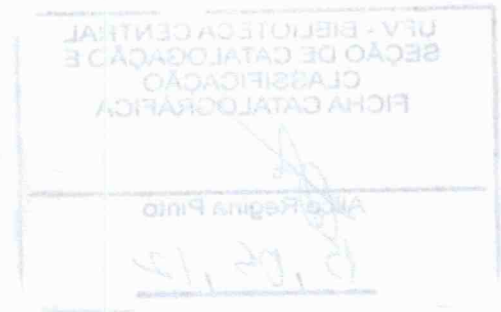


LORA DOS ANJOS RODRIGUES

**EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DEMANDA DE ENERGIA
ELÉTRICA NO BRASIL**

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
2012



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

T

R696e
2012

Rodrigues, Lora dos Anjos, 1986-
Efeitos das mudanças climáticas na demanda de energia
elétrica no Brasil / Lora dos Anjos Rodrigues. – Viçosa, MG,
2012.

xi, 66f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: José Gustavo Féres.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 54-58

1. Econometria. 2. Mudanças climáticas. 3. Energia elétrica
- Consumo. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.


CDD 22. ed. 330.015195

LORA DOS ANJOS RODRIGUES

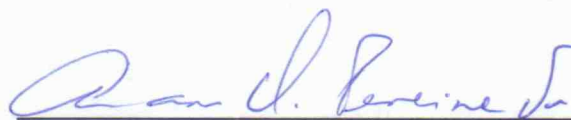
**EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DEMANDA DE
ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL**

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*.

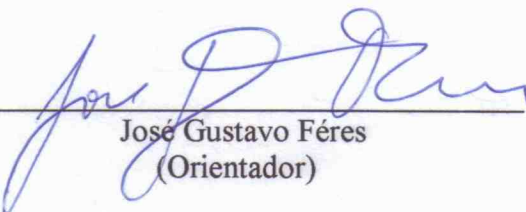
APROVADA: 15 de fevereiro de 2012.



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, contribuíram com condições que possibilitaram cursar o mestrado e, àqueles que estiveram presentes em minha vida ajudando a concluir esta fase.

Em especial, gostaria de agradecer aos meus pais, Walter e Luiza, que, como sempre digo, me “ensinaram” a gostar de estudar desde que eu era uma criança, dando plenas condições para que eu me dedicasse aos estudos. Além disso, juntamente com minha irmã Lorn, sempre estiveram ao meu lado sendo compreensivos e afetivos, principalmente nos momentos de dificuldade.

Agradeço ao meu orientador, Féres, por participar efetivamente da elaboração deste trabalho, desde sua concepção à execução e conclusão. Ao meu co-orientador, Leonardo, por sua contribuição relevante. E, aos membros da banca, pelas sugestões.

À turma que ingressou comigo no mestrado, pela união nos estudos e festas: Anderson, Antônio, Djalma, Douglas, Felipe, Greigiano, Mateus, Nayara e Paloma.

Aos amigos que fiz, por estarem ao meu lado compartilhando todos os momentos felizes e tristes, em especial, à Nara por fazer de nossa casa um ambiente mais familiar e Paulo pela consideração e confiança.

Aos técnico-administrativos, Carminha, Anízia, Leony, Helena e Brilhante, por facilitarem minha vida, resolvendo os problemas operacionais e agilizando a burocracia.

À ANEEL por disponibilizar os dados, em especial, à Aline Oliveira Moura, quem calculou e enviou as observações de tarifa média por empresa distribuidora de energia elétrica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que concedeu bolsa para financiamento de meus estudos.

Por fim, aos demais professores e colegas do programa que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	iv
RESUMO	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações Iniciais	1
1.2. O Problema e sua Importância	3
1.3. Hipóteses	7
1.4. Objetivos	7
1.4.1. Objetivo Geral.....	7
1.4.2. Objetivos Específicos.....	8
1.5. Estrutura do trabalho	8
2. REVISÃO DE LITERATURA	9
3. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1. Demanda Residencial de Energia Elétrica	16
3.2. Demanda Comercial e Industrial de Energia Elétrica	24
4. METODOLOGIA	26
4.1. Estimação da Demanda Residencial de Energia Elétrica.....	26
4.1.1. Estimador Arellano-Bond.....	29
4.1.2. Forma Funcional.....	31

4.2. Simulação do Impacto das Mudanças Climáticas na Demanda de Energia Elétrica.....	33
4.3. Dados.....	36
4.3.1. Estatísticas Descritivas	39
5. RESULTADOS.....	42
5.1. Demanda de Energia Elétrica	42
5.2. Impacto das Mudanças Climáticas na Demanda de Energia Elétrica	48
6. CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS.....	54
APÊNDICE.....	59

LISTA DE TABELAS

	Página
1 – Resumo dos resultados sobre demanda de energia elétrica da literatura nacional.....	12
2 – Fonte, unidade de medida e nome das variáveis utilizadas nos três modelos de demanda de energia elétrica e no modelo de simulação.....	36
3 – Média, variância desvio-padrão, valor mínimo e valor máximo dos dados estaduais utilizados na estimação dos três modelos de demanda.....	39
4 – Média, variância desvio-padrão, valor mínimo e valor máximo dos dados estaduais de temperatura utilizados na estimação dos três modelos de demanda e/ou na simulação.....	40
5 – Coeficientes estimados para as demandas Residencial, Comercial e Industrial de energia elétrica do Brasil, 1991 – 2001, considerando a temperatura trimestral	44
6 – Elasticidades das demandas Residencial, Comercial e Industrial em relação aos seus determinantes, considerando a temperatura trimestral	46
7 – Variação percentual da quantidade consumida de energia elétrica do Brasil e suas regiões esperada para cada período em relação ao período PRESENTE (1991 – 2001), conforme cenário considerado.....	49
A1 – Coeficientes estimados para a demanda Residencial de energia elétrica do Brasil, 1991 – 2002, considerando a temperatura trimestral	61
A2 – Coeficientes estimados para especificações alternativas da demanda Comercial de energia elétrica do Brasil, 1991 – 2001, considerando temperatura trimestral	62
A3 – Coeficientes estimados para a demanda Residencial de energia elétrica do Brasil, 1991 – 2002, considerando a temperatura mensal	63
A4 – Coeficientes estimados para as demandas Residencial, Comercial e Industrial de energia elétrica do Brasil, 1991 – 2001, considerando a temperatura mensal	64

A5 – Elasticidades das demandas Residencial, Comercial e Industrial em relação aos seus determinantes, considerando a temperatura mensal	66
---	----

RESUMO

RODRIGUES, Lora dos Anjos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2012. **Efeitos das mudanças climáticas na demanda de energia elétrica no Brasil.** Orientador: José Gustavo Féres. Coorientador: Leonardo Bornacki de Mattos.

A eletricidade vem aumentando sua participação no total do consumo de energia final e se tornando um dos principais componentes do vetor energético no Brasil, ao lado do óleo diesel. As principais classes consumidoras de eletricidade são a industrial, residencial e comercial, respectivamente. O reconhecimento da eletricidade como uma das principais formas energéticas na economia motivou estudos relevantes sobre sua demanda. O estudo da demanda de eletricidade se faz mais importante ainda devido à existência de restrições na expansão da oferta e, assim, necessidade de conservação da energia via gestão da demanda. Os trabalhos empíricos no Brasil têm focado, sobretudo, na questão da elasticidade-preço e elasticidade-renda de demanda por energia. No entanto, eles não incorporam fatores climáticos na verificação de seus determinantes. Já os estudos internacionais, interessados em simular os impactos das mudanças climáticas no consumo de energia, prevêem variações significativas na demanda de energia como forma de resposta adaptativa à elevação da temperatura média projetada. Neste contexto, torna-se evidente a necessidade de um estudo que incorpore fatores climáticos para verificar de forma consistente a relação entre a demanda de eletricidade e seus determinantes. E, forneça informação para o planejamento de políticas de gestão da demanda e de investimentos na expansão da oferta de energia como um todo. Desta forma, a presente pesquisa tem por objetivo investigar os determinantes (elasticidade-preço/renda/temperatura) das demandas residencial, comercial e industrial de energia elétrica do Brasil no período de 1991 a 2002 com ênfase no fator climático. E, verificar o impacto do aumento da temperatura projetada pelos modelos climatológicos para o período de 2010 – 2100 sobre a demanda de energia elétrica. A demanda residencial foi relacionada com a demanda por conforto térmico (nível desejado de temperatura) no interior das construções e modelada como um problema de otimização do consumidor. As demandas comercial e industrial foram relacionadas com a necessidade de fazer um equipamento elétrico funcionar e

modeladas a partir da resolução do problema de otimização do produtor. A estimação dos três modelos foi realizada com dados estaduais em painel dinâmico. Para considerar a ausência de exogeneidade estrita entre as variáveis, optou-se pelo estimador Arellano-Bond. Na simulação foi utilizada uma análise de estática comparativa, em que se obtém a variação do consumo como resposta ao aumento da temperatura trimestral projetado, conforme dois diferentes cenários futuros do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) até o fim do século XXI. De forma geral, os resultados foram satisfatórios para o modelo residencial, que apresentou resultados coerentes e significativos. Assim como na maioria dos estudos brasileiros, a demanda residencial mostrou-se inelástica em relação às modificações na renda e na tarifa. Quanto à temperatura trimestral, diferencial desta pesquisa, mostrou-se determinante para explicar o consumo de energia elétrica do Brasil. Os resultados da simulação sugerem que as demandas residencial e industrial do Brasil e suas regiões poderão aumentar como resposta adaptativa ao aumento projetado na temperatura, devido ao aumento das necessidades de refrigeração. É possível concluir que, é importante considerar os fatores climáticos no estudo da demanda de eletricidade para que se possa obter estimativas confiáveis de sua relação com os seus determinantes e sobre como as diferentes classes adaptarão seu nível de consumo com resposta ao processo de mudanças climáticas. Conclui-se, também, que há necessidade de investimentos em tecnologias que tornem a economia, sobretudo a classe residencial, menos dependente de uma única forma energética. Assim, dota-se o setor energético de informação capaz de auxiliar no provimento adequado e, conseqüentemente, evitar o comprometimento do ritmo de crescimento econômico nacional, que tem no vetor energético uma das principais forças motrizes.

ABSTRACT

RODRIGUES, Lora dos Anjos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2012. **Climate change effects in electrical energy demand in Brazil**. Adviser: José Gustavo Féres. Co-adviser: Leonardo Bornacki de Mattos.

The electricity has been increasing its share in total final energy consumption and it is becoming a major component of the energy vector in Brazil. Main electricity consumers are industrial, residential and commercial users, respectively. There is a large literature aimed at estimating energy demand. Electricity demand studies have become even more important due to restrictions in supply-side management. In this context, understanding the determinants of energy demand is a key issue for planning purposes. Demand estimation studies in Brazil have focused mainly on price and income elasticity. However, they do not incorporate climate factors. This is in sharp contrast with international studies, which have been interested in simulating the impacts of climate change on energy consumption. The studies predict that energy demand will react to climate change, since users will adapt their consumption to new climate conditions. The need for a study that incorporates climatic factors to determine a consistent relationship between electricity demand and its determinants becomes evident in this context. It provides key information for demand management policies and energy supply expansion investment as a whole. Thus this research aims to investigate the electric power residential, commercial and industrial demands in Brazil from 1991 to 2002 with emphasis on climatic factors. And it aims at simulating how projected temperatures for the period 2010 - 2100 will influence energy demand. The residential demand was related to thermal comfort and it was modeled as a consumer's optimization problem. The commercial and industrial demands were related to the need to make electrical equipment to function and they were modeled as a producer's optimization problem. The three models were estimated by using state-level data in a dynamic panel. The Arellano-Bond estimation method was adopted to account for endogeneity issues. Simulation exercises were conducted to assess how energy demand may vary in response to temperature increases according to two different future scenarios of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The results were satisfactory

for the residential model. It showed consistent and significant results. The residential demand is income and price inelastic as in most Brazilian studies. The quarterly temperature is significant in explaining electric energy consumption. Simulation results suggest that residential and industrial demands may increase as an adaptive response to rising temperatures. It is possible to conclude that it is important to consider climatic factors in electricity demand studies in order to obtain reliable estimates. It also follows that investments aimed at diversifying the Brazilian energy matrix are of paramount importance to make the economy less dependent on a single energy form.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

A eletricidade vem aumentando sua participação no total de energia final consumida no Brasil, superando os níveis de consumo de lenha a partir dos anos 1990 e se tornando tão significativa quanto o consumo de óleo diesel nos dias atuais. Conforme análise dos dados do Balanço Energético Nacional (BEN, 2010), 5,5% da energia consumida era proveniente da eletricidade em 1970, passando para 16,6% em 2009, triplicando sua importância.

As principais classes consumidoras de eletricidade são a industrial, residencial e comercial, respectivamente. De 1970 a 2009, a classe industrial consumiu uma média de 50% do total e as três classes juntas oscilaram sempre em torno de 85% do total consumido de energia elétrica, de acordo com dados do BEN (2010). Ainda, segundo a mesma fonte, o consumo das três classes cresceu a uma taxa anual média em torno de 7% nesse período.

O consumo de energia final proveniente da eletricidade, pela classe comercial, vem aumentando constantemente e alcançou praticamente 90% do total da energia consumida pelo setor em 2009. Para a classe residencial, a maior parte da energia consumida é proveniente da eletricidade e da lenha, aproximadamente 38% e 33%, respectivamente. Já para a classe industrial, as principais fontes são novamente a eletricidade e o bagaço de cana, representando cada uma 21% do total da energia consumida pelo setor.

A análise dos dados regionais a partir da década de 1990 indica que há grande diferença na participação do total consumido de eletricidade, pois, somente a região Sudeste consome mais de 50%, enquanto a região Centro-oeste não atinge 10% e, o Norte do país apenas, aproximadamente, 5% do total consumido, BEN (2010).

O reconhecimento da eletricidade como uma das principais componentes do vetor energético da economia motivou estudos sobre os determinantes de sua demanda. Um dos primeiros estudos foi realizado por Modiano (1984), no qual se estimaram as elasticidades-preço/renda da demanda de energia elétrica para as três principais classes de consumo no período de 1966 – 1981, por meio do método dos

Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), a fim de verificar sua sensibilidade em relação aos seus determinantes.

Desde então, trabalhos mais recentes também se propuseram a analisar a sensibilidade da demanda de energia elétrica em relação à renda e preço. Schmdit e Lima (2004) fizeram uma análise da demanda das três classes de consumo a partir de dados referentes ao período de 1969 a 1999. Andrade e Lobão (1997) analisaram a demanda residencial e realizaram previsão de consumo para o período 1997 – 2005. Ambos os trabalhos, fazendo uso da abordagem VAR/VEC¹, possibilitaram ganhos em termos de confiança nas estimativas, visto que o método é mais adequado às propriedades estatísticas das séries de dados utilizadas nos modelos.

Considerando a importância do estudo regional, dadas as importantes diferenças, Irffi et. al. (2009) e Siqueira, Cordeiro Jr e Castelar (2006) analisaram a demanda das três classes de consumo para a região Nordeste e encontraram resultados distintos daqueles obtidos por Schmdit e Lima (2004) para o Brasil, em termos de magnitude da sensibilidade. Mattos e Lima (2005) analisaram a demanda residencial e Mattos et. al. (2005) a demanda industrial de energia elétrica para Minas Gerais, segundo maior estado consumidor.

Embora, na literatura nacional, existam relevantes estudos preocupados em verificar os determinantes da demanda de energia elétrica no Brasil, eles ainda não incorporam fatores climáticos em sua análise. O que resulta em estimativas possivelmente viesadas, proveniente da omissão de variável relevante, e na impossibilidade de se abordar as estratégias de adaptação ao inerente processo de mudanças climáticas.

A literatura internacional adiantou-se em considerar a influência do clima sobre a demanda de energia (não somente a eletricidade), frente às evidências de mudanças climáticas. Aroonruengsawat e Auffhammer (2009) simulam os impactos de aumento da temperatura decorrente das mudanças climáticas sobre o consumo residencial de energia elétrica para o estado da Califórnia. Bigano, Bosello e Marano (2006), por meio de um modelo em painel dinâmico, utilizaram a temperatura média anual para analisar o efeito do clima sobre a demanda de um vetor de energias dos países membros da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e outros. Silk e Joutz (1997) analisaram a demanda residencial de energia

¹ Vetor Auto-Regressivo/Vetor de Correção de Erros.

elétrica dos Estados Unidos (EUA) com a inclusão de índices construídos para captar efeitos das mudanças climáticas

Estes estudos, dentre outros, constataram a importância dos fatores climáticos para explicar o comportamento da demanda de energia e, ao controlá-los explicitamente, podem evitar estimativas tendenciosas ou inconsistentes dos determinantes da demanda. E, aqueles que realizam previsões fornecem informação que possibilita o planejamento dos diversos setores de geração de energia para responder às variações na demanda como reação às mudanças climáticas.

1.2. O Problema e sua Importância

As mudanças climáticas, segundo *United Nations* (1992), podem ser definidas como a mudança no clima (média da temperatura ou sua variação) por longo período de anos proveniente da ação antrópica e, ou, variabilidade climática natural que alteram a composição atmosférica mundial.

Estas mudanças são decorrentes do aquecimento global causado pelo aumento da concentração de gases do efeito estufa (GEE) que provoca retenção de calor na superfície terrestre e elevação da temperatura média anual. Conforme o Quarto Relatório de Avaliação (AR4) do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC 2007), as emissões mundiais de dióxido de carbono (CO₂), principal gás do efeito estufa, cresceram a uma taxa 80% de 1970 a 2004.

Ainda segundo dados do AR4 (IPCC 2007), os principais setores responsáveis pelas emissões de GEE são Oferta de Energia (25,9%), Indústria (19,4%) e Florestal (17,4%). A liderança do setor de geração de energia permite a compreensão da afirmação de Mansur, Mendelsohn e Morrison (2008)² de que a maioria dos estudos (que existiam até então) estava preocupada em investigar os efeitos do consumo de energia sobre o aquecimento global e não o contrário. No caso brasileiro, o desmatamento da Amazônia constitui a principal fonte de GEE, respondendo por cerca de 60% do total emitido atualmente, conforme o estudo Economia da Mudança do Clima no Brasil (EMCB, 2010).

