

Universidade Federal de Minas Gerais

Karla Cristina de Freitas Jorge Abrahão

**A INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA DEMOGRÁFICA SOBRE O
CONSUMO RESIDENCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA**

Belo Horizonte

10 de dezembro de 2020

Karla Cristina de Freitas Jorge Abrahão

A INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA DEMOGRÁFICA SOBRE O CONSUMO RESIDENCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para à obtenção do título de Doutor.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -

Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Área de concentração: Bens Culturais, Tecnologia e Território

Linha de pesquisa: Tecnologia do Ambiente Construído

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Roberta Vieira Gonçalves de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Gregório Saravia Atuncar

Belo Horizonte

2020

FICHA CATALOGRÁFICA

A159i

Abrahão, Karla Cristina de Freitas Jorge.

A influência da estrutura demográfica sobre o consumo residencial de energia elétrica [manuscrito] / Karla Cristina de Freitas Jorge Abrahão. - 2021.

127 f. : il.

Orientadora: Roberta Vieira Gonçalves de Souza

Coorientador: Gregório Saravia Atuncar.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Energia elétrica – Consumo – Brasil - Teses. 2. Demografia - Teses. 3. Energia elétrica – Consumo - Grupo etário - Teses. 4. População - Teses. 5. Análise de regressão – Teses. I. Souza, Roberta Vieira Gonçalves de. II. Atuncar, Gregório Saravia. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. IV. Título.

CDD 621.31



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AMBIENTE CONSTRUÍDO E PATRIMÔNIO SUSTENTÁVEL

FOLHA DE APROVAÇÃO

"A INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA DEMOGRÁFICA SOBRE O CONSUMO RESIDENCIAL DE ENERGIA
ELÉTRICA"

KARLA CRISTINA DE FREITAS JORGE ABRAHÃO

Tese de Doutorado defendida e aprovada, no dia dez de dezembro de dois mil e vinte, pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Prof. Dr. Mauro Sayar Ferreira
FACE/UFMG

Prof. Dr. Gregorio Saravia Atuncar
DEST/UFMG

Profa. Dra. Joyce Correna Carlo
Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Profa. Dra. Anna Christina Miana
PUC-Minas

Profa. Dra. Raquel Diniz Oliveira
CEFET-MG

Profa. Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza - Orientadora
PPG-ACPS/UFMG

Belo Horizonte, 10 de dezembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Roberta Vieira Gonçalves de Souza, Professora do Magistério Superior**, em 12/04/2021, às 17:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Anna Christina Miana, Usuário Externo**, em 12/04/2021, às 18:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Renata Maria Abrantes Baracho Porto, Coordenador(a) de curso de pós-graduação**, em 05/07/2021, às 11:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Joyce Correna Carlo, Usuário Externo**, em 06/07/2021, às 11:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gregorio Saravia Atuncar, Membro de comissão**, em 26/07/2021, às 12:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Mauro Sayar Ferreira, Professor do Magistério Superior**, em 28/07/2021, às 16:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Raquel Diniz Oliveira, Usuário Externo**, em 28/07/2021, às 16:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0550144** e o código CRC **2BBFC11A**.

À minha linda e amada família,
e aos que acreditaram.

AGRADECIMENTOS

À UFMG, ao Programa de Pós em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, pelo ensino público de qualidade, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo auxílio financeiro como estímulo à aprendizagem e ao desenvolvimento da pesquisa através da Bolsa Demanda Social – Código de Financiamento 001. Aos funcionários da Escola de Arquitetura da UFMG pelo carinho e presteza.

À professora Roberta a quem sou grata pelas valiosas orientações, pelos constantes ensinamentos, além da disponibilidade e paciência, pelo tempo, seriedade, confiança, e interesse e conhecimento a mim repassados, ao longo de todas as etapas de minha formação, e amor ao que faz.

Ao professor Gregório pela honra de aceitar a orientação, pela dedicação, disponibilidade, pela paciência, pelo auxílio prestado no desenvolvimento da metodologia, especialmente, na estimação dos modelos e pelos constantes ensinamentos.

Ao professor Mauro Sayar Ferreira pela colaboração para o amadurecimento da metodologia e da estrutura da tese na etapa de Qualificação.

Aos Professores Eleonora Sad de Assi e Maria Luiza Almeida Cunha de Castro pela dedicação e atenção para colaborar com esse trabalho na etapa de Qualificação.

Aos professores Anna Christina Miana, Raquel Diniz Oliveira e Joyce Correna Carlo, pela participação da Banca Avaliadora, se disponibilizando em tempo, dedicação e atenção para colaborar com esse trabalho.

Aos Professores do Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável pelas aulas memoráveis e pelo conhecimento transmitido.

Aos colegas do grupo de estudo promovido pela Prof. Roberta Gonçalves pelos desafios, convivência, discussões, e compartilhamento de conhecimento. Aos meus amigos e colegas de doutorado por estarem ao meu lado, apoiando meus esforços nos melhores e piores momentos.

RESUMO

O Brasil vem apresentando o fenômeno natural de transição demográfica, concomitantemente ao crescimento do consumo residencial de energia elétrica. Análises sobre essa relação tem sido realizada em outros países, enquanto o Brasil possui uma literatura restrita na investigação dessa relação. O presente trabalho traz uma investigação da influência da estrutura demográfica sobre o consumo residencial de energia elétrica, em uma abordagem regional, para o período 2000-2018. O estudo partiu de um conjunto de 1577 observações, compostas por 13 variáveis preditoras, e por meio da análise de regressão linear múltipla estimou modelos explicativos do padrão do consumo regional de energia elétrica no setor residencial. Os resultados, consistentes com diversos estudos publicados para outros países, apresentaram uma clara evidência de que a estrutura etária da população é uma variável relevante que influencia o consumo de energia elétrica com propriedades, significâncias e magnitudes diferentes em cada região. Dos modelos de regressão selecionados para cada região, foi observada insignificante influência do consumo pelo número de domicílios, que apresentaram coeficientes de regressão variáveis entre -0,67 (**/Durb região Norte) a 0,77(Drur região Centro-Oeste). A influência da estrutura etária na região Norte mostrou que, a variação de 1% do grupo *P60a* implica em um aumento de 1,9% do consumo. Na região Nordeste, apenas o grupo etário *P3559* mostrou influência significativa e de elevada magnitude sobre o consumo. Na região Centro-Oeste houve forte e positiva influência dos grupos *P014*, *P3559* e *P60a* sobre o consumo. Na região Sudeste, os grupos *P014*, *P1534* e *P60a* mostraram influência relevante e positiva, cujo o aumento de 1% do grupo *P1534* provoca um aumento de 2,7% do consumo. De forma inesperada, na região Sul, os grupos etários *P3559* e *P60a* apresentaram influência relevante com propriedade negativa, com efeito para desacelerar o crescimento do consumo, enquanto a população *P1534* apresentou influência forte e positiva. Dessa forma, acredita-se que o processo demográfico populacional deva ser discutido em escala regional e que esta abordagem deva ser incorporada ao planejamento energético nacional.

Palavras-chave: Consumo residencial de energia elétrica. Demografia. Estrutura de idade. População. Regressão linear múltipla.

ABSTRACT

Brazil has been confronting a natural phenomenon of demographic transition concomitantly with the accelerated growth of residential electricity consumption. Analyzes on this relation have been carried out in other countries, while Brazil has a limited literature in this investigation. The study presents an investigation of the demographic structure in the patterns of residential electricity consumption, by regional approach, between years of 2000-2018. The study used a set of 1577 observations composed by 13 predictor variables, and estimated regional explanatory models of patterns of electricity consumption through the multiple linear regression analysis. The results, consistent with several studies published in other countries, showed a clear evidence that age structure is a relevant variable that influences electricity consumption, with different properties, significance magnitude in each region. From the regressions models selected for each region, an insignificant influence of consumption by the household numbers was observed, which regression coefficients ranging from -0,67 (**/Durb of North region) to 0,77 (Drur of Midwest region). The influence of the age structure in the North region showed that the increase of 1% of the P60a age group lead to an increases of 1.9% on consumption. In the Northeast region, only P3559 age group revealed relevant and negative impact on consumption. In the Midwest region there was a relevant and positive influence on consumption by the P014, P3559 and P60a groups. In the Southeast region, the groups of P014, P1534 and P60a showed high and positive influence as each 1% of increase lead the consumption to an increase of 2.7%. Unexpectedly, in the South region, the age groups of P3559 and P60a showed high and negative property, with the effect to slow the growth of consumption, while the group of P1534 showed relevant and positive effect. Thus, it is believed that the demographic process should be discussed on a regional scale, and this approach should be incorporated into national energy planning.

Key-words: Residential electricity consumption. Demography. Age structure. Population. Multiple linear regression.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução do consumo de energia elétrica do setor residencial, Brasil e regiões, 1989-2018 (GWh).....	19
Figura 2 – Incremento do consumo de energia elétrica do setor residencial, e participação no incremento total: Regiões, 2000-2018 (%).....	34
Figura 3 - Déficit habitacional 2012 e 2015: regiões (unidades).....	38
Figura 4 – Evolução do número de unidades consumidoras de energia elétrica do setor residencial; Legenda: Brasil e regiões, 2004-2018; Crescimento médio geométrico (%); Incremento (%).	40
Figura 5 – Domicílios e Unidades Consumidoras: Regiões, 2004-2018	41
Figura 6 – Evolução da tarifa elétrica média anual do setor elétrico (R\$/MWh) e do salário mínimo brasileiro (R\$); Brasil e regiões, 2000-2018.....	47
Figura 7 – Perfil evolutivo da população por idade: Brasil e regiões, 2004, 2014, 2030.	51
Figura 8 – Perfil evolutivo do consumo residencial de energia elétrica (GWh), do PIB (R\$ 10 ⁹), da tarifa (R\$/MWh), do salário mínimo (R\$), e taxa de crescimento médio geométrico (%), Brasil e regiões, 2000-2018: (a) Brasil; (b) Norte; (c) Nordeste; (d) Centro-Oeste; (e) Sudeste; (f) Sul.....	71
Figura 9 - Domicílios totais, urbanos, rurais, e com faixa de renda: de 0 a 2; 2 a 5 e acima de 5 SM; taxa de crescimento médio geométrico dos domicílios (%), Brasil e regiões, 2000-2018: (a) Brasil; (b) Norte; (c) Nordeste; (d) Centro-Oeste; (e) Sudeste; (f) Sul.....	73

Figura 10 – População total e por grupo etário, e taxa anual de crescimento médio geométrico (%) por grupo etário, por regiões, 2000-2018: (a) População total; (b) P014; (c) P1534; (d) P3559; (e) P60a.75

Figura 11 - Plotagem dos resíduos dos modelos de regressão, região Norte: (a) III ; (b) IV.82

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo da influência dos grupos etários sobre o consumo de energia elétrica.....93

Quadro 2 – Resumo da influência do número de domicílios sobre o consumo de energia elétrica.....93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo anual de energia elétrica pelo setor residencial (GWh), participação relativa (%), Δ da participação relativa (pontos percentuais), incremento (GWh), crescimento médio geométrico anual (%): Brasil e regiões, 2000 e 2018. ...20

Tabela 2 – Estudos que relacionaram a análise do consumo de energia elétrica e/ou as emissões de dióxido de carbono com idades ou grupos etários populacionais....28

Tabela 3 - Área territorial (%); Projeção da população (10^3 hab); Densidade demográfica (hab/km²); Projeção do Número de domicílios (unidades); Consumo residencial por habitante (KWh/hab); Consumo residencial por domicílio (KWh/dom): Brasil e regiões, 2018.....35

Tabela 4 – Parcela de consumo mensal e desconto aplicado para a Tarifa Social...45

Tabela 5 - Sistema de bandeiras tarifárias, condições de aplicação e acréscimo de custo sobre uma unidade de quilowatt-hora consumido46

Tabela 6 - Dados, unidades e fontes.....62

Tabela 7 - Correlação de Pearson e *p-valor* correspondente: regiões, 2000-2018...77

Tabela 8 - Modelos de regressão para o consumo residencial de energia elétrica: região Norte, 2000-2018.	79
Tabela 9 - Modelos de regressão para o consumo residencial de energia elétrica: região Nordeste, 2000-2018.....	83
Tabela 10 - Modelos de regressão para o consumo residencial de energia elétrica: região Centro-Oeste, 2000-2018.....	86
Tabela 11 – Modelos de regressão para o consumo residencial de energia elétrica: região Sudeste, 2000-2018.	89
Tabela 12 - Modelos de regressão para o consumo residencial de energia elétrica: região Sul, 2000-2018.	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
D02sm	Domicílios com faixa de renda até 2 salários mínimos
D25sm	Domicílios com faixa de renda entre 2 a 5 salários mínimos
Da5sm	Domicílios com faixa de renda acima de 5 salários mínimos
Drur	Domicílios rurais
Dtot	Domicílios totais
Durb	Domicílios urbanos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
P014	População com idade entre 0 a 14 anos
P1534	População com idade entre 15 a 34 anos
P3559	População com idade entre 35 a 59 anos
P60a	População com idade de 60 anos e acima
PIB	Produto Interno Bruto

PNAD	Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios
PNE2030	Plano Nacional de Energia 2030
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
sm e SM	Salário Mínimo
Tar	Tarifa elétrica

LISTA E EQUIVALÊNCIA DE UNIDADES

GW	Gigawatt (Equivalência: $1 \text{ GW} = 10^9 \text{ W}$)
GWh	Gigawatt-hora (Equivalência: $1 \text{ GWh} = 10^9 \text{ Wh}$)
Km ²	Quilômetros quadrados (Equivalência: $1 \text{ Km}^2 = 1.000.000 \text{ m}^2$)
kV	Quilovolt (Equivalência: $1 \text{ kV} = 10^3 \text{ volts}$)
kWh	Quilowatt-hora (Equivalência: $1 \text{ kWh} = 10^3 \text{ Wh}$)
m ²	Metros quadrados
MWh	Megawatt-hora (Equivalência $1 \text{ MWh} = 10^5 \text{ Wh}$)
R\$	Real, moeda brasileira
TWh	Terawatt-hora (Equivalência: $1 \text{ TWh} = 10^{12} \text{ Wh}$)
US\$	Dólar Americano, moeda
W	Watt

SUMÁRIO

1. Introdução	15
1.1 Objetivo.....	17
1.2 Justificativa	17
1.3 Hipóteses.....	22
1.4 Pressupostos	22
1.5 Relevância e Organização da Tese	23
2. Evidências internacionais sobre a relação da estrutura demográfica com o consumo residencial de energia elétrica.....	26
3. O setor residencial brasileiro e o consumo de energia elétrica	33
3.1 O setor residencial brasileiro	33
3.1.1 Setor residencial – Definição e características.....	33
3.1.2 Cenário evolutivo de consumo de energia elétrica – Brasil e regiões	33
3.1.3 Acesso à energia elétrica	35
3.1.4 Domicílios e unidades consumidoras	36
3.1.5 Consumo por uso final.....	41
3.1.6 Tarifa elétrica.....	44
3.1.7 Produto Interno Bruto	48
3.2 Estrutura e processos demográficos	49
4. Revisão Metodológica	54
4.1 Regressão linear múltipla	56
5. Materiais e Métodos	58
5.1 Levantamento, organização e tratamento de dados	58
5.1.1 Domicílios.....	59
5.1.2 População	60
5.1.3 Resumo da organização de dados.....	62
5.1.4 Tratamento dos dados.....	63
5.2 Especificação do modelo de regressão linear múltipla.....	64
5.3 Procedimentos metodológicos	66
5.3.1 Análise dos dados	66

5.3.2	Análise de regressão.....	66
5.3.3	Qualidade do modelo	66
5.3.4	Estimação do consumo futuro	69
6.	Resultados e Discussões	71
6.1	Análise dos dados: frequência de ocorrência.....	71
6.1.1	Consumo de energia elétrica, PIB, tarifa elétrica e salário mínimo	71
6.1.2	Domicílios.....	73
6.1.3	População	74
6.2	Análise dos dados: Matriz de Correlação.....	76
6.3	Análise da regressão linear múltipla.....	78
6.3.1	Análise de regressão: região Norte	78
6.3.2	Análise de regressão: região Nordeste	83
6.3.3	Análise de regressão: região Centro-Oeste	86
6.3.4	Análise de regressão: região Sudeste.....	89
6.3.5	Análise de regressão: região Sul.....	91
6.4	Resumo dos resultados.....	93
6.5	Estimação do consumo futuro	94
7.	Conclusões	95
	Referências	98
	Apêndice A - Dados de entrada na análise de regressão linear múltipla	110
	Apêndice B - Resultado da matriz de correlação de Pearson e p -valor (probabilidade da correlação) entre os pares de variáveis de entrada ao modelo.....	113
	Apêndice C - Resultados de saída do <i>software</i> MINITAB para a análise gráfica dos resíduos aos modelos selecionados por região geográfica.....	118
	Apêndice D - Resultados de saída do <i>software</i> MINITAB para os modelos de regressão selecionados como de maior qualidade: região, 2000-2018.	125
	Apêndice E - Resultados da estimação do consumo futuro de energia elétrica para o setor residencial	127

1. Introdução

A energia elétrica, convertida em serviços, é considerada como importante força motriz do desenvolvimento econômico e social, e a dimensão de seu consumo está relacionada ao desenvolvimento e bem-estar social, e associada à qualificação dos níveis de pobreza, saúde e educação. Altos índices de consumo de energia elétrica per capita estão correlacionados aos altos níveis de qualidade do desenvolvimento humano. Nesse aspecto, o Brasil é classificado como um país de alto nível de desenvolvimento humano (UNITED NATIONS, 2019), apesar do consumo de energia elétrica per capita brasileiro ser inferior ao consumo dos países desenvolvidos como França, Japão, Alemanha, Canadá, Estados Unidos e outros (IEA, 2019). O consumo mundial de energia elétrica vem crescendo em altos índices, dessa forma ampliando o nível de dependência das sociedades ao serviço de energia elétrica. Em 2018, o consumo total de energia elétrica no Brasil foi de 535.403 GWh, que corresponde a 40% do consumo da América Latina, e 2,3% do consumo total de energia elétrica mundial (ENERDATA, 2019; EPE, 2019a).

Por outro lado, há amplo consenso entre cientistas de que o consumo de energia elétrica deve ser reduzido com o objetivo de diminuir os efeitos ambientais consequentes de sua geração. A redução da demanda de consumo de energia elétrica é uma premissa do Plano Nacional de Energia 2030, no contexto da Eficiência Energética, principalmente sob o foco de minimizar a emissão de gases de efeito estufa (BRASIL, 2007).

O setor residencial vem sendo pesquisado globalmente devido à sua relevante participação e ao seu crescimento do consumo de energia elétrica. No Brasil, o setor residencial é o segundo maior setor em consumo dentre os demais setores (industrial, comercial, públicos, transporte, agropecuário, energético e não energético), e vem apresentando crescimento na participação relativa do consumo de energia elétrica nos últimos anos. Em 2018, o setor residencial era formado por 71,9 milhões de unidades consumidoras, correspondendo a 85% das unidades consumidoras de energia elétrica do país. No período 2004-2018 o número de unidades consumidoras apresentou um incremento de 46,8 milhões de unidades consumidoras, equivalendo a um crescimento de 154% no período, e a participação do setor no consumo total de energia elétrica ampliou de 21,8% para 25,4% (EPE, 2019c).

Em 2018, o país contabilizou 68,9 milhões de domicílios, dos quais 97% estavam conectados à energia elétrica, 86% desses localizados em áreas urbanas, e 15% em áreas rurais, sendo que esses dados de localização não contabilizam os domicílios rurais da região Norte (IBGE, 2019c).

No período entre os anos 2000-2018, o crescimento médio geométrico anual do consumo de energia elétrica do setor residencial foi de 2,7% superando os 2,4% de crescimento geométrico de todos os setores agrupados (EPE, 2019b). O crescimento do consumo do setor residencial é derivado de fatores diretos e indiretos. Os fatores diretos se referem à conexão de aparelhos com a rede de energia elétrica, ou seja, a posse, a potência, e o hábito de uso dos aparelhos eletrodomésticos, e dos sistemas eletrônicos nos domicílios e condomínios residenciais. Os fatores indiretos que influenciam o consumo são, por exemplo, (i) o número de domicílios conectados à rede, (ii) o número de moradores por domicílio, (iii) a renda familiar, (iv) o tempo que os moradores passam no domicílio, (v) a política de redução das taxas de juros que, apesar de não ser explicitamente voltada ao setor residencial, colabora com a ampliação do acesso aos bens de consumo como os eletrodomésticos, (vi) os programas de redução do déficit habitacional que, embora não objetivem ampliar o consumo residencial de energia elétrica, promovem o aumento do número de unidades habitacionais, (vii) a busca por conforto térmico no domicílio por meio do uso de energia (ventiladores, aparelhos de ar condicionado e de aquecimento de ar), dentre outros (ABRAHÃO; SOUZA, 2020a; ACHÃO; SCHAEFFER, 2009; SILVA *et al.*, 2014).

Considera-se que compreender as inter-relações e a dinâmica do consumo de energia elétrica com as dimensões sociais é parte relevante da base para a construção de cenários, e para a formulação de programas vinculados a políticas públicas para a promoção do desenvolvimento e para a segurança econômica e social. No contexto mundial, pesquisas vem sendo desenvolvidas para compreender a relação do crescimento do consumo de energia elétrica com aspectos demográficos e regionais e em particular ao processo de envelhecimento populacional. Embora com certo atraso em relação aos outros países, o Brasil vem experimentando o fenômeno natural da transição demográfica com redução da população de crianças e jovens, e crescimento da população de adultos e idosos, sendo o envelhecimento populacional um de seus efeitos. O envelhecimento populacional pode impactar o consumo de energia elétrica, uma vez que provoca efeitos sobre o modo de vida nos domicílios e sobre a renda familiar (BARDAZZI; PAZIENZA, 2020; BROUNEN; KOK; QUIGLEY, 2012; DEUTSCH; TIMPE, 2013; ESTIRI; ZAGHENI, 2019; KIM; SEO, 2012; LIDDLE, 2011, 2013; O'NEIL; CHEN, 2002; ROBERTS, 2008; TONN; EISENBERG, 2006). Nesse contexto, considera-se que há uma restrita investigação na literatura no Brasil, sendo identificada uma lacuna científica.

