por MQO, os resultados obtidos foram similares ao anterior e estão apresentados no Apêndice, Tabela A1.

Visando evitar a armadilha da multicolinearidade perfeita foi omitida uma *dummy* de cada variável categórica. Para a *dummy* de identificação da região, foi omitida a região Sudeste.

Foram obtidos intervalos de confiança (IC) de 95% sobre os coeficientes estimados por *bootstrap* aplicando 50 repetições. É relatada a média do intervalo de confiança ao invés do estimador pontual. Segundo Chernozhukov et al. (2009), esse procedimento deve ser adotado devido à descontinuidade das variáveis, o que pode dificultar a convergência do estimador quantílico das combinações específicas das covariáveis.

A Tabela 11 traz os principais resultados da estimação do MRQVI para os percentis 10, 30, 50, 70 e 90. A continuação dos resultados estimados encontra-se no Apêndice A, Tabela A2.

²⁰ Este resultado foi alcançado por meio de regressões auxiliares e exame das correlações simples e parciais, as quais não foram suficientemente altas para apresentar problema de multicolinearidade.

²¹ Foram calculados o Fator de Inflação da Variância (FIV) para todas as variáveis. O maior FIV foi de 2,59, e o FIV médio de 1,70. Esses resultados não sugerem a presença de multicolinearidade.

TABELA11. Principais coeficientes estimados para a demanda residencial por energia elétrica por MRQVI

Variável	Percentis				
	p10	p30	p50	p70	p90
Constante	1,842	2,611	2,229	2,182	3,601
IC inferior	1,241	2,373	2,213	2,047	3,162
IC superior	2,444	2,848	2,245	2,318	4,040
ln(Preço)	-0,214	-0,092	-0,150	-0,351	-0,647
IC inferior	-0,262	-0,113	-0,178	-0,360	-0,690
IC superior	-0,166	-0,072	-0,122	-0,342	-0,604
ln(Renda)	0,152	0,135	0,135	0,137	0,135
IC inferior	0,142	0,129	0,128	0,129	0,129
IC superior	0,162	0,141	0,142	0,144	0,141
Qtde. Freezer	0,090	0,166	0,217	0,258	0,294
IC inferior	0,077	0,162	0,211	0,254	0,279
IC superior	0,102	0,169	0,223	0,261	0,308
Qtde. geladeira	0,193	0,196	0,146	0,108	0,055
IC inferior	0,186	0,190	0,141	0,098	0,046
IC superior	0,199	0,202	0,152	0,118	0,064
Qtde. lavadora de roupa	0,083	0,087	0,094	0,091	0,098
IC inferior	0,079	0,085	0,092	0,090	0,089
IC superior	0,087	0,089	0,096	0,092	0,107
Qtde. TV	0,042	0,044	0,046	0,045	0,045
IC inferior	0,025	0,039	0,043	0,044	0,044
IC superior	0,058	0,050	0,048	0,045	0,045
Qtde. ar condicionado	0,075	0,114	0,118	0,160	0,208
IC inferior	0,063	0,114	0,112	0,156	0,195
IC superior	0,087	0,114	0,125	0,165	0,222
Qtde. ventilador	0,049	0,055	0,057	0,060	0,065
IC inferior	0,047	0,054	0,057	0,059	0,064
IC superior	0,052	0,055	0,058	0,062	0,065
Qtde. ferro elétrico	0,073	0,051	0,035	0,038	0,023
IC inferior	0,060	0,046	0,033	0,037	0,018
IC superior	0,086	0,057	0,037	0,038	0,028
Qtde. Microcomputador	0,082	0,070	0,065	0,056	0,052
IC inferior	0,078	0,066	0,063	0,051	0,036
IC superior	0,086	0,073	0,067	0,061	0,068
Qtde. micro-ondas	0,062	0,036	0,030	0,040	0,022
IC inferior	0,051	0,027	0,016	0,038	0,021
IC superior	0,073	0,046	0,044	0,042	0,024
Qtde. chuveiro elétrico	0,040	0,028	0,029	0,023	0,022
IC inferior	0,035	0,026	0,026	0,022	0,022
IC superior	0,045	0,030	0,032	0,025	0,022

Continua (...)

Continuação (...)

Variável	Percentis				
	p10	p30	p50	p70	p90
Idade freezer	0,005	0,003	0,000	-0,002	-0,006
IC inferior	0,004	0,002	-0,001	-0,002	-0,006
IC superior	0,005	0,003	0,001	-0,001	-0,006
Idade geladeira	0,005	0,006	0,005	0,003	0,002
IC inferior	0,005	0,006	0,005	0,003	0,002
IC superior	0,005	0,006	0,005	0,004	0,003
Idade lavadora de roupa	0,002	-0,001	-0,001	0,000	-0,003
IC inferior	0,002	-0,001	-0,002	-0,001	-0,004
IC superior	0,002	0,000	0,000	0,000	-0,003
Idade TV	0,000	0,000	-0,001	0,001	0,002
IC inferior	0,000	0,000	-0,001	0,001	0,001
IC superior	0,001	0,000	0,000	0,001	0,003
Idade ar condicionado	0,007	0,001	0,003	0,003	0,005
IC inferior	0,004	0,001	0,001	0,002	0,004
IC superior	0,010	0,001	0,005	0,004	0,006
Idade ventilador	-0,003	-0,003	-0,003	-0,004	-0,005
IC inferior	-0,005	-0,003	-0,003	-0,004	-0,006
IC superior	-0,002	-0,003	-0,003	-0,004	-0,003
Idade ferro elétrico	-0,001	0,000	-0,002	-0,003	-0,003
IC inferior	-0,002	-0,001	-0,002	-0,003	-0,004
IC superior	0,000	0,000	-0,002	-0,003	-0,002
Idade microcomputador	0,010	0,010	0,010	0,013	0,017
IC inferior	0,009	0,010	0,009	0,012	0,011
IC superior	0,011	0,010	0,011	0,015	0,023
Idade micro-ondas	0,001	0,003	0,002	0,000	-0,001
IC inferior	0,001	0,002	0,002	-0,001	-0,002
IC superior	0,002	0,003	0,003	0,000	0,001
Idade chuveiro elétrico	0,002	0,000	0,000	0,000	0,003
IC inferior	0,001	0,000	-0,001	0,000	0,000
IC superior	0,002	0,000	0,000	0,001	0,006
Inverno	-0,888	-0,756	-1,190	-0,996	-0,531
IC inferior	-0,965	-0,810	-1,355	-1,235	-1,064
IC superior	-0,811	-0,702	-1,025	-0,758	0,003
Verão	0,754	0,627	1,264	1,119	0,297
IC inferior	0,450	0,576	1,125	0,947	-0,318
IC superior	1,058	0,678	1,403	1,292	0,912

Fonte: Resultados da pesquisa

Variável dependente: logaritmo da quantidade de energia em kWh.

Obs.: p10 – percentil 10; p30 – percentil 30; p50 – percentil 50; p70 – percentil 70; p90 – percentil 90.

Limites inferior e superior do intervalo de confiança (IC) de 95%, de 50 repetições de x. Qtde. é abreviação de quantidade.

Intervalos de confiança que contém zero com 95% de confiança não são estatisticamente significativos.

Os resultados confirmam a presença de heterogeneidade na resposta da demanda por energia elétrica às variações de preço em comparação ao efeito médio fornecido por MQ2E. Foram realizados testes F para averiguar se as estimativas dos coeficientes do 10º ao 90º percentil são estatisticamente diferentes entre si. Tal teste possibilitou afirmar que o impacto causado por variações no preço da energia é assimétrico ao longo da distribuição condicional do consumo residencial de energia elétrica, uma vez que a hipótese de igualdade dos parâmetros entre os quantis foi rejeitada pelo teste de Wald.

A variação de 1% no preço, mantendo as demais variáveis constantes, reduz o consumo de energia elétrica no 10º percentil em 0,214%, já no 90º percentil o consumo é diminuído em 0,647%, ou seja, a elasticidade-preço é aproximadamente 3,02 vezes maior. Os consumidores menos sensíveis às variações de preço estão situados nos percentis intermediários, por outro lado, nos extremos da distribuição os consumidores são mais sensíveis às variações de preço.

A maior elasticidade-preço encontrada para as faixas de baixo consumo de energia pode ser explicada pela participação mais expressiva das despesas com eletricidade no orçamento destes domicílios. Por sua vez, o uso de energia dos domicílios situados nas faixas intermediárias do consumo seria destinado principalmente para atividades essenciais, tais como cocção de alimentos, higiene e iluminação, portanto menos passíveis de serem reduzidos frente a aumentos de preços.