As evidências de que essas mudanças estão ocorrendo podem ser observadas em fenômenos como a elevação da temperatura média do ar e dos oceanos, o

² Realizaram estudo para investigar a adaptação do consumo de energia como resposta aos cenários projetados de clima futuro para os EUA.

derretimento de geleiras glaciais e calotas de gelo, o conseqüente aumento do nível do mar, a diminuição da cobertura de neve e gelo e, dentre outros, modificações no regime de chuvas. De acordo com o AR4 (IPCC 2007), os anos que compreendem o período de 1995-2006 foram os anos mais quentes desde 1850. E, segundo o Terceiro relatório de avaliação (IPCC 2001), a tendência linear de crescimento da temperatura média passou de 0,6 °C entre 1901 – 2000, para 0,74 °C entre 1906 – 2005.

A tendência de aquecimento deve continuar, a elevação da temperatura média global deve variar dentro do intervalo 1,1 °C a 6,4 °C³, conforme o AR4 (IPCC 2007), dependendo dos pressupostos assumidos, pelos cenários, sobre a tendência das emissões de GEE, desenvolvimento econômico, entre outros.

Estas mudanças interessam aos pesquisadores na medida em que, além de afetar os sistemas naturais, interferem também na saúde humana e nas atividades econômicas. No caso do setor de energia, há preocupação sobre os seus impactos na demanda, pois, conforme Bigano, Bosello e Marano (2006) observaram, com as fortes ondas de calor que atingiram a Europa, as pessoas parecem ter alterado seu padrão de consumo de energia, instalando cada vez mais condicionadores de ar como uma estratégia adaptativa às bruscas variações positivas recentes no nível da temperatura. Eles acreditam que essa estratégia se repete em nível mundial, com diferença na velocidade e tempo de adaptação.

Nesse sentido, a conseqüente variação na demanda residencial de eletricidade em resposta às mudanças na temperatura vincula-se à busca dos consumidores por bem-estar. Segundo Eskeland (2010), o nível de satisfação ou utilidade dos consumidores está relacionado ao nível de conforto térmico por eles desfrutado e este é função da eletricidade necessária para manter a temperatura desejada por eles no interior das construções. Assim, para o caso comercial, poder-se-ia dizer que a demanda de energia elétrica para fins de refrigeração/aquecimento do ambiente tem como objetivo manter o conforto dos clientes destes estabelecimentos. Na indústria, espera-se que, em estações quentes, quanto mais elevada for a temperatura, maior será a demanda por eletricidade para resfriamento de equipamentos, no sentido de evitar super aquecimento.

Para a classe industrial, vale adiantar, espera-se influência relativamente menor da temperatura sobre sua demanda de eletricidade, pois a quantidade

³ Em relação à temperatura média em 1990.

demandada proveniente das necessidades de refrigeração tem pequena participação no total consumido. Na maioria das indústrias, a eletricidade é usada principalmente como fator de produção e, assim, tem reduzida participação nas despesas incorridas para a refrigeração de equipamentos.

De fato, estudos interessados em simular o impacto do aumento esperado na temperatura, prevêem, para regiões e estações quentes (temperatura média relativamente mais elevada), aumento significativo na demanda de energia como uma forma de resposta adaptativa. Aroonruengsawat e Auffhammer (2009), apoiados no forte pressuposto de que a resposta da demanda ao clima manter-se-á constante, esperam que a demanda residencial de eletricidade chegue a aumentar em até 100% ao final do século, dependendo da zona climática dentro do estado da Califórnia, como resposta ao aumento do número projetado de dias de calor extremo.

Embora de forma global seja esperado aumento na demanda de energia elétrica em resposta à elevação da temperatura média, deve-se advertir que o efeito do clima sobre a demanda não se dá de forma linear, variando conforme estação do ano e região geográfica. Assim, quando há elevação na temperatura, espera-se um aumento na demanda em estações ou regiões geográficas quentes, devido à maior necessidade de refrigeração. Enquanto, em estações e regiões mais frias, uma redução é esperada como resultado de menor necessidade de aquecimento. Analogamente, para uma queda na temperatura, espera-se uma redução na demanda de eletricidade em estações ou regiões quentes, devido à menor necessidade de refrigeração. E, por fim, em estações e regiões mais frias, um aumento é esperado como resposta à maior necessidade de aquecimento.

Para o Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) encarregou-se, por meio de modelos regionalizados, de construir cenários de clima futuro com base nos cenários globais projetados pelo IPCC em 2007. Em um cenário mais pessimista, que, dentre outras, pressupõe altas emissões de GEE, o aumento da temperatura média pode chegar a 5 °C em 2100 e, em um cenário mais otimista, de emissões relativamente baixas, pode alcançar 3 °C. O aquecimento não será homogêneo em todo território. Na Amazônia, por exemplo, a temperatura média poderá aumentar entre 7 a 8 °C e 4 a 6 °C, respectivamente (EMCB, 2010).

Diante de tais projeções climáticas (de elevação da temperatura média), podem ser esperadas modificações na necessidade de refrigeração/aquecimento e, assim, torna-se evidente a importância de um estudo que se preocupe com o impacto

das mudanças climáticas sobre a demanda de energia elétrica no futuro, dada a importância do setor para a economia brasileira.

Considerando que as projeções de elevação da temperatura não são homogêneas para o território nacional, espera-se que as estratégias de adaptação sejam também diferenciadas. Logo, poderiam ser esperadas, diferenças na magnitude da variação da quantidade de eletricidade demandada. Deste modo, um estudo que considere as diferenças das projeções regionais, possibilitaria a adoção de políticas de planejamento específicas como resposta aos diferentes impactos causados em cada região.

Assim, é importante notar que, embora haja uma literatura nacional relevante sobre demanda de energia elétrica, um estudo que considere fatores climáticos pode proporcionar ganhos em termos de robustez na verificação de seus determinantes, na medida em que elimina o provável viés proveniente da omissão de variável relevante. O estudo da demanda de eletricidade se faz mais importante ainda devido à existência de restrições na expansão da oferta e, assim, necessidade de conservação da energia via gestão da demanda. Dentre outras, para o caso da eletricidade proveniente das hidrelétricas, há restrições na expansão da oferta pela existência limitada de rios com potencial de geração da energia. Para as hidrelétricas e termelétricas existem, por exemplo, restrições ambientais de expansão da capacidade produtiva devido à dificuldade de se mensurar seu impacto. Outra característica restritiva da oferta é que os investimentos na expansão da capacidade produtiva são de grande porte e de retorno em longo prazo, o que muitas vezes desestimula a iniciativa privada, ficando a cargo do governo o planejamento da expansão do setor elétrico.

Além disso, há estudos que projetam redução da vazão de algumas bacias hidrográficas com comprometimento do potencial energético e, conseqüentemente, redução da oferta, visto que a fonte hidráulica é a principal fonte de oferta de eletricidade. Em 2009, 76,9% da eletricidade ofertada foi gerada a partir de fonte hidráulica BEN (2010). Segundo o estudo de Schaeffer et. al.(2008) a vazão média anual pode diminuir em até 10,8%, que implicaria redução de 2,2% na produção das hidrelétricas, caso confirmem-se as mudanças no regime de chuvas projetadas pelo IPCC. O maior impacto está previsto para a região Nordeste, onde, segundo EMCB (2010), a vazão das bacias poderá reduzir-se a um terço da média histórica. Tais estudos ratificam a importância de se conhecer de forma consistente os determinantes

da demanda para que possam subsidiar a elaboração de políticas de planejamento de gestão da demanda e da oferta do setor energético como um todo.

Neste sentido, a presente pesquisa pretende investigar as seguintes questões: A temperatura exerceu impacto sobre as demandas residencial, comercial e industrial de energia elétrica do Brasil no período de 1991 a 2002⁴? As demandas respondem de forma diferenciada às variações na temperatura? Existe relação não-linear entre demanda de energia elétrica e temperatura? De que forma estas demandas vão reagir ao aumento gradual da temperatura projetado por modelos climatológicos até o final do século XXI? E ainda, as demandas regionais sofrerão impacto muito desigual dado o aumento esperado na temperatura?

1.3. Hipóteses

a) Espera-se que a temperatura seja um fator determinante da demanda de energia elétrica e que as três classes de consumo respondam de forma diferenciada às variações na temperatura.

b) Espera-se, também, que haja uma relação não-linear entre consumo de eletricidade e temperatura, de modo que a resposta do consumo em relação à mudança na temperatura varie conforme estação considerada.

c) Por fim, espera-se que, frente às mudanças climáticas que prevêm elevação da temperatura, as três classes de consumo, como uma estratégia adaptativa, aumentem sua demanda de energia elétrica de forma diferenciada entre as regiões.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo Geral

A pesquisa tem como objetivo investigar os determinantes da demanda residencial, comercial e industrial de energia elétrica do Brasil no período de 1991 a 2002 com ênfase na influência do fator climático. Pretende-se, adicionalmente, verificar o impacto do aumento da temperatura projetado pelos modelos

⁴ O período escolhido deve-se à disponibilidade de dados. Não foi possível obter dados sobre temperatura para anos posteriores a 2002.

climatológicos utilizados pelo IPCC para o período de 2010 – 2100 sobre a demanda de energia elétrica.

1.4.2. Objetivos Específicos

Especificamente, pretende-se:

a) Analisar a sensibilidade da demanda em relação ao preço, renda e, em especial, à temperatura das três principais classes de consumo do país no período em estudo;

b) Simular a variação da demanda de energia elétrica das três classes de consumo do Brasil e de suas regiões, face às projeções de temperatura dos modelos climatológicos do IPCC, para os períodos de 2010 – 2039, 2040 – 2069 e 2070 – 2099.

1.5. Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em mais cinco seções, além desta introdução. Na segunda seção, encontra-se a revisão de literatura, na terceira, o referencial teórico que fundamenta a pesquisa, na quarta, apresenta-se a metodologia utilizada na execução do trabalho. Os resultados estão disponíveis na quinta seção e as considerações finais são apresentadas na sexta seção.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção, apresentam-se alguns dos principais estudos sobre energia elétrica da literatura nacional e sobre energia elétrica e mudanças climáticas da literatura internacional.

Reconhecendo a importância do setor elétrico e a necessidade de se verificar a sensibilidade da demanda aos seus determinantes, para fins de planejamento de políticas de conservação e substituição energética e dimensionamento da capacidade produtiva, Modiano (1984) realizou um dos primeiros estudos sobre demanda de energia elétrica para o Brasil. Os resultados encontrados para o período de 1966 – 1981 indicam elasticidade-renda superior à unidade para as classes residencial, comercial e industrial. O autor admite a limitação de estimativas possivelmente inconsistentes, na medida em que o método clássico de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) não considera a simultaneidade existente entre preço e quantidade consumida.

Andrade e Lobão (1997) atualizaram parte do estudo de Modiano (1984), estimando a demanda residencial de energia elétrica do país para o período de 1970 a 1995. Realizam exercício de previsão do consumo para o período de 1997 a 2005, pelo Método de Correção de Erros Vetoriais (MCEV), para demonstrar que a evolução da demanda depende fundamentalmente da política tarifária adotada. Os resultados indicam inelasticidade da demanda em relação aos seus determinantes e valores dos coeficientes menores do que os encontrados por Modiano (1984), que aponta a possibilidade de viés em sua própria estimativa. O exercício os conduziu à conclusão de que, embora a demanda apresente baixa sensibilidade às mudanças em seu preço, a tarifa é importante variável em uma política de racionamento, na medida em que seria capaz de reduzir substancialmente a quantidade demandada de eletricidade.

Outro importante estudo para economia brasileira foi realizado por Schmidt e Lima (2004), que estimaram as demandas residencial, comercial e industrial de energia elétrica com dados de 1969 a 1999. A partir de um MCEV, realizaram previsões da quantidade consumida para o período de 2000 a 2005. Ao considerar a demanda de energia elétrica como derivada da necessidade de fazer alguma máquina

ou aparelho elétrico funcionar, modelaram inclusive o problema do consumidor residencial como um problema de minimização de custos, pois a energia poderia ser interpretada, neste caso, como um fator que participa na produção de um bem final. Os resultados apontam que, enquanto as demandas residencial e comercial são inelásticas em relação à renda, a demanda industrial apresentou tal coeficiente demasiadamente grande, próximo de 2. Para as três classes de consumo, a renda é responsável por maior variação na demanda, seguida pelo preço do bem intensivo em eletricidade, que é seguido pela tarifa. Ao comparar as previsões com o valor efetivamente consumido em 2000 e 2001, concluíram que as previsões de 2002 a 2005 podem estar prejudicadas por uma possível quebra estrutural provocada pelo racionamento.

A economia brasileira esteve sujeita a um programa de racionamento do consumo de energia elétrica que atingiu as regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste de junho de 2001 a fevereiro de 2002, e a região Norte de agosto de 2001 a janeiro de 2002⁵. Neste período, foram determinadas metas mensais de consumo para cada família, unidade comercial e industrial. O não cumprimento da meta seria punido por aplicação de tarifa mais elevada. Se o consumo extrapolasse a meta por três meses consecutivos seria determinado corte no fornecimento.

Conscientes da relevância em desagregar os estudos sobre o setor, Mattos e Lima (2005) estimaram a demanda residencial de energia elétrica para o estado de Minas Gerais no período de 1970 – 2002. Consideraram o racionamento que atingiu o período (2001 – 2002) no ajuste do modelo pela introdução de uma variável *dummy*. Seus resultados indicam que a demanda de energia é inelástica ao preço, à renda e ao preço dos eletrodomésticos. Verificaram a ocorrência da quebra estrutural, indicando mudança do padrão de consumo para níveis inferiores ao período pré-racionamento. Concluíram que a efetividade do programa de racionamento, mesmo na presença de baixa sensibilidade ao preço, poderia ser explicada pela medida que determinava corte no fornecimento de energia caso a quantidade consumida ultrapassasse um limite máximo estabelecido. Por fim, pela comparação de seus resultados com os do Brasil (encontrados por outros autores), verificaram maior sensibilidade da demanda mineira aos seus determinantes e afirmaram a importância

⁵O Sul do país foi a única região onde não houve necessidade de racionamento devido à concentração de chuvas ocorrida na primeira metade de 2001.

do estudo regional no direcionamento de políticas específicas condizentes aos padrões de consumo de cada estado.

Mattos et.al. (2005) realizaram estudo semelhante para o caso da indústria mineira, estimando a demanda de energia elétrica para o período de 1970 a 2002. Incorporaram os efeitos do racionamento em suas estimativas a fim de obter previsões adequadas do consumo para o período de 2004 – 2008. Os resultados indicam ausência de sensibilidade do consumo às modificações na tarifa, na medida em que seu parâmetro não apresentou significância estatística, e elasticidade-renda inferior à unidade. O modelo apresenta boa capacidade preditiva, pois o valor projetado para o ano de 2003 aproxima-se do consumo efetivamente observado. Os autores concluíram que suas projeções ratificam a importância da expansão continuada da capacidade produtiva do setor a fim de evitar a necessidade de novo racionamento, pois a taxa de crescimento do consumo projetada para 2004 – 2008 supera o crescimento observado na década de 1990.

No mesmo sentido, Siqueira, Cordeiro Jr. e Castelar (2006) estimaram a demanda de energia elétrica das três principais classes de consumo para o Nordeste no período de 1970 a 2003. Propuseram uma metodologia que seria capaz de incorporar os efeitos do racionamento sobre as elasticidades-preço/renda e sobre as previsões de consumo para 2004 – 2010, pela adoção da hipótese de recuperação do consumo via decaimento geométrico da diferença entre o valor previsto pelo modelo e o efetivamente ocorrido. Pois, previsões iniciais, a partir dos dados 1970 – 2000, comparadas com o consumo efetivamente observado em 2001 – 2003 (as séries já estavam disponíveis) indicam recuperação do consumo no longo prazo. Cenários foram construídos para possibilitar comparações com as previsões obtidas pela Eletrobrás. A comparação entre as previsões do modelo proposto e o consumo observado no ano de 2004 indica melhor ajustamento em relação às previsões da Eletrobrás e de Schmidt e Lima (2004), que não incorporam os efeitos do racionamento. Concluíram que seus resultados corroboram a constatação recente de que os consumidores estão retomando seus hábitos pré-acionamento e convergindo para a tendência de longo prazo do consumo de energia elétrica.

A fim de facilitar a comparação dos resultados obtidos pelos diferentes estudos, elaborou-se a Tabela 1 para resumir os principais resultados:

Tabela 1 – Resumo dos resultados sobre demanda de energia elétrica da literatura nacional

Autor	Abrangência Geográfica	Método de Estimação	Setores Avaliados	Elasticidade Preço	Elasticidade Renda
Modiano (1984)	Brasil	MQO ¹	Residencial	-0,46	1,12
			Comercial	-0,22	1,14
			Industrial	-0,001 ^{NS}	1,66
Andrade e Lobão (1997)	Brasil	MCEV ²	Residencial	-0,05	0,21
Schmidt e Lima (2004)	Brasil	MCEV	Residencial	-0,08	0,53
			Comercial	-0,17	0,63
			Industrial	-0,54	1,91
Mattos e Lima (2005)	Minas Gerais	MCEV	Residencial	-0,26	0,53
Mattos et al. (2005)	Minas Gerais	MCEV	Industrial	-0,25 ^{NS}	0,56
Siqueira, Cordeiro Jr. e Castelar (2006)	Nordeste	MCEV	Residencial	-0,41	1,4
			Comercial	-0,50	1,02
			Industrial	-0,44	1,18

Fonte: Elaboração dos autores.

Nota: NS refere-se à estimativa estatisticamente não significativa. ¹MQO refere-se ao método de Mínimos Quadrados Ordinários. ²MCEV refere-se ao Mecanismo de Correção de Erros Vetoriais.

Adicionalmente, pode-se citar alguns estudos da área de engenharia que também empreenderam esforços no sentido de conhecer a demanda de energia elétrica brasileira. Achão (2003) atualizou o estudo de Arouca (1982) e calculou a demanda direta (aquela consumida pelos equipamentos) residencial de energia elétrica por uso final para 11 regiões metropolitanas para o ano de 1996. Seu resultado mostra que a maior parte da eletricidade consumida nas residências, 34,9%, era destinada para atender à necessidade de conservação dos alimentos pelo uso de geladeira e freezer. Para atender à necessidade de condicionamento ambiental, verifica-se que 11,2% da eletricidade era utilizada por meio de ventilador e ar-condicionado. No estudo de Arouca (1982), apenas 2,2% da eletricidade consumida era destinada para tal necessidade em 1975.

Com o inerente processo de mudanças climáticas, os estudos internacionais adiantaram-se em considerar a importância da temperatura na análise da demanda de energia.

Bigano, Bosello e Marano (2006) estimaram a demanda de um vetor de fontes de energias (que inclui a eletricidade) para as três principais classes de consumo de alguns países da OCDE no período compreendido entre 1978 e 2000.