Compreender como os aspectos demográficos afetam o consumo pelo complexo setor residencial brasileiro, que vem apresentando crescimento no consumo de energia elétrica, é o objetivo proposto nesse trabalho, devendo ser tratado como um passo adiante para a compreensão do setor. Como pontuado por Royston, Selby e Shove (2018), a construção de sistemas voltados para a redução do consumo de energia elétrica deve ir além dos limites das políticas energéticas, e em direção às políticas não energéticas, já que o consumo de energia elétrica não é moldado apenas por fatores diretos, mas também por fatores indiretos como o comportamento e a constituição histórica de outras dimensões, como a social e a cultural.

Diante de diferentes cenários socioeconômicos e culturais no Brasil, da evolução do processo de transição demográfica, e da premissa de que o cenário fora do escopo de análise permanece sob condições normais, esse trabalho se propõe a investigar a influência da estrutura demográfica sobre o consumo residencial de energia elétrica. Análises dessa natureza têm sido realizadas em outros países, enquanto o Brasil possui uma literatura restrita na investigação dessa relação.

1.1 Objetivo

O objetivo desse trabalho foi analisar a importância que a estrutura demográfica apresenta na determinação do consumo residencial de energia elétrica, por meio da análise de regressão linear múltipla, para o período compreendido entre os anos 2000 a 2018.

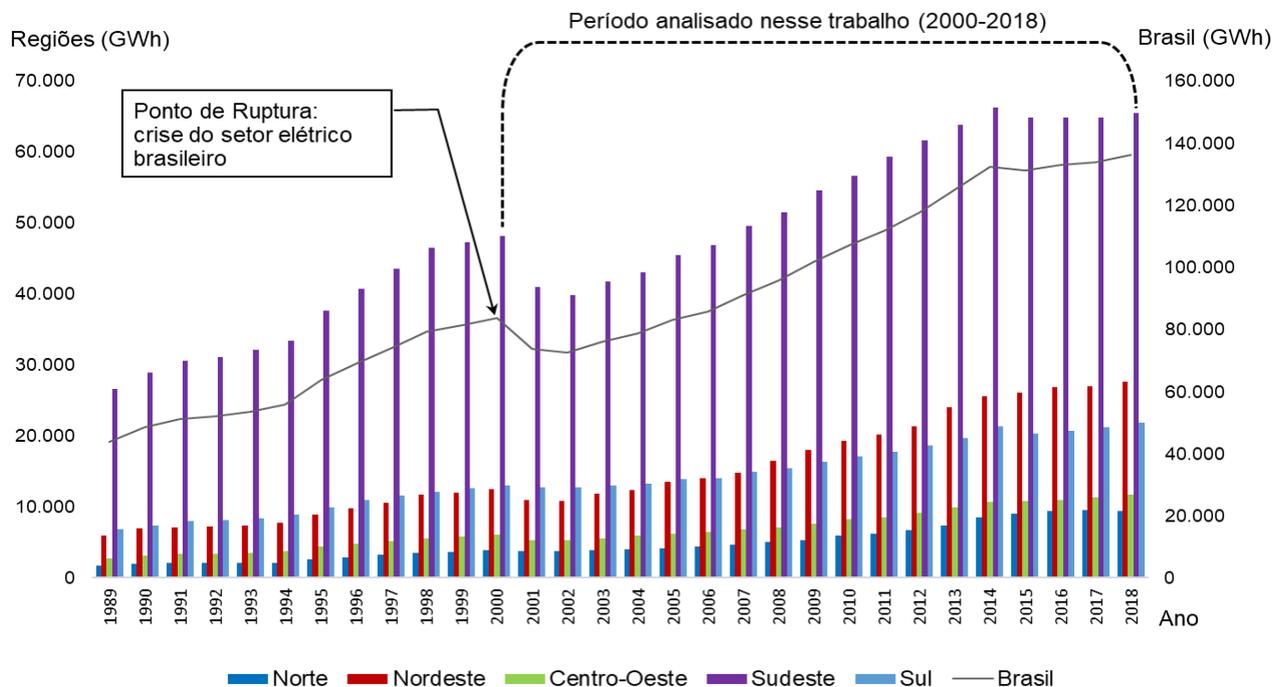
1.2 Justificativa

O período compreendido entre os anos 1997-2001 foi marcado por interrupções e desligamentos frequentes no fornecimento de energia elétrica no Brasil com grande abrangência territorial, sendo estabelecido o ano de 2001 como o marco da crise energética do Setor Elétrico Brasileiro. Após a ocorrência de um apagão de escala nacional, a implementação de um racionamento imposto pelo Governo Federal partiu do indicativo do Operador Nacional do Sistema da necessidade de redução do consumo. A partir da Medida Provisória Nº 2.147 de 15/05/2001 o governo federal criou e instalou a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica – CGCE, com o objetivo administrar a crise de oferta de energia elétrica mediante a implementação de medidas de curto, médio e longo prazos. Dentre as medidas para respostas em curto prazo, foi implementada a medida para redução do consumo por restrição, implementada entre o período de maio/2001 a fevereiro/2002

visando a redução do consumo de energia elétrica em 20% em relação à média de consumo dos meses de maio a julho do ano anterior. Os consumidores foram divididos em quatro níveis de consumo (até 100 kWh, 101 a 200 kWh, 201 a 500 kWh e acima de 500 kWh/mês) e foram aplicados diferentes percentuais de restrição do consumo de acordo com o perfil de uso da energia elétrica. Os domicílios com consumo superior a 100 kWh/mês necessitaram reduzir 20% do consumo.

No cenário político, uma nova estruturação institucional foi determinada para o Setor Elétrico com implementação de programas e políticas de eficiência energética (LORENZO, 2002; PIRES; GIAMBAGI; SALES, 2002). Conforme Hunt, Stilpen e De Freitas (2018), a crise energética ocorreu pela coincidência de alguns fatores, como os períodos cíclicos de seca, que foram aos poucos reduzindo a capacidade de geração de energia elétrica pelas usinas hidrelétricas, e também por problemas políticos e institucionais do Setor Elétrico Brasileiro, que incluíram os atrasos na construção de novas plantas de geração, aspectos os quais provocaram uma ruptura do cenário de consumo residencial de energia elétrica. Como pode ser visto na Figura 1, esta crise provocou uma ruptura do cenário de consumo residencial de energia elétrica, no entanto, após o período de racionamento, o setor apresentou uma retomada no crescimento no consumo de energia elétrica.

Figura 1 – Evolução do consumo de energia elétrica do setor residencial, Brasil e regiões, 1989-2018 (GWh).



Fonte: elaboração a partir de EPE (2019c).

O consumo de energia elétrica pelo setor residencial brasileiro é influenciado por fatores sociais, culturais, econômicos, ambientais, entre outros, que apresentam variações entre as cinco regiões geográficas brasileiras, resultando em padrões de consumo regionais diversificados entre si, conforme indica a Tabela 1. Nesta, pode-se verificar que durante o período compreendido entre os anos 2000 a 2018 houve crescimento do consumo de energia elétrica em todas as regiões, porém com taxas de crescimento diferenciadas. A dimensão do consumo residencial incita, portanto, a compreensão de sua complexidade sob foco regional, estimando-se que análises não devem se restringir à uma abordagem nacional. Considera-se que os efeitos com potencial para modificar o comportamento do consumo são dados relevantes para alimentar os delineamentos das políticas a fim de conduzir a evolução futura do consumo de energia elétrica do setor residencial.

Tabela 1 – Consumo anual de energia elétrica pelo setor residencial (GWh), participação relativa (%), Δ da participação relativa (pontos percentuais), incremento (GWh), crescimento médio geométrico anual (%): Brasil e regiões, 2000 e 2018.

Ano	Consumo residencial de energia elétrica (GWh)		Participação Relativa (%)		Δ da participação relativa (pontos percentuais)	Incremento (GWh)	Crescimento Médio Geométrico (%)
	2000	2018	2000	2018	2000-2018	2000-2018	2000-2018
Brasil	83 613	136 022	100,0	100,0		52 409	2,7
Norte	3 896	9 384	4,7	7,0	2,3	5 488	5,0
Nordeste	12 443	27 650	14,9	20,3	5,4	15 207	4,5
Centro-Oeste	6 040	11 670	7,2	8,6	1,4	5 630	3,7
Sudeste	48 157	65 493	57,6	48,1	-9,5	17 336	1,7
Sul	13 077	21 825	15,6	16,0	0,4	8 748	2,9

Fonte: elaboração a partir de EPE (2019c).

Uma das variáveis com forte correlação com o crescimento do consumo do setor residencial é o número de domicílios. O Plano Nacional de Energia 2030 - PNE2030 (BRASIL, 2007), apresentou uma projeção de 69.746.000 domicílios a serem conectados à rede de energia elétrica para o ano de 2030 em seu cenário mais otimista¹, e no entanto, esse número de domicílios foi alcançado e superado já no ano de 2016 (BRASIL, 2007; EPE, 2019c). Nesse Plano, a projeção do consumo de energia elétrica do setor residencial, e a projeção de sua participação relativa no consumo total foi estimada, para o ano de 2030, em respectivamente 302.600 GWh e 24,3%. Em 2018, o consumo do setor, medido na rede, foi de 136.22GWh, e equivalente à uma participação de 25% do consumo total de energia elétrica (BRASIL, 2007; EPE, 2019c). Dessa forma, verifica-se que a participação relativa do consumo do setor estimada pelo Plano PNE2030 foi superada em 2018, apesar de o consumo de energia elétrica estar ainda dentro do limite previsto.

A população do Brasil projetada em 209 milhões de habitantes em 2030, possui uma expectativa de aumento de 6,7 milhões de habitantes até o ano 2030 (IBGE, 2019b, 2019e).

¹ Os cenários do PNE2030 foram estimados segundo as projeções de desenvolvimento econômico sendo o cenário A – Crista da Onda o mais otimista dentre os demais. "Neste cenário o setor de serviços logra aumentar sua participação de 53,1% para 60,8% do PIB total em 2030, decorrente de um crescimento mais vigoroso da economia e da melhor distribuição de renda nacional observada no período" (BRASIL, 2007).

Esse crescimento irá requerer um aumento no número de domicílios, e uma expansão da capacidade de geração de energia elétrica. A população brasileira, tal como a população mundial, está em processo de envelhecimento. O desenvolvimento tecnológico, o avanço da medicina e a melhoria das condições de higiene pública têm aumentado a longevidade das pessoas, que, adicionado ao processo natural de declínio da fertilidade, tem resultado em um rápido crescimento da população de idosos (pessoas com 60 anos e acima). Esse fenômeno, identificado como o processo de transição demográfica, é mais acelerado em países e regiões economicamente mais desenvolvidos, e apresenta desafios que interceptam as questões sociais e as políticas públicas, incluindo as energéticas (BARDAZZI; PAZIENZA, 2020; ZAIDI, 2015). O processo de transição demográfica vem acontecendo no Brasil, com um estágio mais avançado nas regiões Sudeste e Sul, e nas áreas rurais devido à associação ao fenômeno de urbanização (ABRAHÃO; SOUZA, 2020b; IBGE, 2019b, 2019d).

O consumo de energia elétrica no setor residencial é objeto de análise de uma extensa produção da literatura científica, havendo, no entanto, indícios de que ainda existem lacunas potenciais a serem investigadas relacionadas ao padrão do consumo. Recentemente, estudos publicados em diversos países vêm incorporando a idade da população e os processos demográficos em análises de investigação do crescimento do consumo residencial (BARDAZZI; PAZIENZA, 2020; BROUNEN; KOK; QUIGLEY, 2012; DEUTSCH; TIMPE, 2013; ESTIRI; ZAGHENI, 2019; KIM; SEO, 2012; LIDDLE, 2011, 2013; O'NEIL; CHEN, 2002; ROBERTS, 2008; TONN; EISENBERG, 2006).

De forma oposta, as premissas gerais do recente Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (EPE, 2020) não consideram a estrutura demográfica como uma condição particular com capacidade de impactar o consumo de energia elétrica, e parte da premissa demográfica de um crescimento populacional desacelerado.

Identifica-se, portanto, uma lacuna na literatura no Brasil na análise da relação dos padrões do consumo residencial de energia elétrica com a estrutura demográfica, principalmente frente ao fenômeno da transição demográfica, que tem o processo de envelhecimento populacional como um de seus efeitos. Considera-se que a dinâmica demográfica relacionada ao consumo de energia elétrica seja um recurso que pode vir a ser considerado pelas políticas energéticas. Pergunta-se então: uma vez constatado o relevante crescimento do consumo residencial de energia elétrica, quanto desse crescimento pode estar associado ao processo de envelhecimento populacional? E sob o ponto de vista do

consumo regional, teriam as relações da estrutura demográfica com o consumo residencial, padrões regulares entre as regiões?

1.3 Hipóteses

O desenvolvimento deste trabalho parte das seguintes hipóteses:

- Primeiramente, de que a estrutura demográfica apresenta relações particulares com o consumo de energia elétrica residencial;
- Segundo, de que diferentes estruturas demográficas regionais influenciam o consumo residencial, contribuindo para diferenças regionais no consumo de energia residencial.

1.4 Pressupostos

O desenvolvimento deste trabalho parte dos seguintes pressupostos:

- Primeiro, de que as variáveis de análise selecionadas a partir de fontes oficiais apresentam erros pequenos não afetando a confiabilidade dos resultados obtidos nesse trabalho;
- Segundo, de que todas as outras variáveis não incluídas nas análises permanecem sob condições normais (*ceteris paribus*), e sendo esse considerado como limite das análises do estudo;
- Terceiro, de que há uma forte correspondência entre as faixas etárias da população com os moradores dos domicílios, em uma mesma região;
- Quarto, de que o presente cenário de disponibilidade de energia elétrica para o setor residencial brasileiro se manterá em médio prazo;
- Quinto, de que o crescimento do número de domicílios no período 2016-2018 seguiu a mesma tendência de crescimento do período anterior.

1.5 Relevância e Organização da Tese

No contexto da investigação da relação entre aspectos demográficos com o consumo de energia elétrica do setor residencial, a literatura científica no Brasil é restrita a três trabalhos. Conforme um levantamento feito no banco de teses do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – IBICT, destaca-se nesse contexto o trabalho de Lins (2010) que analisou o consumo de energia elétrica no âmbito dos domicílios a partir de análises econométricas dos dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares – POF, publicadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE para os períodos 2002-2003 e 2008-2009. Dois outros trabalhos, desenvolvidos por Pessanha e Leon (2012; 2015), estimaram a projeção da demanda de energia elétrica do setor residencial, em abordagem nacional, a partir do desenvolvimento de uma metodologia para a projeção do número de domicílios, considerando a taxa de chefia dentre outros dados socioeconômicos.

Ao longo do desenvolvimento dessa tese, foram elaborados dois artigos que embasam as análises do consumo de energia elétrica no contexto do setor residencial. Dessa forma, esses artigos deram suporte às análises dessa tese, desde à construção do referencial teórico as relações de confirmações de resultados. O primeiro artigo, identificado como Abrahão e Souza (2020a), estimou a estrutura de consumo residencial de energia elétrica por uso final por região, para os anos 2005 e 2019. Foram identificados os equipamentos e eletrodomésticos que apresentaram maior consumo, bem como aqueles que promoveram variações na estrutura de consumo em uma análise evolutiva. O segundo artigo, identificado como Abrahão e Souza (2020b), analisou e decompôs o consumo residencial de energia elétrica do Brasil, entre os anos 2000 e 2018, por meio do método de decomposição *Logarithmic Mean Divisia Index method I* (LMDI-I), e do índice *Index Decomposition Analysis method* – IDA, em nível regional. Foram identificados efeitos explicativos da variação do consumo residencial de energia elétrica para o período, e foram incorporados os grupos etários para a decomposição do consumo residencial de energia elétrica do ano 2018.

No contexto metodológico internacional, a aplicação da análise de regressão linear múltipla para estimar padrões do consumo de energia elétrica no setor residencial vem sendo amplamente utilizada. A análise de regressão linear múltipla é de fácil compreensão e

implementação fornecendo modelos confiáveis para a análise do comportamento de uma variável dependente em um determinado período de tempo com suposição linear.

Há ainda as teses de doutorado de Achão (2009) e de Andrade (2014), no contexto do setor residencial brasileiro, que estimaram os efeitos explicativos do consumo de energia elétrica a partir da aplicação da análise de decomposição de índice desagregando o consumo por uso final. A análise de Achão (2009), que utilizou dados de regiões metropolitanas, compreendeu o período entre 1980 e 2007, enquanto Andrade (2014) desenvolveu análises e projetou o consumo futuro do setor para três períodos compreendidos entre os anos 2005-2030.

Outros estudos relevantes, publicados em periódicos revisados por pares, no contexto do consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro são: Jannuzzi e Schipper (1991), Almeida, Schaeffer e La Rovere (2001), Ghisi, Gosch e Lamberts (2007), Achão e Schaeffer (2009), Silva *et al.* (2014) e Villareal e Moreira (2016).

Jannuzzi e Schipper (1991) analisaram a estrutura de consumo de energia elétrica por uso final do ano 1987 para o Brasil, por meio de observações de dados anuais resultantes da medição do consumo de domicílios classificados por níveis de consumo, referentes ao período de 1981-1987. Almeida, Schaeffer e La Rovere (2001) analisaram os potenciais de conservação de energia elétrica e de redução de pico de carga do setor residencial para cenários de consumo de energia elétrica, para o período 1997-2020. O estudo partiu da definição de um indicador de consumo por domicílio, e da projeção dos índices de crescimento do número de domicílios, que foram classificados por três níveis de renda. Foi elaborada a estrutura de consumo por uso final para o Brasil, e avançando as análises para as regiões. Ghisi, Gosch e Lamberts (2007) investigaram o consumo residencial de energia elétrica por uso final, para o período 1997-1999, em uma abordagem nacional, considerando as divisões das zonas bioclimáticas brasileiras, a partir de dados de consumo fornecidos por concessionárias de energia elétrica. Achão e Schaeffer (2009) publicaram os procedimentos e resultados mais relevantes da tese da autora, identificando o número de domicílios e a intensidade do consumo por domicílio como fatores importantes que afetam o consumo residencial de energia elétrica. Segundo os autores, as regionalidades metropolitanas que poderiam impactar o consumo de energia elétrica pela diversidade de hábitos apresentaram pequeno impacto sobre o consumo residencial. Silva *et al.* (2014)

analisaram a estrutura de consumo por uso final por meio de uma medição histórica e coleta de dados da amostragem de 60 domicílios localizados na cidade de Florianópolis. Villareal e Moreira (2016) encontraram que no período 1985-2013, a tarifa elétrica apresentou influência negativa e pouco relevante sobre o consumo, e que as políticas públicas para a ampliação do acesso à energia e para a promoção da eficiência energética apresentaram pouca influência sobre consumo residencial de energia elétrica.

Abrahão e Souza (2020b) reuniram informações de estudos no contexto do consumo residencial de energia elétrica, identificando, entre outros, a técnica, as variáveis e indicadores com maior incidência de análise, concluindo que a maioria dos estudos realizados incorpora o número de domicílios nas análises do consumo residencial, e que estes se alinham ao verificar que o crescimento dos domicílios é um dos maiores impulsionadores do consumo residencial de energia elétrica. Alguns dos estudos reunidos reconhecem que o aumento da renda, devido aos programas sociais de inclusão, e aos programas de universalização do acesso à energia elétrica associados aos períodos de baixa taxa de juros promoveram o acesso à bens de consumo como os eletrodomésticos, com efeitos potenciais sobre o consumo de energia elétrica nos domicílios (ABRAHÃO; SOUZA, 2020a; ACHÃO; SCHAEFFER, 2009; GHISI; GOSCH; LAMBERTS, 2007; JANUZZI; SCHIPPER, 1991). Contrariamente, Villareal e Moreira (2016) que investigaram, em nível nacional, o consumo residencial do período 1985-2013 encontraram pequena influência da renda sobre o consumo.

Os dois estudos de Abrahão e Souza (2020a; 2020b) identificaram a relevância das análises com abordagem regional no contexto do consumo residencial de energia elétrica. De forma inédita, Abrahão e Souza (2020b) identificaram, por meio da decomposição do consumo de energia elétrica do ano 2018, que no Brasil esse consumo varia com a idade da população, e de forma diferente entre as regiões. Os maiores índices de consumo foram identificados pelos grupos etários de 0 a 59 anos, mas principalmente pela população em faixa etária ativa (15 a 59 anos), com uma queda brusca no consumo pela população de idosos (60 anos de idade e acima), aproximadamente 6 vezes menor que o consumo da população com idade entre 15 e 59 anos.

A originalidade e o ineditismo do presente trabalho está em investigar, de maneira mais profunda, a influência da estrutura demográfica sobre o consumo residencial de energia

elétrica para o período 2000-2018. A relevância do estudo se estabelece no fato de que a população brasileira passa por um processo intenso e rápido de envelhecimento populacional, com impacto em diversos setores da economia. Compreender o potencial impacto desse processo no contexto do consumo residencial de energia elétrica se faz necessário, pois essa análise poderá contribuir para a criação e/ou o detalhamento de políticas públicas específicas, antecipando-se a esse processo.