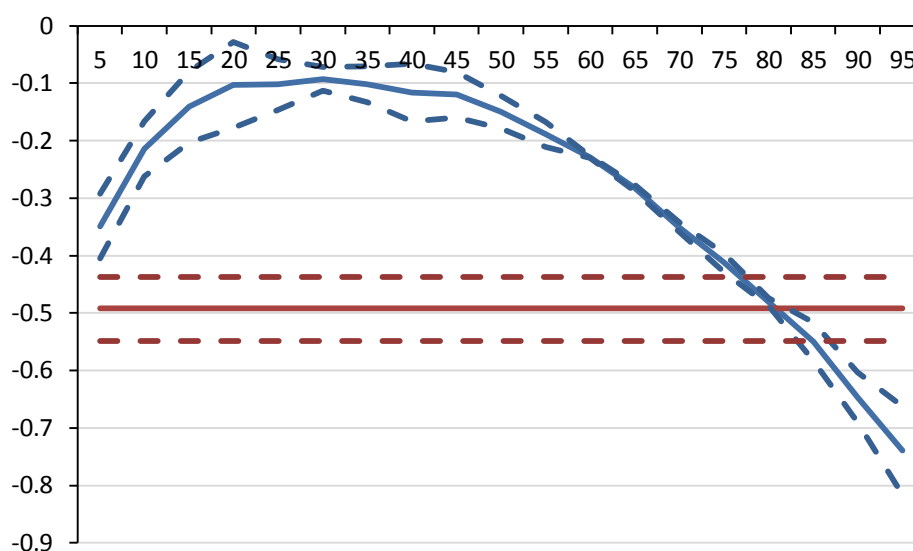
Quanto aos domicílios localizados nos percentis mais altos de consumo, uma possível explicação para a elasticidade-preço relativamente mais alta seria a maior possibilidade de haver substituição de energia elétrica por energia solar, uma tecnologia relativamente cara e que não é acessível aos pequenos consumidores. Além da possibilidade de adoção de medidas de conservação de energia, ao tirar partido das condições do ambiente e do isolamento térmico com utilização racional dos ganhos solares recorrendo a superfícies envidraçadas viradas a Sul.

Outra possível explicação para a elevada sensibilidade dos maiores consumidores de energia elétrica vai ao sentido de que o nível de consumo deste grupo é muito elevado e a utilidade marginal proporcionada pelo consumo da energia elétrica é pequena.

Parte significativa da energia demandada por grandes consumidores residenciais pode ser destinada a finalidades de uso não essenciais, portanto mais fáceis de serem reduzidas.

A curva em forma de U invertido plotado no quadrante negativo ilustra a relação inversa entre o preço e o consumo de energia elétrica, a qual pode ser observada na Figura 5, em que a curva em azul traz o comportamento da elasticidade-preço por quantil de consumo. A curva horizontal em vermelho reporta a elasticidade-preço estimada pelo método de MQ2E. Enquanto que as curvas pontilhadas representam os intervalos de confiança. O coeficiente estimado está plotado no eixo Y e os quantis no eixo X.

FIGURA5. Comportamento dos coeficientes estimados do Logaritmo Natural do Preço da energia elétrica segundo os quantis da distribuição do consumo residencial de energia elétrica



Fonte: Resultados da pesquisa.
 Variável dependente: logaritmo da quantidade de energia em kWh.
 Intervalo de confiança (IC) de 95%, de 50 repetições de *bootstrap*.
 Obs.: Modelo estimado para os percentis: 5,10,15,20,25,30,35,40,45,50, 55, 60,65,70,75,80,85,90, e 95.

Desse modo, formuladores de políticas públicas podem identificar os segmentos de consumidores mais adequados para cada opção tarifária. Implantando, assim, políticas de aumentos tarifários focadas por estrato de consumo, tornando mais eficaz a redução da demanda, principalmente nos grandes usuários residenciais dado que estes são mais sensíveis às variações de preço. Desta forma, políticas de

aumentos tarifários podem ser utilizadas como instrumento de incentivo à conservação de energia nos domicílios.

A elasticidade-renda se apresenta mais homogênea, com pequenas variações entre os percentis de consumo, variando entre 0,152 e 0,135, aproximadamente. Embora que, à medida que se caminha em direção ao limite superior da distribuição os consumidores vão se tornando menos sensíveis as variações na renda. Todos os intervalos de confiança das variáveis de temperatura – verão e inverno– não contém zero com 95% de confiança, o que confirma que o clima é um determinante da demanda residencial de energia.

Os sinais dos coeficientes captaram o sentido esperado, no inverno unidades adicional de °C reduz o consumo de energia elétrica devido a menor necessidade de refrigeração dos ambientes. Enquanto que no verão o efeito é inverso, aumentos graduais da temperatura levam os consumidores a aumentar o consumo de energia elétrica para satisfazer as necessidades de refrigeração.

A hipótese de que os maiores consumidores de energia são mais fortemente dependentes do clima do que os menores consumidores foram confirmados, dado que o ultimo percentil de consumo (90°) não é significativo. Os consumidores da cauda superior são susceptíveis a ser mais sensível às variáveis climáticas do que da cauda inferior, dado que o consumo de energia dos baixos consumidores é destinado às necessidades essenciais, como cocção de alimentos, enquanto que os grandes consumidores destinam parte do consumo de energia para refrigeração do ambiente. Os resultados mostraram que os consumidores do 50° e 70° percentil são mais sensíveis às variações de temperatura.

Uma mudança de 1% na temperatura na estação de inverno, mantendo outras variáveis constantes, o percentil 70 de consumo de energia varia por cerca de 0,996%, enquanto que o percentil 30 varia por cerca de 0,756%. A maior elasticidade temperatura é do percentil 50, que é, aproximadamente, 1,34 vezes maior do que o efeito na cauda inferior (10° percentil).

Padrão semelhante é observado no verão, no percentil 70 o consumo de energia elétrica é aumentado em 1,119% dado um aumento de 1% na temperatura, mantendo as demais variáveis constantes, enquanto que no 10° percentil o consumo é aumentado em 0,754% dado a mesma variação na temperatura

Mudando o foco para a interpretação dos coeficientes estimados que captem o impacto das unidades de aparelhos elétricos dos domicílios, os resultados indicam

que unidades adicionais dos aparelhos elétricos aumentam o consumo de energia elétrica em toda a distribuição, com destaque ao freezer, geladeira e ar condicionado que são mais intensivos em energia.

Unidades adicionais de freezer e ar condicionado no limite superior da distribuição (90º percentil) mostraram-se aproximadamente 3,27 e 2,77 superiores ao seu respectivo 10º percentil do consumo de energia. O poder aquisitivo dos maiores consumidores de energia permite-os ter um padrão de conforto maior, com aquisição de eletrodomésticos de maior potência, que consomem mais energia elétrica. E esta classe social usa os aparelhos domésticos de maneira mais intensa, do que os consumidores de baixa renda.

Quanto ao tempo de uso dos aparelhos, os coeficientes que se apresentaram significativos, são de baixa magnitude. Os equipamentos domésticos mais antigos pouco impactam no consumo de energia elétrica. Aqueles que mais impactam no aumento do consumo de energia elétrica são geladeira e ar condicionado. Nos menores percentis de consumo de energia, 10º, 30º e 50º percentis, o consumo de energia elétrica aumenta a cada ano adicional de uso de geladeira mais do que para os altos consumidores de energia. Este resultado pode ser explicado pela maior possibilidade destes consumidores apresentarem eletrodomésticos antigos e de menor eficiência. Essas faixas de consumo caracterizam-se por consumidores de menor renda, o que justifica uma maior reflexão acerca de políticas mais ativas que visem a substituição de aparelhos antigos por novos frente às classes de consumo mais desfavorecidas financeiramente, ou até mesmo uma política de incentivo à compra de eletrodomésticos mais eficientes através de redução de impostos e que ao mesmo tempo garantisse o descarte do eletrodoméstico antigo. Política semelhante foi implementada em Santa Catarina para incentivar a substituição de equipamentos antigos por novos e reduzir o consumo de energia no Estado²².

O coeficiente do tempo de uso da geladeira, no limite inferior, mostrou-se aproximadamente 2,07 vezes superior ao último percentil da distribuição, demonstrando que para os menores consumidores de energia elétrica (10º percentil) o consumo de energia aumenta a uma taxa de 0,005% a cada ano adicional de uso da geladeira, mantendo tudo o mais constante.

²²O programa é uma das ações acordada entre a Centrais Elétricas de Santa Catarina (Celesc) e a ANEEL, em que geladeiras e ar condicionado foram vendidos com 50% de desconto para os consumidores que satisfaziam as condições exigidas pelo programa.