Empregando um modelo em painel dinâmico, foram os primeiros a utilizar macro dados em um modelo de painel. O estudo foi motivado pela observação de mudanças no padrão de consumo de energia após a ocorrência de severas ondas de calor na Europa (decorrente das mudanças climáticas). A temperatura teve uma influência diferente sobre a demanda quando a energia se caracteriza como um bem de consumo final ou como um fator primário, pois, enquanto a demanda residencial apresentou uma relação negativa com a temperatura, a demanda industrial se mostrou insensível às mudanças na temperatura. Os autores incluíram uma variável de tendência para tentar ajustar melhor os modelos comercial e industrial. Para o setor comercial, a tendência é não significativa em quase todas as demandas e torna a elasticidade-temperatura da demanda de eletricidade não significativa. Os autores concluíram que a tendência não melhora os modelos e que esse fato é uma evidência para a ausência de relação entre a demanda energética industrial e temperatura.

Considerando o efeito não-linear da temperatura sobre o consumo de eletricidade, Deschênes e Greenstone (2007) estimaram o primeiro modelo em painel para analisar os impactos das mudanças climáticas na demanda residencial de eletricidade dos EUA. Este é o primeiro trabalho que utilizou dados de contas de eletricidade a nível doméstico. Obtiveram uma função resposta do consumo de energia elétrica a diferentes níveis de temperatura em formato de U. Assim, o impacto do aumento de dias nos estratos mais elevados/baixos de temperatura é maior sobre o consumo de eletricidade.

Mansur, Mendelsohn e Morrison (2008) estimaram modelos de escolha e demanda condicional de energia para as residências e comércio dos EUA incluindo informações sobre temperatura e precipitação. Em relação ao semelhante estudo de Baughman e Joskow (1976), destacam a vantagem de eliminar o provável viés derivado da dependência da escolha do tipo de combustível e decisão de consumo. Os autores também projetaram os impactos das mudanças climáticas (baseados em cenários do IPCC) sobre o bem-estar para 2100. Os resultados apontam que, embora o nível de precipitação seja determinante na escolha do combustível, não apresenta impacto estatisticamente significativo sobre consumo. Em regiões ou estações mais quentes, os domicílios e estabelecimentos comerciais tendem a escolher eletricidade para resfriar e aquecer. Ao encarar temperaturas levemente mais quentes os consumidores consomem mais eletricidade do que outros combustíveis, especialmente óleo. Os autores concluem que o uso de eletricidade somente é mais

atraente do que somada a outro combustível em lugares onde o aquecimento é menos importante.

Aroonruengsawat e Auffhammer (2009) simularam os impactos de aumento da temperatura sobre o consumo residencial de energia elétrica decorrente das mudanças climáticas para o estado da Califórnia a partir de micro-dados coletados entre 2003 e 2006. Os resultados da simulação (que prevê elevação no nível de temperatura) são consistentes com os de Deschênes e Greenstone (2007), que encontraram um efeito ligeiramente menor utilizando dados nacionais, pois a Califórnia é um estado com uma das menores demanda de energia (elétrica ou não) para aquecimento. As funções resposta à temperatura variam muito entre as zonas climáticas na Califórnia. Isto sugere que a agregação de dados em todo estado pode ignorar importantes não-linearidades que, combinadas com diferentes alterações climáticas em todo o estado, podem levar à subestimação da demanda de eletricidade no futuro.

Destacando a necessidade de se considerar os efeitos do clima sobre a demanda de energia elétrica para obtenção de estimativas consistentes da elasticidade-preço/renda, Eskeland e Mideksa (2010) estimaram a demanda residencial de eletricidade para 31 países europeus utilizando informações que abrangem o período compreendido entre 1995 e 2005. Eles eliminam o viés proveniente da omissão de variáveis e trabalham a ausência de exogeneidade estrita das variáveis explicativas. Fundamentam seu modelo na idéia de que o consumo de eletricidade, embora seja uma das principais fontes de emissão de GEE, pode promover oportunidade de adaptação às mudanças climáticas (demanda para aquecimento e refrigeração), na medida em que está associado ao nível de conforto térmico no interior das construções. Seus resultados indicam que a demanda de eletricidade é bastante inelástica em relação às mudanças no preço e a elasticidade-renda é menor que um. O efeito marginal de *cooling degree days* (CDD) é superior ao de *heating degree days* (HDD).⁶ Concluem sugerindo que as mudanças climáticas, mais facilmente, elevarão a demanda no sul europeu no verão e diminuirão no norte no inverno.

⁶ *Heating degree days* (HDD) e *cooling degree days* (CDD) referem-se aos graus diários fora da zona de conforto $18 - 22$ °Celsius (na qual assume-se demanda nula para refrigeração/aquecimento) e são computados da seguinte forma: $HDD_{it} = 18 - T_{it}$ e $CDD_{it} = T_{it} - 22$, sendo sempre positivos.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Os trabalhos existentes em economia para o Brasil utilizam a abordagem tradicional que trata a demanda de energia elétrica como bem de consumo final na função de utilidade do consumidor e, segundo Berndt (1991) e Kamershen e Porter (2004), como resultado indireto da utilização de equipamentos que necessitam de energia para funcionar.

Nesta pesquisa, o interesse em avaliar a variação do consumo de energia elétrica como resposta adaptativa às mudanças climáticas ou aumento da temperatura média global permite, alternativamente, relacionar a demanda residencial por eletricidade com a demanda por conforto térmico no interior das construções, seguindo a abordagem teórica utilizada por Eskeland e Mideksa (2010). Para os casos comercial e industrial, adota-se a abordagem tradicional, em que a demanda de energia elétrica é tratada essencialmente como resultado indireto da utilização de equipamentos que precisam de eletricidade para funcionar. O comércio e indústria demandam eletricidade como insumo envolvido na geração de bens e serviços. A empresa comercial representativa, dentre outros fins, demanda eletricidade para atender às necessidades de refrigeração/aquecimento do ambiente de atendimento de potenciais consumidores. Para uma indústria representativa, a eletricidade é demandada para atender às necessidades de resfriar máquinas e equipamentos envolvidos no processo produtivo.

Associar a demanda por eletricidade com a temperatura admite que a demanda residencial de energia elétrica fundamente-se nos pressupostos da teoria microeconômica clássica que modela o comportamento do consumidor⁷. Já as demandas comercial e industrial serão modeladas segundo a teoria da firma, pois o dispêndio com energia elétrica constitui despesa e/ou custo incorrido na produção dos bens ou serviços ofertados. Deste modo, as próximas subseções apresentam estas demandas como parte do problema de otimização do consumidor e do produtor, respectivamente. Diferentemente da literatura em economia que utiliza a modelagem econométrica, a literatura em engenharia utiliza modelos *End-Use*, de uso específico

⁷Para compreensão de princípios elementares em microeconomia consultar Pindyck e Rubinfeld (2005), Varian (2002) ou Mas-colell, Whinston e Green (1995).

da energia. Neste caso, a demanda de energia elétrica residencial total, por exemplo, seria a soma da eletricidade utilizada na produção dos diferentes serviços resultantes (aquecimento da água do banho, refrigeração e iluminação de ambientes, etc). Tal modelo é mais detalhado e considera explicitamente a mudança tecnológica⁸. A dificuldade de acesso a dados com tal nível de detalhamento torna a modelagem econométrica (que utiliza dados agregados) mais atraente. Assim, esta pesquisa utiliza a teoria microeconômica que dá suporte à modelagem econométrica que será implementada na estimação das três demandas.

3.1. Demanda Residencial de Energia Elétrica

Segundo a teoria do consumidor, o indivíduo busca maximizar seu nível de satisfação ou utilidade⁹ frente à disponibilidade de renda limitada (MAS-COLELL; WHINSTON; GREEN, 1995). Deste modo, no mesmo sentido das abordagens de Eskeland e Mideksa (2010), Dwees e Wilson (1990), Dubin, Miedema, Chandran (1986), e Hausman (1979, 1985), representa-se a utilidade do consumidor representativo i no tempo t como uma função separável de um conjunto de bens e serviços, Q_{it} , e de conforto térmico, C_{it} :

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

em que, assume-se $u_v = (Q_{it}, C_{it}) > 0$ e $u_{vv} = (Q_{it}, C_{it}) < 0$, sendo $v \in (Q, C)$ representativo das derivadas parciais em relação a cada componente da função utilidade. Desta forma, a curva de utilidade é convexa em relação à origem e a taxa marginal de substituição entre Q_{it} e C_{it} é decrescente.

Empregando o modelo teórico proposto por Eskeland e Mideksa (2010), define-se conforto como função da temperatura, do consumo de energia elétrica, que é complementar ao uso de equipamentos reguladores da temperatura ao nível desejado, da eficiência energética destes equipamentos e do grau de isolamento térmico das construções:

⁸ Segundo Swisher, Jannuzzi e Redingler (1997), o total de energia utilizada, de modo geral, pode ser expresso: $Energy - use = \sum_{i=1}^n Q_i I_i$; $Q_i = N_i P_i M_i$; em que Q_i é a quantidade de energia do serviço i , I_i é a intensidade do uso de energia para a quantidade de energia do serviço i , N_i é a quantidade de consumidores potenciais para o *end-use* i , P_i é a penetração (total de unidades/ total de consumidores) do *end-use* do serviço i ; M_i é a magnitude ou frequência de uso do *end-use* do serviço i .

⁹ Utilidade pode ser definida como uma qualidade que torna um bem desejado (FERGUSON, 1978).

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

em que, o nível de conforto do indivíduo i no tempo t , C_{it} , depende da temperatura T , da quantidade de energia elétrica consumida por ele no mesmo período, E_{it} ; assume-se que os indivíduos têm à sua disponibilidade igual eficiência energética W_t , que varia somente ao longo dos anos com a evolução tecnológica. Já o isolamento térmico h_i varia conforme local habitado pelo indivíduo, pois alguns se localizam em regiões mais quentes que outros, mas não varia em um curto prazo de tempo como resposta às mudanças no clima.

O principal pressuposto desta abordagem é que para níveis baixos de temperatura, a elevação da temperatura resulta em aumento no nível de conforto do consumidor. Contrariamente, para níveis altos de temperatura, a elevação da temperatura resulta em queda no nível de conforto.

Em regiões ou estações frias, o aumento exógeno da temperatura libera os recursos utilizados no consumo de eletricidade relacionado às necessidades de aquecimento para serem alocados na compra dos demais bens, enquanto em regiões ou estações quentes, é a queda exógena da temperatura que permite que os recursos, antes alocados no consumo de eletricidade para satisfazer às necessidades de refrigeração, sejam direcionados para a aquisição dos outros bens.

Desta forma, para manter constante determinado nível de conforto térmico, o consumo de energia elétrica será tanto mais elevado quanto mais baixos ou mais altos forem os níveis de temperatura. O consumo de eletricidade é, portanto, uma função não linear da temperatura, especificamente, é uma função quadrática com concavidade voltada para cima.

Na literatura, existem duas abordagens principais que permitem considerar a não monotonicidade do efeito das mudanças na temperatura sobre o consumo de eletricidade. Uma delas consiste em utilizar *heating degree days* (HDD) e *cooling degree days* (CDD) como representante das condições climáticas¹⁰. E a outra utiliza a temperatura média por estação ou mensal¹¹.

Nesta pesquisa, devido à indisponibilidade de dados diários de temperatura para a construção de HDD e CDD, optou-se pela inclusão da temperatura por estação

¹⁰ Ver, por exemplo, Eskeland e Mideksa (2010). Quanto mais distante da zona de conforto 18 – 22°C, estiver a temperatura média realizada no dia, maior será a necessidade de eletricidade para fins de aquecimento e refrigeração.

¹¹ Ver, por exemplo, Mansur, Mendelsohn, Morrison (2008).

(trimestral), assim a temperatura T na equação (2) pode ser desmembrada em temperatura do verão (T_1), do outono (T_2), do inverno (T_3) e, por fim, da primavera (T_4)¹²:

$$C_{it} = c (T_{1it}, T_{2it}, T_{3it}, T_{4it}, E_{it}, W_t, h_i) \quad (2')$$

Para a estimação do modelo empírico, considere que a função de conforto seja especificada como uma função do tipo Cobb – Douglas:

$$C_{it} = \frac{vE_{it}^m T_{Bit}^{\alpha_j}}{T_{Ait}^{\alpha_k}} \quad \text{ou} \quad C_{it} = vE_{it}^m T_{Bit}^{\alpha_j} T_{Ait}^{-\alpha_k} \quad ; \quad v = h_i(w_t)^m \quad (3)$$

em que, α_j e α_k são não negativos e representam, respectivamente, a elasticidade do conforto em relação às mudanças na temperatura nas estações de temperatura média relativamente baixa (nas quais o aumento da temperatura é acompanhado por aumento de conforto) e nas estações de temperatura média relativamente alta (nas quais aumento da temperatura é acompanhado por redução de conforto); m é positivo e corresponde à produtividade da eletricidade em mitigar o efeito negativo das mudanças na temperatura T_B e T_A .

Observe que tal especificação permite trabalhar com o efeito não linear da temperatura sobre o conforto, assim, quanto maior a temperatura nas estações frias, maior o nível de conforto e, quanto maior a temperatura nas estações quentes, menos conforto estará associado ao interior das construções. Note ainda que, para dado nível de temperatura T_B e T_A , o conforto aumenta com a quantidade de energia elétrica consumida.

As mudanças ocorridas na temperatura T_B e T_A devem ser compensadas por modificações na quantidade de energia elétrica consumida para que o nível de conforto seja mantido constante. Assim, à elevação da temperatura nas estações frias deve corresponder uma queda no consumo de energia, enquanto tal elevação nas estações quentes deve ser correspondida pela elevação do consumo de eletricidade dado aumento da necessidade de refrigeração.

¹² T_1 corresponde à temperatura média dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro; T_2 refere-se à temperatura média de março, abril e maio; T_3 é a temperatura média de junho, julho e agosto, por fim, T_4 é a temperatura média dos meses de setembro, outubro e novembro.

Tais relações podem ser demonstradas algebricamente tomando-se a diferencial total da equação (3):

Proposição 1: existe relação inversa entre T_B e E (assume-se $\Delta C = 0$, $\Delta T_A = 0$)¹³:

$$\begin{aligned}
 dC &= vT_A^{-\alpha_k} \frac{\partial(E^m T_B^{\alpha_j})}{\partial E} dE + vT_A^{-\alpha_k} \frac{\partial(E^m T_B^{\alpha_j})}{\partial T_B} dT_B \\
 0 &= vT_A^{-\alpha_k} (mE^{m-1} T_B^{\alpha_j}) dE + vT_A^{-\alpha_k} (\alpha_j T_B^{\alpha_j-1} E^m) dT_B \\
 \frac{dE}{dT_B} &= \frac{-vT_A^{-\alpha_k} (\alpha_j T_B^{\alpha_j-1} E^m)}{vT_A^{-\alpha_k} (mE^{m-1} T_B^{\alpha_j})} \\
 \frac{dE}{dT_B} &= \frac{-\alpha_j E^m E^{-m+1}}{m T_B^{\alpha_j} T_B^{-\alpha_j+1}} \\
 \frac{dE}{dT_B} &= \frac{-\alpha_j E}{m T_B}
 \end{aligned} \tag{4}$$

A relação (4) permite inferir que a quantidade necessária de energia elétrica E , requerida pela variação da temperatura nas estações frias T_B , depende da elasticidade α_j e da produtividade da eletricidade m .

Rearranjando (4) e denotando o lado esquerdo da equação por δ :

$$\begin{aligned}
 \frac{dE}{dT_B} \times \frac{m}{\alpha_j} &= -\frac{E}{T_B} \\
 \delta &= -\frac{E}{T_B} \\
 E &= -\delta T_B
 \end{aligned} \tag{5}$$

Portanto, verifica-se a que a necessidade de energia elétrica varia no sentido inverso das modificações na temperatura das estações de temperatura média baixa.

¹³ Os subscritos poderão ser omitidos para simplificar as notações.

Proposição 2: existe relação direta entre T_A e E (assume-se $\Delta C = 0, \Delta T_B = 0$):

$$\begin{aligned}
 dC &= vT_B^{\alpha_j} \frac{\partial(E^m T_A^{-\alpha_k})}{\partial E} dE + vT_B^{\alpha_j} \frac{\partial(E^m T_A^{-\alpha_k})}{\partial T_A} dT_A \\
 0 &= vT_B^{\alpha_j} (mE^{m-1} T_A^{-\alpha_k}) dE + vT_B^{\alpha_j} (-\alpha_k T_A^{-\alpha_k-1} E^m) dT_A \\
 \frac{dE}{dT_A} &= \frac{vT_B^{\alpha_j} (\alpha_k T_A^{-\alpha_k-1} E^m)}{vT_B^{\alpha_j} (mE^{m-1} T_A^{-\alpha_k})} \\
 \frac{dE}{dT_A} &= \frac{\alpha_k E^m E^{-m+1}}{m T_A^{-\alpha_k} T_A^{\alpha_k+1}} \\
 \frac{dE}{dT_A} &= \frac{\alpha_k E}{m T_A} \tag{6}
 \end{aligned}$$

Agora, a partir de (6), pode-se afirmar a quantidade necessária de energia elétrica, requerida pela variação da temperatura nas estações quentes T_A , depende da elasticidade α_k e da produtividade da eletricidade m .

Rearranjando (6) e denotando o lado esquerdo da equação por δ :

$$\begin{aligned}
 \frac{dE}{dT_A} \times \frac{m}{\alpha_k} &= \frac{E}{T_A} \\
 \delta &= \frac{E}{T_A} \\
 E &= \delta T_A \tag{7}
 \end{aligned}$$

Neste caso, verifica-se a que a necessidade de energia elétrica varia no mesmo sentido das variações na temperatura das estações de temperatura média alta.

Para prosseguir com a elaboração do modelo, considere a seguinte especificação da função de utilidade, que tem elasticidade de substituição constante e é amplamente utilizada nas aplicações microeconômicas:

$$U_{it} = \frac{aQ_{it}^{1-\gamma} + (1-a)C_{it}^{1-\gamma}}{1-\gamma}; \quad \gamma > 0 \text{ e } \gamma \neq 1, 0 < a < 1 \tag{8}$$

Seja a restrição orçamentária do consumidor:

$$Q_{it} + P_{Eit}E_{it} \leq R_{it}, \quad (9)$$

dada pela soma do valor gasto com o consumo de eletricidade, $P_{Eit}E_{it}$ (produto entre o preço da energia elétrica e a quantidade de energia consumida), e do conjunto dos demais bens Q_{it} , tomado como numerário.