O trabalho foi desenvolvido em sete capítulos. O Capítulo 1 – Introdução, discorre sobre a justificativa do trabalho por meio da apresentação da problemática e do cenário de abrangência da pesquisa, os objetivos, as hipóteses, os pressupostos, a relevância e a estrutura do trabalho. O Capítulo 2 apresenta a revisão da literatura no contexto internacional, das implicações do envelhecimento populacional no consumo residencial de energia elétrica. O Capítulo 3 apresenta o cenário de consumo do setor residencial, as variáveis de influência no contexto demográfico e socioeconômico, bem como a contribuição de pesquisas relevantes. O Capítulo 4 apresenta uma revisão metodológica. O Capítulo 5 apresenta o método e os materiais, detalhando o levantamento, o tratamento e a organização de dados, a especificação do modelo de regressão linear múltipla, e os procedimentos metodológicos. O Capítulo 6 apresenta e discute os resultados. No Capítulo 7 tem-se as conclusões, após as quais são apresentados as referências e os apêndices.

2. Evidências internacionais sobre a relação da estrutura demográfica com o consumo residencial de energia elétrica

Recentemente, estudos publicados em diversos países vêm incorporando a idade da população e os processos demográficos nas análises de investigação do crescimento do consumo residencial (BARDAZZI; PAZIENZA, 2020; BROUNEN; HAMZA; GILROY, 2011; KOK; QUIGLEY, 2012; DEUTSCH; TIMPE, 2013; ESTIRI; ZAGHENI, 2019; LIDDLE, 2013; O'NEIL; CHEN, 2002; TONN; EISENBERG, 2006).

A introdução de variáveis demográficas, em especial as análises de consumo de energia relacionadas à grupos etários ou coortes é consolidada à teoria do ciclo de vida do consumo, estabelecida por Modigliani (1986). Para cada indivíduo, presume-se, por meio de suposições apropriadas, que o aumento nos recursos ao longo da vida leva a aumentos proporcionais no consumo em todos os períodos da vida. A teoria estabelece que, quando as pessoas são jovens e realizam trabalho, há uma parte da renda dedicada às despesas

das famílias, e outra parte, excedente, é transformada em riqueza ou patrimônio. A riqueza e patrimônio acumulados são dependentes de uma série de fatores, como por exemplo, do tamanho da família, da existência ou não de herança, entre outros. A renda tende a crescer com a idade, atingindo um pico entre 60 e 65 anos, ou até o momento da aposentadoria. A riqueza, acumulada ao longo dos anos, também tende a crescer ao longo do ciclo de vida, passando a se dissolver quando na fase de aposentadoria, onde há a redução da renda pela produtividade individual. Logo, a teoria presume que os idosos, e as pessoas inseridas na fase de aposentadoria, utilizam a dissolução da riqueza e do patrimônio acumulado ao longo dos anos para complementar a renda nessa fase, provendo o consumo, as despesas e o nível de conforto do ciclo de vida. A teoria possui diversos modelos relacionados às peculiaridades de renda, de consumo, entre outros, os quais não serão detalhados nesse estudo. No entanto, as evidências da teoria colocam que a riqueza diminui lentamente na velhice, e que as famílias idosas que são pobres, com baixa renda, sem acesso à financiamentos, e sem riqueza acumulada ao longo da fase ativa, tendem a morar com famílias mais jovens (MODIGLIANI, 1986).

A teoria do ciclo de vida do consumo (MODIGLIANI, 1986) relaciona aspectos da macroeconomia, tais como a renda, o preço dos produtos, o consumo, e descreve uma trajetória que explica o comportamento do consumo ao longo do ciclo de vida. Dessa forma, fornece suporte teórico para o desenvolvimento de questões políticas, levantando incertezas, entre elas, sobre como as sociedades devem fazer suas provisões para o crescimento do número de idosos.

No contexto energético, foram identificados estudos na literatura internacional que investigaram a relação entre o consumo de energia elétrica e as diversidades demográficas. Apesar das diferenças nas particularidades dos cenários socioculturais e métodos, alguns estudos se alinham ao verificar que o processo de envelhecimento populacional vem afetando o consumo de energia elétrica pelos domicílios (BARDAZZI; PAZIENZA, 2020; BROUNEN; KOK; QUIGLEY, 2012; ELNAKAT; GOMEZ; BOOTH, 2016; LIDDLE, 2004; TONN; EISENBERG, 2006). Os métodos de análise podem variar desde a consideração da estrutura etária da população, levantado por pesquisas desenvolvidas por agências governamentais, aos fatores sociodemográficos ao nível do domicílio, sendo esses últimos mais específicos.

A Tabela 2 reúne alguns trabalhos que investigaram a relação dos fatores demográficos com o consumo de energia elétrica e/ou as emissões de dióxido de carbono, a classificação

da idade e dos grupos etários, bem como os cenários investigados. Alguns desses estudos deixaram de incluir o grupo de população das crianças ou de idosos por considerarem que essas faixas etárias são dependentes dos adultos, e assim não influenciam o consumo ou as emissões de dióxido de carbono. Dessa forma, acredita-se que esses estudos podem estar apresentando resultados incompletos sobre a relação entre o consumo de energia elétrica e a estrutura etária.

Tabela 2 – Estudos que relacionaram a análise do consumo de energia elétrica e/ou as emissões de dióxido de carbono com idades ou grupos etários populacionais

Estudo	Idade ou grupos etários	Aspectos analisados	Região
Bardazzi e Pazienza (2020)	Coortes com intervalos a cada 5 anos	População e consumo de energia elétrica e de gás	Itália e regiões
Brounem, Kok e Quigley (2012)	Idade do chefe de família; idade da criança mais velha; idosos > 75	Características demográficas e físicas do domicílio sobre o consumo de energia elétrica e gás	Holanda
Estiri e Zagheni (2019)	0-4, 5-9, 10-14, 75-79, 80+	População e consumo de energia (energia elétrica, gás natural, diesel, querosene, gás liquefeito do petróleo)	Estados Unidos
Guo, Sun e Dai (2016)	Crianças e idosos	População e emissão de dióxido de carbono	China
Hamza e Gilroy (2011)	Arranjos domiciliares com e sem: crianças; idosos com 60 anos e acima	Envelhecimento populacional e consumo de energia nos domicílios	Reino Unido
Hasanov, Bulut e Suleymanov (2016)	12-34; 35-49; 50-64; 65-79	População e uso de energia (petróleo)	Azerbaijão, Casaquistão e Rússia
Hasanov e Mikayilov (2017)	0-14; 15-64; 65+	População e consumo residencial de energia elétrica	Azerbaijão
Kim, Jang, Shin (2019)	0-14, 14-65, 65-79, 80+	População e consumo residencial de energia elétrica	Korea
Liddle (2011)	20-34; 35-49; 50-69; 70+	População e emissão de dióxido de carbono	Países OECD
Liddle e Lung (2010)	20-34; 35-49; 50-64	População e emissão de dióxido de carbono	Países OECD
Menz e Welsch (2012)	<15; 15-29; Idade 30-44; Idade 45-59; 60-74; 75+	População e emissão de dióxido de carbono	Países OECD
Tonn e Eisenberg (2006)	< 25, 35-44, 65-74, 75+	População e consumo de energia	Estados Unidos
Yang, Zhao, Wang e Shi (2015)	0-14; 15-64; 65+	População e emissão de dióxido de carbono	Pequim
Zhang e Tan (2016)	<14; 15-64; 65+	População e emissão de dióxido de carbono	China

Fonte: elaboração a partir de: Bardazzi e Pazienza (2020); Brounem, Kok e Quigley; Estiri e Zagheni (2019); Guo, Sun e Dai (2016); Hasanov, Bulut e Suleymanov (2018); Hamza e Gilroy (2011); Hasanov e Mikayilov (2017); Kim, Jang, Shin (2019); Liddle (2001); Liddle e Lung (2010); Menz e Welsch (2011); Tonn e Eisenberg (2006); Yang, Zhao, Wang e Shi (2012); Zhang e Tan (2016).

Bardazzi e Pazienza (2020) analisaram os dados anuais de consumo residencial de energia elétrica de 20.0000 domicílios na Itália, disponibilizados por uma pesquisa oficial do governo, classificados para o país e para três regiões geográficas, referentes ao período 1997-2016. As autoras investigaram a relação do consumo com o perfil evolutivo da estrutura demográfica, a partir de coortes² populacionais definindo pela data de nascimento com intervalos de 5 anos, e estimando o consumo futuro residencial de energia elétrica até o ano 2050. O estudo conclui que o padrão futuro do consumo de energia e emissões serão afetados pela mudança na estrutura da população e sobreposição dos perfis geracionais. Considerando o envelhecimento populacional, a redução no tamanho da população e migrações, o estudo apresenta que o envelhecimento e o comportamento das coortes de recém-nascidos reduzem o efeito do crescimento do consumo pela redução do contingente populacional. Considerando a intensidade de uso da energia elétrica pela tecnologia e sua disponibilidade, as autoras estimam um crescimento pela demanda de energia elétrica nas próximas décadas, apesar do declínio populacional. Dessa forma, apresentam indicações para a consideração dos efeitos demográficos sobre o planejamento energético a fim de se evitar uma grave subestimação da demanda total de energia elétrica futura.

Bardazzi e Pazienza (2020), Estiri e Zagheni (2019), Liddle (2014) e Pessanha e Leon (2012) verificaram que, não apenas a idade da população, mas as coortes impactam o consumo residencial uma vez que o consumo varia de acordo com as fases da vida. Segundo os estudos, as análises de coortes populacionais refletem os diferentes padrões de consumo, pois assumem que em cada geração há uma mudança no padrão de consumo pela situação da renda, evolução da sociedade, da economia, pela tecnologia dos equipamentos, dentre outros. Dessa forma, Bardazzi e Pazienza (2020) e Estiri e Zagheni (2019) estabeleceram como avanço na literatura, que cada idade tem um perfil de consumo de energia elétrica.

De um lado, estudos apontam que o envelhecimento populacional irá impactar negativamente o consumo de energia elétrica. Em suas análises, Guo, Sun e Dai (2016) e

² Em pesquisas contextualizada à demografia, coortes são conjuntos de pessoas que tem em comum um evento que se deu no mesmo período, por exemplo: coorte de nascimento - coorte de pessoas que nasceram entre 1950 e 1960.

Liddle e Lung (2010) encontraram que consumo de energia dos idosos reduz, em relação as faixas etárias anteriores, devido à gradual redução da renda dos idosos com o aumento de sua idade. Hasanov e Mikayilov (2017) indicaram que no Azerbaijão, a população com 65 anos e acima consomem aproximadamente o equivalente a $\frac{1}{4}$ do consumo de energia elétrica pela população com idade entre 15 e 65 anos. Os autores apresentam que essa diferença de consumo está relacionada às condições de renda dos idosos serem muito inferior à renda da população em idade ativa. Os resultados, são explicados pelos autores, como coerentes com os hábitos culturais no país, onde os idosos passam grande parte do dia em espaços públicos compartilhados, em atividades de lazer (jogos de dados e tabuleiros) que não requer o consumo de energia elétrica, ao invés de ficarem em casa assistindo televisão. Estiri e Zagheni (2019), que consideraram os coortes na investigação do consumo residencial de energia elétrica nos Estados Unidos, apontaram um pico de consumo pela população com idade entre 30 e 55 anos. Os estudos de O'Neil e Chen (2002) e de Estiri e Zagheni (2019), para os Estados Unidos, apontaram a tendência de aumento do consumo com a idade até a faixa etária de 60 anos, sendo esse consumo controlado pela renda, e por outros aspectos como o clima e as características físicas do domicílio. Estiri e Zagheni (2019) observaram uma leve ampliação no consumo acima de 80 anos, e estimaram ser devido a fase de ampliação da dependência de idosos de receberem cuidados de terceiros e de equipamentos para monitoramento das condições de saúde no domicílio.

Brounem, Kok e Quigley (2012) apontam que, na Holanda, os idosos consomem menos energia elétrica no domicílio comparado a pessoas em idade ativa, estimando ser devido ao fato de possuírem menos equipamentos eletrônicos, apesar de passarem mais tempo em casa, mas principalmente quando esses moram sozinhos.

Hamza e Gilroy (2011) concluíram em um estudo realizado no Reino Unido, que por meio do processo de transição demográfica relacionado ao envelhecimento da população, o número da população de idosos não só está crescendo proporcionalmente, como também impacta no crescimento do número de domicílios e da taxa de chefia desses. Os autores indicaram que diretrizes políticas com foco na redução do consumo de energia no domicílio deveriam considerar a inter-relação de fatores, tais como: a diversidade da população de idosos em relação à situação de renda familiar, a necessidade de melhoria dos índices de conforto térmico das edificações domiciliares mais antigas, as mudanças da matriz elétrica

e a indicação da promoção de uma sociedade com menores níveis de consumo de bens e serviços. Observa-se um alinhamento entre as diretrizes colocadas pelos autores com as considerações de Bardazzi e Pazienza (2020), e de Zaidi (2015), de que o envelhecimento populacional traz desafios as políticas públicas, requerendo uma integração da política energética as políticas habitacionais, sociais e econômica, dentre outras.

De outro lado, outros estudos destacam-se que o envelhecimento populacional irá impactar positivamente o consumo de energia elétrica, dessa forma promovendo sua aceleração. Tonn e Eisenberg (2006) encontraram que os idosos usam mais energia do que os jovens nos Estados Unidos. Kim e Seo (2012), que analisaram dados de 53 países, e Roberts (2008) que analisou dados da Coreia, encontraram que o envelhecimento populacional pode levar a um aumento na demanda de energia elétrica devido aos problemas encontrados pela população de idosos, relacionados à maior sensibilidade ao clima, dessa forma levando-os a acionar mais os equipamentos de controle do conforto térmico no domicílio, e pela tendência de possuírem equipamentos com maior tempo de uso (mais antigos) e com menores índices de eficiência energética. Bardazzi e Pazienza (2020) apontaram que o envelhecimento promove o aumento no consumo de energia elétrica. Kim, Jang e Shin (2019) analisaram a influência da estrutura etária da população da Coreia do Sul sobre o consumo residencial de energia elétrica, em abordagem regional, identificando que a população de 65 anos e acima usam mais energia elétrica que a população de adultos, principalmente por passarem mais tempo em casa, pelo maior uso de aparelhos para o controle do conforto térmico relacionado a manutenção da saúde. O estudo ainda identificou que os idosos com condições de baixa renda apresentam restrições no consumo, e que essa condição de renda ainda restringe a possibilidade da substituição dos equipamentos para outros com níveis mais elevados de eficiência energética, dessa forma consomem mais energia elétrica. Kim, Jang e Shin (2019) indicaram a necessidade de políticas energéticas mais sofisticadas voltadas para a população de idosos e focadas principalmente na redução da pobreza energética, e na promoção para a transição da posse de equipamentos para a melhoria do nível de eficiência energética.

Os estudos de Estiri e Zagheni (2019), e de Brounem, Kok e Quigley (2012) apontaram que a população de jovens, nos Estados Unidos e Holanda, respectivamente, impacta positivamente no consumo de energia elétrica, logo, a transição demográfica implicaria em desaceleração do consumo. Brounem, Kok e Quigley (2012) apontam que há uma clara

tendência de ampliação do consumo pelas crianças. Os autores identificaram que à medida que as crianças avançam na idade, passam a utilizar de forma autônoma os eletrodomésticos e aparelhos eletrônicos dentro do domicílio. Hasanov e Mikayilov (2017) indicaram que, a população com idade entre 0 a 14 anos consome energia elétrica em índices muito inferiores ao consumo da população dos grupos etários de 15-64 e de 65 anos. Estiri e Zagheni (2019) identificaram que nem a renda e nem as características físicas domiciliares impactam o consumo de energia pela população de jovens, exceto quando esses passam a morar de forma independente da família e necessitam controlar a despesa domiciliar, o que inclui a energia elétrica. Dessa forma, os autores identificaram que grande parte do consumo entre 20 e 60 anos é definido pelas condições de renda, e que as mudanças na renda impactam mais negativamente o consumo de energia elétrica da população acima de 55 anos, do que o consumo pelos adultos mais jovens.

Liddle (2011) investigou o consumo residencial de energia elétrica para os países da Cooperação e o Desenvolvimento Econômico – OECD apontando que a população dos grupos de jovens (com idade de 20 a 34 anos) e de idosos (acima de 70 anos) apresentaram uma relação positiva com o consumo, enquanto aquelas em idade média (pessoas com idade de 35 a 69 anos) apresentaram relação negativa. De forma complementar, mas não contrária, Liddle e Lung (2010) apontaram que a população ativa, formada pelas pessoas que geram renda, possuem uma relação positiva e de maior relevância com o consumo do que o PIB per capita.

Liddle (2014) destaca que nas análises de consumo que consideram a estrutura etária, é importante que os grupos etários sejam determinados consistentemente com as características econômicas, sociais e culturais do local de análise uma vez que: a) pessoas em grupos de idades diferentes ou estágios de vida diferentes possuem diferentes níveis de atividade econômica que impactam distintamente o consumo de energia; b) a idade do chefe da família influencia no tamanho (na área) da unidade domiciliar, estimando-se que jovens e idosos possuem domicílios menores, e as famílias maiores, apesar de consumir mais energia, apresentam menor consumo por pessoa no domicílio. No seu estudo, o autor ainda destaca, no contexto dos grupos de idade, que as pesquisas que utilizaram o padrão dos três grupos etários do Banco Mundial (grupos de pessoas com idade menor que 15 anos, grupo com idade de 15 à 64, grupo com idade acima de 64) apresentaram resultados menos significantes, enquanto os estudos que classificaram melhor os grupos

populacionais associando-os ao comportamento de vida e aos aspectos particulares do país ou região tendem a encontrarem resultados mais refinados.

3. O setor residencial brasileiro e o consumo de energia elétrica

Neste capítulo é mostrada a contextualização do tema energia elétrica em uma abordagem sobre o cenário do setor residencial brasileiro. O impacto da renda, inserido através das análises do salário mínimo e do PIB regional, e as políticas públicas voltadas para o setor são contextualizadas em cada aspecto abordado na revisão de literatura consultada. O capítulo finaliza com a apresentação do contexto da transição demográfica brasileira e as implicações do envelhecimento populacional frente ao modo de vida.

3.1 O setor residencial brasileiro

3.1.1 Setor residencial – Definição e características

O setor residencial é caracterizado pelo conjunto de unidades domiciliares sendo de grande relevância no contexto do consumo de energia elétrica no país, uma vez que representa aproximadamente 85% das unidades consumidoras totais. A partir do ano de 2008, a energia elétrica passou a ser a fonte de energia mais consumida por esse setor, posição ocupada anteriormente pela lenha. No período compreendido entre os anos 2000-2018, a energia elétrica ampliou sua participação relativa no consumo do setor residencial, dentre outras fontes de energia, de 34,7% para 46,4% (EPE, 2019b). Este dado mostra uma mudança de comportamento no padrão de consumo energético, bem como a consolidação de uma situação de dependência do setor residencial à energia elétrica.

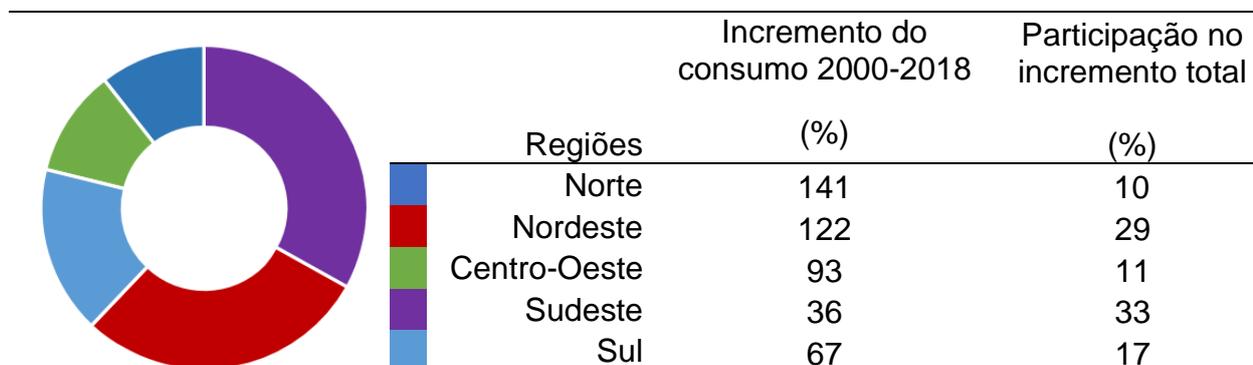
Dentre os grupos setoriais estratificados pelo Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2018), o residencial apresenta-se como o segundo maior consumidor de energia elétrica, atrás apenas do industrial. A participação relativa do consumo de energia elétrica residencial em 2018 foi de 25,4% dentre os demais setores (industrial, comercial, público, agropecuário, transportes e energético) (EPE, 2019a).

3.1.2 Cenário evolutivo de consumo de energia elétrica – Brasil e regiões

O consumo de energia elétrica pelo setor residencial foi de 136.022 GWh em 2018, e apresentou um incremento de aproximadamente 63% em relação ao ano de 2000 (EPE,

2019b). A Figura 2 apresenta o incremento do consumo residencial de energia elétrica para o período 2000-2018 por região geográfica.

Figura 2 – Incremento do consumo de energia elétrica do setor residencial, e participação no incremento total: Regiões, 2000-2018 (%).



Fonte: elaboração e tradução a partir de EPE (2019b).