Alguns coeficientes se mostraram significativos, mas apresentaram sinais contrários ao esperado, indicando que ano adicional de uso dos aparelhos reduzem o consumo de energia elétrica no domicílio, como é o caso do ventilador, do freezer para os dois últimos percentis de consumo, lavadora de roupa no 90º percentil e do ferro. Esses resultados controversos podem ser explicados pelo fato de que ao considerar tempo de uso dos aparelhos não está sendo controlada a potência e nem a eficiência energética dos mesmos. Aparelhos mais novos podem ser mais eficientes, porem mais potentes, assim como aparelhos mais antigos podem ser menos eficientes e menos potentes. O quanto cada equipamento consome de energia elétrica depende da potência de cada aparelho, e essa informação não é coletada pela POF.

Os coeficientes das variáveis categóricas de identificação da região a qual o domicílio está instalado encontram-se no Apêndice A, Tabela A2. Tais coeficientes não apresentaram resultados que possibilitassem interpretação apropriada. Pode-se observar que os domicílios situados na Região Sul do país consomem mais energia elétrica do que os situados na Região Sudeste para todos os percentis de consumo. O impacto do clima pode estar anulando os efeitos das estações quentes e frias em cada região.

Então, para saber o impacto da região a qual pertence os domicílios foi adicionado à estimação o efeito incremental no consumo de energia elétrica quando o domicílio está situado em determinada região do país e em determinada estação climática, que são as interações entre as variáveis categóricas que identificam a região e as temperaturas médias no verão e no inverno. Esses resultados estão apresentados no Apêndice A, Tabela A2.

O fato de o domicílio estar localizado no Sul e no inverno faz com que ele consuma mais energia do que se ele estivesse situado no sudeste nesta mesma estação, devido ao aquecimento da água nas residências além do condicionamento do espaço interno, por meio do uso de aquecedores e a instalação dos tubos elétricos de calefação. O Sul do país é marcado por apresentar baixas temperaturas, o inverno é mais rigoroso nos Estados da região Sul do que no Sudeste. Então, dado que a média da temperatura do Sul é tão baixa no inverno, uma elevação da temperatura em 1% fará com que o domicílio no Sul do país consuma mais energia do que se estivesse alocado no Sudeste em todos os percentis de consumo.

Já na estação de verão no Sul do país, uma elevação da temperatura em 1%, proporcionaria economia de energia em comparação com o Sudeste, à explicação vai

de encontro para a estação de inverno, dado que o verão do Sudeste, principalmente em janeiro, são comuns médias das máximas de 30°C a 32°C, enquanto que no Sul a temperatura média gira em torno de 24°C. Desse modo, no Sul uma elevação da temperatura em 1% não causaria tamanho desconforto que conduzissem ao aumento do uso de condicionadores de ar e ventiladores, diferente do que aconteceria no Sudeste. Em outras palavras, a intensidade de uso de energia na busca de conforto térmico é menor no Sul do que no Sudeste.

Já para o Nordeste no verão, nos percentis que se mostraram significativos, que foram os da cauda superior, também apresentam economia da energia quando ocorre uma elevação da temperatura em 1% em comparação com a região Sudeste, este resultado foge do esperado, uma vez que o Nordeste é uma região caracterizada por verões de temperaturas elevadas. Assim como os resultados das elasticidades-temperatura no verão para o Centro Oeste. A falta de dados de localização detalhada do domicílio, proporcionado pelas limitações impostas pela POF, dificulta a capacidade de tirar conclusões sobre o microclima que poderia explicar estes resultados anômalos.

Estas diferenças, também podem ser dadas pelo fato do Brasil apresentar extensa dimensão continental, com uma vasta região costeira e relevo distintos, o que faz com que tenha ampla diversificação climática e distintos efeitos sobre o consumo de energia elétrica residencial mesmo dentro da mesma região. Fazendo assim, que os efeitos se anulem.

Por fim, das variações de localização regional pode-se observar que domicílios localizados em área urbana consomem mais energia do que domicílios rurais.

Quando se analisa o efeito da quantidade de morador na distribuição condicional do consumo de energia elétrica, esta pesquisa encontra que o tamanho da família importa no consumo da energia. É notável que moradores adicionais elevem o consumo de energia e que há uma nítida tendência de crescimento na magnitude do coeficiente quando se desloca do menor percentil até o 50º percentil, onde essa tendência é interrompida passando a decrescer até o limite superior da distribuição, contudo o coeficiente no 90º percentil ainda é menor do que no 10º percentil.

A variável “total de cômodos” que é uma *proxy* do tamanho da residência nos revela que o tamanho da habitação impacta positivamente no consumo de energia elétrica em todos nos níveis de consumo de forma homogênea.

Proprietários, em comparação com locatários, usam menos energia. Os proprietários devem estar mais dispostos a investir em sistemas mais eficientes de condicionamento do espaço. Para o caso de domicílio cedido esse resultado só se repete para a menor faixa de consumo.

Conforme esperado casas consomem, em média, mais energia do que apartamento devido às superfícies comuns. A economia de energia pode ser alcançada em grandes edifícios, com número elevado de apartamentos, que dividem energia de áreas comuns, como garagem e corredores.

Domicílios que são revestidos com cerâmica, que são pisos mais frios do que madeira, o qual absorve calor, elevam o consumo de energia elétrica. Domicílios que possuem pisos dessa natureza no percentil 10 tem seu consumo de energia aumentado em 0,074kWh. Enquanto que habitações que possuem parede de alvenaria comparando-o com seus equivalentes em madeira e palha apresentam maior consumo de energia, principalmente na cauda superior da distribuição. Os coeficientes da variável categórica telha, não se mostraram significativos.

Os resultados apresentados na Tabela 12 são referentes à estimação por meio da RQ tradicional, sem considerar a endogeneidade preço, e a estimação por MQ2E²³, a qual corrige o problema da endogeneidade, mas não considera a heterogeneidade entre os diferentes níveis de consumo de energia elétrica.

O que é interessante notar nos resultados encontrados é que o modelo estimado por RQ apresenta coeficientes com sinais trocados para a elasticidade-preço, apenas para o 90º percentil o sinal está de acordo com a teoria. O comportamento dos coeficientes das elasticidade-preço e renda estimados por RQ estão apresentados no Apêndice, Figura A3.

Ao se comparar o modelo original (MRQVI) com o estimado por MQ2E²⁴ pode-se observar que a elasticidade-preço obtida por MQ2E estaria entre o 70º e 90º percentil do MRQVI. Desse modo políticas de aumentos tarifários baseadas nos resultados obtidos por modelos que levam em consideração apenas a média da distribuição poderiam penalizar os consumidores de baixo consumo, que são de baixa renda.

²³ Os erros padrões das estimativas do MQ2E são baseados em uma estimativa da matriz de variância-covariância que é robusta para a heterocedasticidade.

²⁴ Cabe ressaltar que em todas as regressões os instrumentos passaram no teste de sobreidentificação.