Para determinar a demanda de energia elétrica do indivíduo em cada período, parte-se da solução do problema de otimização do consumidor:

$$\underset{Q,C}{\text{maximizar}} U_{it} = \frac{aQ_{it}^{1-\gamma} + (1-a)C_{it}^{1-\gamma}}{1-\gamma}$$

$$\text{sujeito a } R_{it} = Q_{it} + P_{Eit}E_{it};$$

$$\text{em que } C_{it} = vE_{it}^m T_{Bit}^{\alpha_j} T_{Ait}^{-\alpha_k}$$

Estrutura-se a função Lagrangeano:

$$L = U_{it} + \lambda(R_{it} - Q_{it} - P_{Eit}E_{it}) \quad (10)$$

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

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

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

Igualando (11) a (12) e tomando $\frac{m(1-a)}{a} = \pi$:

$$\begin{aligned} aQ_{it}^{-\gamma} &= \frac{(1-a)C_{it}^{-\gamma} \cdot (vT_{Bit}^{\alpha_j} T_{Ait}^{-\alpha_k} mE_{it}^{m-1})}{P_{Eit}} \\ \frac{1}{Q^\gamma} &= \pi \frac{C^{-\gamma} C}{P_E E} \\ P_E E &= \pi Q^\gamma C^{1-\gamma} \end{aligned} \quad (13)$$

Substituindo (3) em (13):

$$\begin{aligned}
P_E E &= \pi Q^\gamma (v E^m T_B^{\alpha_j} T_A^{-\alpha_k})^{1-\gamma} \\
E^{[m(1-\gamma)-1]} &= \frac{P_E}{\pi v^{1-\gamma} T_B^{\alpha_j(1-\gamma)} T_A^{-\alpha_k(1-\gamma)} Q^\gamma} \\
E &= (1/\pi)^{1/[m(1-\gamma)-1]} \cdot (1/v)^{1-\gamma/[1]} \cdot P_E^{1/[1]} \cdot \\
&\cdot T_B^{-\alpha_j(1-\gamma)/[1]} \cdot T_A^{\alpha_k(1-\gamma)/[1]} \cdot Q^{-\gamma/[1]}
\end{aligned} \tag{14}$$

Finalmente, para obter a curva de demanda por energia elétrica em termos de elasticidade para o indivíduo i no tempo t , deve-se tomar o logaritmo natural de (14), lembrando que $v = h_i(w_t)^m$:

$$\ln E_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln P_{Eit} + \beta_2 \ln Q_{it} + \beta_3 T_{Bit} + \beta_4 T_{Ait} + \mu_t + c_i + v_{it} \tag{15}$$

em que,

$$\begin{aligned}
\beta_0 &= \ln \pi^{-1/[m(1-\gamma)-1]}, \\
\beta_1 &= 1/[m(1-\gamma) - 1]; \\
\beta_2 &= -\gamma/[m(1-\gamma) - 1]; \\
\beta_3 &= -\alpha_j(1-\gamma)/[m(1-\gamma) - 1]; \\
\beta_4 &= \alpha_k(1-\gamma)/[m(1-\gamma) - 1]; \\
\mu_t &= \{-m(1-\gamma)/[m(1-\gamma) - 1]\} W_t; \\
c_i &= \{(-1+\gamma)/[m(1-\gamma) - 1]\} \ln h_i.
\end{aligned}$$

Note que se pode reescrever a equação (9) como $Q = R - P_E E$. Dividindo esta expressão por $P_E E$ e tomando o logaritmo natural obtém-se:

$$\begin{aligned}
\ln \left(\frac{Q}{P_E E} \right) &= \ln \left(\frac{R}{P_E E} - 1 \right) \\
\ln Q - \ln P_E - \ln E &= \ln \left(\frac{R}{P_E E} - 1 \right) \\
\ln Q &= \ln P_E + \ln E + \ln \left(\frac{R}{P_E E} - 1 \right)
\end{aligned}$$

Usando a aproximação $\ln\left(\frac{R}{P_E E} - 1\right) \approx \ln\frac{R}{P_E E}$ chega-se ao seguinte resultado:

$$\begin{aligned} \ln Q &= \ln P_E + \ln E + \ln\left(\frac{R}{P_E E}\right) \\ \ln Q &= \ln P_E + \ln E + \ln R - \ln P_E - \ln E \\ \ln Q &= \ln R \end{aligned}$$

Logo, pode-se reescrever (15):

$$\ln E_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln P_{Eit} + \beta_2 \ln R_{it} + \beta_3 T_{Bit} + \beta_4 T_{Ait} + \mu_t + c_i + v_{it} \quad (16)$$

A partir de (16) observa-se que a quantidade demandada E_{it} , além de função do próprio preço P_{Eit} , depende também da renda R_{it} . Apresenta relação inversa com a temperatura média das estações frias T_{Bit} e direta com a temperatura média das estações quentes T_{Ait} . μ_t é o efeito não observado que varia no tempo mas é igual entre os indivíduos e c_i corresponde à heterogeneidade entre os indivíduos que é fixa no tempo.

A sensibilidade da demanda em relação às modificações em uma variável explicativa pode ser medida pela elasticidade, que indica a variação percentual na quantidade demandada associada à mudança de uma unidade percentual em uma dada variável.

Espera-se que a elasticidade-preço da demanda, β_1 , seja negativa dada a relação inversa entre a quantidade demandada de um bem e seu próprio preço. Relação que é explicada pelos efeitos substituição, em que há mudança no preço relativo, e efeito renda, em que há variação na renda real, *ceteris paribus*. Para um bem normal, como é o caso da energia elétrica, espera-se que a elasticidade-renda da demanda, β_2 , seja positiva.

Espera-se um relacionamento positivo entre quantidade demandada de eletricidade e temperatura nos períodos quentes (com temperatura média alta), na medida em que essa demanda deve-se principalmente às necessidades de refrigeração. Espera-se, contrariamente, um relacionamento negativo entre quantidade demandada de eletricidade e temperatura nos períodos frios (com

temperatura média baixa), na medida em que essa demanda deve-se principalmente às necessidades de aquecimento.

3.2. Demanda Comercial e Industrial de Energia Elétrica

De acordo com a teoria da produção, com o objetivo de maximizar lucros, a firma determina o nível ótimo de insumos que deverá demandar (DEBERTIN, 1986). Considerando que os recursos destinados à aquisição de insumos são limitados, o problema da firma pode ser descrito como segue:

$$\begin{aligned} & \underset{Q}{\text{Maximizar}} \quad RT = P_Q Q \\ & \text{sujeito a} \quad D = \sum_{l=1}^n P_l I_l \end{aligned}$$

em que, a receita total da firma, RT , depende do preço e quantidade produzida do bem Q , e a quantidade de recursos disponível, D , é função do preço e da quantidade dos n insumos I que deverão fazer parte do processo produtivo.

Por meio da maximização e considerando também a firma como um agente representativo, pode-se obter a demanda de mercado indireta de cada insumo l pela agregação das demandas individuais a cada nível de preço:

$$I_l = f(P_l, D) \tag{17}$$

em que, a quantidade demandada, I_l , é função do preço do próprio insumo e da quantidade D de recursos disponíveis à aquisição de insumos.

O insumo de interesse desta pesquisa é a energia elétrica utilizada para regular a temperatura no ambiente de atendimento aos consumidores no caso comercial, e utilizada no processo produtivo para evitar superaquecimento de máquinas e equipamentos no caso industrial. Tal necessidade de eletricidade depende do nível da temperatura ambiente. Deste modo pode-se reescrever (17) como segue:

$$I_E = f(P_E, D, T_{Bit}, T_{Ait}, W_t, h_i)$$

em que, a demanda por energia elétrica é função de seu próprio preço P_E , da quantidade de recursos disponível D , é uma função não linear da temperatura, depende da eficiência energética W_t e do isolamento térmico h_i .

À demanda de insumo, também se aplica o conceito de elasticidade para mensurar a sensibilidade da quantidade demandada às modificações nas variáveis das quais é dependente. Espera-se, analogamente, que a quantidade demandada do insumo responda negativamente às variações em seu próprio preço e positivamente às mudanças na quantidade monetária de recursos disponíveis.

Neste ponto vale lembrar que, devido à proporção do consumo de eletricidade destinado às necessidades de refrigeração na indústria ser relativamente menor que o das classes residencial e comercial, é provável que haja diferença na importância da temperatura na explicação desta demanda e, portanto, diferença significativa entre as elasticidades em relação à temperatura.

4. METODOLOGIA

4.1. Estimação da Demanda de Energia Elétrica

Neste ponto, podem-se especificar igualmente as demandas de energia elétrica para cada uma das três classes de consumo (residencial, comercial e industrial) como um modelo de dados em painel dinâmico:

$$q_{it} = \rho q_{i,t-1} + X'_{it}\beta + (c_i + v_{it}) ; \text{ com } i = 1, \dots, N \text{ e } t = 1, \dots, T \quad (18)$$

em que q_{it} é a quantidade demandada de energia elétrica do estado i (da classe residencial, comercial, ou industrial) no período t , $q_{i,t-1}$ refere-se à quantidade demandada no período imediatamente anterior, X'_{it} é o vetor de outras variáveis que explicam a demanda, dentre as quais ressalta-se a temperatura, c_i corresponde às características individuais não observadas e constantes no tempo de cada estado brasileiro (como o grau de isolamento térmico das construções, que pode variar conforme a região onde se situa) e, por fim, v_{it} é o erro aleatório.

Considerando os efeitos específicos c_i como um componente do erro geral da equação, u_{it} , pode-se escrever:

$$(c_i + v_{it}) = u_{it}$$

em que pressupõe-se $c_i \sim IID(0, \sigma_c^2)$ e $v_{it} \sim IID(0, \sigma_v^2)$.

Dada a natureza dinâmica da demanda de energia elétrica, devido à presença de inércia nos hábitos de consumo, optou-se por incluir um termo auto-regressivo $q_{i,t-1}$, pois, segundo Baltagi (2008), o modelo em painel dinâmico permite ao pesquisador melhor entender a dinâmica de seu ajustamento.

Entretanto, é preciso notar que a inclusão do termo auto-regressivo estocástico conduz ao problema da endogeneidade, pois, na medida em que q_{it} é uma função de c_i , segue que $q_{i,t-1}$ também está em função de c_i , assim, tem-se uma variável explicativa correlacionada com o erro geral da equação, ou seja, $cov(u_{it}, q_{i,t-1}) \neq 0$. Deste modo, a estimação dos parâmetros da equação (18) pelo

método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) resulta em estimativas viesadas e inconsistentes, mesmo na presença de erros não correlacionados serialmente. Em grandes amostras, este tipo de viés, decorrente da omissão de variável relevante, frequentemente, resulta em parâmetros superestimados.

A transformação empreendida pelo estimador de Efeitos Fixos ou MQO Agrupado – *Within Groups* –, embora elimine os efeitos fixos, não elimina o problema da endogeneidade, conduzindo a uma correlação não negligenciável entre o termo defasado e o erro (transformados)¹⁴. Frequentemente, os parâmetros resultantes serão subestimados em grandes amostras. Tal correlação não diminui quando N aumenta. No entanto, quando a dimensão temporal aumenta, é possível obter estimativas consistentes assintoticamente.

Estimadores de Máxima Verossimilhança também têm sido desenvolvidos para painéis auto-regressivos de primeira ordem, AR(1), no entanto, em painel dinâmico com dimensão temporal curta, a distribuição de q_{it} para $t = 2, \dots, T$ depende dos pressupostos sobre a distribuição das condições iniciais de q_{i1} . Como não se possui um processo restrito gerador de tais condições (q_{i1} pode ser estocástico ou não, correlacionado ou não com c_i, \dots), há risco de que uma especificação não adequada deste processo resulte em estimador ρ inconsistente.

Poderiam ser aplicadas técnicas de co-integração para dados em painel, que são amplamente utilizadas na literatura sobre demanda de energia elétrica¹⁵. Entretanto, segundo Bigano, Bosello e Marano (2006), dado o baixo poder dos testes de presença de raiz unitária para dados de painel, ou seja, o aumento da probabilidade de se incorrer no erro tipo II (não rejeitar a hipótese nula sendo ela falsa), não se poderia confiar em seus resultados, pois há aumento do risco de se aplicar essas técnicas a séries que são estacionárias em nível. Além disso, esta pesquisa se interessa em captar a dinâmica do relacionamento de longo prazo entre as variáveis para simular os impactos das mudanças climáticas, assim não seria interessante a estimação de modelos de correção de erro vetorial.

¹⁴ Na transformação de Efeitos Fixos $q_{it} - \bar{q}_{it} = \rho(q_{i,t-1} - \bar{q}_{i,t-1}) + (X'_{it} - \bar{X}'_{it})\beta + (c_i - \bar{c}_i) + (v_{it} - \bar{v}_{it})$, o termo $-q_{it}/T - 1$ (contido em \bar{q}_{it}) é correlacionado com v_{it} ; o termo $-v_{i,t-1}/T - 1$ (contido em \bar{v}_{it}) é correlacionado com $q_{i,t-1}$ e $c_i - \bar{c}_i = 0$.

¹⁵ Nos estudos brasileiros (que não consideram o termo auto-regressivo) essa técnica é utilizada principalmente devido à endogeneidade da variável preço médio utilizada nos modelos. Ver, por exemplo, Andrade e Lobão (1997) e Schmdit e Lima (2004) que fizeram análise de série temporal.

Uma abordagem alternativa foi proposta por Anderson e Hsiao (1981, 1982) para eliminar os efeitos fixos e obter estimadores consistentes dos parâmetros da equação (18). Eles sugerem a aplicação do método de Mínimos Quadrados de 2 Estágios (MQ2E) com utilização de variáveis instrumentais (VI) aos dados transformados em primeira diferença.

Assim, inicialmente, pode-se reformular a equação (18) agrupando todos os regressores:

$$\begin{aligned} q_{it} &= w_{it}'\gamma + c_i + v_{it} \\ q_i &= W_i \gamma + c_i 1_T + v_i \end{aligned} \quad (19)$$

em que 1_T é um vetor T-dimensional de constantes 1; $q_i = (q_{i1}, \dots, q_{iT})'$; $\gamma = (\rho, \beta')$; $w_{it} = (y_{i,t-1}, x'_{it})'$; $W_i = (w_{i1}, \dots, w_{iT})'$.

Aplicando o operador de primeira diferença Δ em (19):

$$\Delta q_i = \Delta W_i' \gamma + \Delta v_i \quad (20)$$

em que $\Delta q_i = q_{it} - q_{i,t-1}$; $\Delta q_{i,t-1} = q_{i,t-1} - q_{i,t-2}$ [implícito na equação (20)] e $\Delta v_i = v_{it} - v_{i,t-1}$ ¹⁶.

Observe que, embora por construção $\Delta q_{i,t-1}$ seja correlacionado com o termo Δv_i , a utilização de $\Delta q_{i,t-2} = q_{i,t-2} - q_{i,t-3}$ ou $q_{i,t-2}$ como instrumento para $\Delta q_{i,t-1}$ conduz a estimativas consistentes para N ou T grande. Note também que, quando se pressupõe que v_{it} seja independente entre os indivíduos, não significa necessariamente que Δv_{it} também o seja. Mas, segundo Bigano, Bosello e Marano (2006), isto não se constitui séria desvantagem do método.

Mesmo que a proposta de Anderson e Hsiao (1981, 1982) gere estimativas consistentes para a equação (18), elas serão ineficientes, ainda que o conjunto completo de instrumentos esteja disponível e que v_{it} seja homocedástico. Pois, para $t > 3$, o modelo é sobre-indentificado e o termo Δv_{it} é um processo de média móvel. Assim, essa abordagem não considera a estrutura diferenciada do erro.

Holtz-Eakin, Newey e Rosen (1988) propuseram um procedimento de Método dos Momentos Generalizado (MMG) em primeira diferença para um painel AR(1) que, ao explorar a condição de ortogonalidade entre os valores defasados da

¹⁶ Note que $\Delta c_i 1_T = c_i - c_i = 0$.

variável explicada q_{it} e o termo de distúrbio v_{it} , expande o conjunto de variáveis instrumentais empregadas e obtém estimadores eficientes assintoticamente¹⁷. O estimador é conhecido como estimador Arellano-Bond, pois Arellano e Bond (1991) detalharam sua implementação e propuseram testes para verificar o pressuposto crucial de erros não correlacionados serialmente.

Nesta pesquisa, opta-se pela aplicação de tal procedimento, pois esse não pressupõe exogeneidade estrita entre os regressores e o termo de erro, permitindo lidar com regressores pré-determinados ou endógenos. Permite, também, obter estimativas robustas em relação à heterocedasticidade e correlação entre as unidades da *cross-section*¹⁸. Além disso, não requer pressupostos sobre as observações iniciais da variável dependente.

Segundo Cameron e Trivedi (2009), a opção por estimadores robustos invalida o teste de especificação de Sargan para exogeneidade. Deste modo, na ausência de um teste estatístico formal, a teoria econômica fornece fundamentação para se assumir, por exemplo, o preço e renda como endógenos, e a temperatura como exógena. Além disso, a forma de cálculo da tarifa utilizada depende diretamente da quantidade de eletricidade consumida, conferindo-lhe caráter endógeno.

4.1.1. Estimador Arellano-Bond

Para obter estimadores eficientes do modelo especificado na equação (18), Holtz-Eakin, Newey e Rosen (1988) propuseram como mais adequado a utilização dos valores defasados da variável dependente em nível como instrumento para as variáveis defasadas endógenas em primeira diferença: $\Delta q_{i,t-1}$; $t = 2, \dots, T$. Para qualquer t , as variáveis instrumentais disponíveis são $q_{i,t-2}, \dots, q_{i1}$.

Diferentes condições de momento estarão disponíveis como instrumentos dependendo dos pressupostos assumidos sobre a relação entre as variáveis contidas em X'_{it} e os dois componentes do erro geral.

Dada a presença de regressores x_{it} endógenos (estão correlacionados com v_{it} e distúrbios anteriores) contidos em X'_{it} , semelhantemente, podem-se considerar

¹⁷ Extensões e generalizações desta abordagem podem ser vistas em Blundell e Bond (1998), Ahn e Schmidt (1995), Arellano e Bover (1995).