Na Figura 2 observa-se uma dinâmica diferenciada do incremento do consumo no período entre as regiões, que pode ser devida a diferenças geográficas, sociais, culturais, econômicas, ambientais e políticas. As regiões Sudeste e Nordeste apresentaram a maior contribuição para o incremento do consumo no Brasil, correspondendo à, respectivamente 33% e 29%, no entanto, os maiores incrementos regionais ocorreram nas regiões Norte (141%) e Nordeste (122%). Compreender as variáveis que influenciam essas diferenças de incremento do consumo entre as regiões é objeto desse estudo.

A Tabela 3 apresenta dados e indicadores para o Brasil e regiões, que também retratam outras diversidades regionais, no contexto do consumo residencial. Nela, pode-se verificar que a região Nordeste comparada à Sul possui quase o dobro do contingente populacional, um número de domicílios 23% maior e, no entanto, seu consumo anual per capita é aproximadamente 1,5 vezes menor que o da região Sul. De outro lado, a região Sudeste, com maior densidade demográfica e maior número de domicílios, apresentou o maior consumo de energia elétrica, e maiores valores nos indicadores de consumo por domicílio e de consumo per capita. A região Centro-Oeste, apesar de apresentar baixa densidade demográfica, apresentou consumo de energia elétrica residencial per capita em dimensão próxima ao das regiões Sudeste e Sul.

Tabela 3 - Área territorial (%); Projeção da população (10³ hab); Densidade demográfica (hab/km²); Projeção do Número de domicílios (unidades); Consumo residencial por habitante (KWh/hab); Consumo residencial por domicílio (KWh/dom): Brasil e regiões, 2018.

Regiões	Área territorial		Proj.População		Densidade demográfica	Domicílios	Indicadores de consumo	
	(A)		(B)		(B/A)	(C)	(D)	(E)
	Km ²	%	Hab.x1000	%	hab/Km ²	Unid.	KWh/capita	KWh/dom
Brasil	8.514.876	100	209 186 802	100	24 567	74 344 275	650	1 830
Norte	3 853 397	45,3	18 158 149	8,7	4 712	6 094 592	517	1 540
Nordeste	1 554 257	18,2	57 576 309	27,5	37 044	19 744 373	480	1 400
Centro-Oeste	1 604 850	18,8	16 086 896	7,7	10 024	5 757 504	725	2 027
Sudeste	924 511	10,9	87 521 700	41,8	94 668	31 580 960	748	2 074
Sul	576 410	6,8	29 843 748	14,3	51 775	11 166 846	731	1 954

Fonte: elaboração a partir de (A, B) IBGE, 2019b; 2019e; (C) número de domicílios extrapolados a partir da média geométrica do número de domicílios anual do período 2000-2018 a partir de IBGE, 2019c; (D) EPE, 2019c; IBGE, 2019b, 2019e; (E) EPE, 2019c; IBGE, 2019c.

3.1.3 Acesso à energia elétrica

A promoção do acesso à energia elétrica, que contribui com o crescimento do consumo do setor residencial uma vez que conecta domicílios à rede de energia elétrica, foi objeto de programas e políticas sociais com ações integradas junto a programas públicos, visando a redução da pobreza e melhoria da qualidade de vida da população. Dessa forma, contribuem para a redução da pobreza energética, conceito definido por Berdnar e Reames (2020): um domicílio é energeticamente pobre quando não pode alcançar as necessidades de energia. No contexto da pobreza energética, estudos apontam outras causas, além da falta da infraestrutura de conexão à rede, a baixa renda e o alto gasto de energia causados pela baixa eficiência energética de equipamentos e da edificação (BERDNAR; REAMES, 2020; BOERI *et al.*, 2020; PRIMC; SLABE-ERKER; MACJEN, 2019).

Dentre os programas e políticas implementadas no Brasil, tem-se os programas Luz no Campo (BRASIL, 1999) e Luz para Todos (BRASIL, 2002) implementados com objetivos de reduzir a pobreza energética através da ampliação do acesso à energia elétrica. O programa Luz no Campo (BRASIL, 1999), vigente no período 2000-2020, promoveu a

ampliação dos níveis de eletrificação das áreas rurais de 19% em 2003, para 68% em 2014 (IBGE, 2019e). O programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – Luz para Todos (BRASIL, 2002), instituído em 2003 pelo Decreto nº 4.873, e vigente até 2020, teve como finalidade promover o acesso à energia elétrica à totalidade da população do meio rural brasileiro, impactando no incremento do número de domicílios conectados à rede elétrica. Como resultados, esse programa promoveu a ampliação dos níveis de eletrificação das áreas urbanas de 97,0% para 99,8%, exceto na região Norte (IBGE, 2004, 2019e). Além dos domicílios urbanos, o programa Luz para Todos beneficiou as comunidades indígenas, quilombolas e assentamentos residenciais com o acesso à rede elétrica. Houve ainda, a implementação da Tarifa Social de Energia Elétrica, criada pela Lei Nº 10.438, de 26 de abril de 2002, para promover o acesso à energia elétrica através da concessão de descontos para os consumidores enquadrados na Subclasse Residencial Baixa Renda. A Tarifa Social de Energia Elétrica, desde sua implementação, vem promovendo o desconto progressivo de 0 a 65% para unidades domiciliares que possuem consumo elétrico mensal até 220 KWh, dessa forma aliviando o peso da conta de energia na despesa domiciliar, principalmente nos domicílios de baixa renda (ANEEL, 2019b; BRASIL, 2010).

À medida em que o acesso à rede elétrica foi sendo expandido aos domicílios brasileiros, houve gradativamente a redução do consumo de lenha, e o setor residencial desenvolveu uma alta dependência da rede de fornecimento. Atualmente, 99,5% dos domicílios utilizam a energia elétrica proveniente das concessionárias, sendo apenas 0,12% do consumo gerado no próprio domicílio (ELETROBRAS, 2019; SIQUEIRA; CORDEIRO JUNIOR; CASTELAR, 2006).

3.1.4 Domicílios e unidades consumidoras

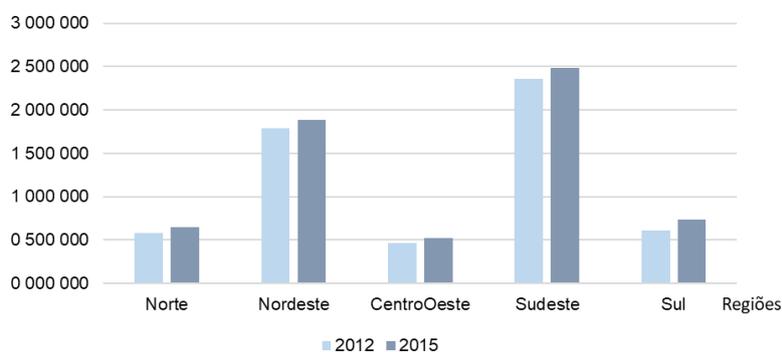
O crescimento do número de domicílios no Brasil é um dos fatores de maior impulsão para o crescimento do consumo residencial de energia elétrica (ABRAHÃO; SOUZA, 2020b; VILLAREAL; MOREIRA, 2016). O número de domicílios totais no Brasil no ano de 2000 foi de aproximadamente 40,4 milhões de unidades, evoluindo para aproximadamente 62,3 milhões no ano de 2015. De forma esperada, e devido ao processo de urbanização, o crescimento do número de domicílios nas áreas urbanas vem sendo significativamente maior que nas áreas rurais. No período 2000-2015 o incremento dos domicílios das áreas

urbanas no Brasil foi de aproximadamente 22,4 milhões, o que correspondeu a 7 vezes o incremento dos domicílios das áreas rurais (IBGE, 2019c).

O crescimento no número de domicílios está relacionado ao crescimento populacional e às políticas de redução de déficit habitacional. De um lado, tem-se a redução do déficit habitacional brasileiro, instituída por meio da Política Nacional de Habitação, criada em 2004 pelo Ministério das Cidades³, e instituída pelo Sistema Nacional de Habitação de Interesse Popular, pela Lei 11.124/2005 (BRASIL, 2005b, 2020c), que contribuiu com o crescimento do consumo de energia elétrica a partir da ampliação do número de domicílios. Outros programas habitacionais, como o Programa Minha Casa Minha Vida – PMCMV (BRASIL, 2009), também colaboram na redução do déficit habitacional ao fornecer subsídios e financiamentos à população. O déficit habitacional brasileiro em 2012 correspondeu a 5,79 milhões de domicílios, o equivalente a 9,1% dos domicílios particulares permanentes no ano (FJP, 2014). Em 2015 o déficit habitacional foi estimado em aproximadamente 6,3 milhões de domicílios, liderados pelas regiões Sudeste (2,4 milhões de unidades) e Nordeste (1,9 milhões de unidades) (Figura 3) (FJP, 2018). A comparação entre as projeções do déficit habitacional dos anos 2012 e 2015 pode ser vista na Figura 3. Não há dados consolidados mais recentes, no entanto, verifica-se que apesar da existência de programas habitacionais no país, há uma tendência de crescimento contínuo do número de domicílios que atende não apenas o crescimento populacional, mas também a redução do déficit habitacional.

³ O Ministério das Cidades integrava a cúpula administrativa e era diretamente subordinado à Presidência da República, auxiliando no exercício do Poder Executivo. Em 18 de Junho de 2019 o órgão foi extinto pela Lei Nº 13.844, com transferência de suas funções para as atribuições ao Ministério do Desenvolvimento Regional (BRASIL, 2020c).

Figura 3 - Déficit habitacional 2012 e 2015: regiões (unidades).



Fonte: elaboração a partir de FJP (2018).

De outro lado, tem-se uma tendência de redução do número de moradores por domicílio (densidade domiciliar) em virtude da queda da fecundidade, e do crescimento do número de famílias (novos arranjos familiares), com taxas acima do crescimento populacional e do crescimento do número de domicílios (LEON; PESSANHA, 2007). Estima-se que a redução da densidade domiciliar promove o crescimento do consumo, pelo menor compartilhamento de equipamentos no domicílio. No entanto, Abrahão e Souza (2020a) identificaram que a redução do número de pessoas por domicílio levou a uma desaceleração da variação do consumo residencial de energia elétrica entre 2000-2018, principalmente nas regiões Norte e Sudeste, estimando-se que nos domicílios com menor número de moradores, e associados a condições de renda menos favoráveis, há um maior controle da despesa de energia elétrica no domicílio. Os domicílios unipessoais apresentaram crescimento de 35% no período 2004-2013, passando de 10% em 2004 para 13,5% em 2013, com maiores proporções desse tipo de arranjo localizados nas regiões Sul (14,9%) e Sudeste (14,5%) e conformados principalmente pela faixa etária de idosos (IBGE, 2014, 2019b, 2019c).

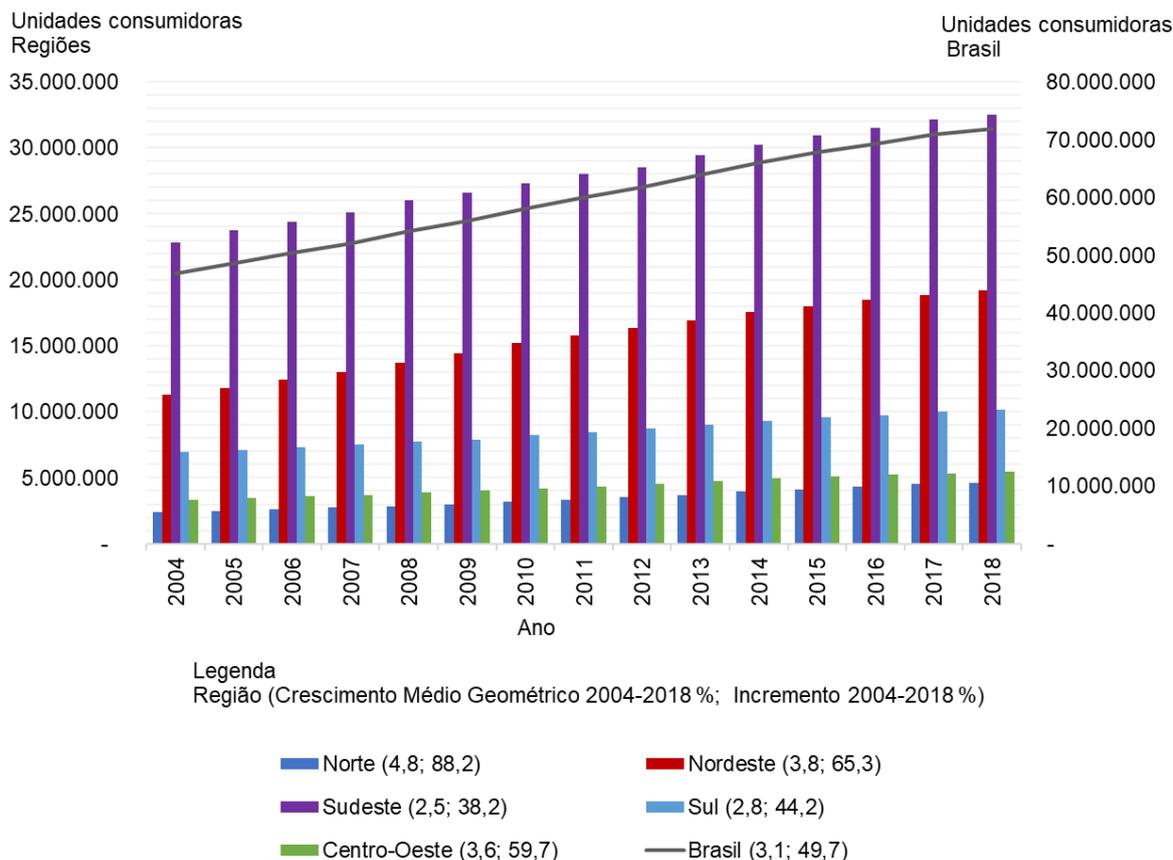
Em relação à classificação de domicílios por faixa de renda, os domicílios com renda domiciliar até 2 salários-mínimos representavam 29% dos domicílios totais no ano 2000, e evoluíram para 43% em 2015, com um incremento de 15 milhões de unidades. Já os domicílios com faixa de renda entre 2 e 5 salários-mínimos, evoluíram no mesmo período de 36% para 42%, com incremento de 11,5 milhões de domicílios. De forma inversa, os domicílios com renda acima de 5 salários mínimos, que em 2000 correspondiam a 40% do total de domicílios (ou 16 milhões de unidades), passaram para 24% (ou 14,9 milhões de unidades) dos domicílios totais em 2015, o que leva à interpretação de que houve redução

da renda familiar desses domicílios, que migraram para faixas de renda domiciliar inferiores (IBGE, 2019c).

Unidades consumidoras residenciais

O número de unidades consumidoras residenciais no Brasil refere-se aos consumidores a partir da conexão dos domicílios à rede de transmissão e distribuição com medição do consumo de energia elétrica, sendo que no período 2004-2008, o Brasil teve um incremento absoluto de 25 milhões de unidades consumidoras, como pode ser visto na Figura 4. Nesse período, o maior incremento relativo ocorreu nas regiões Norte (88,2%) e Nordeste (65,3%), que apresentaram crescimento médio geométrico anual de respectivamente 4,8% e 3,8% no período. A região Sudeste participava com 49% das unidades consumidoras em 2004, reduzindo para 45% em 2018, enquanto a região Nordeste evoluiu de 24% para 27%, e as demais regiões apresentaram aumento de 1% na participação, exceto a Sul que reduziu de 15% para 14% (EPE, 2019c). O número de unidades consumidoras de forma geral não corresponde ao número de domicílios. A razão entre o número de domicílios com fornecimento de energia elétrica (unidade consumidora) e o número de domicílios, definido pela ANEEL como índice de Atendimento, é um indicador da universalização do serviço de energia elétrica.

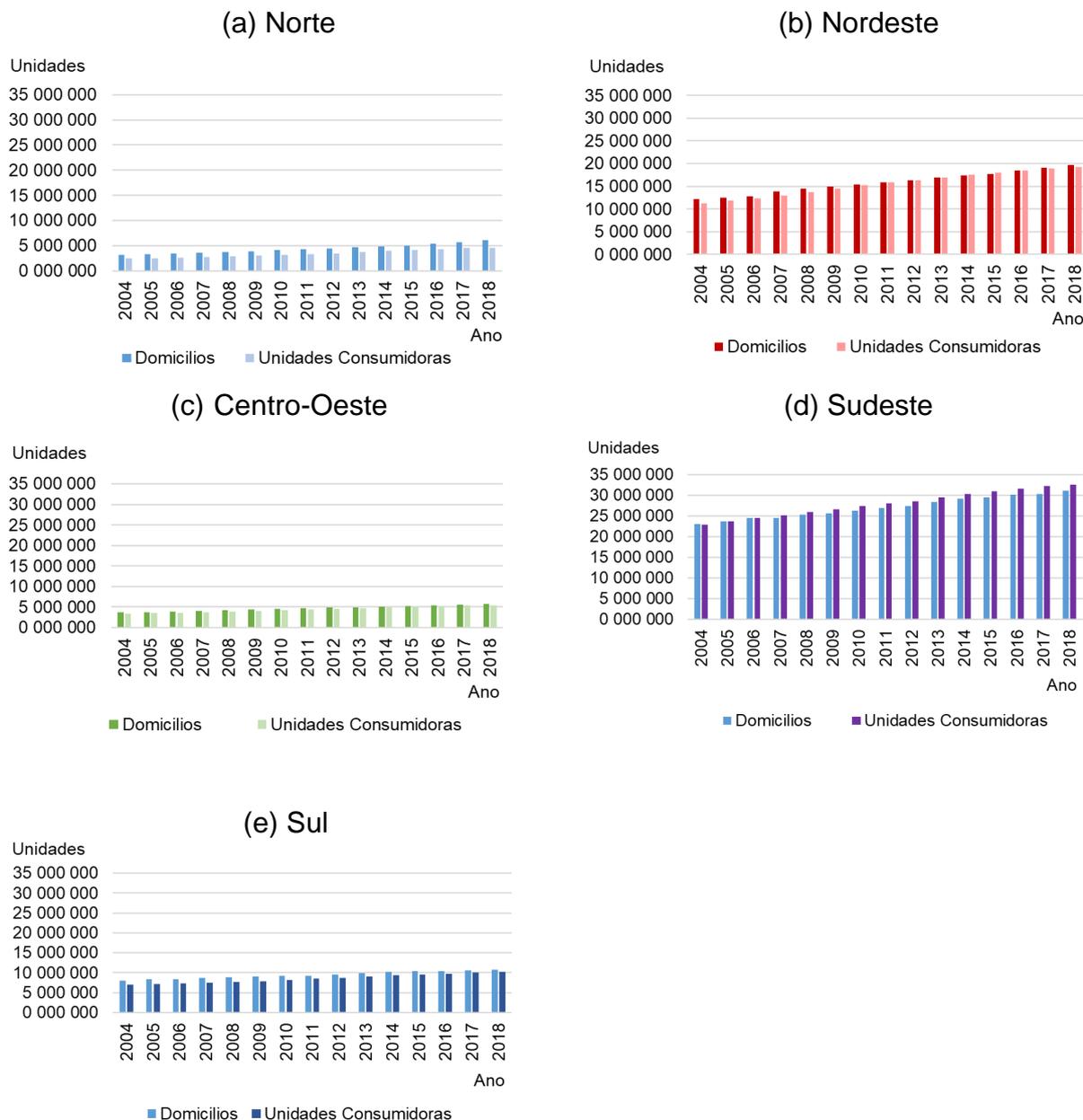
Figura 4 – Evolução do número de unidades consumidoras de energia elétrica do setor residencial; Legenda: Brasil e regiões, 2004-2018; Crescimento médio geométrico (%); Incremento (%).



Fonte: elaboração a partir de EPE (2019c).

Há ainda uma questão inversa, referente aos domicílios conectados à rede elétrica, mas não contabilizados como unidades consumidoras. A partir da Figura 5, observam-se divergências entre o número de domicílios regionais e no Brasil, e o número de unidades consumidoras. A discrepância entre essas unidades pode estar relacionada, em parte, a perdas não técnicas, referentes à fraudes e furtos de energia elétrica através de ligações irregulares e clandestinas, no Brasil popularmente conhecidas como “gatos”, conforme analisadas e estimadas por Ramos (2014). Um dos problemas das ligações irregulares e clandestinas, além das perdas de recursos financeiros, das condições da ilegalidade no comportamento do consumidor, das sobrecargas nos sistemas de transmissão e distribuição, é que estas geram uma lacuna nas previsões de demanda e geração do planejamento energético, impactando a segurança do fornecimento de energia elétrica.

Figura 5 – Domicílios e Unidades Consumidoras: Regiões, 2004-2018



3.1.5 Consumo por uso final

A estimativa do consumo de energia elétrica por uso final, no setor residencial, em geral, possui a abordagem do tipo *Bottom-up*, sendo esta uma metodologia utilizada por agências internacionais, como *United States Energy Administration Information* e *European Environment Agency*, para estimar o percentual médio de consumo anual de cada equipamento.