TABELA 12. Comportamento dos coeficientes estimados por RQ e MQ2E

Variável	Quantis- RQ					MQ2E
	p10	p30	p50	p70	p90	
Constante	1,808 ³ (0,543)	2,965 ³ (0,088)	2,830 ³ (0,382)	3,283 ³ (0,872)	5,368 ³ (0,158)	7,207 ³ (0,484)
ln(Preço)	0,052 ² (0,023)	0,121 ³ (0,012)	0,089 ³ (0,001)	0,002 (0,004)	-0,118 ³ (0,000)	-0,492 ³ (0,028)
ln(Renda)	0,136 ³ (0,005)	0,129 ³ (0,001)	0,123 ³ (0,005)	0,121 ³ (0,006)	0,115 ³ (0,006)	0,127 ³ (0,005)
Idade*	0,001 ² (0,001)	0,002 ³ (0,000)	0,002 ³ (0,000)	0,002 ³ (0,000)	0,003 ³ (0,000)	0,002 ³ (0,000)
Anos de estudo*	0,012 ³ (0,001)	0,010 ³ (0,000)	0,010 ³ (0,000)	0,012 ³ (0,001)	0,012 ³ (0,000)	0,011 ³ (0,001)
Total morador	0,057 ³ (0,003)	0,059 ³ (0,002)	0,059 ³ (0,000)	0,056 ³ (0,001)	0,049 ³ (0,002)	0,054 ³ (0,002)
Cômodos	0,018 ³ (0,002)	0,013 ³ (0,002)	0,012 ³ (0,000)	0,012 ³ (0,001)	0,013 ³ (0,000)	0,017 (0,002)
Casa	0,012 ³ (0,002)	0,019 ¹ (0,011)	0,018 ³ (0,003)	0,015 (0,029)	0,013 (0,023)	0,014 (0,011)
Domicílio próprio	-0,010 (0,035)	-0,013 (0,028)	-0,012 (0,009)	-0,001 (0,008)	0,009 ² (0,004)	-0,003 (0,008)
Domicílio cedido	0,005 (0,039)	0,006 (0,022)	0,010 ³ (0,003)	0,014 ³ (0,003)	0,033 ³ (0,003)	0,019 ¹ (0,011)
Piso frio	0,044 ³ (0,016)	0,031 (0,031)	0,012 (0,013)	-0,011 (0,006)	-0,032 ² (0,011)	0,005 (0,011)
Parede alvenaria	0,006 (0,038)	0,009 (0,013)	0,010 ³ (0,001)	0,022 ² (0,004)	0,035 ³ (0,001)	0,028 ² (0,011)
Telha	-0,046 ³ (0,013)	-0,029 ³ (0,007)	-0,042 ³ (0,011)	-0,046 ³ (0,001)	-0,072 ³ (0,004)	-0,047 ³ (0,008)
Área urbana	0,077 ³ (0,019)	0,050 ³ (0,011)	0,021 ³ (0,003)	0,005 (0,006)	-0,017 (0,018)	0,030 ³ (0,008)
Qtde. Freezer	0,066 ² (0,026)	0,165 ³ (0,006)	0,207 ³ (0,007)	0,234 ³ (0,012)	0,256 ³ (0,030)	0,195 ³ (0,011)
Qtde. geladeira	0,175 ³ (0,002)	0,196 ³ (0,009)	0,157 ³ (0,003)	0,096 ³ (0,005)	0,027 ³ (0,005)	0,147 ³ (0,010)
Qtde. lavadora de roupa	0,067 ³ (0,002)	0,074 ³ (0,004)	0,079 ³ (0,007)	0,072 ³ (0,002)	0,070 ³ (0,009)	0,060 ³ (0,007)
Qtde TV	0,034 ³ (0,012)	0,042 ³ (0,006)	0,034 ³ (0,007)	0,030 ³ (0,008)	0,029 ³ (0,002)	0,032 ³ (0,004)
Qtde. ar condicionado	0,045 ³ (0,012)	0,098 ³ (0,021)	0,129 ³ (0,007)	0,162 ³ (0,004)	0,198 ³ (0,014)	0,128 ³ (0,008)
Qtde. ventilador	0,045 ³ (0,008)	0,049 ³ (0,003)	0,056 ³ (0,001)	0,057 ³ (0,001)	0,052 ³ (0,008)	0,049 ³ (0,003)
Qtde. ferro elétrico	0,064 ³ (0,021)	0,051 ³ (0,002)	0,037 ³ (0,000)	0,035 ³ (0,006)	0,025 ³ (0,001)	0,042 ³ (0,006)
Qtde. Microcomputador	0,085 ³ (0,012)	0,064 ³ (0,008)	0,057 ³ (0,001)	0,048 ³ (0,012)	0,042 ³ (0,011)	0,061 ³ (0,007)
Qtde. micro-ondas	0,074 ³ (0,025)	0,036 ³ (0,002)	0,025 ² (0,012)	0,029 ³ (0,010)	-0,001 (0,024)	0,028 ³ (0,010)
Qtde chuveiro elétrico	0,036 ³ (0,003)	0,020 ³ (0,004)	0,028 ³ (0,001)	0,023 ³ (0,005)	0,011 ³ (0,004)	0,027 ³ (0,006)

Continua (...)

Continuação (...)

Variável	Quantis- MRQ					MQ2E
	p10	p30	p50	p70	p90	
Idade freezer	0,008 ⁵ (0,004)	0,003 ³ (0,000)	0,000 ³ (0,000)	-0,002 ² (0,001)	-0,003 (0,002)	0,001 (0,001)
Idade geladeira	0,005 ³ (0,001)	0,005 ³ (0,001)	0,004 ³ (0,000)	0,003 ³ (0,000)	0,002 ³ (0,001)	0,004 ³ (0,001)
Idade lavadora de roupa	0,004 ³ (0,001)	0,001 (0,000)	0,001 (0,001)	0,001 ¹ (0,000)	-0,001 (0,002)	0,001 (0,001)
Idade TV	-0,002 (0,002)	0,000 (0,001)	0,000 (0,001)	0,001 ³ (0,000)	0,000 (0,001)	0,000 (0,001)
Idade ar condicionado	0,010 ³ (0,001)	0,001 (0,001)	0,001 ³ (0,000)	0,002 (0,002)	0,007 ³ (0,001)	0,005 ³ (0,002)
Idade ventilador	-0,003 ¹ (0,002)	-0,002 ³ (0,000)	-0,003 ³ (0,000)	-0,004 ³ (0,001)	-0,004 ³ (0,000)	-0,003 ³ (0,001)
Idade ferro elétrico	0,000 (0,002)	-0,001 ³ (0,000)	-0,002 ³ (0,000)	-0,003 ³ (0,001)	-0,002 ³ (0,000)	-0,002 ³ (0,001)
Idade microcomputador	0,014 ³ (0,000)	0,012 ³ (0,000)	0,012 ³ (0,000)	0,013 ³ (0,003)	0,017 ³ (0,001)	0,013 ³ (0,002)
Idade micro-ondas	-0,001 (0,004)	0,002 ¹ (0,001)	0,003 ² (0,001)	0,000 (0,001)	0,001 (0,003)	0,001 (0,001)
Idade chuveiro elétrico	0,001 (0,002)	-0,001 (0,001)	-0,001 (0,001)	0,000 (0,001)	0,002 (0,002)	0,000 (0,001)
Inverno	-1,047 ¹ (0,625)	-1,219 ³ (0,097)	-1,418 ³ (0,005)	-1,269 ³ (0,060)	-0,975 ³ (0,056)	-0,776 (0,125)
Verão	1,079 ² (0,428)	1,066 ³ (0,070)	1,420 ³ (0,121)	1,226 ³ (0,327)	0,451 ³ (0,004)	0,189 ³ (0,216)
Inverno x Norte	0,384 (0,772)	0,509 ³ (0,020)	0,639 ³ (0,052)	0,483 ³ (0,119)	0,296 ³ (0,024)	0,126 (0,153)
Inverno x Sul	1,616 ³ (0,600)	1,928 ³ (0,041)	2,268 ³ (0,082)	2,573 ³ (0,120)	3,210 ³ (0,023)	1,574 ³ (0,154)
Inverno x Nordeste	0,806 ² (0,393)	0,931 ³ (0,073)	1,219 ³ (0,031)	1,243 ³ (0,076)	1,092 ³ (0,119)	0,951 ³ (0,133)
Inverno x Centro Oeste	1,216 (0,847)	0,945 ³ (0,182)	1,125 ³ (0,203)	0,832 ³ (0,102)	0,536 (0,656)	0,146 (0,195)
Verão x Norte	5,132 ³ (1,524)	4,250 ³ (0,582)	3,829 ³ (0,462)	4,276 ³ (0,007)	4,356 ³ (0,318)	4,496 ³ (0,457)
Verão x Sul	-3,131 ³ (0,199)	-3,264 ³ (0,303)	-4,150 ³ (0,565)	-4,157 ³ (0,728)	-3,633 ³ (0,143)	-2,793 ³ (0,359)
Verão x Nordeste	0,458 ³ (0,153)	0,336 ³ (0,022)	-0,629 ³ (0,190)	-1,263 ³ (0,100)	-1,529 ³ (0,020)	-1,242 ³ (0,282)
Verão x Centro Oeste	-2,513 ³ (0,656)	-2,378 ³ (0,118)	-2,573 ³ (0,072)	-2,220 ³ (0,220)	-1,599 ³ (0,067)	-0,284 (0,273)
Norte	-17,814 ³ (2,561)	-15,286 ³ (1,836)	-14,315 ³ (1,664)	-15,290 ³ (0,401)	-14,966 ³ (0,971)	-14,942 ³ (1,200)
Nordeste	-4,161 ² (1,673)	-4,155 ³ (0,161)	-1,938 ³ (0,533)	-0,013 (0,097)	1,256 ³ (0,322)	0,814 (0,650)
Sul	5,406 ² (2,406)	4,910 ³ (0,889)	6,718 ³ (1,565)	5,957 ³ (1,962)	2,677 ³ (0,414)	4,390 ³ (0,954)
Centro Oeste	4,483 ³ (0,470)	4,858 ³ (0,187)	4,926 ³ (0,859)	4,641 ³ (1,032)	3,465 (2,264)	0,556 (0,637)

Fonte: Resultados da pesquisa

Notas:¹ Coeficiente significativo ao nível de 10%.

² Coeficiente significativo ao nível de 5%.

³ Coeficiente significativo ao nível de 1%.

Variável dependente: logaritmo da quantidade de energia em kWh.

Obs.: p10 – percentil 10; p30 – percentil 30; p50 – percentil 50; p70 – percentil 70; p90 – percentil 90.