¹⁸ A robustez dos estimadores independe da existência de erros estacionários.

também $x_{i,t-2}, \dots, x_{i1}$ como instrumentos válidos para Δx_{it} ; $t = 3, \dots, T$. No caso de variáveis estritamente exógenas (ausência de correlação com $v_{i,t-1}, v_{it}, v_{i,t+1}$) como a temperatura neste modelo, toda a série temporal x_{i1}, \dots, x_{iT} estará disponível como instrumento adicional.

Obtêm-se, assim, matrizes de variáveis instrumentais:

$$Z = (Z'_1, \dots, Z'_i, \dots, Z'_N)'$$

em que $Z_i = \text{diag} ([q_{i0}, x_{i0}], [q_{i0}, q_{i1}, x_{i0}, x_{i1}], \dots, [q_{i0}, \dots, q_{i,T-1}, x_{i0}, \dots, x_{i,T-1}])$, para o caso de regressores endógenos, por exemplo, que dão origem à seguinte condição de momento:

$$E[Z'_i \Delta v_i] = E[Z'_i (\Delta q_i - \Delta W'_i \gamma)] = 0$$

que representa a condição de ortogonalidade das variáveis instrumentais em relação ao termo de erro diferenciado. Pode-se especificar a seguinte forma geral dos estimadores MMG:

$$\hat{\gamma}_{MMG} = [(\sum_{i=1}^N \Delta W'_i Z_i) A_N (\sum_{i=1}^N Z'_i \Delta W_i)]^{-1} (\sum_{i=1}^N \Delta W'_i Z_i) A_N (\sum_{i=1}^N Z'_i \Delta q_i)$$

em que A_N é uma matriz arbitrária $N \times N$ de pesos; $\Delta W = (\Delta W'_1, \dots, \Delta W'_N)'$; $\Delta q = (\Delta q'_1, \dots, \Delta q'_N)'$ e Z já foi definido acima.

Assim, obtêm-se o estimador de dois passos utilizando:

$$A_N = (\sum_{i=1}^N Z'_i \hat{\Omega} Z_i)^{-1}$$

em que $\hat{\Omega} = \sum_{i=1}^N \Delta \hat{v}_i \Delta \hat{v}_i'$ é a matriz de estimativas consistentes das variâncias e covariâncias dos erros do modelo (20).

Segundo Bond (2002), a estrutura do modelo diferenciado em (20) permite que se obtenha um estimador MMG equivalente assintoticamente em apenas um passo, desde que se considere a hipótese de homocedasticidade dos erros v_{it} , com a seguinte matriz de peso:

$$A_N = (\sum_{i=1}^N Z_i' \Omega Z_i)^{-1}$$

em que Ω é uma matriz quadrada de ordem T-2, com 2 na diagonal principal, -1 na diagonal secundária e 0 no restante.

4.1.2. Forma Funcional

Dentre os objetivos da pesquisa, está a análise da sensibilidade da demanda de energia elétrica em relação aos seus determinantes. Deste modo, além de apresentar as estimativas do efeito marginal correspondente ao nível das variáveis (embora o método utilize as variáveis em primeira diferença), também serão reportadas as respectivas elasticidades de longo prazo da demanda para o modelo especificado:

$$q_{it} = \beta_0 + \rho q_{i,t-1} + \beta_1 P_{it} + \beta_2 Y_{it} + \beta_3 T_{Bit} + \beta_4 T_{Ait} + \beta_5 PEI_{it} + \beta_6 S_{it} + v_i \quad (21)$$

em que:

q_{it} é o consumo (residencial, comercial ou industrial) de energia elétrica do estado i no tempo t ;

$q_{i,t-1}$ é o consumo (residencial, comercial ou industrial) de energia elétrica do estado i no tempo $t-1$;

P_{it} é a tarifa média (residencial, comercial ou industrial) de energia elétrica do estado i no tempo t ;

Y_{it} é a renda (PIB estadual *per capita*, PIB comercial ou PIB industrial) do estado i no tempo t ;

T_{Bit} é a temperatura média dos trimestres de temperatura média baixa do estado i no tempo t ;

T_{Ait} é a temperatura média dos trimestres de temperatura média alta do estado i no tempo t ;

PEI_{it} é o preço de equipamentos intensivos em eletricidade (eletrodomésticos, material elétrico total, máquinas e equipamentos para indústria) do estado i no tempo t ;

S_{it} é preço do bem substituto (combustíveis e lubrificantes) para a indústria¹⁹ do estado i no tempo t .

Para a elaboração do modelo teórico, admitiu-se o consumo de energia elétrica como *proxy* para a quantidade demandada, pois como Andrade e Lobão (1997), pressupõe-se que não há demanda reprimida e a oferta é infinitamente elástica.

A temperatura mensura os efeitos do clima sobre a demanda de eletricidade. Ressalta-se, novamente, que a sua inclusão em um modelo de demanda de energia elétrica poderá evitar viés de variável omitida, potencialmente presente nos trabalhos existentes para o Brasil, caso haja correlação entre temperatura e alguma das variáveis explicativas incluídas no modelo, como preço, por exemplo.

Existe uma controvérsia histórica na literatura sobre a variável preço P_{it} mais adequada no caso de bens que têm a tarifa variando segundo blocos de consumo (como a energia elétrica)²⁰. Neste caso, haveria descontinuidade na função de demanda, o que dificulta sua especificação. Enquanto alguns autores defendem a utilização do preço médio, outros acreditam que o preço marginal seja o mais adequado. Os principais estudos do país que estimaram a demanda de energia elétrica utilizaram a tarifa média por acreditarem que esta é de conhecimento do consumidor e influencia sua decisão de consumo²¹. Por compartilhar de tal concepção, nesta pesquisa, será utilizada a tarifa média em detrimento da tarifa marginal. Vale lembrar que a indisponibilidade de informações sobre tarifa marginal ratifica esta escolha.

A inclusão dos índices de preços de equipamentos intensivos em eletricidade no modelo tem origem na necessidade de se considerar a influência de seu estoque na quantidade consumida de energia elétrica. De forma geral, pode-se escrever:

$$q = f(P, Y, T, S, EEI) \quad (22)$$

em que, EEI é o estoque de equipamentos intensivos no uso de eletricidade.

¹⁹ Somente os equipamentos utilizados na indústria admitem fonte de energia alternativa à eletricidade.

²⁰ Ver Howe e Linaweaver Jr. (1967) e Gottlieb (1963).

²¹ Ver Mattos e Lima (2005); Schmdit e Lima (2004); Andrade e Lobão (1997) e Modiano (1984).

Segundo Andrade e Lobão (1997), a reposição do estoque destes equipamentos depende basicamente de seu próprio preço e da renda disponível:

$$EEI = f(PEI, Y) \quad (23)$$

Substituindo (23) em (22):

$$q = f[P, Y, T, S, (PEI, Y)] \quad (24)$$

Assim, a partir de uma especificação adequada para (24), eles demonstraram que o coeficiente da renda Y mede o efeito direto de sua variação sobre o consumo q e o efeito indireto resultante da mudança no estoque (decorrente da própria variação da renda). Logo, a elasticidade-renda mensura os efeitos de curto prazo sobre o consumo de eletricidade, pela mudança na taxa de utilização dos equipamentos, e os efeitos de longo prazo, pela mudança no próprio estoque destes.

4.2. Simulação do Impacto das Mudanças Climáticas na Demanda de Energia Elétrica

Com o objetivo de verificar de que forma as demandas por eletricidade responderão às mudanças climáticas, será realizada uma análise de estática comparativa.

A partir da função estimada em (21), calcula-se o valor demandado no período *PRESENTE*, com os dados de 1991 a 2002 para todas variáveis explicativas. Em seguida, calcula-se o valor demandado no *FUTURO* para cada um dos períodos de 2010 – 2039, 2040 – 2069 e 2070 – 2099²², com os dados trimestrais de temperatura futura projetada para eles, *ceteris paribus*²³. Por fim, será calculada a mudança percentual da quantidade demandada em resposta à mudança da temperatura para cada período, como segue:

²² A utilização da média mensal a cada 30 anos é uma maneira de se reduzir as incertezas associadas às projeções dos modelos climatológicos e evitar a seleção de algum ano *outlier* para a simulação.

²³ A construção da temperatura trimestral futura, conforme o período e cenário de emissão de GEE, foi realizada da seguinte forma: dados observados do CRU (Climate Research Unit) no período de 1961-1990 + intra-model anomalie. A intra-model anomalie refere-se à diferença entre a projeção realizada pelo modelo climatológico para cada período futuro e a estimativa para o período de 1961-1990, realizada pelo mesmo modelo.

$$\begin{aligned}
\Delta q_{it} = & (\beta_0 + \hat{\rho}q_{i,t-1} + \hat{\beta}_1 P_{it} + \hat{\beta}_2 Y_{it} + \hat{\beta}_3 T_{Bi,2010-2039} \\
& + \hat{\beta}_4 T_{Ai,2010-2039} + \hat{\beta}_5 PEI_{it} + \hat{\beta}_6 S_{it}) \\
& - (\beta_0 + \hat{\rho}q_{i,t-1} + \hat{\beta}_1 P_{it} + \hat{\beta}_2 Y_{it} + \hat{\beta}_3 T_{Bi,PRESENTE} \\
& + \hat{\beta}_4 T_{Ai,PRESENTE} + \hat{\beta}_5 PEI_{it} + \hat{\beta}_6 S_{it})
\end{aligned} \tag{25}$$

$$\begin{aligned}
\Delta q_{it} = & (\hat{\beta}_3 T_{Bi,2010-2039} + \hat{\beta}_4 T_{Ai,2010-2039}) - (\hat{\beta}_3 \Delta T_{Bi,PRESENTE} \\
& + \hat{\beta}_4 T_{Ai,PRESENTE})
\end{aligned}$$

$$\Delta q_{it} = q_{iFUTURA} - q_{iPRESENTE}$$

$$(\Delta q_{it})\% = \frac{q_{iFUTURA} - q_{iPRESENTE}}{q_{iPRESENTE}} \times 100 \tag{26}$$

Note que o interesse desta pesquisa é investigar a mudança percentual da demanda em resposta à mudança na temperatura, livre dos efeitos indiretos de interação das mudanças da temperatura e as outras variáveis. Assim, a demanda futura que interessa é aquela que considera somente a variação da temperatura. Portanto, não será assumido qualquer pressuposto sobre o nível das demais variáveis do modelo no futuro.

É importante lembrar que, utilizar os parâmetros estimados para equação (21) para calcular a demanda futura implica assumir que a relação entre temperatura e quantidade demandada de energia elétrica, expressa pelos coeficientes estimados $\hat{\beta}_3$ e $\hat{\beta}_4$, permanecerá constante até o fim século. Porém, alguns estudos demonstraram que o programa de racionamento (2001 – 2002) gerou modificação nos hábitos de consumo dos consumidores de energia elétrica. Essa quebra estrutural implica instabilidade dos coeficientes estimados, o que impossibilitaria o uso da equação para fins de previsão.

No entanto, a observação das séries de dados de consumo mais recentes indica que a quebra foi transitória e que os hábitos de consumo dos consumidores já retornaram à sua tendência de longo-prazo²⁴. Diante esses indícios, e da impossibilidade de se captar o choque estrutural na estimação da demanda por falta de observações de temperatura pós 2002, mantém-se a adoção do pressuposto de que a relação entre a demanda e suas variáveis determinantes seja estável até o fim do

²⁴ Ver gráfico A1 no Apêndice e o estudo de Siqueira, Cordeiro Jr. e Castelar (2006).

século. Assim, os coeficientes estimados para (21) poderão ser utilizados no exercício de simulação, como proposto inicialmente.

Também será feita simulação em nível regional pela substituição de valores regionais, calculados a partir da média dos estados, na equação (25). Opta-se por utilizar os coeficientes nacionais para obter o impacto regional das mudanças climáticas, pois uma regressão regional não estaria bem ajustada, na medida em que há poucas observações em cada amostra e a variabilidade da temperatura trimestral média é pequena dentro das regiões.

A simulação do consumo futuro de energia elétrica e do impacto das mudanças climáticas em cada período levará em consideração as projeções de temperatura futura de dois cenários de emissão de GEE elaborados pelo AR4 (IPCC 2007). Os cenários são representações possíveis do futuro que consideram variáveis de clima e forças motrizes, como crescimento demográfico, evolução tecnológica e desenvolvimento sócio-econômico, capazes de influenciar o nível de emissões de GEE na atmosfera. Eles são utilizados nas projeções climáticas dos Modelos de Circulação Geral (MCG).

As projeções utilizadas nesta pesquisa referem-se aos cenários A1B e A2. O primeiro, de forma geral, descreve um crescimento econômico acelerado, população global atingindo um pico em meados do século e declinando em seguida e rápida introdução de novas tecnologias mais eficientes. Há equilíbrio na utilização de todas as fontes de energia (combustíveis fósseis e não-fósseis renováveis). A família de cenários A2 descreve menor crescimento econômico, maior crescimento da população e mudança tecnológica mais lenta, em relação ao cenário A1B. O nível de emissões de GEE acumulado de 1990 até o fim do século é maior no segundo cenário.

Por fim, deve-se chamar à atenção o fato de se fazer previsão para 98 anos à frente ao período de dados utilizado, pois, em um período tão longo, podem ocorrer modificações, por exemplo, no preço relativo da eletricidade frente às outras fontes de energia, na distribuição de renda da população ou no consumo de eletricidade por parte dos produtos eletrointensivos (eficiência energética), que alterem significativamente a demanda de energia elétrica e sua sensibilidade em relação aos seus determinantes.

Com o passar dos anos, podem ocorrer, por exemplo, ganhos em termos de eficiência energética e aumento do preço relativo da eletricidade. Visto que ambas as

modificações agem no sentido de diminuir a demanda de energia elétrica, a projeção poderá superestimar o consumo futuro de eletricidade. Embora seja uma limitação do estudo, este não é invalidado por isso. Além disso, utiliza-se o método padrão empregado na literatura.

4.3. Dados

Nesta subseção, será descrita as transformações efetuadas na base de dados coletada, necessárias para adequação aos objetivos da pesquisa. As variáveis utilizadas na estimação das demandas de eletricidade do Brasil estão dispostas na Tabela 2.

Tabela 2 – Fonte, unidade de medida e nome das variáveis utilizadas nos três modelos de demanda de energia elétrica e no modelo de simulação

Modelo	Variável	Unidade	Fonte
Residencial	Consumo residencial de energia elétrica	KWh	Balanco Energético Nacional (BEN)
	Tarifa residencial	R\$/KWh ¹	Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)
	Produto Interno Bruto (PIB) <i>per capita</i>	R\$ ¹	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)
	Temperatura (1991-2002)	°Celsius	Climate Research Unit (CRU)/University of East Anglia
	IPA-OG ² – Eletrodomésticos	Índice ¹	Fundação Getúlio Vargas (FGV)
	Temperatura Futura Projetada	°Celsius	<i>Intergovernmental Panel Climate Change (IPCC 2007)</i>
Comercial	Consumo comercial de energia elétrica	KWh	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)
	Tarifa comercial	R\$/KWh ¹	ANEEL
	PIB comercial	R\$ ¹	IBGE
	Temperatura (1991-2000)	°Celsius	CRU
	IPA-OG – Material Elétrico Total	Índice ¹	FGV
	Temperatura Futura Projetada	°Celsius	IPCC 2007

(continua...)

Tabela 2 – Fonte, unidade de medida e nome das variáveis utilizadas nos três modelos de demanda de energia elétrica e no modelo de simulação (continuação)

Modelo	Variável	Unidade	Fonte
Industrial	Consumo industrial de energia elétrica	KWh	IPEA
	Tarifa industrial	R\$/KWh ¹	ANEEL
	PIB industrial	R\$ ¹	IBGE
	Temperatura (1991-2000)	°Celsius	CRU
	IPA-OG – Máquinas e Equipamentos para Indústria	Índice ¹	FGV
	IPA-OG Combustíveis e Lubrificantes	Índice ¹	FGV
	Temperatura Futura Projetada	°Celsius	IPCC 2007

Fonte: Elaboração dos autores.

Notas: ¹ Expressos em valores reais de 2000. ² Índice de Preço por Atacado – Oferta Global.

Os dados anuais observados referentes às variáveis listadas são estaduais e abrangem o período que vai de 1991 a 2002²⁵. Desta forma, cada modelo de dados em painel apresenta inicialmente 27 observações *cross-section*, que correspondem aos 26 estados e o Distrito Federal, e 12 observações temporais, totalizando 324 observações.

Para escolha do período analisado, inicialmente, considerou-se o ano de 1989 como limite inferior, pois a partir de então existem dados para o estado do Tocantins (último estado criado na Federação). No entanto, optou-se por começar a pesquisa a partir do início da próxima década. A escolha do último ano foi limitada pela disponibilidade de dados sobre temperatura.

Os dados sobre consumo de energia elétrica (*proxy* da demanda) são disponibilizados no BEN, que é elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME). Os dados de consumo residencial foram coletados diretamente no *site* do BEN. No entanto, os dados sobre consumo comercial e industrial foram obtidos no IPEA-DATA.

Uma observação a ser feita é que a soma dos dados estaduais não coincide necessariamente com o total do Brasil, pois os dados do país incluem empresas que não tinham informações por estado. Outra observação é que, para o ano de 1997, não

²⁵ Somente para os índices IPA-OG as observações são nacionais, devido à ausência de dados para todos os estados brasileiros. Assim, as observações variam nos anos, mas não entre as unidades da *cross-section*.

havia informação de consumo estadual comercial e de consumo industrial do Distrito Federal (DF).

Para tratar a ausência de informação comercial, observou-se que a taxa de crescimento do consumo residencial entre 1995 e 1996 se assemelhava ao crescimento comercial neste período para a maioria dos estados. Assim, foi aplicada a taxa de crescimento do consumo residencial observada entre 1996 e 1997 sobre o os dados de consumo comercial de 1996 para obter dados de consumo para o ano de 1997. Para o caso do DF, foi utilizado o método *Cubic Spline* que representa uma interpolação através do polinômio de terceira ordem. Sua principal característica é promover a suavização de um período para outro.

Os dados de tarifa (*proxy* do preço²⁶) foram disponibilizados pela Superintendência de Regulação Econômica (SRE) da ANEEL. A tarifa média por empresa distribuidora de energia elétrica foi calculada a partir da divisão da receita tarifária pela quantidade de energia fornecida. Para obtenção da tarifa média estadual, primeiramente, foi necessária a construção de pesos relativos à participação de cada empresa na distribuição de energia no estado. Em seguida, foi calculada uma média ponderada da tarifa das empresas atuantes em cada estado. Por fim, os valores foram deflacionados pelo Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI) com ano base 2000.