As análises da estrutura de consumo por uso final, recorrentes na literatura do contexto residencial do consumo de energia elétrica, auxiliam o planejamento de políticas e programas de eficiência energética, pois permitem quantificar o grau de relevância do consumo de cada equipamento ou grupos de equipamentos. O consumo por uso final está associado aos índices de posse, à potência, ao tempo e ao hábito de uso de cada equipamento. O levantamento de dados para a aplicação da metodologia de uso final para o setor residencial é uma tarefa complexa, podendo ser feito, no mínimo, de duas formas: 1) por meio de medição histórica de consumo em uma amostragem de domicílios, como realizado por Silva *et al.* (2014), requerendo a instalação e o monitoramento de medidores por uso final, além da coleta de dados dos equipamentos e do domicílio; 2) por meio de aplicação de questionários e entrevistas à uma amostragem de domicílios, como as pesquisas de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Uso – PPH realizadas por ELETROBRAS (1988, 1998, 2007, 2019), em âmbito nacional. Uma vez coletados e organizados os dados, as análises de uso final são feitas por meio da aplicação de técnicas estatísticas, como os estudos de Januzzi e Schipper (1991), de Almeida, Schaeffer e La Rovere (2001), de Ghisi, Gosch e Lamberts (2007), de Swan e Ugursal (2009), de Silva *et al.*, 2014, e o mais recente estudo de Abrahão e Souza (2020a). Desses estudos, apenas os de Almeida, Schaeffer e La Rovere (2001), e de Abrahão e Souza (2020a) apresentaram a abordagem de uso final para as regiões, dessa forma refinando as análises e avançando a percepção de uma dinâmica diferenciada entre estas, principalmente no que diz respeito ao uso final do chuveiro elétrico, e do ar condicionado na região Norte.

Abrahão e Souza (2020a) utilizaram os dados das duas mais recentes publicações da pesquisa PPH para estimar a estrutura do consumo residencial de energia elétrica por uso final, e reuniram os resultados dos estudos anteriores, permitindo analisar a evolução da dessa estrutura ao longo dos anos. As autoras identificaram a ampliação do consumo por uso final dos equipamentos da categoria Conforto Ambiental, a permanência de uma elevada participação no consumo dos equipamentos da categoria Conservação de Alimentos, e a redução da participação da categoria Aquecimento de Água em todas as regiões, exceto na região Sul. O estudo identificou um predomínio do consumo por uso final por essas três categorias, que juntas variaram entre 82% e 91% do consumo total em função da região.

A relevância dos estudos com análise de uso final do consumo de energia elétrica se relacionam à: (i) identificação dos equipamentos com relevante potencial para reforçar a implementação de política de eficiência energética; (ii) identificação da evolução dos hábitos de consumo através da tipologia dos equipamentos; (iii) compreensão do cenário de posse de eletrodomésticos; (iv) contribuição para a construção de cenários e projeções de consumo (ABRAHÃO; SOUZA, 2020a; JANUZZI; ALMEIDA; SCHAEFFER; LA ROVERE, 2001; GHISI; GOSCH; LAMBERTS, 2007; SCHIPPER, 1991; SILVA *et al.*, 2014).

Com efeito, a política de regulação dos índices de eficiência energética dos eletrodomésticos, através do Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE, que em 2020 contemplava 33 programas voltados aos eletrodomésticos, ainda apresenta elevado potencial para reduzir a necessidade de expansão da matriz elétrica, e a demanda de pico horária e sazonal, principalmente no atual cenário da manutenção de programas de inserção social (ABRAHÃO; SOUZA, 2020a; COSTA *et al.*, 2019; MORISHITA; GHISI, 2010; OLIVEIRA; REBELATTO, 2015).

Após a crise de energia elétrica brasileira ocorrida em 2001, o Governo Federal implementou programas institucionais para o setor de energia elétrica com o intuito de promover a conservação de energia e a eficiência energética. Com a promulgação da Lei 10.295/2001 (BRASIL, 2001b), e do Decreto 4.059/2001 (BRASIL, 2001a), o Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE, iniciado na década de 80 e até então restrito à área automotiva, passou a integrar as ações relacionadas ao desempenho de eletrodomésticos através do estabelecimento de índices mínimos de eficiência energética, com impacto na redução do consumo de energia elétrica pelo setor residencial brasileiro. Em 2003 foi lançado o programa PROCEL-Edifica com o objetivo de promover condições para o uso eficiente da energia elétrica nas edificações, tornando-se aplicável, voluntariamente, a partir de 2010 com a publicação do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R (INMETRO, 2015). Observa-se ainda uma modesta disseminação de edificações residenciais etiquetadas em relação ao parque construído, e a concentração de 91% das etiquetas emitidas na região Sudeste. O estado da arte do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edifícios Residenciais, em 2020, contempla a etiquetagem de 323 edifícios multifamiliares (615 etiquetas emitidas, sendo 318 etiquetas de projeto e 297 etiquetas de inspeção), e de 4055 unidades habitacionais

autônomas (5460 etiquetas emitidas, sendo: 2844 etiquetas de projeto e 2616 etiquetas de inspeção) (INMETRO, 2020).

3.1.6 Tarifa elétrica

Como dito, a tarifa de energia elétrica também é um instrumento político que pode promover a redução da pobreza energética, uma vez que a elevação dos custos da tarifa afeta o consumo pelos domicílios, principalmente pelos domicílios de menor renda, levando a uma ampla restrição do consumo (ABRAHÃO; SOUZA, 2020b; BOERI *et al.*, 2020).

A tarifa elétrica no Brasil é determinada pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL por metodologia que considera fatores de infraestrutura de geração, transmissão e distribuição. O incentivo à modicidade tarifária e a sinalização da oferta da energia elétrica no mercado são considerados fatores de composição da tarifa elétrica (ANEEL, 2019a). Em 2003, no período pós crise de abastecimento, e após o período de racionamento do consumo de energia elétrica, foi estabelecido um novo modelo para o setor elétrico brasileiro buscando a segurança da expansão do sistema e a modicidade tarifária. A tarifa, anteriormente tratada por custo de serviço passou a ser definida pelo menor valor de tarifa ofertada no Ambiente de Contratação Regulada dos leilões de distribuição de energia. Esse modelo *Price-Cap* estabelece, a partir do preço teto do ano anterior, uma revisão de valor da tarifa, anual ou periódica, dependendo dos estudos de projeções de demanda de energia elétrica desenvolvidos pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE (ANEEL, 2019a).

A tarifa elétrica voltada aos consumidores residenciais vem apresentando uma tendência de ampliação da modicidade, no intuito de adequar melhor o custo tarifário as condições e à disposição econômica e horário do uso de energia elétrica pelo domicílio, além de contribuir para a redução da demanda da curva horária de consumo.

A estrutura tarifária estabelece um conjunto de tarifas aplicáveis de acordo com modalidades de fornecimento. Nesse contexto, o setor residencial enquadra-se no Grupo B, destinado às unidades consumidoras com tensão inferior à 2,3kV, e denominado por consumidores de baixa tensão, tendo como classificação B1 a Classe Residencial e a subclasse Residencial baixa renda (ANEEL, 2019a). A política tarifária estabelece para a classe de consumo Residencial quatro subclasses relativas à baixa renda: Residencial baixa renda; Residencial baixa renda indígena; Residencial baixa renda benefício de

prestação continuada da assistência social; Residencial baixa renda multifamiliar. Na classe Rural há ainda a subclasse Residencial Rural (ANEEL, 2019a).

A Tarifa Social de Baixa Renda é aplicada aos consumidores residenciais com consumo mensal inferior à 80 kWh, ou aqueles que comprovem inscrição no Cadastro Único de Programas Sociais do Governo Federal, e possuam consumo entre 80 e 220 kWh/mês, e é caracterizada por descontos cumulativos sobre a tarifa, conforme apresenta a Tabela 4 (ANEEL, 2019a). Essa política foi criada num contexto do reconhecimento de desigualdades sociais e regionais. No entanto, discorre-se que nem sempre o baixo consumo elétrico residencial é sinônimo de exclusão social, visto que há um crescente número de moradias com um único habitante inserido em uma faixa de baixo consumo de energia. Por exemplo, os domicílios unipessoais representavam 10% em 2004 passando a 13,5% em 2013, dos quais 54% enquadravam-se em condições sem rendimento e com faixa de renda de até 2 salários mínimos, e os demais 46%, com renda superior à 2 salários mínimos, eventualmente podem apresentar baixo consumo domiciliar (IBGE, 2014).

Tabela 4 – Parcela de consumo mensal e desconto aplicado para a Tarifa Social

Parcela de consumo mensal (PCM)	Desconto Aplicado
$PCM \leq 30\text{kWh}$	65%
$30\text{ kWh} < PCM \leq 100\text{ kWh}$	40%
$100\text{ kWh} < PCM \leq 220\text{ kWh}$	10%
$PCM > 220\text{ kWh}$	0%

Fonte: elaboração a partir de ANEEL (2019a)

Desde o ano de 2015 a política do Sistema de Bandeiras Tarifárias, nas modalidades: verde, amarela e vermelha, conforme apresenta a Tabela 5, passou a integrar a política tarifária para todos os consumidores cativos das distribuidoras exceto aqueles localizados em sistemas isolados. Essa política foi criada para repassar ao consumidor os custos de geração de energia em modalidades ativadas pelas condições de restrição do armazenamento dos reservatórios das usinas hidráulicas, ou seja, pelo acionamento das termelétricas.

Tabela 5 - Sistema de bandeiras tarifárias, condições de aplicação e acréscimo de custo sobre uma unidade de quilowatt-hora consumido

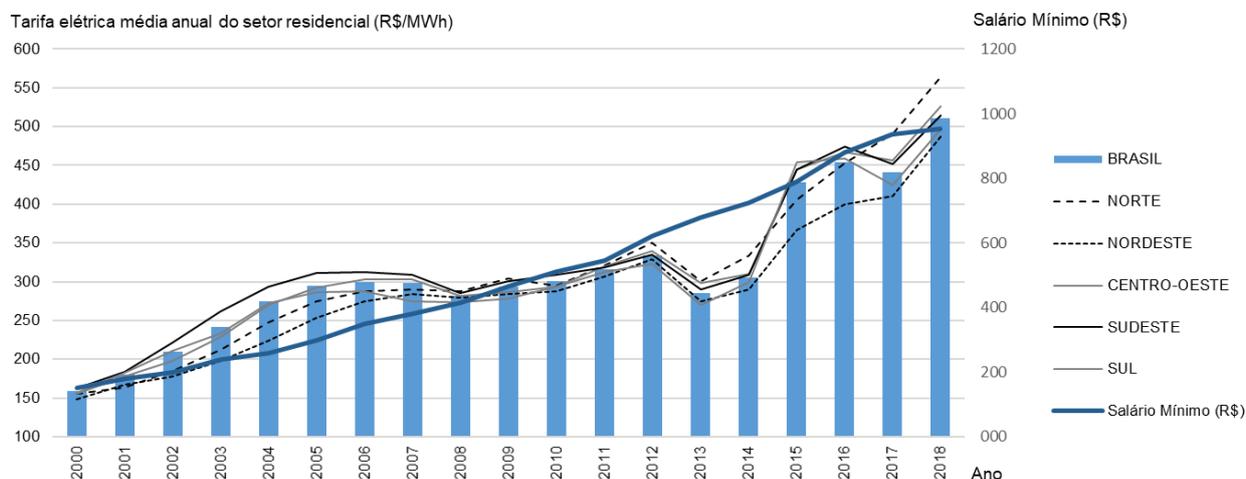
Bandeira	Indicação de condições da geração de energia elétrica	Acréscimo por quilowatt-hora (kWh) consumido
Verde	Favoráveis	Não há acréscimo na tarifa
Amarela	Menos favoráveis	R\$ 0,015
Vermelha Patamar 1	condições mais onerosas de geração	R\$ 0,040
Vermelha Patamar 2	condições ainda mais onerosas de geração	R\$ 0,060

Fonte: elaboração a partir de ANEEL (2019a)

Desde janeiro de 2019 foi implementada a Tarifa Branca, a primeira modalidade tarifária diferente da tarifa convencional. Com adoção voluntária pelos consumidores do grupo B, desde que possuam consumo mensal superior à 250kWh/mês, a Tarifa Branca cria condições para a aplicação de valores menores de tarifa elétrica incentivando o deslocamento do horário do consumo para fora dos períodos de ponta. Contudo, nessa modalidade, a tarifa de consumo nos horários de ponta (maior demanda de energia) e no horário intermediário (uma hora antes e uma hora depois do horário de ponta) ficam mais caras. Dessa forma, interpreta-se que a modalidade da Tarifa Branca induz o consumidor a um planejamento horário diário do seu consumo, principalmente referente ao uso dos equipamentos que mais contribuem para elevar o consumo em horário de ponta: chuveiro elétrico, ar condicionado e aquecedores (ABRAHÃO; SOUZA, 2020a; ALMEIDA; SCHAEFFER; LA ROVERE, 2001; GHISI; GOSCH; LAMBERTS, 2007; JANUZZI; SCHIPPER, 1991; SILVA *et al.*, 2014).

Observa-se que, a partir do ano de 2000 as modalidades tarifárias vêm sendo implementadas, e a evolução do seu detalhamento é parte da política de eficiência energética voltada ao setor residencial. A Figura 6 apresenta o perfil evolutivo das tarifas no período 2000-2018, comparado a evolução do salário mínimo nacional, para o Brasil e regiões.

Figura 6 – Evolução da tarifa elétrica média anual do setor elétrico (R\$/MWh) e do salário mínimo brasileiro (R\$); Brasil e regiões, 2000-2018.



Fonte: elaboração a parte de ANEEL (2019b; 2019c).

A partir da Figura 6 percebe-se uma volatilidade da tarifa elétrica, uma vez que essa é um instrumento da política energética afetada pela economia (VILLAREAL; MOREIRA, 2016). A sincronia dos perfis evolutivos entre as regiões reflete fases problemáticas do setor elétrico associados aos momentos econômicos do país. O índice de reajuste tarifário entre os anos 2000-2005 é explicado pelo aumento da contribuição das termelétricas na matriz geradoras, uma ação de resposta rápida para evitar crises de abastecimento. Essa alta nos preços tarifários manteve-se até o ano 2007. A crise econômica internacional, entre os anos 2008 e 2009, impactou o setor elétrico brasileiro devido à redução de investimentos sobre o setor, concomitante a um atraso no reajuste tarifário que veio a ocorrer somente após 2009. O pico do valor da tarifa em 2012 levou a ANEEL à implementação de uma redução de 20% sobre a tarifa elétrica aos consumidores (ANEEL, 2019b), como um incentivo para aumentar o fluxo interno da economia. Contudo, a inconsistência do baixo preço tarifário, seguido por um período de altos investimentos na reestruturação da matriz geradora, levou as companhias distribuidoras a operar com déficits financeiros atrasando os investimentos necessários em fornecimento, que resultaram em uma nova intervenção governamental aumentando os preços tarifários em cerca de 70% entre 2013 e 2015 (HUNT; STILPEN; FREITAS, 2018). Nesse período, o setor residencial apresentou sensibilidade ao reajuste tarifário, ocorrendo uma redução significativa do consumo de energia elétrica, conforme anteriormente apresentado na Figura 1 (p.18).

No período analisado, é observado que a relação do valor do salário mínimo com o valor da tarifa média brasileira evoluiu de 0,95% em 2000 para 1,84% em 2018, estimando-se que, apesar do período de alto reajuste tarifário, o peso relativo do custo do serviço de energia elétrica frente ao valor do salário mínimo, associado a um período de programas do governo federal de distribuição de renda, contribuíram positivamente ao crescimento do consumo residencial de energia elétrica. No entanto, nas análises de decomposição do consumo residencial no período 2000-2018 do estudo de Abrahão e Souza (2020b), foi observado que a tarifa elétrica impõe restrição do consumo de energia no domicílio, especialmente naqueles de baixa renda, resultados coerentes com as análises de Villareal e Moreira (2016) que observaram uma relação negativa da tarifa como consumo, durante o período 1985-2013.

3.1.7 Produto Interno Bruto

O Produto Interno Bruto – PIB no Brasil mede toda a produção de bens e serviços valorados a preço de mercado, produzidos no ano corrente e destinados ao consumo final. Sob a ótica da demanda, o PIB é influenciado pela balança comercial (diferença entre as exportações e importações), pela aquisição de bens e serviços pelas famílias e pelos investimentos (expansão de capital) pelas empresas. Sob a ótica da oferta, é determinado pela produção de bens e serviços pelo setor industrial, de serviços e pela agropecuária. Portanto, fatores econômicos externos ao país com influência sobre as exportações e investimentos estrangeiros, e fatores internos que afetam a demanda e a produção, como a política de taxa de juros e os gastos públicos, são alguns dos componentes que ajudam a determinar o PIB.

O percentual Crédito do Sistema Financeiro – CSF, dentro do PIB, sinaliza o poder de compra das famílias pelo crédito facilitado. Como exemplo, o consumo das famílias no PIB é influenciado pela facilidade de se obter crédito, o que está relacionado com a política de juros praticada pelo Banco Central. Quão mais baixos os juros, maior a demanda por crédito, principalmente para se comprar produtos mais caros, como eletrodomésticos. Em países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, a demanda de energia elétrica é influenciada pela facilidade ao crédito por promover a aquisição de eletrodomésticos e eletrônicos que colaboram com a ampliação da posse de equipamentos nos domicílios, principalmente em domicílios de baixa renda (ABRAHÃO; SOUZA, 2020a, 2020b; ACHÃO; SCHAFFER, 2009; WOLFRAM, SHELEF; GERTLER, 2012). Na decomposição da variação

do consumo por efeitos, Abrahão e Souza (2020b) identificaram uma contribuição positiva na variação do consumo pelo efeito do indicador consumo por PIB, nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, e insignificante nas regiões Norte e Nordeste. O estudo ainda verificou que a variação do PIB mostrou ter menor importância que a variação do salário mínimo nacional para impulsionar o consumo residencial de energia elétrica, estimando-se este fenômeno ser devido ao maior número de domicílios concentrado em faixas de renda até 5 salários mínimos. Dessa forma, as autoras identificaram oportunidades de abordagem de políticas energéticas voltadas às famílias de baixa renda principalmente àquelas com renda vinculada ao salário mínimo nacional.

3.2 Estrutura e processos demográficos

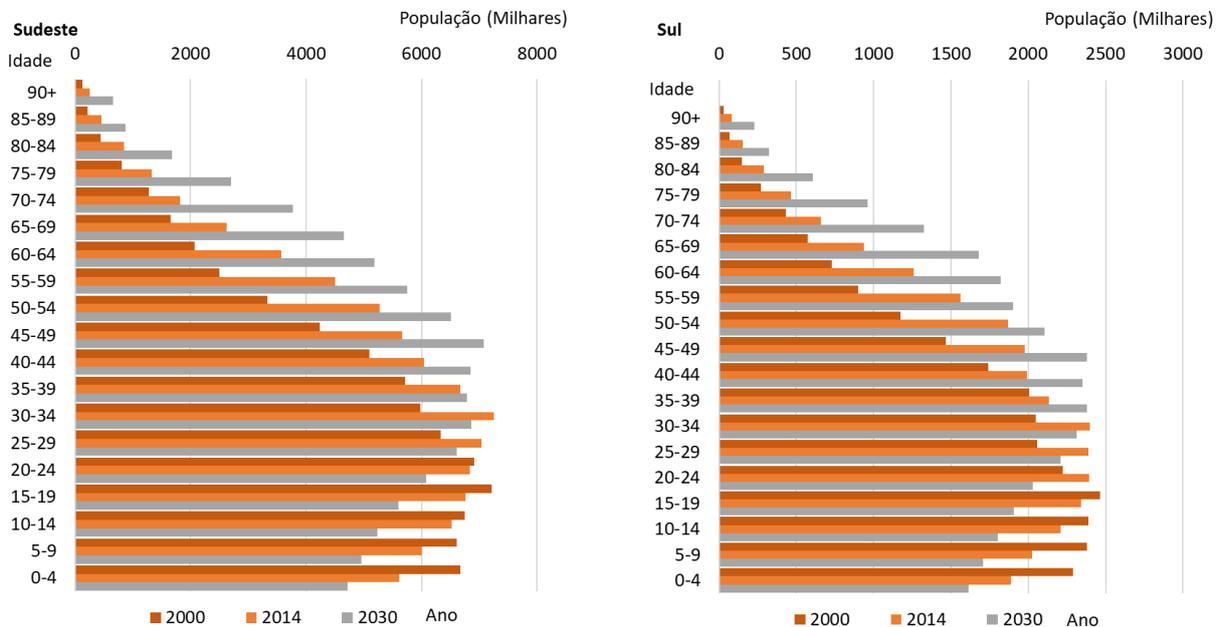
A população do Brasil projetada em 2018 foi de 209 milhões de habitantes, com uma expectativa de aumento de 6,7 milhões de habitantes até o ano 2030 (IBGE, 2019b, 2019e). Esse crescimento irá requerer um aumento no número de domicílios, e uma expansão da capacidade de geração de energia elétrica. Como dito anteriormente, a população brasileira, tal como a população mundial, está em processo de envelhecimento. O desenvolvimento tecnológico, a medicina e a higiene pública tem aumentado a longevidade das pessoas, reduzindo as taxas de mortalidade, principalmente dos grupos etários mais velhos, e associado às quedas sucessivas das taxas de fecundidade ao longo do século XX, promovendo a evolução da estrutura demográfica brasileira com um maior número da população de adultos e idosos, e um menor número de crianças.

Estudos estimam que esse fenômeno natural, identificado como o processo de transição demográfica, será intensificado nas próximas décadas. Um dos efeitos da transição demográfica é o envelhecimento populacional com impacto sobre o mercado de trabalho, a economia e os padrões de consumo (ZANON; MORETTO, 2014). O envelhecimento populacional é mais intenso nas áreas rurais devido ao processo de urbanização, levando os jovens a deixar as áreas rurais, migrando para as áreas urbanas em busca de melhores condições de vida, educação e empregabilidade. Dessa forma, o processo de urbanização vem contribuindo para a redução da densidade domiciliar nas áreas rurais. Em 2010, havia uma maior participação da população idosa (60 anos e acima) nas áreas rurais, comparadas as áreas urbanas, principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul. Naquele ano, a população e idosos nas áreas rurais da região Sul correspondia a 14% da população total das áreas rurais, enquanto nas áreas urbanas essa proporção era de 12%

Uma das preocupações com o processo de envelhecimento populacional está relacionado à expansão da taxa de dependência da população não economicamente ativa, como crianças e parte dos idosos, sobrecarregando o pagamento do benefício da aposentadoria pelo Governo Federal, bem como de outros serviços públicos, visto que o contingente populacional em idade ativa é o gerador de renda e riqueza. Por essa razão, dentre outras questões econômicas, a reforma da Previdência Social, iniciada em 2019 pelo Governo Federal, poderá impactar a demanda de consumo de energia elétrica. Dentre as alterações, da reforma, a extensão de tempo da atividade econômica da população, principalmente de idosos, prolonga a idade ativa e amplia o contingente populacional nesse grupo, com provável efeito em uma melhoria da renda da população de idosos, e sendo desconhecida a implicação dessa mudança sobre o consumo residencial de energia elétrica.