Qtde é abreviação de quantidade.

*Referem-se às informações do chefe de família do domicílio.

De forma geral os estudos anteriores que estimaram elasticidade-preço da demanda residencial por energia elétrica obtiveram resultados semelhantes aos encontrados para alguns quantis. A menor elasticidade-preço da demanda aqui encontrada (-0,092) para o 30º percentil se assemelha a elasticidade-preço obtida para o Brasil por Schmidt e Lima (2004), o qual encontrou uma elasticidade de -0,085. Enquanto que a maior elasticidade-preço obtida no 90º percentil (-0,647) se próxima da elasticidade encontradas por Siqueira, Cordeiro Jr. e Castelar (2006) estimada por meio de MQ2E de -0,74. Já a elasticidade do 70º percentil (-0,351) se equivale à obtida por Hollanda, Dias e Dutra (2010) no valor de -0,35.

Como pode ser visto as elasticidades-preço da demanda por energia elétrica, encontradas na literatura, mostram grandes variações entre si.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo constitui uma primeira tentativa de investigar os determinantes da demanda por energia elétrica residencial no Brasil por meio de uma análise de Regressão Quantílica, incluindo temperatura em suas especificações e fazendo uso dos microdados da POF 2008-2009. Tal abordagem possibilitou constatar a heterogeneidade da resposta da demanda por energia às variações de preço e renda ao longo de toda a distribuição, reportando informações que não poderiam ser obtidas por métodos baseados na média condicional.

É importante mensurar como agentes econômicos se comportam em resposta as mudanças nos preços da energia elétrica - relevante instrumento de políticas.

Outra importante questão abordada neste estudo é como é o impacto das alterações do clima, mais precisamente variações da temperatura, sobre o consumo de eletricidade. Nesses aspectos os estudos de demanda residencial por eletricidade são carentes, sobretudo devido à ausência de estimativas empíricas das elasticidades-temperatura para o Brasil.

Consumidores de maior renda possuem poder aquisitivo livre para consumir mais energia por resfriamento do que consumidores menos favorecidos, existindo, assim, clara associação entre clima e consumo de energia, de modo que, clima também esteja relacionado com a renda média do domicílio. Então para que a elasticidade renda não reflita a relação entre clima e consumo, é mais imprescindível à inclusão da temperatura na estimação da demanda por energia.

Estimativas de impacto são insumos necessários para medir a influência das alterações do clima, e espera-se que os resultados sejam de grande valia para evolução de políticas energéticas.

A maioria das estimações existentes da elasticidade preços da demanda é tendenciosa devido ao problema de variáveis omitidas que estão correlacionadas com preço da eletricidade e demanda por energia elétrica, como é o caso da variável temperatura. Controlando para variáveis climáticas que estão correlacionadas com demanda de eletricidade, este estudo também oferece estimações não viesadas das elasticidades preços da demanda por energia elétrica.

A assimetria da resposta da demanda às variações de preço constatada neste estudo indica que políticas tarifárias possuem impactos diferenciados sobre o consumo de energia, e que políticas públicas que visem eficiência energética devem considerar essa particularidade da demanda por energia elétrica residencial, uma vez que aumentos graduais nos preços da energia por nível da distribuição tem um impacto mais eficiente do que um aumento de preço uniforme. Enquadramentos tarifários alternativos, que levam em consideração a heterogeneidade da resposta da demanda por energia elétrica, podem proporcionar economia de energia mais eficiente.

Os resultados indicam que os consumidores que se encontram nos níveis intermediários do consumo de energia elétrica possuem um caráter menos sensível às variações de preço, a estes, políticas não tarifárias podem surgir mais efeito. Como foi constatado o tempo de uso de eletrodomésticos, como geladeira, ar condicionado, e tv apenas no limite inferior, impactam positivamente o consumo de energia elétrica, assim políticas como a já realizada pelo Ministério de Minas e Energia (MME) que propõe a troca de eletrodomésticos antigos por novos e de maior eficiência energética se constituem como uma estratégia alternativa de redução do consumo de energia.

A magnitude do coeficiente do tempo de uso da geladeira foi maior no limite inferior da amostra, que se caracteriza por consumidores de menor renda, o que justifica uma maior reflexão acerca de política mais ativas que visem substituição de aparelhos antigos por novos frente às classes de consumo mais desfavorecidas financeiramente, ou até mesmo uma política de eficiência energética de incentivo à compra de eletrodomésticos mais eficientes através de redução de impostos e que ao mesmo tempo garantisse o descarte do eletrodoméstico antigo.

É importante reforçar a limitação da utilização do tempo de uso dos eletrodomésticos como *proxy* de eficiência energética, uma vez que essa variável pode não refletir a verdadeira capacidade de consumo de energia. Aparelhos novos e modernos podem por um lado apresentar tecnologias mais avançadas que proporcionam maior economia de energia do que modelos antigos, mas por outro lado, podem apresentar funções que consomem mais energia do que modelos com maior tempo de uso e mais simples. Assim como um eletrodoméstico com menor tempo de uso pode ocupar a pior classificação energética do selo da Procel, e aqueles bens mais antigos podem deter uma classificação na faixa A (maior economia de

energia). Essa informação não consta na base de dados da POF 2008-2009 e, portanto não foi considerada na estimação.

Os resultados também sugerem que haverá maior uso de energia associada com crescimento de renda. Não obstante, unidades adicionais de aparelhos elétricos estão positivamente relacionadas com aumento do consumo de energia elétrica no domicílio, assim como tempo de uso dos aparelhos.

Temperatura tem um impacto estatisticamente significativo sobre o consumo de energia, desse modo, é relevante considerá-la na estimação da demanda residencial por energia elétrica. Os resultados indicam que no verão há uma maior demanda elétrica para refrigeração, uma vez que variações de temperatura nesta estação proporcionam elevações no consumo de energia elétrica, enquanto que no inverno a mesma elevação conduz a economia de energia.

Algumas implicações normativas podem ser sugeridas a partir das evidências encontradas neste estudo. As economias de energia podem ser alcançadas com políticas tarifárias, pois os consumidores reagem a variações de preços de forma heterogênea, e também com políticas não tarifárias que visem maior eficiência energética, com substituição de refrigeradores antigos por novos e mais eficientes.

No tocante aos fatores relacionados à demanda por energia elétrica dos domicílios e sua localização regional não foi possível obter resultados satisfatórios. A falta de dados de localização detalhada do domicílio, proporcionado pelas limitações impostas pela POF, dificulta as conclusões sobre o impacto do microclima e geraram resultados anômalos. O que se caracteriza como limitação desta pesquisa. Tais resultados, também, podem ser explicados pela ampla diversificação climática dentro da mesma região que ocasiona distintos efeitos do clima sobre o consumo de energia elétrica residencial.

Outra importante limitação desta pesquisa é a impossibilidade de declarar o plano amostral complexo na estimação do MRQVI nos *software* estatísticos. A não declaração do plano amostral pode subestimar ou superestimar a variância verdadeira. O desenvolvimento de extensões dos códigos que suportem a declaração do desenho amostral é imprescindível para corrigir a variância, e estimações futuras que incorporem essa limitação são importantes para verificar a validade da significância estatística dos coeficientes obtidos por essa pesquisa.

Para um entendimento mais abrangente do impacto do clima sobre a demanda residencial por energia elétrica sugere-se que os trabalhos futuros invistam em banco

de dados que tragam informações mais detalhadas quanto à localização dos domicílios. Uma vez que se consiga resolver o problema da investigação do efeito do microclima sobre a demanda de energia, é interessante realizar simulações, a partir do cenário futuro do clima, a fim de averiguar como a demanda residencial por energia elétrica se adaptará as variações climáticas. Uma vez que, para o planejamento energético é de grande interesse saber de que forma a demanda responderá ao aumento gradual da temperatura previsto pelo IPCC até o final deste século.

Estímulos à economia de energia por meio de políticas públicas só serão eficientemente empregadas quando se tem conhecimento dos componentes da demanda. Isto posto, este trabalho objetivou alcançar resultados de importantes questões para entender a demanda por energia elétrica residencial em todos os níveis de consumo domiciliar no Brasil. Espera-se que os resultados encontrados possam contribuir aos programas de eficiência energética realizada pela ANEEL e seus colaboradores (EPE²⁵, Procel, e outros) em conjunto com as empresas distribuidoras de energia elétrica na realização de ações de otimização voltadas para à conservação e maior eficiência no uso da energia elétrica.

²⁵ Empresa de Pesquisa Energética

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHÃO, C. C. L. **Análise da estrutura de consumo de energia pelo setor residencial brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

ABADIE, A., ANGRIST, J.D., IMBENS, G.W. Instrumental variables estimates of the effect of subsidized training on the quantiles of trainee earnings. **Econometrica**, v.70, p. 91–117, 2002.