O PIB (clássica *proxy* de renda) tem como fonte o IBGE e foi coletado no IPEA-DATA, já expresso em reais de 2000. Optou-se pela utilização do PIB *per capita* no caso residencial para capturar a influência do tamanho da população de cada estado no consumo de eletricidade.

Os índices de preços utilizados são *proxies* para o preço dos equipamentos intensivos em eletricidade e para o preço do bem substituto, no caso da indústria somente²⁷. As séries originais representavam a **variação nominal mensal dos preços** com base em ago./1994. Primeiramente, foi calculada a variação (%) nominal mensal dos preços. Depois, deflacionou-se a nova série pelo IPA-OG (% a.m.). Em seguida, foi feita a média dos meses para obter a variação (%) real anual. Construiu-se um número índice com base 100=1991 e efetuou-se a mudança de base

²⁶ Até 2005, a tarifa, que é definida pela ANEEL, continha dois encargos: PIS e COFINS. O preço pago pelo consumidor final adicionava à tarifa, o imposto ICMS. A partir de 2006, a tarifa não envolve mais os encargos, mas para obtenção do preço final, eles devem ser somados à tarifa e ICMS.

²⁷ O índice escolhido, IPA-OG, é o mesmo utilizado nos estudos para a economia brasileira.

(100=2000) para, enfim, obter um índice que representasse a **variação real anual dos preços** dos equipamentos intensivos em eletricidade e do bem substituto.

As realizações passadas de temperatura trimestral (1961 – 1990) e mensal (1991 – 2002) são observadas na base de dados CRU CL 2.0 10' do Climate Research Unit (CRU), de resolução espacial 0,5° X 0,5° para o território nacional, da University of East Anglia. O IPEA espacializou os dados ao nível municipal. Para obter a temperatura trimestral, calculou-se a média das temperaturas a cada três meses. Assim, o primeiro trimestre envolve os meses de dezembro, janeiro e fevereiro; o segundo, os meses de março, abril e maio; o terceiro, junho, julho e agosto; o quarto abrange setembro, outubro e novembro.

A temperatura mensal futura (2010 – 2100) é projetada por 10 Modelos de Circulação Geral (MCG) do IPCC 2007, de diferentes coordenadas (latitude e longitude), para cada cenário de emissão de GEE²⁸. A partir da média das projeções espacializadas dos 10 modelos²⁹, o IPEA disponibilizou a temperatura trimestral média futura para os períodos 2010 – 2039, 2040 – 2069, 2070 – 2099, ao nível municipal. Para obter ambas as bases em nível estadual, calculou-se a média aritmética das temperaturas das municipais.

4.3.1. Estatísticas Descritivas

A título de ilustração apresentam-se nas Tabelas 3 e 4 algumas estatísticas descritivas dos dados referentes às variáveis utilizadas na estimação dos três modelos de demanda de energia elétrica e na simulação do impacto das mudanças climáticas.

Cabe destacar que, em média, de 1991 à 2002, as indústrias estiveram sujeitas à cobrança de tarifa relativamente mais baixa, enquanto o consumidor comercial esteve sujeito ao maior nível relativo de tarifa. A partir dos dados da Tabela 3, é possível calcular que a magnitude da diferença das tarifas aplicadas a estas classes é de 46%, aproximadamente. Por desfrutar de tarifas baixas, é possível que a indústria seja pouco sensível às suas modificações.

²⁸Os modelos climáticos MCG são representações numéricas do sistema climático, com base nas propriedades físicas, químicas e biológicas de seus componentes, nas suas interações e nos processos de retroalimentação (IPCC 2001a).

²⁹ Utiliza-se a média das projeções de diferentes modelos para tentar diminuir as chances de erro da projeção, na medida em que cada modelo envolve diferentes pressupostos e diferente grau de adequação à realidade observada.

Tabela 3 – Média, variância desvio-padrão, valor mínimo e valor máximo dos dados estaduais utilizados na estimação dos três modelos de demanda

Modelo	Variável	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Residencial	Consumo	2,50e+09	4,51e+09	6,50e+07	2,76e+10
	Tarifa	0,1425	0,0378	0,0036	0,2800
	PIB <i>per capita</i>	4917,84	2822,978	1442,289	21372,12
	IPA-OG ² – Eletrodomésticos	105,0127	5,3694	98,6606	115,2560
Comercial	Consumo	1,34e+09	2,55e+09	2,37e+07	1,68e+10
	Tarifa	0,1492	0,0465	0,0211	0,3729
	PIB comercial	3,10e+09	5,60e+09	9,55e+07	4,08e+10
	IPA-OG – Material Elétrico Total	103,7010	4,1214	99,0711	111,02
Industrial	Consumo	4,25e+09	7,82e+09	682665,7	4,12e+10
	Tarifa	0,1021	0,0443	0,0148	0,3424
	PIB industrial	1,38e+10	2,82e+10	8,45e+07	1,71e+11
	IPA-OG – Máquinas e Equipamentos para Indústria	101,4666	1,7103	99,0856	103,95
	IPA-OG – Combustíveis e Lubrificantes	98,8633	1,5992	97,1479	101,6490

Fonte: Dados da pesquisa.

Observando as informações da Tabela 4, é possível verificar que, de 1991 a 2002, o primeiro trimestre foi o mais quente do ano, na medida em que apresenta maior temperatura média, inclusive com a temperatura mínima realizada superior à ocorrida nos outros trimestres. A comparação dos dados presentes com os dados projetados de temperatura para os três períodos permite verificar que é esperado maior aumento para o cenário A2 relativamente ao A1B. Assim, poder-se-ia esperar maior impacto sobre a demanda de eletricidade para os períodos referentes ao cenário A2.

Tabela 4 – Média, variância desvio-padrão, valor mínimo e valor máximo dos dados estaduais de temperatura utilizados na estimação dos três modelos de demanda e/ou na simulação

Cenário	Temperatura	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
PRESENTE	Trim1	26,0142	1,3222	22,3000	28,4586
	Trim2	24,7906	2,2742	18,7150	28,0104
	Trim3	22,9165	3,6179	13,5752	28,4038
	Trim4	25,2684	2,7308	18,0852	29,7591
A1B	Trim1 2020 ¹	26,4344	1,5373	22,9900	28,2000
	Trim2 2020	25,4622	2,2368	20,0300	27,6700
	Trim3 2020	23,7500	3,5084	15,9600	27,7600
	Trim4 2020	25,9270	2,7456	19,3200	29,6700
	Trim1 2050 ²	27,4407	1,5502	23,9100	29,1600
	Trim2 2050	26,4941	2,3061	20,8300	28,8200
	Trim3 2050	24,7874	3,6074	16,7200	28,8500
	Trim4 2050	27,0070	2,8010	20,2400	30,7200
	Trim1 2080 ³	28,4663	1,5740	24,7600	30,1000
	Trim2 2080	27,5163	2,3271	21,7900	30,0600
	Trim3 2080	25,8096	3,6839	17,6300	30,2700
	Trim4 2080	28,1348	2,9245	21,0600	31,8500
A2	Trim1 2020	26,3831	1,5299	22,9100	28,1788
	Trim2 2020	25,3814	2,2993	19,8508	27,6498
	Trim3 2020	23,6710	3,5344	15,8485	27,6782
	Trim4 2020	25,9205	2,7581	19,2385	29,6910
	Trim1 2050	27,4323	1,5345	23,8657	29,1345
	Trim2 2050	26,4857	2,2778	20,9238	28,8952
	Trim3 2050	24,6841	3,6378	16,5751	28,7758
	Trim4 2050	26,9588	2,8163	20,1132	30,7300
	Trim1 2080	28,9496	1,5901	25,1255	30,5955
	Trim2 2080	28,0450	2,3510	22,1617	30,6039
	Trim3 2080	26,3233	3,7590	17,8956	30,8195
	Trim4 2080	28,6156	2,9969	21,3664	32,4702

Fonte: Dados da pesquisa.

Nota: ¹Média estadual da temperatura trimestral projetada para o período 2010 – 2039. ²Média estadual da temperatura trimestral projetada para o período 2040 – 2069. ³Média estadual da temperatura trimestral projetada para o período 2070 – 2099.

5. RESULTADOS

Nesta seção, serão apresentados e analisados os resultados da estimação dos modelos de demanda de energia elétrica das três principais classes de consumo (residencial, comercial, industrial) do Brasil. E, também, os resultados obtidos da simulação dos impactos das mudanças climáticas, aumento da temperatura trimestral média, sobre o consumo futuro de energia elétrica do país e de suas regiões.

5.1. Demanda de Energia Elétrica

A partir de dados em painel dinâmico e utilizando o método de Arellano e Bond, inicialmente, estimou-se a demanda residencial de energia elétrica para o período 1991 – 2002, considerando a influência da temperatura trimestral. O resultado encontra-se na Tabela A1 do Apêndice³⁰. Após verificar problema de correlação serial nos resíduos com o teste de autocorrelação de Arellano-Bond³¹, optou-se por re-estimar a demanda retirando as observações do ano de 2002. Tal opção deve-se às evidências de quebra estrutural, possível geradora do problema.

Em meados de 2001, o governo brasileiro implantou um programa de racionamento do consumo de energia elétrica na maioria dos estados, que teve término no início de 2002. Buscando verificar uma possível mudança no padrão de consumo, alguns estudos de demanda de eletricidade incorporaram os efeitos do racionamento e detectaram quebra estrutural [Mattos e Lima (2005), Mattos et.al. (2005) e Siqueira, Cordeiro Jr. e Castelar (2006)]. Devido à indisponibilidade de observações de temperatura pós 2002, não houve opção de incorporar, também nesta pesquisa, os efeitos do racionamento, ou de realizar algum teste de quebra estrutural. Assim, apóia-se nas evidências de tais estudos para **retirar o ano de 2002 da pesquisa**, último ano da amostra.

Após a retirada das observações referentes ao ano de 2002 da amostra, estimaram-se os três modelos de demanda, conforme a equação (21). Para que seus

³⁰ A título de ilustração, os resultados das estimativas que consideram a influência da temperatura mensal se encontram disponíveis nas Tabelas A3, A4 e A5 do Apêndice.

³¹ Equação do teste pode ser encontrada em Arellano, M.; Bond, S. R., p. 282, 1991.

coeficientes possam ser interpretados, é necessário verificar, em seguida, sua consistência pelo teste de autocorrelação de Arellano-Bond. Embora os coeficientes sejam reportados para o nível das variáveis, o teste é realizado no resíduo em diferença, resultante do método de estimação. As hipóteses testadas referem-se à ausência de correlação serial de primeira e segunda ordem. Sendo desejável, para garantir a consistência das estimativas, rejeitar a primeira e não rejeitar a segunda. Seu resultado encontra-se na parte inferior da Tabela 5.

A consistência dos estimadores MMG depende, portanto, do pressuposto de inexistência de correlação serial de segunda ordem no resíduo em primeira diferença, $E(\Delta v_{it} \Delta v_{i,t-2}) = 0$, que implica, necessariamente, ausência de autocorrelação nos resíduos em nível, como pressupõe o método empregado. Assim, pela análise da Tabela 5, verifica-se que não é possível rejeitar a hipótese nula de ausência de correlação serial de segunda ordem ao nível de 5% de significância para os modelos residencial e industrial. Entretanto, para a demanda comercial, não foi possível encontrar evidência estatística de consistência das estimativas, pois não foi possível rejeitar a hipótese nula de ausência de correlação serial de primeira ordem. Desta forma, o valor esperado dos coeficientes estimados (a partir da amostra) não tende necessariamente para seu verdadeiro valor na população. Para tentar obter estimativas consistentes, especificações alternativas foram testadas, todavia não foi suficiente para eliminar o problema³². A fonte da autocorrelação poderia ser a existência de dinâmica mais complexa nas relações entre as variáveis ou a possível existência de algum outro fator relevante, não especificadas no modelo. Isto dificulta a especificação adequada da demanda atual em função das demandas anteriores.

A análise da Tabela 5 permite ainda dizer que, de modo geral, os modelos residencial e comercial de demanda apresentam resultados satisfatórios, com coeficientes com sinais esperados conforme a teoria econômica e significativos estatisticamente. Embora os coeficientes da demanda comercial sejam tendenciosos, o modelo foi capaz de captar o sentido da relação entre consumo e seus determinantes. Não se pode afirmar o mesmo para o modelo industrial, pois o coeficiente do preço do equipamento intensivo em eletricidade apresentou sinal positivo e os coeficientes do preço do bem substituto e da renda apresentaram sinal negativo, contrariamente ao esperado. Tal incoerência poderia ser originada por erro

³²Seus resultados encontram-se disponíveis na Tabela A2 do Apêndice.

Tabela 5 – Coeficientes estimados para as demandas Residencial, Comercial e Industrial de energia elétrica do Brasil, 1991 – 2001, considerando a **temperatura trimestral**

Variável	Residencial	Comercial	Industrial
Intercepto	1,11e+10*** (9,00e+08)	1,77e+08 (2,00e+08)	-7.92E+09*** (1.34E+09)
Consumo (t-1) ¹	0,8215*** (0,0083)	0,9355*** (0,0037)	0,0958*** (0,0234)
Tarifa ¹	-6,58e+08*** (1,18e+08)	-1,72e+08*** (3,24e+07)	-1,44e+08 (3,25e+08)
Renda ¹	390182,50*** (34456,4300)	0,0725*** (0,0032)	-0,1220*** (0,0032)
PEI ²	-8,89e+07*** (8140914)	-4151718*** (1359850)	1,00e+08*** (1,04e+07)
S ^{1,4}	-	-	-1,06e+07 (1,39e+07)
Tendência	-1,42e+08*** (1,19e+07)	-	1,49e+08*** (1,29e+07)
Temperatura Trim1	1,21e+08*** (2,83e+07)	9,19e+07*** (5198139)	-1,13e+08*** (3,58e+07)
Temperatura Trim2	-2,04e+08*** (2,47e+07)	-9,06e+07*** (3864993)	3,04e+08*** (2,93e+07)
Temperatura Trim3	2658972 (1,16e+07)	-1,26e+07*** (3282977)	-9,68e+07*** (1,89e+07)
Temperatura Trim4	-1,04e+07 (9675141)	1,43e+07*** (1974170)	1,15e+07 (2,52e+07)
Teste Arellano-Bond AR(1)	z = -2,9208	z = -1,2848	z = -2,3487
H0: Nenhuma correlação de 1.ª ordem nos resíduos ³	prob>z = 0,0035	prob>z = 0,1989	prob>z = 0,0188
Teste Arellano-Bond AR(2)	z = 1,4391	z = 1,2761	z = 1,7660
H0: Nenhuma correlação de 2.ª ordem nos resíduos ³	prob>z = 0,1501	prob>z = 0,2019	prob>z = 0,0774

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: *** Significativo a 1%. ** Significativo a 5%. * Significativo a 10%. Os valores entre parênteses referem-se aos erros-padrão. ¹Variáveis endógenas. Na estimação, a defasagem de dois períodos de cada uma destas variáveis (em nível) foi utilizada como instrumento para sua primeira diferença. ²PEI é o preço de equipamentos intensivos em eletricidade (eletrodomésticos, material elétrico total, máquinas e equipamentos para indústria). ³Vale lembrar que, esta hipótese refere-se aos resíduos em diferença. ⁴S é preço do bem substituto (combustíveis e lubrificantes) para a indústria.

de medida nos dados utilizados, pois, enquanto as observações sobre tarifa de energia elétrica incluem informações somente das indústrias que contratam eletricidade das distribuidoras, excluindo as indústrias que atuam no mercado livre, o restante das observações referente às outras variáveis “carrega” informações sobre todo o setor. As indústrias que apresentam demanda contrata de eletricidade superior a 3000 Kw têm a opção de atuar no mercado livre e contratar energia diretamente da unidade geradora.

Embora a tarifa (*proxy* do preço da eletricidade) tenha apresentado sinal esperado para seu coeficiente, ela não é um fator determinante estatisticamente significativo para a demanda industrial. Esta insensibilidade pode ser explicada pela forma de aquisição da energia elétrica, pois, dado o grande volume contratado por determinado período, os grandes consumidores industriais usufruem de preços mais baixos, como foi evidenciado na análise das estatísticas descritivas.

Para análise da sensibilidade da demanda aos seus determinantes, foram reportadas as elasticidades na Tabela 6³³. Somente serão interpretadas as elasticidades correspondentes aos coeficientes que apresentaram sinal esperado, consistência e significância estatística.

Tabela 6 – Elasticidades das demandas Residencial, Comercial e Industrial em relação aos seus determinantes, considerando a **temperatura trimestral**

Variável	Residencial	Comercial	Industrial
Consumo (t-1)	0,7926	0,8831	0,1151
Tarifa	-0,0367	-0,0189	-0,0042
Renda	0,7408	0,1593	-0,4980
PEI ¹	-3,6488	-0,3179	2,9171
S ²	-	-	-0,3010
Tendência	-0,3621	-	0,2782
Temperatura Trim1	0,0476	0,0680	-0,0324
Temperatura Trim2	-0,0801	-0,0671	0,0875
Temperatura Trim3	0,0010	-0,0093	-0,0278
Temperatura Trim4	-0,0041	0,0106	0,0033

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: ¹ PEI é o preço de equipamentos intensivos em eletricidade (eletrodomésticos, material elétrico total, máquinas e equipamentos para indústria). ² S é preço do bem substituto (combustíveis e lubrificantes) para a indústria.

³³ Elasticidades calculadas no ponto médio da amostra.

Assim como nos demais estudos, nesta pesquisa, também se encontram demandas de eletricidade pouco sensíveis às modificações em seu próprio preço. Para o caso residencial, uma variação de 1% na tarifa é acompanhada, em média, por uma variação, no sentido inverso, de 0,04% na quantidade demandada, *ceteris paribus*. Tal nível de inelasticidade pode ser atribuída ao fato de a eletricidade ser praticamente a única fonte de energia disponível nas residências brasileiras, além do gás de cozinha. Para as residências situadas em áreas rurais, pode haver disponibilidade de lenha como fonte energética alternativa. No entanto, a lenha não compete com muitos serviços resultantes do uso de eletricidade, pois, na maioria dos casos, substitui a eletricidade apenas no aquecimento da água utilizada no banho, pelo uso de Serpentina.

O consumo passado, representado pelo termo auto-regressivo, exerce influência positiva e significativa sobre as demandas das três classes. No caso residencial, dados os coeficientes de elasticidade, o consumo no período t-1 é a segunda variável de maior influência sobre a demanda, desta forma, verifica-se forte inércia nos hábitos de consumo de eletricidade dos consumidores residenciais.