O efeito da transição demográfica devido ao envelhecimento populacional apresenta diferentes taxas de crescimento entre os grupos etários e entre as regiões. As projeções oficiais indicam que a população brasileira será de 41,5 milhões de idosos (pessoas com 60 anos e acima) em 2030, equivalente à 18,6% da população total e aproximadamente o dobro do número no ano de 2014. A Figura 7 apresenta o perfil evolutivo da população por idade para o Brasil e regiões, para o ano 2000, e as projeções oficiais para os anos 2014 e 2030, e revela um rápido processo de transição demográfica nas faixas etárias de adultos e idosos, e mais intensos nas regiões de maior desenvolvimento econômico: Sudeste, Centro-Oeste e Sul. A região Norte possui uma população jovem, a qual as projeções indicam que em 2030 apenas 12% terá idade igual ou superior a 60 anos, comparada as projeções de 21% e 22% de idosos para o mesmo ano para as regiões Sudeste e Sul, respectivamente.

Figura 7 - Perfil evolutivo da população por idade: Brasil e regiões, 2004, 2014, 2030 (continuação).



Fonte: elaboração a partir de IBGE (2019b).

Uma particularidade brasileira é a saída precoce dos jovens para o mercado de trabalho, conforme IBGE (2014) que aponta que aproximadamente 60% trabalhadores brasileiros iniciam ao mercado de trabalho na idade de 15 anos, especialmente na categoria da informalidade, incorporando uma contribuição relevante na renda familiar no domicílio, principalmente nas regiões Norte e Nordeste. No entanto, como uma das consequências da transição demográfica, tem-se a redução da população com idade jovem em uma escala menor que o crescimento da população em idade ativa. Em áreas rurais, a transição demográfica vem ocorrendo de forma mais acelerada.

Liddle e Lung (2010) observaram que em países desenvolvidos, o aumento da população em idade ativa, em taxas superiores ao aumento da população dependente (crianças e idosos), implica em uma maior influência da renda sobre o consumo de energia elétrica do que o PIB per capita. Os autores indicaram que, uma vez que são as pessoas em idade ativa que geram a renda familiar, essas tendem a promover a ampliação da posse de eletrodomésticos e principalmente relacionados ao conforto no domicílio.

No ponto de vista do envelhecimento populacional, a tendência ao modo de vida urbano, os baixos níveis de ocupação e a falta de acessibilidade nas áreas imediatas dos domicílios e as condições de saúde e de mobilidade geralmente levam as pessoas idosas a passar mais tempo em casa, assistindo televisão e utilizando os aparelhos elétricos no domicílio, sendo que 33% dos idosos brasileiros declararam ter dificuldade permanente para andar sem assistência (IBGE, 2014). Passando mais tempo em casa, de forma geral, essas pessoas ficam mais aptas ao consumo de energia elétrica. No entanto, através de condições que interceptam a renda domiciliar, estudos apontam que os idosos que não se estabeleceram economicamente enfrentam problemas relacionados aos gastos com consumo de alimentos e medicamentos, e de serviços básicos como a conta de energia elétrica (TURRA; QUEIROZ, 2007; ZANON; MORETTO, 2014). Essa condição de redução de renda da população de idosos tem levado os jovens à inserção precoce ao mercado de trabalho, e pessoas na idade ativa as jornadas mais longas de trabalho, passando mais tempo fora de casa, para dar apoio econômico aos pais ou familiares idosos (PEREIRA JUNIOR et al., 2011).

Dessa forma, apesar de desconhecido o impacto do envelhecimento populacional sobre o consumo de energia elétrica, hipotetiza-se que os efeitos sobre o modo de vida dentro dos domicílios e sobre a renda familiar apresentam desafios que interceptam as questões sociais e as políticas públicas, incluindo as energéticas (ZAIDI, 2015).

4. Revisão Metodológica

Em uma revisão de literatura foi verificado que há uma grande variação dos métodos de análise utilizados pelos estudos que investigaram a relação do consumo de energia elétrica na abordagem do setor residencial. No entanto, a partir de um levantamento bibliométrico em Scopus (2019) verificou-se a ampla utilização da análise de Regressão Linear Múltipla. A análise de regressão linear múltipla utiliza dados históricos para desenvolver modelos de análise que expliquem o padrão de consumo, bem como analisar projeções futuras desse padrão. Essa técnica foi utilizada nos estudos de Liddle (2004), Brounen, Kok e Quigley (2012), Menz e Welsch (2012), Sanquist *et al.* (2012), Tso e Guan (2014), Fumo e Biswas (2015), Wen, Sun e Dai (2016), Nicolson, Fell e Huebner (2018), Estiri e Zagheni (2019) para analisar o padrão de consumo de energia, do consumo de energia elétrica, e das emissões de dióxido de carbono relacionados à fatores demográficos e/ou aspectos dos domicílios residenciais e/ou renda familiar.

Liddle (2004) analisou a relação entre as mudanças demográficas e o consumo de energia utilizado no transporte. O estudo reuniu dados de 23 países da OCDE com observações para o período 1960-2000 divididos em 5 períodos de tempo com intervalo a cada 10 anos e analisou a relação entre o consumo de energia per capita com o PIB per capita, com o vector geográfico (localização) e com variáveis demográficas.

Brounen, Kok e Quigley (2012) analisaram a sensibilidade do consumo residencial de energia elétrica e de gás nos domicílios a partir de suas condições físicas, e das características demográficas. O estudo utilizou dados de 300.000 domicílios na Holanda, e analisou três modelos de regressão considerando um conjunto de 19 variáveis de influência, e três modelos de regressão para um conjunto de 13 variáveis no contexto da população (idade, gênero, presença ou não de crianças e/ou idosos, tamanho da família, dentre outros).

Menz e Welsch (2012) analisaram a relação entre as emissões de dióxido de carbono com o processo de transição demográfica para os países da OCDE. O estudo partiu de dados de 246 observações para 26 países, incluindo a idade e as coortes da população para o período 1960-2005. Foram estimados quatro modelos de regressão a partir de 10 variáveis de influência, onde 8 dessas referiram-se à: população total, população urbana e os grupos etários populacionais.

Sanquist *et al.* (2012) analisaram a relação do consumo residencial de energia elétrica nos Estados Unidos com os fatores sociais e com variáveis relacionadas aos hábitos de vida. Os autores utilizaram dados de pesquisas oficiais desenvolvidas por agências governamentais no país, e referentes ao ano de 2001 e de 2005, com respectivamente dados de 2690 e 4382 domicílios observados. O estudo partiu da premissa de que as observações do ano de 2005 representariam o total de 111,1 milhões de unidades habitacionais do país para o mesmo ano. Para cada ano foram desenvolvidos dois modelos de regressão linear múltipla, considerando como variáveis preditoras a localização geográfica, os equipamentos e eletrodomésticos, a estrutura familiar, a tarifa elétrica, a renda familiar, e o acesso à concessionária distribuição de gás natural.

Tso e Guan (2014) utilizaram a análise de regressão para compreender os efeitos de indicadores ambientais e de características dos domicílios sobre o consumo residencial de energia, para dados regionais dos Estados Unidos, a partir de pesquisas oficiais desenvolvidas por agências governamentais no país, e referentes ao ano de 2009. Foram considerados as observações de 12.083 domicílios que, no estudo, representaram 113,6 milhões de domicílios.

Fumo e Biswas (2015) utilizaram as análises de regressão linear simples, quadrática simples e linear múltipla para estimar o consumo residencial de energia elétrica de um domicílio monitorado, a partir da leitura de dados horários e diários resultantes de medidores de energia elétrica e de temperatura interna e externa. Os autores desenvolveram três modelos de previsão de consumo de energia elétrica para cada leitura de dados, horária e diária. O estudo indicou apoio a viabilidade da utilização das análises de regressão para estimar o consumo futuro em domicílios com medição individualizada de energia elétrica por uso final.

Nicolson, Fell e Huebner (2018) utilizaram a análise de regressão para analisar a combinação de 66 medidas de absorção de modicidade tarifária, que considera o tempo de uso de equipamentos, a partir de dados de 27 estudos conduzidos em seis países (Austrália, França, Países Baixos, Noruega, Reino Unido e Estados Unidos). O estudo analisou 8 modelos de regressão que consideraram uma variação entre 34 a 65 observações, e 16 variáveis preditoras.

Estiri e Zagheni (2019) analisaram a influência da idade de população no consumo residencial de energia para os domicílios nos Estados Unidos, a partir de dados oficiais dos anos 1987, 1990, 2005 e 2009. A população foi dividida em 17 grupos etários. Foram desenvolvidos 8 modelos de regressão para cada ano. Os coeficientes de regressão para cada grupo de idade da população foram utilizados para construir o padrão de consumo etário a partir de uma abordagem de coorte.

4.1 Regressão linear múltipla

Em um conjunto de 337 documentos levantados em Scopus (2019), como os mais relevantes na literatura científica que relacionam os termos “*multiple linear regression*”, “*electricity*” e “*residential*”, foram identificados 5 artigos publicados no Brasil. Quatro, desses cinco artigos, utilizaram o método de regressão linear múltipla para analisar a demanda de energia elétrica associada aos modos de produção e distribuição. O outro artigo refere-se aos estudos de Villareal e Moreira (2016), que conforme já apresentado, analisaram o comportamento do consumo de energia pelo setor residencial brasileiro no período 1985 a 2013.

Os modelos de regressão são métodos estatísticos para estimar empiricamente a relação entre a resposta e as variáveis que possuem influência sobre a resposta, também conhecidas como variáveis preditoras. Como exemplo, a equação estimada do modelo de regressão é dada por:

$$\hat{y}_t = a_1 x_{1t} + a_2 x_{2t} + \dots + a_k x_{kt} \quad \text{Eq.1}$$

$$y_t = \hat{y}_t + e_t \quad \text{Eq.2}$$

Onde, y é a resposta na situação real, \hat{y} representa a resposta no modelo estimado, o índice t representa a série temporal da estrutura de dados, x_1, \dots, x_k representam as variáveis de influência ou preditoras, a_1, \dots, a_k representam os coeficientes que correspondem às variáveis de influência, e e é o termo de erro associado ao modelo estimado.

O modelo de regressão linear múltipla é uma generalização do modelo de regressão linear simples, que admite mais de uma variável preditora (MONTGOMERY; PECK; VINING, 2012) (Equação 3).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_{1t} + \beta_2 X_{2t} + \dots + \beta_k X_{kt} + \varepsilon \quad \text{Eq. 3}$$

onde: Y é a variável de resposta; X_1, \dots, X_k são as variáveis preditoras com k equivalente ao número de variáveis; β_0, \dots, β_k são os coeficientes de regressão, e ε é o erro. Esse erro é estimado pela diferença entre os dados preditos e os dados observados.

As suposições para o modelo de regressão linear múltipla são de que os erros aleatórios apresentam distribuição normal, são independentes das variáveis explicativas, possuem média zero e variância (σ^2) desconhecida. Os dados utilizados para Y e X podem ser obtidos através de valores ou quantidades históricas. O modelo de regressão linear pode ser desenvolvido através do método dos Mínimos Quadrados Ordinários – MQO, fundamentado no objetivo de encontrar o melhor ajuste para um conjunto de dados tentando minimizar a soma dos quadrados dos erros, através da variação dos coeficientes β_1, \dots, β_k . De forma geral, os modelos podem variar com a quantidade e a seleção de influência das variáveis (modelos de regressão simples ou múltiplas variáveis), com a inclusão de ponto de mudança (modelos de regressão simples, múltiplas variáveis ou de mistura de escala normal com ponto de mudança), com o horizonte de projeções (anuais, mensais, diários ou horários), e com a seleção de dados (históricos ou dados resultantes de medições ou simulações).

A Equação 4 apresenta a forma da Equação 6 para os valores preditos.

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{1t} + \hat{\beta}_2 X_{2t} + \dots + \hat{\beta}_k X_{kt} \quad \text{Eq. 4}$$

onde \hat{Y} é o valor predito ou ajustado, e $\hat{\beta}$ são os estimadores dos coeficientes de regressão.

5. Materiais e Métodos

Para estudar o comportamento do consumo de energia elétrica do setor residencial, entre os anos 2000 e 2018, por regiões geográficas, esse estudo utilizou a análise de regressão linear múltipla, sendo desenvolvidas as seguintes etapas: (1) Levantamento, organização e tratamento de dados (2) Análise dos dados; (3) Especificação do modelo de regressão linear múltipla; (4) Definição dos critérios para seleção dos modelos de maior significância; (5) Estimativa do consumo futuro; (6) Análise e discussão de resultados.

5.1 Levantamento, organização e tratamento de dados

A metodologia nesse estudo caracteriza-se como uma abordagem *top-down*, uma vez que parte de análise de dados setoriais no contexto residencial brasileiro, em vez dados de uso final individual, para estimar o comportamento do consumo (FUMO; BISWAS, 2015). Os dados foram levantados para o Brasil e para as cinco regiões geográficas brasileiras, com as observações relativas ao período entre os anos 2000 e 2018. As análises tomaram o ano 2000 como ponto de partida, devido ao marco da crise de abastecimento no setor elétrico em 2001, a partir do qual se estabeleceu um novo cenário institucional, estrutural e político para o Setor Elétrico Brasileiro, impactando nas decisões dos consumidores residenciais. O fechamento da análise em 2018 se deveu à indisponibilidade de dados do PIB regional e do consumo de energia elétrica do ano de 2019, quando das análises finais. Dessa forma, os impactos de reclusão e das regras de distanciamento social sobre o consumo residencial de energia elétrica, ainda desconhecidos, e as consequências como a ampliação de taxas de mortalidade populacional devido à pandemia COVID-10, não serão abordados por esse estudo.

É conveniente esclarecer que, todos os dados utilizados foram levantados em fontes oficiais do Governo Federal e suas instituições. No entanto, esses não se apresentam agrupados e disponíveis em um único endereço, o que demanda esforço para reuni-los, especialmente em se tratando de dados para datas mais recentes.

A energia elétrica é a maior fonte de energia consumida pelo setor residencial no Brasil (EPE, 2019a). Assumindo que existem n fatores que contribuem com as mudanças no consumo residencial de energia elétrica ao longo do tempo, o estudo considerou as variáveis: Domicílios (número de domicílios), População (contingente populacional), Tarifa

de energia elétrica, Produto Interno Bruto - PIB e Salário Mínimo - SM, como os aspectos a serem investigados, conforme identificados na literatura, e apresentados no referencial teórico. Dessa forma, o estudo parte do modelo apresentado na Equação 5, assumindo que as condições dos demais fatores, não considerados pelo estudo, permanecem constantes (*ceteris paribus*).

$$C_{it} = f_{it}(\text{Domicílios}, \text{População}, \text{Tarifa}, \text{PIB}, \text{SM}) \quad \text{Eq. 5}$$

onde C expressa o consumo residencial de energia elétrica; i : as regiões geográficas; t : o período de análise.

Para refinar as análises, as variáveis de domicílios e de população foram classificadas em subníveis, sendo detalhadas a seguir.

5.1.1 Domicílios

Os dados da quantidade anual de domicílios com acesso à energia elétrica e por região geográfica foram levantados da Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios – PNAD (IBGE, 2019c). Adicionalmente, foram levantados os dados da quantidade de domicílios por faixa de renda, classificados da seguinte forma: até 1 salário mínimo, de 1 a 2 salários mínimos, de 2 a 3 salários mínimos, de 3 a 5 salários mínimos, de 5 a 10 salários mínimos, acima de 10 a 20 salários mínimos, acima de 20 salários mínimos, *sem declarar* e *sem rendimento*. Os domicílios *sem rendimento* incluem aqueles onde os moradores recebem apenas benefícios sociais promovidos pelo Governo, como o programa Bolsa Família e os Benefícios da Prestação Continuada (Aposentadoria e Assistência Social) (IBGE, 2019c). Com fins de refinar as análises, os domicílios por faixa de renda foram organizados em grupos, com subdivisões relativas à área de localização (urbana e rural), e as faixas de rendimento familiar. Dessa forma foram determinados seis grupos: domicílios totais (D_{tot}), domicílios urbanos (D_{urb}), domicílios rurais (D_{rur}), domicílios com renda mensal até 2 salários mínimos ou sem renda (D_{02sm}), domicílios com renda mensal acima de 2 e até 5 salários mínimos (D_{25sm}), e domicílios com renda mensal acima de 5 salários mínimos (D_{a5sm}).

Na região Norte, a análise dos domicílios se restringe às áreas urbanas uma vez que o número de domicílios rurais não foi disponibilizado na PNAD (IBGE, 2019c).

5.1.2 População

No contexto da investigação do consumo de energia elétrica pelo setor residencial, é restrita a literatura no Brasil que relata o perfil de idade da população e seu processo evolutivo regional. Dessa forma, com o objetivo de refinar a sensibilidade das análises, a variável população foi levantada de IBGE (2019b) classificada por grupos etários. Os dados da população brasileira foram divididos em quatro grupos de idade, respectivamente: pessoas de 0 a 14 anos (*P014*); pessoas de 15 a 34 anos (*P1534*); pessoas de 35 a 59 anos (*P3559*); pessoas com 60 anos de idade e acima (*P60a*). Seguindo a consideração de Liddle (2014), que aponta a relevância de se determinar os grupos de idade consistentes com o cenário de análise, a determinação dos grupos de idade nesse trabalho está consistente com as constitucionalidades no Brasil.

Grupo P014

O grupo *P014* representa um grupo de crianças com idade até 14 anos, que geralmente não possuem autonomia financeira sendo dependentes dos adultos. No entanto, em famílias de baixa renda, essas crianças são motivadas à inserção precoce no mercado de trabalho para contribuir com a renda familiar. Em 2015, 34% da população brasileira declarou ter iniciado as atividades de trabalho entre 10 e 14 anos de idade (IBGE, 2019b). Uma particularidade desse grupo é que, nas regiões Norte e Nordeste, apenas 20% das crianças permanecem na escola por mais de 4 horas diárias, enquanto nas regiões Centro-Oeste, Sudeste, e Sul esse índice varia entre 50 e 70% (IBGE, 2004, 2014). A influência desse grupo etário no consumo de energia elétrica poderia estar relacionada ao tempo que passam dentro do domicílio, sendo ainda dependente do índice de posse de aparelhos eletrodomésticos e das condições de renda do domicílio. No domicílio, essas crianças realizam atividades escolares, preparam alimentos, realizam atividades de higiene e de lazer, e colaboram nas tarefas domésticas. Parte-se da consideração que a maior parte dessas pessoas são ativas no uso de energia elétrica dentro do domicílio, seja pelo compartilhamento do uso de aparelhos eletrodomésticos, como geladeiras, e pelo acionamento de aparelhos, como televisão, chuveiro, iluminação, e tomadas para o carregamento de baterias de dispositivos eletrônicos, dentre outros.

Grupo P1534

O segundo grupo, *P1534*, concentra os indivíduos jovens, incluindo o primeiro estágio de inserção no mercado formal de trabalho. Esse grupo de idade compreende pessoas que participam do Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego – PRONATEC, voltado para indivíduos com idade de 16 anos (BRASIL, 2011), e também do Programa Nacional de Inclusão de Jovens – Projovem, voltado para aqueles entre 15 e 29 anos, uma vez que o Estatuto da Juventude define essa faixa de idade como de pessoas “jovens” no contexto nacional (BRASIL, 2008, 2013). Esses programas possuem adesão voluntária, e estimulam a inserção antecipada dos jovens no mercado de trabalho, tornando-os parte da população economicamente ativa, propondo prover a estes uma melhor educação, qualificação técnica e uma oportunidade de construir uma futura autonomia financeira. Logo, parte-se da hipótese de que, esse grupo etário é formado por pessoas que possuem acesso e autonomia para a compra de bens, e dessa forma participam ativamente das despesas familiares no domicílio. Esse grupo inclui jovens, estudantes e trabalhadores, de meio turno e turno integral, que passam a maior parte do tempo fora de casa, estudando, trabalhando, em atividades de lazer, em trânsito nos deslocamentos das atividades diárias (caminhada, transporte público, particular ou outro).

Grupo P3559

O terceiro grupo é caracterizado pelos indivíduos em um estágio secundário de trabalho, pessoas economicamente ativas, tal como o grupo *P1534*, porém em etapa de maior amadurecimento e experiência profissional, com tendência a maior renda em relação ao grupo *P1534*. Essas pessoas são consideradas adultas, e passam muito tempo fora de casa, trabalhando, estudando e em trânsito. Dessa forma, estima-se que essas pessoas, por serem economicamente ativas, possuem controle sobre o consumo de bens, como os eletrodomésticos, bem como sobre as despesas familiares. O corte de idade nesse grupo foi feito em função da Lei Nacional do Idoso, que os define como os indivíduos com idade igual ou superior a 60 anos (BRASIL, 2003).