AMEMIYA, T. Two stage least absolute deviations estimators. **Econometrica**. v 50,p.689–711, 1982.

ANDRADE, T. A; LOBÃO, W.J. A. **Elasticidade renda e preço da demanda residencial de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: IPEA, jun. 1997. (Texto para Discussão, n. 489). Disponível em <<http://www.ipea.gov.br/pub/td/tda1997a.html>> Acesso em 12 abr. 2011.

ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3ª ed. – Brasília: ANEEL, 2008.

BIGANO, A.; BOSELLO, F.; MARANO, G. Energy demand and temperature: a dynamic panel analysis. **Fondazione Eni Enrico Mattei**, Nota Di Lavoron.112, 2006.

BLUNDELL, R., POWELL, J.L., Censored Regression Quantiles with endogenous regressors. **Journal of Econometrics**, v. 141(1), p; 65-83, nov. 2005.

BRASIL. Congresso Nacional. **Lei nº 8.631**, mar. 1993

CHERNOZHUKOV, V.; FERNANDEZ-VAL, I.; KOWALSKI, A. **Censored quantile instrumental variable estimation via control functions**. Boston University Department of Economics, Working Paper, v.012. 2009.

CHERNOZHUKOV, V., HANSEN, C., An IV model of quantile treatment effects. **Econometrica**. v.73, p. 245–261, 2005.

CHERNOZHUKOV, V., HANSEN, C., Instrumental quantile regression inference for structural and treatment effect models. **Journal of Econometrics**.v.132, p. 491–525, 2006.

_____, Instrumental variable quantile regression: a robust inference approach, **Journal of Econometrics**,v.142, p.379–398, 2008.

COHEN, C. A. M. J. **Padrões de consumo: desenvolvimento, meio-ambiente e energia no Brasil**. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE, Rio de Janeiro, p. 224, 2002.

COX, T. L., WOHLGENANT, M. K. Prices and quality effects in cross-sectional demand analysis. **American Journal of Agricultural Economic**, v. 68, n. 4, p. 908-919, nov. 1986.

DEATON, A. The Analysis of Household Surveys: A microeconomic approach to development policy. **Johns Hopkins University Press**, Baltimore, Maryland, 1997.

DEATON, A., MUELLBAUER J., **Economics and consumer behavior**, Cambridge: Cambridge University Press, maio, 1980.

DEWEES, D. N.; WILSON, T. A. cold house and qarm Climates revisited: on keeping warm in Chicago, or paradox lost. **Jornal of Political Economy**, v. 98, n. 3, p. 656-663. jun. 1990.

DUBIN, J. A.; MIEDENA, A. K.; CHANDRAN, R. V. Price effects of energy-efficient Technologies: a study of residential demand for heating and cooling. **Rand Journal of Economics**, v.17. n. 3, p. 310-325, out. 1986.

EPE. **Relatório analítico: projeções do mercado de energia elétrica 2005-2015**. EPE: Rio de Janeiro, Brasil, 2005.

____. **Balanco Energético Nacional - 2011**. Rio de Janeiro, 211. Disponível em <<https://ben.epe.gov.br/>> Acesso em 10 abr. 2012.

ESKELAND, G. S., MIDEKSA, T. K. Electricity demand in a changing climate. **Mitig Adapt Strateg Glob Change**, v. 15, p. 877-897, 2010.

ELETROBRAS. **Selo Procel de economia de energia**. Ministério de Minas e Energia (MME), p. 183, 2011.

FRIEDMAN, D. Cold houses in warm climates and vice versa: a paradox of rational heating, **Journal of Political Economy**. v.95, n5, p.1089-1097, out. 1987.

HECKMAN, J. Sample selection bias as a specification error, **Econometrica**, v.47, p. 153-61, 1979.

HOLLANDA, L., DIAS, V., DUTRA, J. **A microdata approach to household electricity demand in Brazil**. In: 32° Meeting of the Brazilian Econometric Society, 2010, Salvador. Anais do 32° Meeting of the Brazilian Econometric Society, 2010.

KAZA, N. Understanding the spectrum of residential energy consumption: A quantile regression approach. **Energy Policy**, Estados Unidos, v. 38:11, p. 6574-6585, 2010.

KIM, T.-H., MULLER, C. Two-Stage Quantile Regression when the first stage is based on Quantile Regression. **Econometrics Journal**, v. 7, p. 218–231, 2004.

KOENKER, R., BASSETT J., G. Regression Quantile. **Econometrica**, v. 46, n. 1, p. 33-50, 1978.

KOENKER, R., HALLOCK, K. Quantile Regression. **Journal of Economic Perspectives**, v. 15, n. 4, p.143–156, 2001. Disponível em <http://works.bepress.com/kevin_hallock/13/> Acesso em 28 dez. 2011.

KOENKER, R., Quantile Regression for longitudinal data, **Journal of Multivariate Analysis**, v.91(1), p. 74-89, 2004.

LEE, S. Endogeneity in quantile regression models: a control function approach. **Journal of Econometrics**, v.14, p. 1131 - 1158, 2007.

_____. **Endogeneity in quantile regression models: a control function approach.** Centre for Microdata Methods and Practice (CEMMAP). Working paper CWP08/04, London, 2004.

MA, L., KOENKER, R. Quantile regression methods for recursive structural equation models. **Journal of Econometrics**, v.134, p. 471–506, 2006.

MANSUR, E. T., MENDELSON, R.; MORRISON, W. Climate Change Adaptation: a study of fuel choice and consumption in the U.S energy sector. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 55, p. 175-193, out. 2008.

MATTOS, L. B., LIMA, J. E. Demanda residencial da energia elétrica em minas gerais: 1970 – 2002. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 15, p. 31-52, set./dez. 2005.

MATSUURA, K.; WILLMOTT, C. J. **Terrestrial air temperature: 1900 – 2008.** Center for climatic research, department of geography, University of Delaware. Gridded Monthly Time Series. Newark, EUA: jun. 2009. Base de dados, versão 2.01. Disponível em
<http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/download.html#T2009> Acesso em 06 jun. 2012.

MODIANO, E. M. **Elasticidade-renda e preço da demanda de energia elétrica no Brasil.** Rio de Janeiro: Departamento de Economia – PUC, 1984. (Texto para Discussão, n. 68).

NEWKEY, W.K., POWELL, J.L., VELLA, F., Nonparametric estimation of triangular simultaneous equations models. **Econometrica**, v. 67, p. 565–603, 1999.

PROCEL. **Avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil**. Sumário Executivo – Ano Base 2005. ANEEL, Brasília, 2009.

RODRIGUES, L. dos A. **Efeitos das mudanças climáticas na demanda de energia elétrica no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

SCHAEFFER, R., SZKLO, A. S., LUCENA, A. F. P., SOUZA, R. R., BORBA, B. S. M. C., COSTA, I. V. L., PEREIRA JÚNIOR, A. O., CUNHA, S. H. F. **Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil**. COPPE, Rio de Janeiro, p. 6-66, 2008.

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

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

VARIAN, H. R. **Microeconomia: Princípios Básicos**, 4 ed., Rio de Janeiro: Campus, 2002.

APENDICE

TABELA A1. Coeficientes estimados para a demanda residencial por energia elétrica por MRQVI com MQO no primeiro estágio.

Variável	Percentis				
	p10	p30	p50	p70	p90
Constante	1,854	2,660	1,975	2,030	3,834
IC inferior	0,223	1,663	1,098	0,945	2,050
IC superior	3,150	3,865	2,744	2,854	5,532
ln(Preço)	-0,179	-0,082	-0,141	-0,330	-0,623
IC inferior	-0,262	-0,129	-0,189	-0,408	-0,697
IC superior	-0,082	-0,046	-0,083	-0,274	-0,530
ln(Renda)	0,148	0,133	0,134	0,136	0,134
IC inferior	0,132	0,122	0,125	0,127	0,120
IC superior	0,165	0,141	0,142	0,147	0,145
Idade*	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004
IC inferior	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003
IC superior	0,002	0,002	0,002	0,003	0,005
Anos de estudo*	0,013	0,012	0,012	0,016	0,018
IC inferior	0,010	0,010	0,011	0,014	0,014
IC superior	0,015	0,014	0,013	0,018	0,021
Total morador	0,060	0,062	0,063	0,062	0,057
IC inferior	0,056	0,058	0,059	0,058	0,052
IC superior	0,065	0,067	0,066	0,067	0,063
Cômodos	0,018	0,014	0,014	0,015	0,018
IC inferior	0,012	0,011	0,011	0,012	0,013
IC superior	0,023	0,016	0,016	0,018	0,023
Casa	0,014	0,028	0,023	0,021	0,023
IC inferior	-0,023	0,002	-0,003	-0,008	-0,029
IC superior	0,048	0,058	0,050	0,045	0,071
Domicílio próprio	-0,003	-0,009	-0,015	-0,005	-0,003
IC inferior	-0,033	-0,024	-0,027	-0,028	-0,023
IC superior	0,030	0,010	0,002	0,017	0,018
Domicílio cedido	0,010	0,012	0,007	0,014	0,027
IC inferior	-0,017	-0,021	-0,018	-0,013	0,000
IC superior	0,038	0,038	0,025	0,047	0,064
Piso frio	0,065	0,043	0,020	-0,001	-0,013
IC inferior	0,032	0,010	-0,007	-0,022	-0,049
IC superior	0,102	0,070	0,047	0,018	0,026
Parede alvenaria	0,011	0,018	0,021	0,038	0,069
IC inferior	-0,032	-0,007	-0,008	0,005	0,040
IC superior	0,050	0,037	0,049	0,061	0,107
Telha	-0,051	-0,045	-0,059	-0,066	-0,104
IC inferior	-0,080	-0,070	-0,073	-0,081	-0,137
IC superior	-0,020	-0,024	-0,044	-0,046	-0,069

Continua (...)