Em acordo com a literatura, a demanda residencial é inelástica em relação à renda, embora ela seja um de seus principais determinantes. Permanecendo tudo mais constante, espera-se uma expansão (redução) de 0,74%, em média, na quantidade demandada de eletricidade, dado um aumento (queda) de 1% na renda disponível.

A demanda residencial mostrou-se bastante sensível ao preço dos eletrodomésticos, pois, uma queda (aumento) de 1% em PEI será acompanhada por um aumento (queda) de 3,65% na quantidade demandada. Tamanha sensibilidade, divergente dos demais estudos, pode ser explicada pela amostra trabalhada. O período de dados envolve poucos anos em torno de 1994, assim, com o advento do Plano Real, a recuperação do poder de compra e estabilização dos níveis de preços pode ter conduzido a uma grande elevação na aquisição de utensílios domésticos elétricos neste período. Além disso, a década de 1990 coincidiu com a expansão das grandes redes de varejo do país, pelo aumento do número de filiais e, ou, pela criação de lojas *on-line*.

Os modelos residencial e industrial apresentaram melhor ajuste com a inclusão de um termo de tendência temporal, que capta a influência dos fatores não observados que variam somente no tempo sobre a demanda. O sinal negativo apresentado na demanda residencial poderia ser explicado pela evolução tecnológica

que vai tornando os equipamentos elétricos mais eficientes no consumo de energia com o passar dos anos. Na indústria, encontra-se relação positiva entre consumo industrial e o tempo. Embora a indústria esteja também sujeita ao processo de evolução tecnológica, tal relação poderia ser explicada pelo fato de que a tendência possa estar capturando predominantemente a influência de outro fator não observado que apresenta relação direta com o consumo industrial de eletricidade ao longo dos anos.

Quanto à temperatura trimestral, representante da influência do clima na demanda e diferencial desta pesquisa, pode-se dizer, a partir da análise das Tabelas 5 e 6, que é um importante fator determinante da demanda energia elétrica do Brasil para as três principais classes de consumo, dada sua significância estatística e a magnitude de alguns de seus coeficientes de elasticidade.

Dada a dimensão continental do país³⁴ e conseqüente diversidade climática entre e intra-regional, não é possível inferir, em princípio, o sinal a ser esperado para os coeficientes das temperaturas trimestrais.

Na verdade, somente para o trimestre 1, que envolve dezembro, janeiro e fevereiro, há razões para esperar uma relação positiva com a demanda de eletricidade, pois, são meses bem marcados por temperaturas relativamente elevadas e maior volume de chuva em todo país, o que contribui para aumento da sensação térmica de calor elevando ainda mais a necessidade de eletricidade para refrigeração. Esta expectativa é confirmada para as demandas residencial e comercial, pois, como pode ser verificado na Tabela 5, o trimestre 1 apresenta coeficiente positivo.

Assim, pode-se retornar à Tabela 6 para interpretar a elasticidade da temperatura em relação à demanda residencial de energia elétrica. Nota-se que um aumento (queda) de 1^oC na temperatura média do trimestre 1 será acompanhado pelo aumento (queda) de 0,05% na quantidade demandada, dado o aumento (queda) da necessidade de refrigeração do ambiente para manter estável o nível de conforto dos consumidores residenciais. Diante tal nível de sensibilidade, é possível afirmar que a temperatura do trimestre 1 é tão importante quanto a tarifa na determinação do consumo residencial de energia elétrica no Brasil.

Em um contexto de restrições na expansão da oferta somadas às previsões de comprometimento do potencial de geração energética, de um lado, e expansão da

³⁴ O Brasil tem parte de alguns estados da região Norte pertencente ao hemisfério Norte, enquanto os estados do Sul situam-se abaixo do Trópico de Capricórnio.

demanda dado aumento das necessidades de refrigeração devido às mudanças climáticas, do outro, a informação acima pode ser levada em consideração na definição dos instrumentos adequados para gerenciamento da demanda. Uma política de racionamento do consumo via preço no primeiro trimestre poderia não ser suficiente na medida em que a redução do consumo seria menor do que o aumento proveniente do aumento da temperatura, dadas as suas elasticidades. Embora a experiência nacional tenha mostrado que a política de racionamento via preço tenha afetado o padrão de consumo dos consumidores, esta política tem um limite. Os preços não poderão subir indiscriminadamente. E, considerando, agora, o efeito do clima, é possível verificar que em um contexto de mudanças climáticas a política de preço poderia não ser suficiente dependendo do trimestre analisado.

Assim, além de procurar gerir a demanda de forma mais eficiente, é importante algum esforço de tornar a economia menos dependente de uma única fonte de eletricidade e também da própria eletricidade.

A inclusão da temperatura desagregada em trimestres tem a vantagem de poder captar a relação não-linear esperada entre a temperatura e a demanda de energia elétrica. Assim, no mesmo sentido dos estudos internacionais, no caso brasileiro, confirma-se a existência da não-linearidade nesta relação, visto que os coeficientes trimestrais de temperatura apresentam sinais diferentes (ora positivo, ora negativo) e significativos estatisticamente.

5.2. Impacto das Mudanças Climáticas na Demanda de Energia Elétrica

Na Tabela 7, encontra-se o resultado da simulação do possível impacto das mudanças climáticas sobre a demanda nacional e regional de energia elétrica das três classes de consumo em relação a cada período futuro, obtido a partir das projeções de aumento da temperatura trimestral média conforme o cenário de emissão de GEE do AR4 (IPCC 2007).

Em relação aos modelos residencial e industrial³⁵, a observação dos resultados encontrados para o Brasil indica que a elevação projetada na temperatura trimestral média terá impacto positivo sobre a demanda de energia elétrica até o fim

³⁵ A simulação do impacto das mudanças climáticas para o modelo comercial não serão discutidos, pois, seu resultado baseia-se em estimativas inconsistentes dos determinantes de sua demanda.

deste século, com elevação da quantidade demandada de até 4% e 3% respectivamente, *ceteris paribus*.

Tabela 7 – Variação percentual da quantidade consumida de energia elétrica do Brasil e suas regiões esperada para cada período em relação ao período PRESENTE (1991 – 2001), conforme cenário considerado

Modelo		A1B			A2		
		2020 ¹	2050 ²	2080 ³	2020	2050	2080
Residencial	Brasil	1,07	2,22	3,32	0,95	2,21	3,94
	Norte	0,93	1,92	2,91	0,93	1,97	3,41
	Nordeste	0,20	1,06	1,71	0,20	0,96	2,14
	Sudeste	13,61	21,07	29,47	9,79	20,78	34,03
	Sul	2,41	3,67	5,49	1,94	3,96	6,22
	Centro-Oeste	1,56	3,01	4,34	1,49	2,98	5,26
Comercial	Brasil	-1,92	-1,80	-1,40	-1,63	-1,76	-1,65
	Norte	6,45	6,72	3,22	8,60	10,13	5,82
	Nordeste	3,64	3,63	6,63	3,54	4,77	6,91
	Sudeste	-1,43	-1,32	-1,22	-1,10	-1,25	-1,26
	Sul	-2,57	-1,93	-2,31	-2,09	-2,35	-2,34
	Centro-Oeste	-11,35	-12,67	-11,78	-10,86	-11,70	-15,10
Industrial	Brasil	0,73	1,71	2,66	0,63	1,78	3,20
	Norte	0,97	1,89	2,81	0,99	2,02	3,29
	Nordeste	0,00	0,87	1,52	-0,01	0,75	1,90
	Sudeste	1,70	2,91	4,42	1,00	3,04	5,27
	Sul	1,23	2,21	3,52	0,89	2,64	4,16
	Centro-Oeste	1,10	2,31	3,45	1,08	2,43	4,24

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Nota: ¹Representa 2010 – 2039; ²Representa 2040 – 2069; ³Representa 2070 – 2099.

Nota-se que a magnitude do impacto é crescente ao longo dos três períodos futuros considerados, pois, para o cenário A2, por exemplo, espera-se um aumento de 1% entre 2020 e 2039, enquanto até 2070 – 2099 pode ser esperado um aumento de 4% da quantidade demandada nas residências brasileiras. Assim, quanto mais distante o período temporal considerado (com maior nível acumulado de emissões de GEE), maior poderá ser o impacto sobre a demanda de eletricidade.

Outra observação refere-se ao tipo de cenário considerado para análise do impacto das mudanças climáticas. De modo geral, sob as hipóteses do cenário A2, que conduzem ao elevado nível de emissões de GEE no futuro, verifica-se um impacto maior sobre a demanda de eletricidade do que no cenário A1B, de emissão relativamente mais baixa. Esta diferença torna-se mais evidente no último período futuro analisado, visto que entre 2070 e 2099, para a indústria, por exemplo, é

esperado um aumento na quantidade demandada de 2,66% sob o cenário A1B, enquanto para o cenário A2 pode ocorrer uma elevação em torno de 3,2%. Como dito antes, este aumento não leva em conta os efeitos de interação entre as demais variáveis do modelo. Assim, tais efeitos poderiam potencializar o impacto da temperatura sobre a demanda de eletricidade.

Passando para o nível regional da análise, em ambos os modelos, é possível verificar impacto positivo e de diferente magnitude das mudanças climáticas para as regiões brasileiras. Todas apresentam comportamento semelhante ao do país quanto aos possíveis impactos da elevação da temperatura ao longo dos períodos e sob os diferentes cenários considerados.

Especificamente, embora o Sul e Sudeste brasileiro sejam regiões relativamente mais frias, a dimensão da diferença na temperatura trimestral média não é suficiente para esperar que a demanda de energia elétrica nestas duas regiões seja predominantemente destinada ao aquecimento em detrimento de seu uso para atender às necessidades de refrigeração. Tal fato justificaria esperar, também para estas duas regiões, que o aumento da temperatura futura resulte em aumento da demanda de eletricidade para refrigeração superior à queda decorrente da menor necessidade de aquecimento. Assim, como de fato foi simulado, deve-se esperar que o impacto das mudanças climáticas sobre a demanda de eletricidade seja positivo para todas as regiões do país.

Para o Brasil e suas regiões, sob ambos os cenários, observa-se que o impacto das mudanças climáticas será maior para a demanda residencial de energia elétrica em relação à demanda industrial nos períodos futuros considerados. Como já mencionado, não é grande a proporção de eletricidade demandada para fins de refrigeração na indústria, o que pode explicar o menor impacto resultante do aumento projetado na temperatura.

Para finalizar, vale chamar à atenção que, segundo os dados do BEN (2010) as regiões Sul e Sudeste, juntas, são responsáveis pelo consumo de cerca de 70% do total da eletricidade consumida no país entre 1990 e 2009. Assim, dado que os maiores impactos estão previstos para estas regiões, pode ser esperado aumento de grande volume de energia elétrica demandada no país. E ainda, os dados apontam que a indústria foi responsável pela apropriação de cerca de 50% do total da eletricidade consumida pelas diferentes classes de consumo neste mesmo período. Desta forma, embora o impacto percentual seja menor na indústria em relação às

residências, esta participação no consumo, também poderá agir no sentido de elevar bastante o volume de energia demandado no país.

6. CONCLUSÕES

Frente à importância da eletricidade como componente do vetor energético da economia brasileira e ao inerente processo de mudanças climáticas, esta pesquisa se preocupou em verificar, para as três principais classes de consumo, a influência da temperatura na demanda de energia elétrica e o possível impacto do aumento de temperatura previsto até o fim deste século na quantidade demandada nacional e regional.

A partir da análise da primeira parte de resultados, identificou-se a temperatura como importante fator determinante da demanda residencial, comercial e industrial de energia elétrica do Brasil. Também, verificou-se que a demanda de energia elétrica, de fato, não reage de forma linear às mudanças na temperatura.

Estes resultados conduzem à conclusão de que é importante considerar os fatores climáticos no estudo da demanda de eletricidade para que se possa obter estimativas confiáveis de sua relação com os seus determinantes. Além disso, é importante desagregar a temperatura a fim de captar a verdadeira influência do clima sobre o consumo, dada a relação não-linear existente. Assim, pode-se auxiliar o setor de energia elétrica no provimento adequado e, conseqüentemente, evitar o comprometimento do ritmo de crescimento econômico nacional, que tem nas fontes de energia uma das principais forças motrizes.

A segunda parte dos resultados indicou que as demandas residencial e industrial de energia elétrica do Brasil e de suas regiões poderão sofrer impacto positivo das mudanças climáticas, com elevação da quantidade consumida caso se realizem as projeções futuras de aumento da temperatura trimestral média.

Embora seja esperado impacto positivo sobre as demandas destas duas classes de consumo e sobre todas as regiões do país, a magnitude do aumento esperado não será homogênea, dadas as diferenças na proporção de eletricidade destinada às necessidades de refrigeração entre as classes e na projeção regional de temperatura trimestral, respectivamente.

A partir destes resultados, é possível concluir que, diante da diferença da participação das classes no total consumido de eletricidade no país, é importante a desagregação da demanda de energia elétrica conforme a classe de consumo a fim de

se obter estimativas mais precisas sobre a influência da temperatura trimestral na quantidade demandada. Outra conclusão é que, dadas as diferenças regionais na proporção do total de eletricidade consumida no país, é importante a desagregação da simulação do impacto das mudanças climáticas sobre a demanda em nível regional, visto que pode evitar sub ou super-estimação da variação na quantidade demandada em resposta à elevação projetada para a temperatura trimestral no futuro.

Assim, dota-se o setor energético, como um todo, de informação capaz de auxiliar no planejamento da expansão da capacidade produtiva conforme a região e assim evitar nova necessidade de racionamento do consumo e possível desaquecimento da economia.

Aponta-se como limitação desta pesquisa, os pressupostos necessários para a realização do exercício de simulação do impacto das mudanças climáticas. Para a execução deste exercício, foi realizada a previsão do consumo futuro que, assim como em qualquer trabalho que se proponha a fazer previsão, implica assumir que a relação entre as variáveis manter-se-á constante como o passar dos anos. Tal estabilidade pode não se concretizar para longo período de análise, pois podem ocorrer mudanças estruturais que modifiquem o relacionamento entre as variáveis.

Como sugestão para trabalhos futuros, indica-se que sejam incorporados dados mais recentes, pós-acionamento, a fim de que, a captação dos efeitos do racionamento seja levada em conta no exercício de simulação do impacto das mudanças climáticas sobre a demanda de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

- ACHÃO, C.C.L. **Análise da Estrutura de Consumo de Energia no Setor Residencial Brasileiro**. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/cclachao.pdf>>.
- AHN, S. C.; SCHMIDT, P. Efficient Estimation of Models for Dynamic Panel Data Models. **Journal of Econometrics**, v.68, p.5-27, 1995.
- ANDRADE, T. A.; LOBÃO, W. J. A. **Elasticidade renda e preço da demanda residencial de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: IPEA, Jul. 1997. (Texto para Discussão, n. 489).
- ANDERSON, T. W.; HSIAO, C. Estimation of Dynamic Models with Error Components. **Journal of the American Statistical Association**, v.76, p. 598-606, 1981.
- ANDERSON, T. W.; HSIAO, C. Formulation and Estimation of Dynamic Models using Panel Data. **Journal of Econometrics**, v.18, p. 47-82, 1982.
- AR3 – Terceiro Relatório de Avaliação. **Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas** (IPCC), 2001.
- AR4 – Quarto Relatório de Avaliação. **Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas** (IPCC), 2007.
- ARELLANO, M.; BOND, S. R. Some Tests of Especification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and Application to Employment Equations. **Review of Economic Studies**, v.58, p. 277-297, 1991.
- ARELLANO, M.; BOVER, O. Another Look at the Instrumental Variables Estimation of Error Component Models. **Journal of Econometrics**, v.68, p.29-51, 1995.
- AROONRUENGSAWAT, A.; AUFFHAMMER, M. Impacts of Climate Change on Building Residential Electricity Consumption: Evidence from Billing Data. Department of Agricultural and Resource Economics, UC Berkley, Mar. 2009.

AROUCA, M.C. **Análise da Demanda de Energia no Setor Residencial no Brasil.** Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1982.

BALTAGI, B. H. **Análise Econométrica de dados em painel**, 4ed., J Wiley & Sons, 2008.

BAUGHMAN, M.; JOSKOW, P. Energy Consumption and Fuel Choice by Residential and Commercial Consumers in the United States. **Energy Syst Policy**, v.1, p. 305-323, 1976.

BEN – **Balço Energético Nacional**. Elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), 2010. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/>.

BENTZEN, J.; ENGSTED, T. Short and long-run elasticities in energy demand: a cointegration approach. **Energy Economics**, v.15, n.15, p.9-16, Jan.1993.

BERNDT, E. R. **The practice of Econometrics: classic and contemporary**. [S. I.] Addison-Wesley Publishing Company, Cap. 7, p. 306-337. p.702, 1991.

BIGANO, A.; BOSELLO, F.; MARANO, G. Energy Demand and Temperature: A Dynamic Panel Analysis. **Fondazione Eni Enrico Mattei**, Nota Di Lavoro 112.2006.

BLUNDELL, R.; BOND, S. Inicial Conditions and Moment Restrictions in Dynamic Panel Data Models. **Journal of Econometrics**, v. 87, p.115-143, 1998.

BOND, S. **Dynamic Panel Data Models: A Guide to Micro Data Methods and Practice**. Londres: Cemmap, 2002. (Working Paper).

EMCB – **Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades**. São Paulo: IBEP Gráfica, 2010.

DEBERTIN, D.L. **Agricultural Production Economics**, New York: Macmillan, 1986.

DESCHÊNES, O.; GREENSTONE, M. **Climate Change, Mortality and Adaptation: Evidence from annual fluctuations in weather in the U.S.**

Massachusetts Institute Technology: Department of Economics, 2007. (Working Paper n. 13178).

DEWEES, D.N.; WILSON, T.A. Cold Houses and Warm Climates Revisited: On Keeping Warm in Chicago, or Paradox Lost. **Journal of Political Economy**, v 98, n.3 p.656-63, 1990.

DUBIN, J. A.; MIEDEMA, 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, Autumn, 1986.

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

FERGUSON, C. E. **Microeconomia**, 2 ed., Rio de Janeiro: Forense universitária, 1978.

GOTTLIEB, M. Urban domestic demand for water: a Kansa study. **Land Economics**, v. 39, p. 204-210, 1963.

HAUSMAN, J. A. Individual Discount Rates and the Purchase and Utilization of Energy-Using Durables. **Bell Journal of Economics**, v.10, n.1, p. 33-54, Spring, 1979.