Grupo P60a

O quarto grupo etário é o grupo dos idosos, caracterizado pelos indivíduos aposentados e/ou em estágio terciário de trabalho. A Lei da Aposentadoria estabelece o mínimo de 60 e

65 anos de idade, respectivamente para mulheres e homens, requererem a assistência da aposentadoria oficial do governo, desde que se atendam a critérios específicos relacionados ao tempo de trabalho (BRASIL, 1995). Em 2015 no Brasil, as pessoas de 60 anos e acima representavam 7,5% do total de pessoas economicamente ativas, acima de 15 anos; a taxa de 48,7% de um montante de 21,6 milhões de pessoas aposentadas ainda exerciam alguma atividade ou ocupação econômica (IBGE, 2019b).

5.1.3 Resumo da organização de dados

Uma vez explicada a organização dos dados, a Tabela 6 reúne as variáveis selecionadas nesse estudo, suas grandezas e as fontes de levantamento dos dados. Os dados são anuais e foram levantados em nível regional, exceto: (i) o salário mínimo, que é um dado nacional mensal, determinado em janeiro de cada ano; (ii) a tarifa elétrica, que é um dado derivado de um valor médio anual e regional. Os dados do consumo de energia elétrica, da população e do PIB são dados acumulados no ano. Os dados de população foram baseados nas duas últimas e mais recentes pesquisas censitárias conduzidas no Brasil, respectivamente, nos anos 2000 e 2010 e suas projeções.

Tabela 6 - Dados, unidades e fontes.

Dados	Grandeza	Fonte
Consumo de energia elétrica do setor residencial	GWh	EPE (2019c)
Domicílios com acesso à energia elétrica: totais; urbanos; rurais	unidades	IBGE (2019c)
Domicílios com energia elétrica classificados em faixas de renda: até 2 SM, entre 2 e 5 SM, acima de 5 SM	unidades	IBGE (2019c)
População dividida em grupos etários: 0 a 14; 15 a 34; 35 a 59; 60 e acima	unidades	IBGE (2019c)
Produto Interno Bruto (PIB)	R\$ 1.000.000	IBGE (2019a)
Tarifa de energia elétrica	R\$/MWh	ANEEL (2020); Brasil (2005a)
Salário Mínimo Nacional (SM)	R\$/mês	Ipeadata (2020)

* Notas:

1- Os dados dos domicílios da região Norte referem-se somente à sua parcela urbana, que correspondem a aproximadamente. Os resultados dos Censos 2000 e 2010 indicam que 70% e 74% da população da região residiam em área urbana (IBGE, 2010b).

2- Os dados do número de domicílios referente aos anos 2000 e 2010, não disponibilizados por IBGE (2019c), foram estimados considerando a média do número de domicílios do ano anterior e sucessor.

3- Os dados do número de domicílios dos anos 2016 a 2018 foram estimados a partir da manutenção do cenário de crescimento dos domicílios para o período 2000-2015, uma vez que os dados disponibilizados por IBGE (2019c) limitam-se ao ano 2015.

5.1.4 Tratamento dos dados

Os dados levantados foram instrumentalizados através de dois procedimentos. Primeiro, o valor nominal dos dados de tarifa, PIB e salário mínimo, foram convertidos para valores reais, com efeito de reduzir as distorções econômicas do período de análise, tomando-se o ano 2000 como ano base. O procedimento de deflação foi realizado através do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo– IPCA, que é o índice nacional oficial do Governo Federal para medição das metas inflacionárias (CARRARA; CORREA, 2012). Os dados do IPCA foram levantados de PortalBrasil (2020), e referem-se ao índice acumulado no mês de dezembro de cada ano.

A Equação 6 apresenta a formulação para a determinação do indicador de deflação para os anos 2001 a 2018, considerando-se o ano 2000 como o ano base, logo partindo-se da consideração de que $d_t = d_{2000} = 1$.

$$d_{t+n} = d_{t+n-1} \cdot \left(1 + \frac{a_{t+n}}{100}\right) \quad \text{Eq. 6}$$

onde: d expressa o indicador de deflação; t : o ano 2000; $n=1, 2, 3, \dots, 18$ e expressa os anos 2001 até 2018; a : o índice IPCA acumulado do mês de dezembro de cada ano, para os anos 2001 a 2018.

A Equação 7 apresenta a formulação para a determinação do valor real dos dados da tarifa, PIB e salário mínimo, deflacionados.

$$X'_{jt+n} = \frac{X_{jt+n}}{d_{t+n}} \quad \text{Eq. 7}$$

onde: X' (R\$): dado anual deflacionado – tarifa, PIB, salário mínimo; $j=1, 2, 3, 4$ e 5 : regiões geográficas brasileiras, t : 2000; $n=1, 2, 3, \dots, 18$: anos 2001 até 2018; X (R\$): dado anual levantado em valor nominal de tarifa, PIB e salário mínimo; d : indicador de deflação para os anos 2001 a 2018. A partir da consideração de equivalência $d_{2000} = 1$, deduz-se que

$X'_{2000} = X_{2000}$, ou seja, o valor nominal do dado (tarifa; PIB; salário mínimo) do ano de 2000 não foi deflacionado.

O segundo procedimento para tratamento de dados refere-se à conversão desses para logaritmo Neperiano, denotado por “ln”.

5.2 Especificação do modelo de regressão linear múltipla

Esse estudo utilizou a análise de regressão linear múltipla para estimar modelos regionais do consumo residencial de energia elétrica. A análise de regressão é uma metodologia que permite a investigação de funções (modelos ou equações) entre a variável de resposta, ou dependente, e as variáveis preditoras, essas últimas podem ocasionalmente serem chamadas de explanatórias ou independentes.

A Equação 8 apresenta a forma da Equação 4 para a especificação do modelo de regressão linear desse estudo. Tal como nos estudos de Brounen, Kok e Quigley (2012), Liddle (2004), Menz e Welsch (2012), Sanquist *et al.* (2012), as variáveis consideradas foram transformadas em logaritmos, dessa forma reduzindo-se a dispersão de dados. As variáveis preditoras foram consideradas a partir das diferenças anuais dos dados em logaritmos naturais (ln), ou seja, os dados de entrada do modelo correspondem à diferença do ln de um mesmo dado entre o ano (t) e o ano (t-1). Esses dados estão apresentados no Apêndice A desse trabalho. Adotando-se as diferenças anuais como dados de entrada, os coeficientes de regressão estimados nos modelos regionais puderam ser interpretados como coeficientes de elasticidade, ou seja, o valor do coeficiente de regressão de uma variável preditora foi associado à variação percentual da variável de resposta, e segundo suas propriedades, sendo negativo indicando redução, e sendo positivo indicando aumento.

$$\Delta \ln Y_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta \ln X_{1t} + \beta_2 \Delta \ln X_{2t} + \dots + \beta_k \Delta \ln X_{kt} + \varepsilon \quad \text{Eq. 8}$$

onde: $\Delta \ln Y = (\ln Y_t - \ln Y_{t-1})$ é a variável de resposta e Y, covariada em (t-1), expressa o consumo residencial regional de energia elétrica; $\Delta \ln X_{(1..k)} = (\ln X_{(1..k)t} - \ln X_{(1..k)(t-1)})$ são as variáveis preditoras com $k=1, 2, 3...13$; $t = 1, 2, 3, \dots, 18$, representa a diferença anual para o período entre os anos 2000 à 2018.

A Equação 9 apresenta a forma da Equação 8 para o modelo especificado nesse estudo.

$$\Delta \ln C_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta \ln Dtot_t + \beta_2 \Delta \ln Durb_t + \beta_3 \Delta \ln Drur_t + \beta_4 \Delta \ln D02sm_t + \beta_5 \Delta \ln D25sm_t + \beta_6 \Delta \ln Da5sm_t + \beta_7 \Delta \ln P014_t + \beta_8 \Delta \ln P1534_t + \beta_9 \Delta \ln P3559_t + \beta_{10} \Delta \ln P60a_t + \beta_{11} \Delta \ln P60a_t + \beta_{12} \Delta \ln Tar_t + \beta_{13} \Delta \ln PIB_t + \varepsilon \quad \text{Eq. 9}$$

onde:

C - o consumo residencial de energia elétrica;

Dtot - a quantidade de domicílios totais com energia elétrica anual,

Durb - quantidade de domicílios urbanos com energia elétrica, anual;

Drur - a quantidade de domicílios rurais com energia elétrica, anual;

D02sm - a quantidade anual de domicílios com energia elétrica e com renda familiar até 2 salários mínimos;

D25sm - a quantidade anual de domicílios com energia elétrica e com renda familiar de 2 até 5 salários mínimos;

Da5sm - a quantidade anual de domicílios com energia elétrica e com renda familiar acima de 5 salários mínimos;

P014 - a população anual do grupo de idade entre 0 e 14 anos;

P1534 - a população anual do grupo de idade entre 15 e 34 anos;

P3559 - a população anual do grupo de idade entre 35 e 59 anos;

P60a - a população anual do grupo de idade com 60 anos e acima;

PIB - a o produto interno bruto acumulado anual deflacionado;

Tar - a tarifa de energia elétrica média anual deflacionada;

SM - o salário mínimo nacional mensal anual deflacionado.

É conveniente dizer que a abordagem real seria o modelo de regressão com erros nas variáveis preditoras, uma vez que alguns dados foram estimados e não contabilizados na realidade, como por exemplo, a estimação de população e domicílios levantados de IGBE (2019b, 2019c). No entanto, de acordo com Draper (1991) quando os erros nas preditoras são pequenos, a abordagem de considerar os erros nas preditoras não melhoraria a significância, e nesse trabalho estão sendo considerados que os dados estimados são confiáveis.

5.3 Procedimentos metodológicos

5.3.1 Análise dos dados

Foram desenvolvidas as análises de frequência de ocorrência dos dados das variáveis selecionadas considerando um conjunto de 1577 observações relativas ao Brasil e regiões.

Adicionalmente, a análise estatística da matriz de correlação de Pearson e o *p-valor* correspondente, referindo-se à probabilidade da correlação, foi desenvolvida para investigar o grau de relação linear e o nível de significância entre cada par de variáveis (MONTGOMERY, 2013).

5.3.2 Análise de regressão

As análises de regressão linear múltipla foram desenvolvidas no software Minitab (MINITAB, 2010). Para a seleção das variáveis preditoras no modelo, foram implementados os procedimentos *Forward (F)* e *Backward (B)*, que correspondem, respectivamente, a procedimentos típicos de introdução e de eliminação de variáveis. Nesses procedimentos, a introdução e eliminação de variáveis acontecem passo a passo. De acordo com a força da correlação das variáveis preditoras com a variável de resposta, as variáveis preditoras vão sendo inseridas (*Forward*) e descartadas (*Backward*). Foram delimitados os algoritmos (α) de seleção (*Forward*) e de eliminação (*Backward*) de variáveis, de respectivamente 0,25 e 0,15. Foi considerado o intervalo de confiança para o nível de 95%. O detalhamento desses procedimentos pode ser encontrado nos trabalhos de Draper e Smith (1998) e de Montgomery, Peck e Vining (2012).

5.3.3 Qualidade do modelo

Os procedimentos *Forward* e *Backward* forneceram uma quantidade de modelos de regressão linear múltipla para cada região. Os modelos resultantes dos procedimentos foram analisados a partir de critérios estatísticos, sendo selecionados aqueles com melhores respostas de significância e de aproximação da resposta, e descartados aqueles com menor significância. Nesse trabalho, foram apresentados os modelos selecionados para cada região, a partir dos quais foram desenvolvidas novas análises para a seleção de um modelo com maior qualidade. A seleção foi julgada por análises comparativas das

medidas estatísticas e dos resíduos, sucintamente explicados a seguir, buscando-se o modelo com maior ajuste em relação ao conjunto de dados observados.

Desvio padrão do modelo (S): representa a distância média relativa em que os valores observados estão em relação à linha de regressão dos valores preditos. Baixos valores do desvio padrão (S) indicam que o modelo apresenta aproximação com a variável de resposta, ou seja, as observações estão mais próximas da equação de regressão ajustada.

Coeficiente de determinação do modelo (R^2): medida estatística intuitiva relacionada ao ajuste do modelo linear ao conjunto de observações, com valor variável entre 0 e 1, onde os maiores valores podem indicar maior significância. A análise dessa medida deve ser realizada em conjunto com outras medidas estatísticas e com as análises de resíduos.

Coeficiente de determinação ajustado do modelo (R^2_{adj}): apresenta o percentual de variação explicado apenas pelas variáveis preditoras que empiricamente afetam a variável dependente. Dessa forma, na análise comparativa entre dois modelos resultantes de um mesmo procedimento de regressão, quando há uma diminuição do valor de R^2_{adj} , há uma forte evidência de que a variável que foi acrescentada ao segundo modelo, não apresenta uma contribuição relevante ao modelo.

Desvio padrão dos coeficientes das variáveis preditoras: medida estatística que mede o grau de precisão estimado do valor desconhecido do coeficiente, logo, quanto menor seu valor mais precisa é a estimativa.

p-valor dos coeficientes das variáveis preditoras: medida estatística que indica o nível de significância da contribuição da variável ao modelo. O nível de significância estatística dos coeficientes de regressão, através da análise do p-valor foi observado considerando um teste de hipótese medindo a compatibilidade dos dados com a hipótese nula. As indicações para a interpretação do nível de significância do p-valor dos coeficientes de regressão foram adotadas para uma interpretação da seguinte forma: * quando $p < 0,1$; ** quando $p < 0,05$; *** quando $p < 0,01$, sendo esse último o maior nível de significância.

Análises gráficas dos resíduos

- Gráfico de probabilidade normal, utilizado para verificar o pressuposto de que os resíduos possuem distribuição normal;
- Histograma de frequência dos resíduos, utilizado para avaliar se os dados são simétricos ou se incluem *outliers*. Os *outliers* apresentam particularidades de uma ou mais observações que afasta da tendência geral das demais observações. Caso diagnosticada inconsistência sobre alguma observação, essa pode ser removida ao se identificar que se afasta da tendência geral das demais observações, desejando-se, nesse caso, ampliar o ajuste geral do modelo. Nos casos de remoção de observações, essas serão identificadas nos resultados.
- Resíduos *versus* valores ajustados, utilizado para verificar a pressuposição de que os resíduos são aleatoriamente distribuídos e tem variância constante;
- Resíduos *versus* ordem de observação, utilizado para analisar os resíduos na ordem em que os dados foram coletados.

Testes estatísticos dos resíduos

- *Teste Durbin-Watson (d)*: testa a hipótese nula de que os resíduos de um modelo de regressão não são auto correlacionados. O detalhamento dos procedimentos para seu cálculo pode ser encontrado em Montgomery, Peck e Vining (2012, p.474-477). Durbin e Watson tabularam intervalos através de limites inferiores e superiores, respectivamente, dL (lower) e dU (upper) para vários valores do número de observações (N), e do número de regressores do modelo (k). O valor “ d ” de resposta do teste é comparado ao intervalo de limites tabulado, interpretando-se que:
 - i) se $d < dL$ rejeita-se $H_0 : \rho = 0$, há rejeição da hipótese nula de não correlação dos resíduos, ou seja, há evidências para a dependência entre os resíduos;
 - ii) se $d > dU$ não há indícios de correlação entre os resíduos uma vez que não rejeita-se $H_0 : \rho = 0$, logo há evidências de independência entre os resíduos;
 - iii) se $dL \leq d \leq dU$ o teste é inconclusivo.

Esse estudo realizou o teste de *Durbin-Watson* ao nível de confiança de 5%.

- *Teste Anderson-Darling (p-valor)*: avalia o comportamento dos resíduos para julgar as evidências de uma distribuição normal (teste de normalidade), retornando um *p-valor*, onde a hipótese nula é de que os resíduos possuem distribuição normal, devendo ser rejeitada se o *p-valor* for próximo de zero.

Análise do fator de inflação da variância (VIF): indica a extensão da multicolinearidade entre as variáveis preditoras presentes no modelo de regressão. A multicolinearidade deve ser evitada pois tende a aumentar a variância dos coeficientes de regressão. A interpretação do VIF é dada da seguinte forma:

- se $VIF = 1$ não há indícios de multicolinearidade;
- se $1 < VIF < 5$ há indícios moderados de multicolinearidade;
- se $VIF > 5$ há indícios de elevada multicolinearidade.

A conceituação dos índices e testes estatísticos apresentados nessa Seção apresentam-se detalhados no estudo de Montgomery, Peck e Vining (2012) e Montgomery (2013). O cálculo dos índices estatísticos e os procedimentos de testes dos modelos foram desenvolvidos no software Minitab (MINITAB, 2010).

5.3.4 Estimação do consumo futuro

Uma vez selecionados os modelos de maior significância, procedeu-se à estimação do consumo futuro para o período entre os anos 2019 a 2025, a partir da determinação da projeção de dados das variáveis, e da premissa de que todas as outras variáveis, não incluídas nas análises, permanecem sob condições normais (*ceteris paribus*).

Para a projeção dos dados do número de domicílios foi considerada a taxa regional de crescimento médio geométrico do período 2010-2018. Os dados da projeção regional da população por grupo etário foram levantados de IBGE (2019b). O valor anual acumulado do PIB foi levantado segundo a projeção do cenário base estimado por IFI (2020). Os dados médios regionais de tarifa elétrica para os anos 2019 e 2020 foram levantados de ANEEL (2020). Para o período 2021-2030, esses dados foram estimados a partir da taxa de crescimento médio geométrico dos valores da tarifa média do período 2014-2020. Para o salário mínimo dos anos 2019 e 2020 seguiram-se os valores praticados no território nacional. Para o período 2021-2030, os valores considerados do salário mínimo partiram de uma taxa de crescimento médio geométrico anual de 3,98%, estimada para o período

2019-2023, a partir dos valores de salário mínimo nacional estimados pelo Projeto de Lei Orçamentária 2021, que considerou um cenário econômico de incertezas colocadas pela pandemia do COVID-19 no contexto político, e com impacto sobre a política de valorização do salário mínimo (BRASIL, 2020a, 2020b). O deflator estabelecido para o ano 2018 foi mantido para os procedimentos de deflação dos valores estimados de PIB, salário mínimo e tarifa, para o período 2019-2020.

Após o levantamento e determinação dos dados projetados para o período 2019-2030, esses foram instrumentalizados (convertidos em logaritmo e calculados através das diferenças anuais) para a entrada no modelo de regressão para a estimação do consumo futuro.

6. Resultados e Discussões

6.1 Análise dos dados: frequência de ocorrência

A análise em frequência de ocorrência partiu do conjunto de 1577 dados do Brasil e regiões, para o período 2000-2018, abordando as 14 variáveis, conforme apresentou a Tabela 6.

6.1.1 Consumo de energia elétrica, PIB, tarifa elétrica e salário mínimo

A Figura 8 apresenta o perfil evolutivo do consumo residencial de energia elétrica da tarifa elétrica, e do PIB e salário mínimo em valores reais (deflacionados), bem como a taxa de crescimento médio geométrico de cada uma dessas variáveis para o período 2000-2018.

Figura 8 – Perfil evolutivo do consumo residencial de energia elétrica (GWh), do PIB (R\$ 10⁹), da tarifa (R\$/MWh), do salário mínimo (R\$), e taxa de crescimento médio geométrico (%), Brasil e regiões, 2000-2018: (a) Brasil; (b) Norte; (c) Nordeste; (d) Centro-Oeste; (e) Sudeste; (f) Sul.