Continuação (...)

Variável	Percentis				
	p10	p30	p50	p70	p90
Área urbana	0,131	0,088	0,060	0,061	0,056
IC inferior	0,092	0,067	0,042	0,040	0,034
IC superior	0,154	0,113	0,080	0,082	0,076
Qtde. Freezer	0,092	0,172	0,220	0,243	0,264
IC inferior	0,052	0,157	0,203	0,226	0,225
IC superior	0,130	0,191	0,242	0,264	0,308
Qtde. geladeira	0,196	0,205	0,166	0,115	0,061
IC inferior	0,166	0,186	0,140	0,089	0,025
IC superior	0,232	0,232	0,192	0,142	0,095
Qtde. lavadora de roupa	0,077	0,077	0,086	0,080	0,077
IC inferior	0,046	0,061	0,071	0,062	0,060
IC superior	0,105	0,090	0,103	0,095	0,096
Qtde. TV	0,035	0,043	0,036	0,035	0,034
IC inferior	0,021	0,034	0,027	0,027	0,022
IC superior	0,051	0,054	0,046	0,047	0,045
Qtde. ar condicionado	0,055	0,108	0,128	0,165	0,210
IC inferior	0,028	0,085	0,108	0,151	0,184
IC superior	0,087	0,124	0,151	0,188	0,245
Qtde. ventilador	0,050	0,055	0,059	0,063	0,066
IC inferior	0,041	0,050	0,053	0,055	0,058
IC superior	0,060	0,061	0,064	0,071	0,076
Qtde. ferro elétrico	0,072	0,048	0,033	0,032	0,024
IC inferior	0,051	0,036	0,025	0,021	0,006
IC superior	0,089	0,060	0,044	0,044	0,049
Qtde. Microcomputador	0,089	0,064	0,060	0,051	0,050
IC inferior	0,064	0,048	0,047	0,037	0,028
IC superior	0,109	0,079	0,074	0,065	0,070
Qtde. micro-ondas	0,075	0,043	0,037	0,047	0,026
IC inferior	0,041	0,025	0,016	0,029	-0,004
IC superior	0,112	0,066	0,065	0,064	0,053
Qtde. chuveiro elétrico	0,030	0,027	0,030	0,024	0,017
IC inferior	0,014	0,015	0,020	0,012	0,000
IC superior	0,051	0,044	0,043	0,037	0,034
Idade freezer	0,005	0,002	0,000	-0,001	-0,004
IC inferior	0,002	0,000	-0,002	-0,004	-0,007
IC superior	0,008	0,004	0,001	0,000	0,000
Idade geladeira	0,005	0,005	0,004	0,003	0,003
IC inferior	0,004	0,004	0,003	0,002	0,002
IC superior	0,007	0,006	0,005	0,004	0,005

Continua (...)

Continuação (...)

Variável	Percentis				
	p10	p30	p50	p70	p90
Idade lavadora de roupa	0,003	0,000	0,000	0,000	-0,001
IC inferior	0,000	-0,001	-0,001	-0,001	-0,004
IC superior	0,005	0,002	0,003	0,003	0,001
Idade TV	-0,001	0,000	-0,001	0,000	0,000
IC inferior	-0,004	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002
IC superior	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003
Idade ar condicionado	0,007	0,001	0,002	0,001	0,004
IC inferior	0,002	-0,003	-0,002	-0,003	-0,004
IC superior	0,012	0,003	0,005	0,004	0,008
Idade ventilador	-0,003	-0,002	-0,003	-0,004	-0,005
IC inferior	-0,007	-0,004	-0,005	-0,006	-0,008
IC superior	0,000	-0,001	-0,002	-0,003	-0,002
Idade ferro elétrico	-0,001	-0,001	-0,002	-0,003	-0,003
IC inferior	-0,003	-0,002	-0,003	-0,005	-0,005
IC superior	0,001	0,000	-0,001	-0,002	-0,002
Idade microcomputador	0,013	0,012	0,014	0,014	0,017
IC inferior	0,005	0,009	0,009	0,010	0,009
IC superior	0,021	0,017	0,018	0,018	0,023
Idade micro-ondas	0,001	0,003	0,002	-0,001	0,000
IC inferior	-0,004	0,000	-0,002	-0,004	-0,004
IC superior	0,006	0,006	0,005	0,001	0,006
Idade chuveiro elétrico	0,001	-0,001	-0,001	0,000	0,003
IC inferior	-0,001	-0,003	-0,003	-0,002	-0,001
IC superior	0,003	0,001	0,001	0,003	0,006
Inverno	-0,806	-0,963	-1,357	-1,092	-0,589
IC inferior	-1,094	-1,350	-1,700	-1,276	-0,953
IC superior	-0,374	-0,598	-0,962	-0,758	-0,118
Verão	0,719	0,821	1,505	1,269	0,287
IC inferior	-0,013	0,248	0,986	0,896	-0,496
IC superior	1,425	1,498	1,973	1,617	0,943
Inverno x Norte	0,048	0,255	0,543	0,253	-0,239
IC inferior	-0,523	-0,249	0,039	-0,135	-0,829
IC superior	0,500	0,758	0,930	0,517	0,275
Inverno x Sul	1,030	1,420	1,894	2,045	1,880
IC inferior	0,650	1,061	1,599	1,736	1,381
IC superior	1,394	1,788	2,206	2,280	2,351
Inverno x Nordeste	0,556	0,769	1,299	1,278	1,012
IC inferior	0,105	0,417	0,910	0,980	0,437
IC superior	0,986	1,192	1,649	1,434	1,422

Continua (...)

Continuação (...)

Variável	Percentis				
	p10	p30	p50	p70	p90
Inverno Centro Oeste	1,099	0,808	1,153	0,993	0,511
IC inferior	0,468	0,315	0,607	0,636	-0,183
IC superior	1,678	1,357	1,569	1,288	1,177
Verão x Norte	5,922	4,419	4,013	4,387	4,928
IC inferior	4,512	3,325	2,911	3,469	3,366
IC superior	7,390	5,424	5,026	5,528	6,220
Verão x Sul	-2,421	-2,841	-4,138	-3,993	-3,065
IC inferior	-3,439	-3,567	-4,808	-4,574	-4,187
IC superior	-1,403	-1,992	-3,400	-3,295	-2,058
Verão x Nordeste	0,835	0,070	-1,430	-2,490	-3,140
IC inferior	-0,041	-0,882	-1,943	-3,099	-3,950
IC superior	1,852	0,815	-0,826	-2,015	-2,142
Verão x Centro Oeste	-1,914	-1,771	-2,243	-1,774	-0,701
IC inferior	-2,839	-2,519	-2,791	-2,182	-1,289
IC superior	-1,048	-1,187	-1,641	-1,153	0,297
Norte	-19,356	-15,073	-14,643	-14,978	-15,212
IC inferior	-23,826	-17,850	-16,996	-17,734	-19,305
IC superior	-15,598	-12,457	-12,277	-12,454	-10,987
Nordeste	-4,642	-2,809	0,391	3,820	6,673
IC inferior	-6,892	-4,364	-0,917	2,366	4,917
IC superior	-2,443	-1,022	1,502	5,268	8,425
Sul	4,756	4,976	7,668	6,859	4,463
IC inferior	2,198	2,645	5,993	4,829	1,897
IC superior	7,205	6,818	9,169	8,347	7,275
Centro Oeste	2,915	3,340	3,786	2,718	0,657
IC inferior	0,520	1,605	2,508	1,460	-1,946
IC superior	5,338	4,695	4,995	4,020	2,839

Fonte: Resultados da pesquisa

Variável dependente: logaritmo da quantidade de energia em kWh.