HAUSMAN, J. A. The Econometrics of Nonlinear Budget Sets. **Econometrica**, v. 53, n. 6, p.1255-82, Nov.1985.

HOLTZ-EAKIN, D.; NEWEY, W.; ROSEN, H.S. Estimating vector autoregressions with panel data. **Econometrica**, v. 56, p. 1371-1395.

HOWE, C.; LINAWEAVER JR., F.P. The impact of price on residential water demand and its relation to system design and price structure. **Water Resources Research**, v.3, n.1, p.13-32, 1967.

IRFFI, G.; CASTELAR, I.; SIQUEIRA, M. L.; LINHARES, F. C. Previsão da demanda por energia elétrica para classes de consumo na região Nordeste, usando OLS dinâmico e mudança de regime. **Economia Aplicada**, São Paulo, v.13, n.1, p.69-98, Jan./Mar. 2009.

KAMERSCHEN, D. R.; PORTER, D. V. The demand for residential, industrial and total electricity, 1973 – 1998. **Energy Economics**, v. 26, n.1, p. 87-100, 2004.

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 de energia elétrica em Minas Gerais: 1970-2002. **Nova Economia**, v.15, n.3, p.31-52, Set./Dez. 2005.

MATTOS, L. B.; REIS, B. S.; LIMA, J. E.; LÍRIO, V. S. Demanda industrial de energia elétrica em Minas Gerais, 1970-2002. **Revista de Economia e Agronegócio**, v.3, n.1, p.97-120, 2005.

MAS-COLELL, A., WHINSTON, M. D.; GREEN, J. R. **Microeconomic Theory**, New York : Oxford University Press, 1995.

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).

PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. L. **Microeconomia**, 6 ed., São Paulo: Makron Books, 2005.

SCHAEFFER, R. Sumário Executivo do Relatório **Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil**. Rio de Janeiro:COPPE/UFRJ, jun. 2008.

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

SILK, J. I.; JOUTZ, F. L. Short and long-run elasticities in US residential electricity demand: a co-integration approach. **Energy Economics**, Washington, v.19, p. 493-513, 1997.

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.

SWISHER, J., G.M. JANNUZZI AND R. REDINGLER. **Tools and Methods for Integrated Resources Planning: improving energy efficiency and protecting the environment.** Collaborating Centre on Energy and Environment (UNEP)/ Riso National Lab. Denmark, 1997.

UNITED NATIONS. **Report of the Intergovernmental Negotiating Committee for a Framework Convention on Climate Change on the Work of the second Part of its Fifth Session, held at New York from 33 april to 9 may, 1992.** Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/a/18p2a01.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2011.

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

APÉNDICE

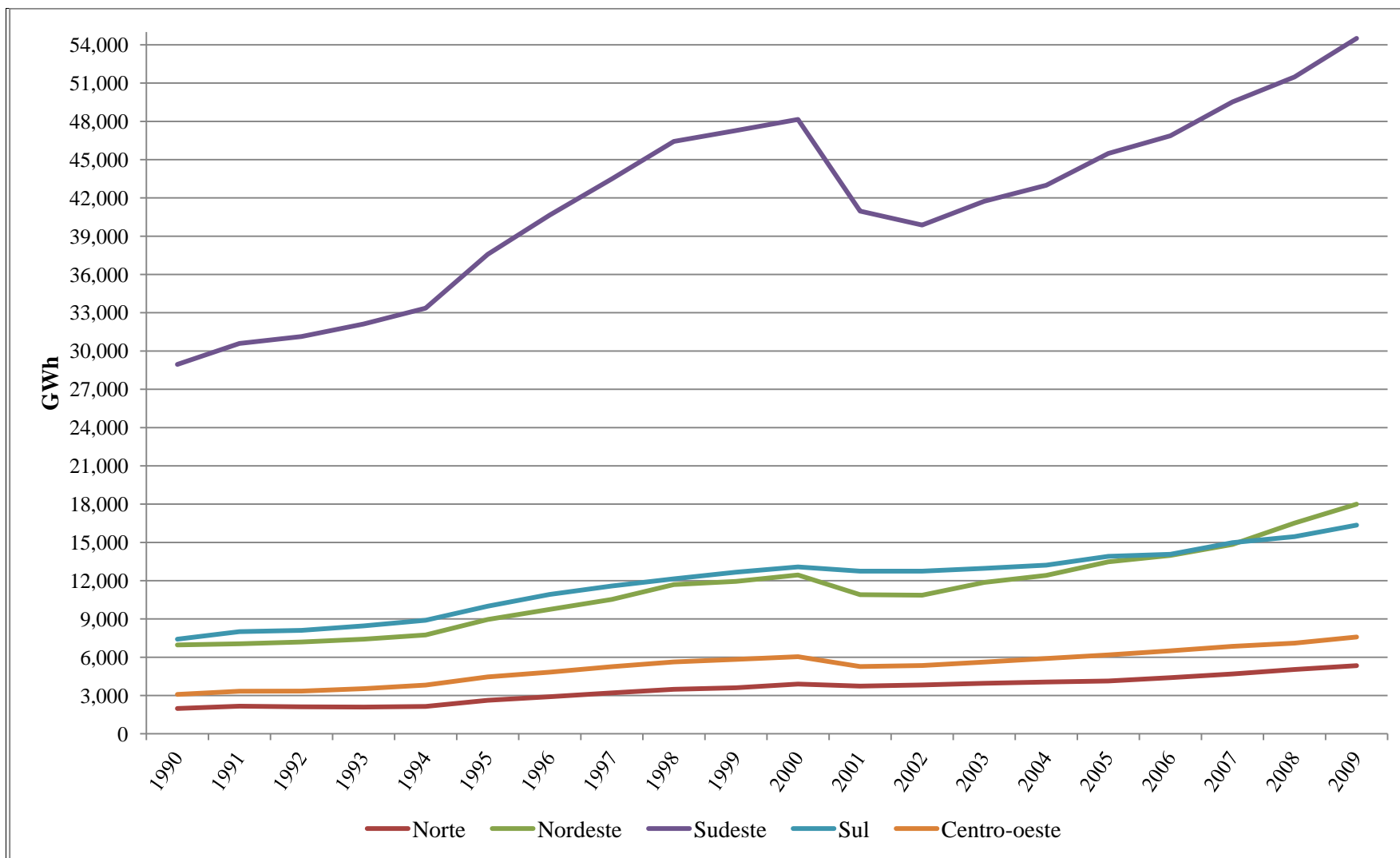


Gráfico A1 – Evolução do consumo Residencial de energia elétrica do Brasil do período pré-acionamento ao período pós-acionamento.

Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN), 2010.

Tabela A1 – Coeficientes estimados para a demanda Residencial de energia elétrica do Brasil, 1991 – 2002, considerando a **temperatura trimestral**

Variável	Residencial
Intercepto	1,01e+10*** (4,64e+08)
Consumo (t-1) ¹	0,8023*** (0,0045)
Tarifa ¹	-5,58e+08*** (5,62e+07)
Renda ¹	145364*** (13840,1900)
PEI ²	-7,46e+07*** (3185297)
Tendência	-1,11e+08*** (6360861)
Temperatura Trim1	1,16e+08*** (1,43e+07)
Temperatura Trim2	-2,02e+08*** (1,98e+07)
Temperatura Trim3	-6109507 (6229237)
Temperatura Trim4	1,77e+07*** (5474995)
Teste Arellano-Bond AR(1)	z = -1,3793
H0: Nenhuma correlação de 1. ^a ordem nos resíduos ³	prob>z = 0,1678
Teste Arellano-Bond AR(2)	z = 1,6963
H0: Nenhuma correlação de 2. ^a ordem nos resíduos ³	prob>z = 0,0898

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: *** Significativo a 1%. ** Significativo a 5%. * Significativo a 10%. Os valores entre parênteses referem-se aos erros-padrão. ¹Variáveis endógenas. Na estimação, a defasagem de 2 períodos de cada uma destas variáveis (em nível) foi utilizada como instrumento para sua primeira diferença. ²PEI é o preço de equipamentos intensivos em eletricidade (eletrodomésticos). ³Vale lembrar que, esta hipótese refere-se aos resíduos em diferença.

Tabela A2 – Coeficientes estimados para especificações alternativas da demanda Comercial de energia elétrica do Brasil, 1991 – 2001, considerando **temperatura trimestral**

Variável	Comercial	Comercial.1	Comercial.2
Intercepto	1,77e+08 (2,00e+08)	1,30e+09*** (4,97e+08)	-1,25e+08 (2,39e+08)
Consumo (t-1) ¹	0,9355*** (0,0037)	-0,2181*** (0,0206)	0,9085*** (0,0017)
Consumo (t-2) ¹	-	1,2074*** (0,0180)	-
Tarifa ¹	-1,72e+08*** (3,24e+07)	-1,27e+08** (6,44e+07)	-2,74e+08*** (3,68e+07)
Renda ¹ (PIB comercial)	0,0725*** (0,0032)	-0,0410*** (0,0056)	-
Renda ¹ (PIB estadual <i>per capita</i>)	-	-	78152,57*** (13786,58)
PEI ²	-4151718*** (1359850)	-4383438** (1965644)	-1168792 (1650716)
Temperatura Trim1	9,19e+07*** (5198139)	1,14e+08*** (8131396)	8,52e+07*** (1,20e+07)
Temperatura Trim2	-9,06e+07*** (3864993)	-9,12e+07*** (6473825)	-9,21e+07*** (1,02e+07)
Temperatura Trim3	-1,26e+07*** (3282977)	-7680309 (4864361)	3148089 (2590910)
Temperatura Trim4	1,43e+07*** (1974170)	-4,29e+07*** (7247653)	3557004 (3190489)
Teste Arellano-Bond AR(1)	z = -1,2848	z = -2,3135	z = -1,2716
H0: Nenhuma correlação de 1. ^a ordem nos resíduos ³	prob>z = 0,1989	prob>z = 0,0207	prob>z = 0,2035
Teste Arellano-Bond AR(2)	z = 1,2761	z = -0,2733	z = 1,2217
H0: Nenhuma correlação de 2. ^a ordem nos resíduos ³	prob>z = 0,2019	prob>z = 0,7846	prob>z = 0,2218
Teste Arellano-Bond AR(3)	-	z = -1,2971	-
H0: Nenhuma correlação de 3. ^a ordem nos resíduos ³	-	prob>z = 0,1946	-

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: *** Significativo a 1%. ** Significativo a 5%. * Significativo a 10%. Os valores entre parênteses referem-se aos erros-padrão. Comercial.1 adiciona mais um termo auto-regressivo; neste modelo, será testada a hipótese de ausência de correlação serial de terceira ordem nos resíduos. Comercial.2 troca o PIB comercial pelo PIB *per capita* como *proxy* de renda. ¹Variáveis endógenas. Na estimação, a defasagem de 2 períodos de cada uma destas variáveis (em nível) foi utilizada como instrumento para sua primeira diferença. ²PEI é o preço de equipamentos intensivos em eletricidade (material elétrico total). ³Vale lembrar que, esta hipótese refere-se aos resíduos em diferença.

Tabela A3 – Coeficientes estimados para a demanda Residencial de energia elétrica do Brasil, 1991 – 2002, considerando a **temperatura mensal**

Variável	Residencial
Intercepto	9,41e+09*** (3,56e+09)
Consumo (t-1) ¹	0,8048*** (0,0100)
Tarifa ¹	-8,46e+08* (4,73e+08)
Renda ¹	182131,10*** (43364,54)
PEI ²	-6,20e+07*** (1,42e+07)
Tendência	-7,63e+07 (1,51e+07)
Temperatura Jan	1,42e+08* (7,31e+07)
Temperatura Fev	-9,27e+07** (3,93e+07)
Temperatura Mar	-1,06e+08 (6,89e+07)
Temperatura Abr	-6,56e+07 (6,31e+07)
Temperatura Maio	3,23e+07 (3,59e+07)
Temperatura Jun	-8,14e+07*** (2,05e+07)
Temperatura Jul	-4465586 (9684210)
Temperatura Ago	3,97e+07* (2,15e+07)
Temperatura Set	4,64e+07 (3,28e+07)
Temperatura Out	3,76e+07* (2,05e+07)

(continua...)

Tabela A3 – Coeficientes estimados para a demanda Residencial de energia elétrica do Brasil, 1991 – 2002, considerando a **temperatura mensal** (continuação)

Variável	Residencial
Temperatura Nov	-1,29e+08*** (2,37e+07)
Temperatura Dez	7,00e+07 (5,27e+07)
Teste Arellano-Bond AR(1) H0: Nenhuma correlação de 1. ^a ordem nos resíduos ³	z = -1,4419 prob>z = 0,1493
Teste Arellano-Bond AR(2) H0: Nenhuma correlação de 2. ^a ordem nos resíduos ³	z = 1,7777 prob>z = 0,0754

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: *** Significativo a 1%. ** Significativo a 5%. * Significativo a 10%. Os valores entre parênteses referem-se aos erros-padrão. ¹Variáveis endógenas. Na estimação, a defasagem de 2 períodos de cada uma destas variáveis (em nível) foi utilizada como instrumento para sua primeira diferença. ²PEI é o preço de equipamentos intensivos em eletricidade (eletrodomésticos). ³Vale lembrar que, esta hipótese refere-se aos resíduos em diferença.

Tabela A4 – Coeficientes estimados para as demandas Residencial, Comercial e Industrial de energia elétrica do Brasil, 1991 – 2001, considerando a **temperatura mensal**

Variável	Residencial	Comercial	Industrial
Intercepto	6,95e+09*** (2,32e+09)	5,72e+08 (7,99e+08)	-
Consumo (t-1) ¹	0,8309*** (0,0167)	0,9145*** (0,0194)	0,2092** (0,1079)
Tarifa ¹	-9,86e+08* (5,22e+08)	1,53e+08 (3,35e+08)	-4,99e+08 (6,22e+08)
Renda ¹	342799,60*** (93159,91)	0,0642*** (0,0058)	-0,1242*** (0,0227)
PEI ²	-5,80e+07*** (1,21e+07)	-9497322* (4937412)	5,26e+07 (8,52e+07)
S ^{1,4}	-	-	2,28e+07 (3,45e+07)
Tendência	-9,22e+07*** (1,80e+07)	-	1,05e+08** (5,42e+07)
Temperatura Jan	1,79e+08*** (6,04e+07)	6,08e+07** (2,51e+07)	2,75e+08 (2,46e+08)

(continua...)

Tabela A4 – Coeficientes estimados para as demandas Residencial, Comercial e Industrial de energia elétrica do Brasil, 1991 – 2001, considerando a **temperatura mensal** (continuação)

Variável	Residencial	Comercial	Industrial
Temperatura Fev	-4,68e+07* (2,40e+07)	-1,58e+07 (1,38e+07)	-1,05e+08 (8,95e+07)
Temperatura Mar	-1,18e+08** (4,86e+07)	-1,60e+07*** (5590263)	-3,01e+07 (1,82e+08)
Temperatura Abr	-8,57e+07** (3,80e+07)	-2,38e+07 (2,65e+07)	3,57e+07 (9,37e+07)
Temperatura Maio	2,20e+07 (3,09e+07)	-2,98e+07 (4,73e+07)	1,31e+08 (1,42e+08)
Temperatura Jun	-5,76e+07*** (2,25e+07)	-1624376 (7829277)	1649386 (5,30e+07)
Temperatura Jul	-1206211 (1,62e+07)	-1,26e+07*** (4758129)	4,25e+07 (6,16e+07)
Temperatura Ago	4,27e+07** (2,10e+07)	6721353 (1,06e+07)	-1,02e+08 (1,34e+08)
Temperatura Set	2,63e+07 (2,21e+07)	7853736 (1,21e+07)	-8,03e+07 (1,64e+08)
Temperatura Out	1,42e+07 (2,74e+07)	4,25e+07*** (1,43e+07)	3,28e+08*** (7,23e+07)
Temperatura Nov	-9,06e+07*** (2,18e+07)	-3,72e+07*** (1,33e+07)	-2,03e+08** (1,07e+08)
Temperatura Dez	5,57e+07 (5,03e+07)	2,91e+07 (2,65e+07)	6,10e+07 (2,33e+08)
Teste Arellano-Bond AR(1)	$z = -3,0453$	$z = -1,2170$	$z = -2,7234$
H0: Nenhuma correlação de 1. ^a ordem nos resíduos ³	prob>z = 0,0023	prob>z = 0,2236	prob>z = 0,0065
Teste Arellano-Bond AR(2)	$z = 1,8712$	$z = 1,1893$	$z = 1,9928$
H0: Nenhuma correlação de 2. ^a ordem nos resíduos ³	prob>z = 0,0613	prob>z = 0,2343	prob>z = 0,0463

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: *** Significativo a 1%. ** Significativo a 5%. * Significativo a 10%. Os valores entre parênteses referem-se aos erros-padrão. ¹Variáveis endógenas. Na estimação, a defasagem de 2 períodos de cada uma destas variáveis foi utilizada como instrumento para sua primeira diferença. ²PEI é o preço de equipamentos intensivos em eletricidade (eletrodomésticos, material elétrico total, máquinas e equipamentos para indústria). ³Vale lembrar que, esta hipótese refere-se aos resíduos em diferença. ⁴S é preço do bem substituto (combustíveis e lubrificantes) para a indústria.

Tabela A5 – Elasticidades das demandas Residencial, Comercial e Industrial em relação aos seus determinantes, considerando a **temperatura mensal**

Variável	Residencial	Comercial	Industrial
Consumo (t-1)	0,8367	0,8670	0,0538
Tarifa	-0,0573	0,0169	-0,0030
Renda	0,6793	0,1416	-0,1074
PEI	-2,4865	-0,7304	0,3247
S	-	-	0,1371
Tendência	-0,2456	-	0,0448
Temperatura Jan	0,0735	0,0452	0,0168
Temperatura Fev	-0,0192	-0,0117	-0,0064
Temperatura Mar	-0,0484	-0,0119	-0,0018
Temperatura Abr	-0,0351	-0,0177	0,0022
Temperatura Maio	0,0090	-0,0221	0,0079
Temperatura Jun	-0,0236	-0,0012	0,0001
Temperatura Jul	-0,0005	-0,0094	0,0026
Temperatura Ago	0,0175	0,0050	-0,0062
Temperatura Set	0,0109	0,0058	-0,0049
Temperatura Out	0,0058	0,0316	0,0200
Temperatura Nov	-0,0371	-0,0277	-0,0124
Temperatura Dez	0,0228	0,0216	0,0037

Fonte: Resultados da pesquisa.