Obs.: p10 – percentil 10; p30 – percentil 30; p50 – percentil 50; p70 – percentil 70; p90 – percentil 90.

Limites inferior e superior do intervalo de confiança (IC) de 95%, de 50 repetições de x.

Qtde. é abreviação de quantidade.

*Referem-se às informações do chefe de família do domicílio.

TABELA A2. Demais coeficientes estimados para a demanda residencial por energia elétrica por MRQVI

Variável	Percentis				
	p10	p30	p50	p70	p90
Idade*	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004
IC inferior	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004
IC superior	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004
Anos de estudo*	0,014	0,012	0,012	0,016	0,018
IC inferior	0,013	0,011	0,012	0,016	0,017
IC superior	0,015	0,012	0,012	0,016	0,019
Total morador	0,059	0,062	0,063	0,061	0,056
IC inferior	0,058	0,061	0,062	0,058	0,055
IC superior	0,061	0,063	0,063	0,063	0,058
Cômodos	0,016	0,013	0,013	0,013	0,014
IC inferior	0,016	0,013	0,013	0,012	0,014
IC superior	0,016	0,013	0,013	0,013	0,014
Casa	0,041	0,031	0,020	0,024	0,020
IC inferior	0,038	0,028	0,019	0,010	0,014
IC superior	0,044	0,034	0,021	0,038	0,025
Domicílio próprio	-0,017	-0,010	-0,014	-0,003	0,000
IC inferior	-0,019	-0,010	-0,017	-0,015	-0,003
IC superior	-0,015	-0,009	-0,010	0,008	0,003
Domicílio cedido	-0,013	0,015	0,010	0,005	0,017
IC inferior	-0,017	0,010	0,005	-0,012	0,012
IC superior	-0,010	0,021	0,015	0,023	0,023
Piso frio	0,074	0,043	0,019	0,002	0,001
IC inferior	0,073	0,042	0,016	-0,004	-0,009
IC superior	0,075	0,045	0,021	0,008	0,012
Parede alvenaria	0,042	0,028	0,030	0,050	0,064
IC inferior	0,034	0,027	0,028	0,045	0,059
IC superior	0,050	0,028	0,033	0,055	0,069
Telha	-0,058	-0,039	-0,061	-0,068	-0,080
IC inferior	-0,063	-0,042	-0,063	-0,073	-0,086
IC superior	-0,052	-0,035	-0,060	-0,064	-0,074
Área urbana	0,136	0,097	0,059	0,059	0,058
IC inferior	0,119	0,089	0,059	0,057	0,055
IC superior	0,152	0,104	0,060	0,060	0,061
Norte	-19,444	-14,737	-14,330	-14,862	-14,475
IC inferior	-22,176	-16,023	-15,819	-16,132	-16,645
IC superior	-16,711	-13,452	-12,841	-13,593	-12,306
Nordeste	-4,939	-2,769	0,409	3,926	6,861
IC inferior	-5,565	-3,241	0,119	3,203	5,993
IC superior	-4,312	-2,297	0,698	4,650	7,730

Continua (...)

Continuação (...)

Variável	Percentis				
	p10	p30	p50	p70	p90
Sul	3,765	5,082	6,982	6,736	5,072
IC inferior	3,312	3,721	5,993	6,547	4,572
IC superior	4,219	6,443	7,971	6,924	5,573
Centro Oeste	1,560	3,045	3,631	2,528	1,010
IC inferior	-0,599	2,065	2,560	2,251	0,003
IC superior	3,718	4,025	4,702	2,804	2,017
Inverno x Norte	0,028	-0,064	0,224	-0,053	-0,429
IC inferior	-0,052	-0,249	-0,130	-0,475	-1,132
IC superior	0,109	0,122	0,578	0,368	0,275
Inverno x Sul	1,080	1,319	1,798	1,986	1,834
IC inferior	0,981	1,256	1,739	1,748	1,381
IC superior	1,179	1,382	1,858	2,224	2,287
Inverno x Nordeste	0,576	0,525	1,120	1,164	0,883
IC inferior	0,375	0,486	0,982	0,980	0,345
IC superior	0,777	0,563	1,259	1,348	1,422
Inverno x Centro Oeste	0,984	0,542	0,742	0,567	0,197
IC inferior	0,867	0,314	0,372	0,205	-0,328
IC superior	1,102	0,770	1,113	0,930	0,721
Verão x Norte	5,971	4,619	4,224	4,646	4,871
IC inferior	5,052	4,044	3,421	3,851	3,522
IC superior	6,890	5,194	5,026	5,442	6,220
Verão x Sul	-2,154	-2,773	-3,824	-3,899	-3,223
IC inferior	-2,384	-3,148	-4,070	-4,065	-3,829
IC superior	-1,924	-2,398	-3,578	-3,734	-2,617
Verão x Nordeste	0,912	0,287	-1,266	-2,414	-3,080
IC inferior	0,523	0,175	-1,306	-2,467	-3,864
IC superior	1,301	0,399	-1,226	-2,360	-2,295
Verão x Centro Oeste	-1,371	-1,428	-1,803	-1,310	-0,516
IC inferior	-1,935	-1,521	-1,819	-1,566	-1,329
IC superior	-0,807	-1,335	-1,786	-1,053	0,297

Fonte: Resultados da pesquisa

Variável dependente: logaritmo da quantidade de energia em kWh.

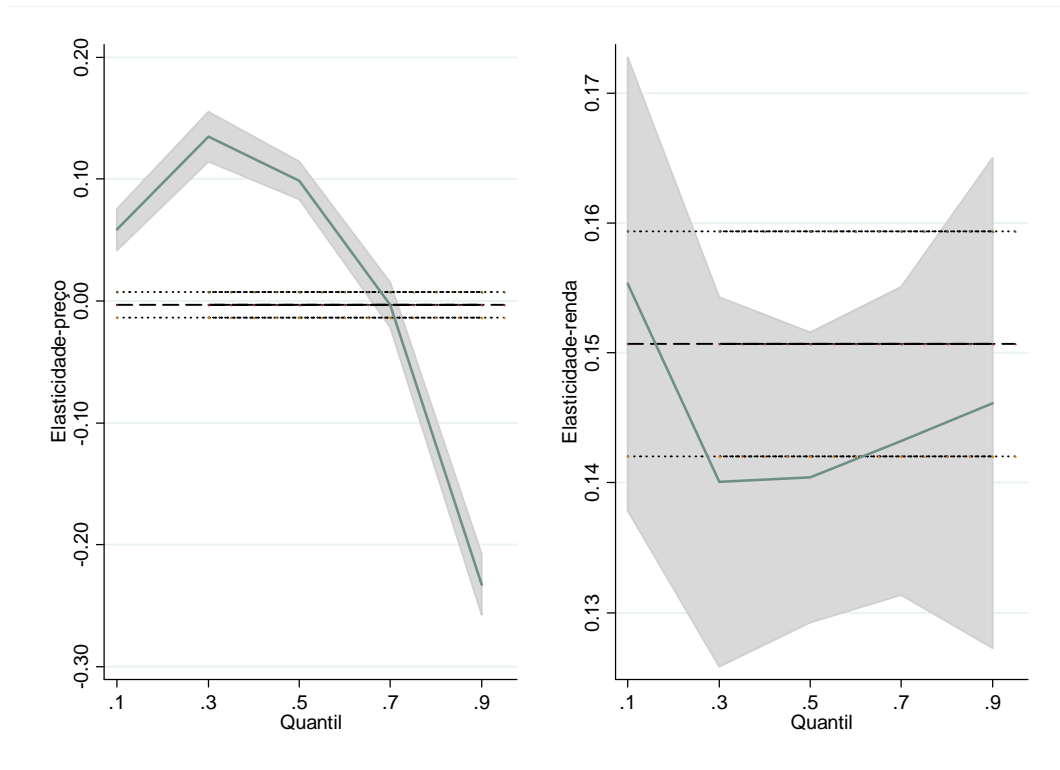
Obs.: p10 – percentil 10; p30 – percentil 30; p50 – percentil 50; p70 – percentil 70; p90 – percentil 90.

Limites inferior e superior do intervalo de confiança (IC) de 95%, de 50 repetições de x. Qtde. é abreviação de quantidade.

*Referem-se às informações do chefe de família do domicílio.

Intervalos de confiança que contém zero com 95% de confiança não são estatisticamente significativos.

FIGURA A3. Comportamento dos coeficientes estimados da elasticidade-preço e renda segundo os quantis da distribuição do consumo de energia elétrica residencial estimado por RQ.



Fonte : Resultados da pesquisa. A linha horizontal representa a estimativa por MQO e as linhas pontilhadas o intervalo de confiança de 95%.