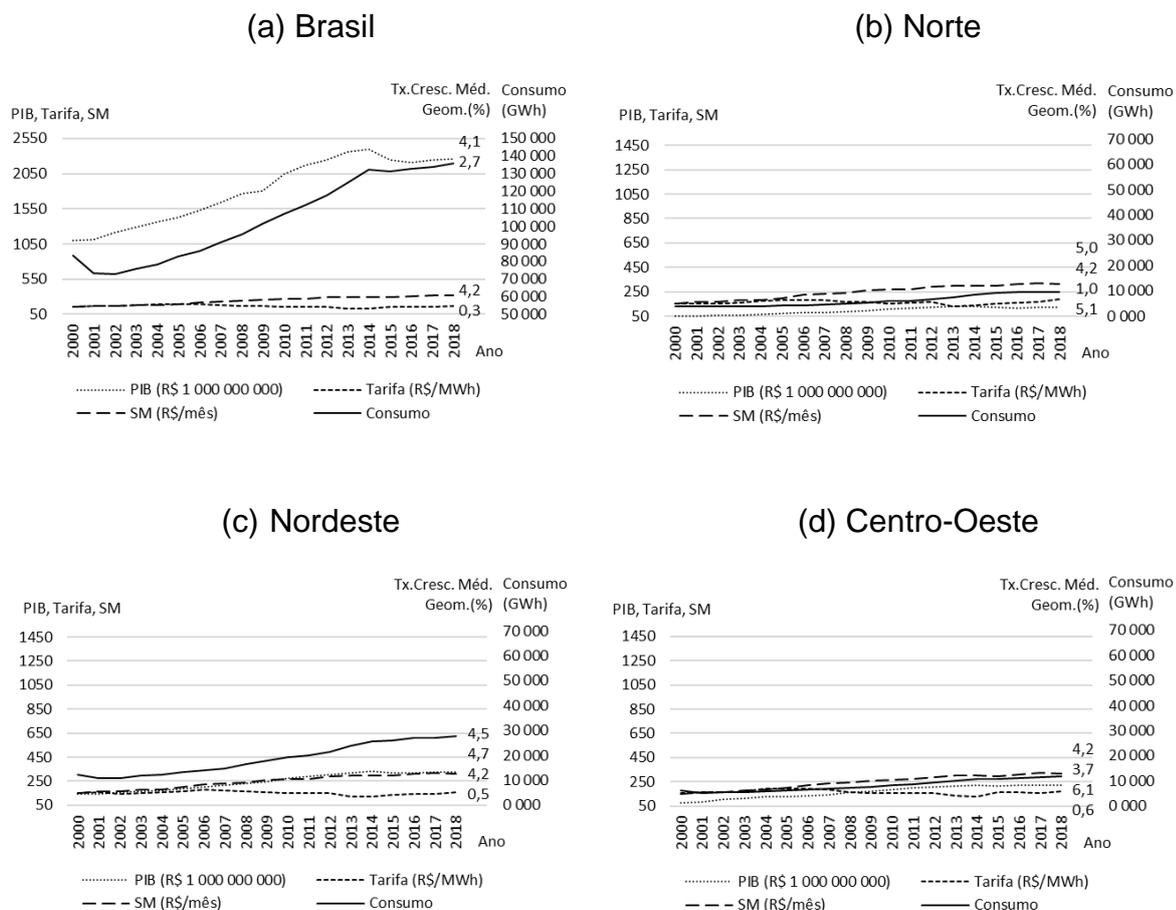
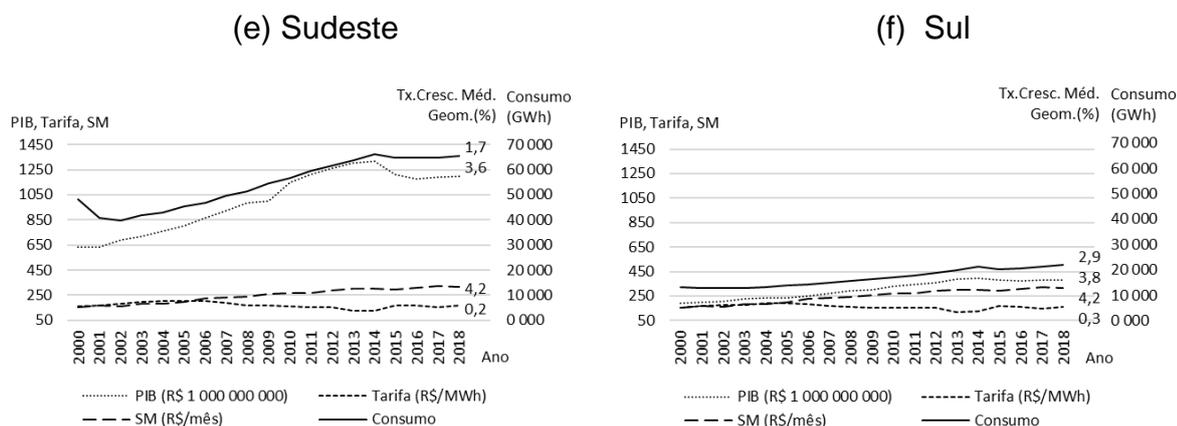


Figura 8 – Perfil evolutivo do consumo residencial de energia elétrica (GWh), do PIB (R\$ 10⁹), da tarifa (R\$/MWh), do salário mínimo (R\$), e taxa de crescimento médio geométrico (%), Brasil e regiões, 2000-2018 (continuação).



Fonte: elaboração a partir de ANEEL (2020), Brasil (2005a), EPE (2020), IBGE (2020a), Ipeadata (2020).

Observa-se diferentes escalas para essas variáveis entre as regiões. Nesse período, o consumo residencial de energia elétrica e o PIB apresentaram taxas de crescimento médio geométrico aproximadas nas regiões Norte e Nordeste, bem como os maiores incrementos no período, que variaram entre 122% e 146%. Nas demais regiões a taxa de crescimento do PIB superou a taxa do consumo entre 1,3 a 2,1 vezes, sendo a maior relação ocorrida na região Sudeste. As regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste apresentaram crescimento médio geométrico do consumo e do salário mínimo em taxas aproximadas, enquanto nas Regiões Sudeste e Sul o consumo apresentou crescimento aproximadamente 2 vezes inferior ao crescimento do salário mínimo. A relação entre as taxas de crescimento do salário mínimo e da tarifa elétrica foi menor na região Norte (4,2) e maior nas regiões Sul (16,8) e Sudeste (17,6), indicando valorização da primeira em relação à segunda.

Observa-se que a tarifa apresentou redução de valores no período 2000-2013, estabelecendo-se a partir de 2014 um padrão de crescimento variável entre 5,5% e 7,0%, sendo esses limites referentes as regiões Centro-Oeste e Norte, respectivamente.

6.1.2 Domicílios

A Figura 9 apresenta o perfil evolutivo dos dados de domicílios com acesso à energia elétrica, totais, por localização (urbana e rural), e classificados por faixas de renda, bem como as taxas de crescimento médio geométrico para o período 2000-2018, para o Brasil e regiões. De forma geral, as taxas de crescimento de domicílios urbanos e totais, apresentaram semelhanças, exceto na região Norte. Nesse aspecto, a taxa de crescimento dos domicílios rurais da região Nordeste mostrou-se superior à taxa de crescimento dos domicílios totais, indicando um cenário diferente das demais regiões. No contexto da renda domiciliar, observou-se que as regiões Norte, Nordeste e Sudeste apresentaram redução dos domicílios com faixa de rendimento acima de 5 salários mínimos, estimando a migração desses para as faixas com menores rendimentos. De forma contrária, as regiões Centro-Oeste e Sul apresentaram taxa de crescimento positiva dos domicílios com faixa de rendimento acima de 5 salários mínimos, e incremento no período de respectivamente 35% e 9%. Todas as regiões, exceto a região Sul, apresentaram incremento dos domicílios da faixa de rendimento de 0 a 2 salários mínimos de 1,5 à 3 vezes no período, e superiores ao incremento dos domicílios totais, enquanto na região Norte, esse foi superior ao incremento dos domicílios urbanos. Na região Sul, houve incremento semelhante para os domicílios das faixas de 0 a 2 salários mínimos (86%) e de 2 a 5 salários mínimos (81%) no período.

Figura 9 - Domicílios totais, urbanos, rurais, e com faixa de renda: de 0 a 2; 2 a 5 e acima de 5 SM; taxa de crescimento médio geométrico dos domicílios (%), Brasil e regiões, 2000-2018: (a) Brasil; (b) Norte; (c) Nordeste; (d) Centro-Oeste; (e) Sudeste; (f) Sul.

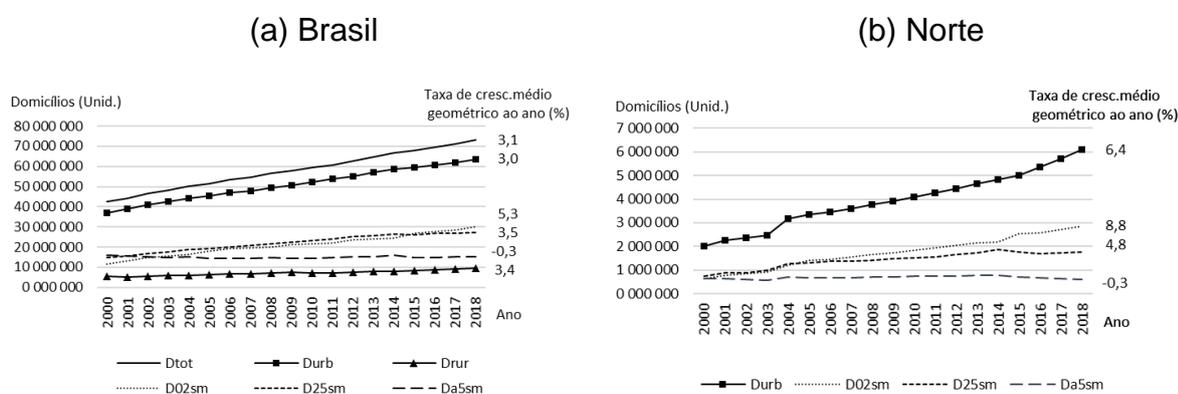
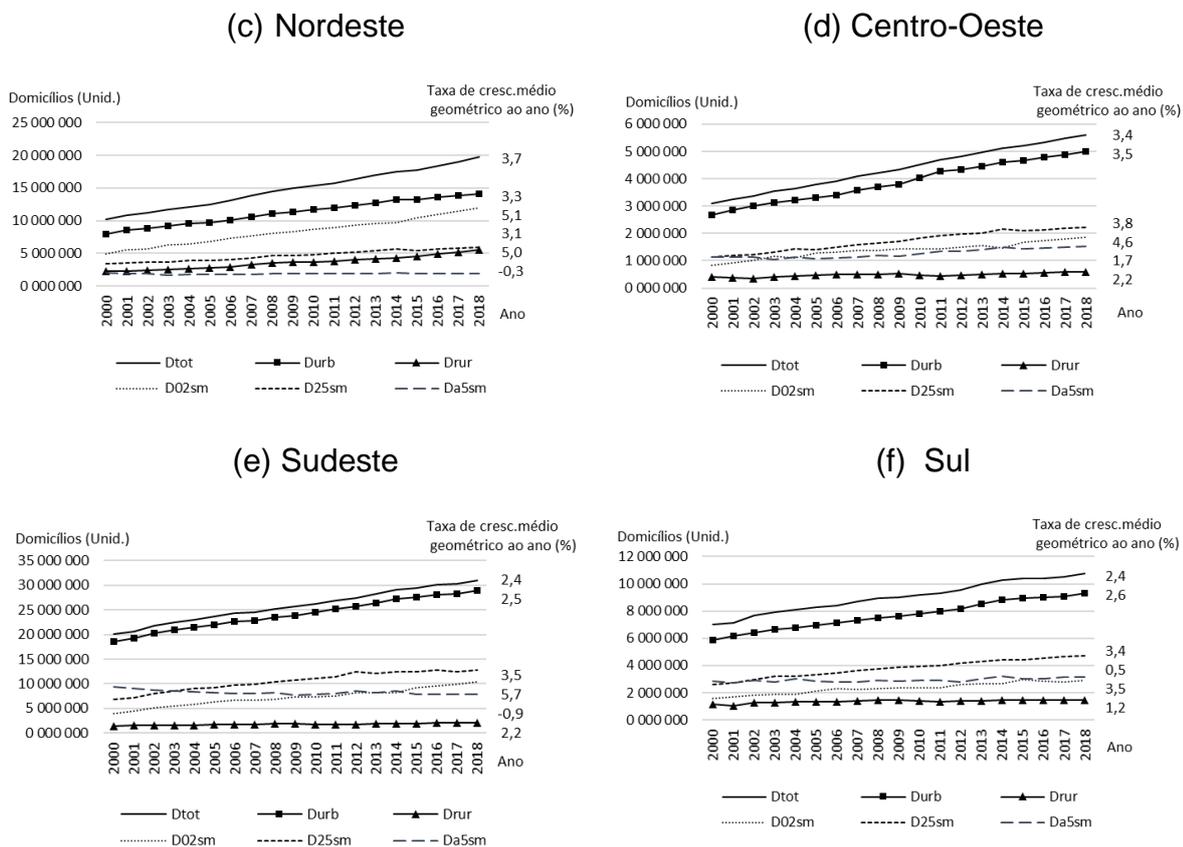


Figura 9 - Domicílios totais, urbanos, rurais, e com faixa de renda: de 0 a 2; 2 a 5 e acima de 5 SM; taxa de crescimento médio geométrico dos domicílios (%), Brasil e regiões, 2000-2018 (continuação).



Fonte: elaboração a partir de IBGE (2020c).

6.1.3 População

A Figura 10 apresenta o perfil evolutivo regional da população total e por grupo etário no período 2000-2018 por regiões Geográficas. Nas regiões, a população total apresentou uma taxa de crescimento médio geométrico variável entre 0,90% (Sul) e 1,8% (Norte). A população de crianças, do grupo etário 0 a 14 anos (P014), apresentou crescimento apenas na região Norte (0,1%), decréscimo nas demais regiões e de forma mais acelerada na região Sul (-1,1%). A população do grupo etário 15-34 anos (P1435), em crescimento, apresentou inversão do crescimento nas regiões Sudeste e Nordeste a partir do ano 2015 e 2014, respectivamente. A população do grupo etário de 60 anos e acima (P60a) apresentou no período a maior taxa de crescimento médio geométrico dentre os outros grupos etários, principalmente nas regiões Norte (4,1%) e Centro-Oeste (4,8%), seguida

pela população do grupo etário de 35 a 59 anos que apresentou a taxa de crescimento variável entre 3,7% (Norte) e 1,8% (Sul). Em 2018, as regiões Sudeste e Sul apresentaram a população relativa do grupo P60a equivalente a 14,8% e 15,2%, configurando uma sociedade mais idosa, e as demais regiões, com taxas variáveis entre 7,8% (Norte) a 11,1% (Nordeste) configurando como uma sociedade em processo de envelhecimento. Dessa forma, verifica-se iniciado o processo de transição demográfica da população das regiões Sudeste e Sul, uma vez verificado que em 2018 a população com idade de 35 anos e acima representava 49% da população total. Com esse processo mais lento, as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste apresentam a participação relativa da população com idade de 35 anos e acima de respectivamente 35,7%, 41,9% e 43,9%.

Figura 10 – População total e por grupo etário, e taxa anual de crescimento médio geométrico (%) por grupo etário, por regiões, 2000-2018: (a) População total; (b) P014; (c) P1534; (d) P3559; (e) P60a.

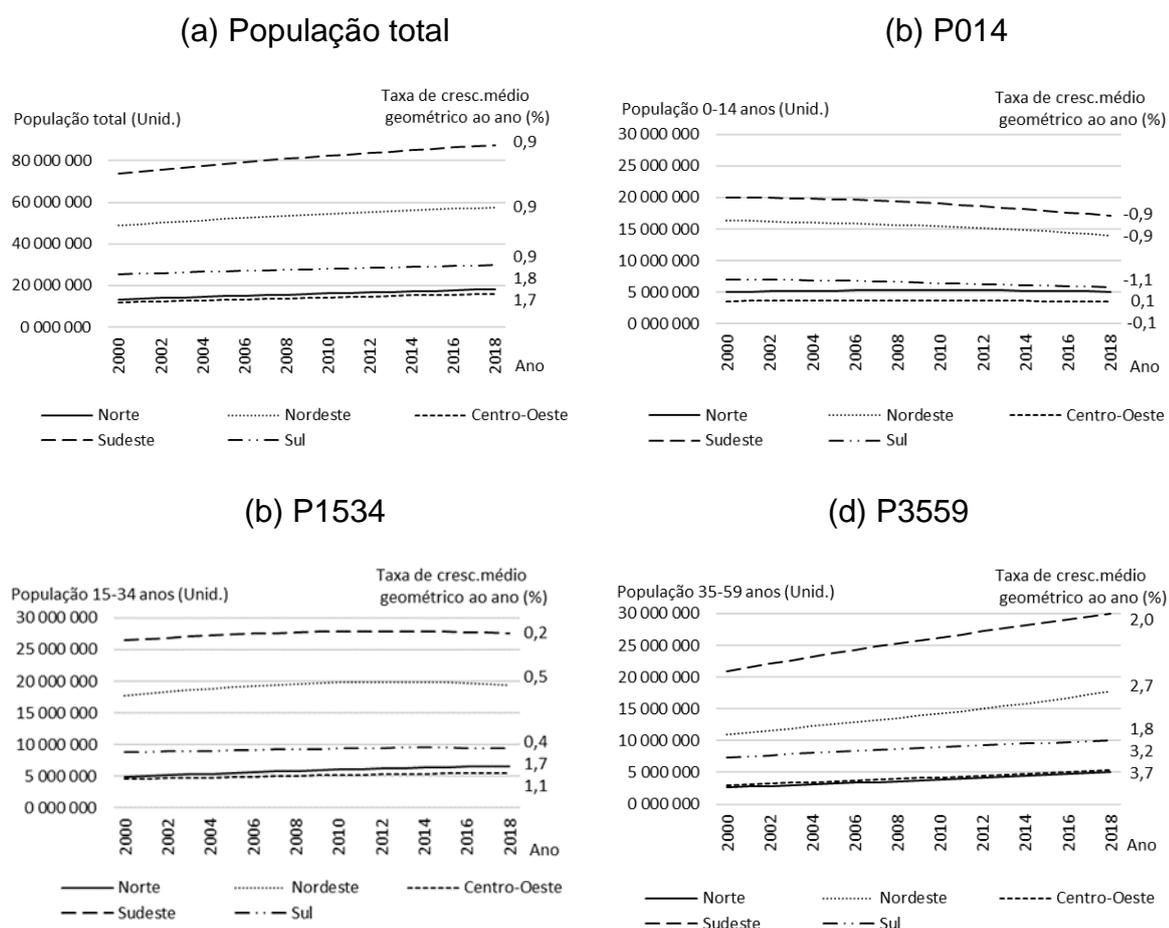
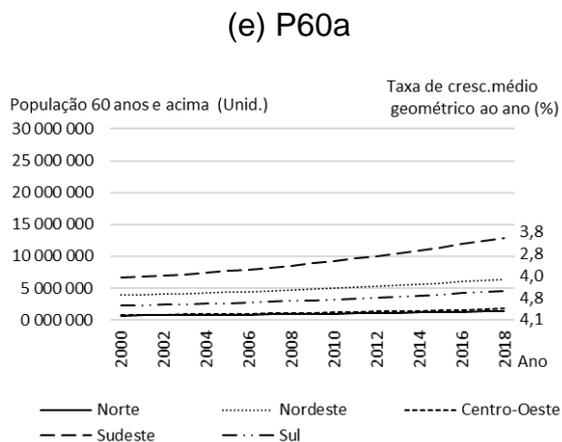


Figura 10 - População total e por grupo etário, e taxa anual de crescimento médio geométrico (%) por grupo etário, por regiões, 2000-2018 (continuação)



Fonte: elaboração a partir de IBGE (2020b).

6.2 Análise dos dados: Matriz de Correlação

A análise estatística da matriz de correlação de Pearson e o *p-valor* correspondente foi desenvolvida para os dados de entrada dos modelos de regressão linear múltipla, logo, considerando o conjunto de 1216 observações, e referindo-se as diferenças anuais dos dados transformados em logaritmos naturais (\ln), referentes ao período 2000-2018, por região Geográfica. A análise permitiu investigar o grau de relação linear entre cada par de variáveis, dessa forma sendo útil para detectar as condições de dependência linear. Os resultados da matriz de correlação entre os pares das variáveis preditoras apresentam-se no Apêndice B, enquanto a Tabela 7 apresenta os resultados da correlação de Pearson e o *p-valor* correspondente para a relação entre a variável de resposta [$\Delta \ln Y = (\ln Y_t - \ln Y_{t-1})$] e as variáveis preditoras [$(\Delta \ln X_{(1...k)} = (\ln X_{(1...k)t} - \ln X_{(1...k)(t-1)})$].

Tabela 7 - Correlação de Pearson e *p*-valor correspondente: regiões, 2000-2018.

	Correlação de Pearson e <i>p</i> -valor correspondente para $\Delta \ln C$				
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
$\Delta \ln Dtot$		-0,252	-0,212	-0,273	0,067
$\Delta \ln Durb$	-0,417(*)	-0,498 (**)	-0,325	-0,243	-0,040
$\Delta \ln Drur$		0,596 (***)	0,292	-0,187	0,095
$\Delta \ln D02sm$	-0,521 (**)	-0,514 (**)	-0,403 (*)	-0,571 (**)	-0,384
$\Delta \ln D25sm$	-0,192	0,166	0,116	-0,224	0,034
$\Delta \ln Da5sm$	0,124	0,279	0,241	-0,311	0,346
$\Delta \ln P014$	-0,235	0,150	-0,319	-0,166	-0,422 (*)
$\Delta \ln P1534$	-0,264	-0,227	-0,232	-0,171	0,138
$\Delta \ln P3559$	-0,389	-0,621 (***)	-0,362	-0,349	-0,404 (*)
$\Delta \ln P60a$	0,452 (*)	0,290	0,480 (**)	0,364	0,411 (*)
$\Delta \ln PIB$	0,063	0,381	0,006	0,367	0,379
$\Delta \ln Tar$	-0,376	-0,422 (*)	-0,299	-0,342	-0,606 (***)
$\Delta \ln SM$	-0,132	-0,065	-0,178	-0,063	0,039

C = consumo de energia elétrica; *Dtot* = domicílios totais; *Durb* = domicílios urbanos; *Drur* = domicílios rurais; *D02sm* = domicílios com faixa de renda até 2 salários mínimos; *D25sm* = domicílios com faixa de renda de 2 a 5 salários mínimos; *Da5sm* = domicílios com faixa de renda acima de 5 salários mínimos; *P014* = população com idade de 0 a 14 anos; *P1534* = população com idade de 15 a 34 anos; *P3559* = população com idade de 35 a 59 anos; *P60a* = população com 60 anos de idade e acima; *PIB* = produto interno bruto; *Tar* = tarifa de energia elétrica; *SM* = salário mínimo. Nota: O nível de significância estatística dos coeficientes de regressão é dado por: (*) para $p < 0,1$, (**) para $p < 0,05$ e (***) para $p < 0,0\%$. A ausência do indicador refere-se à baixa significância onde $p > 0,1$.

De forma geral, verificou-se, com pequenas exceções, que a variável dependente está fortemente correlacionada com as variáveis preditoras. Observa-se que as correlações que se apresentaram fracas referem-se aos coeficientes dos domicílios na região Sul (exceto $\Delta \ln D02sm$ e $\Delta \ln Da5sm$), aos coeficientes de correlação de $\Delta \ln PIB$ nas regiões Norte e Centro-Oeste, e ao coeficiente de $\Delta \ln SM$ nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul.

Os coeficientes de correlação entre as variáveis preditoras apresentaram uma correlação relativamente fraca, não havendo indicação de dependência linear entre as variáveis, exceto pelas variáveis dentro de um mesmo grupo de classificação, como os grupos etários e os domicílios por localização e por faixa de renda. Dessa forma, assume-se que os pares de variáveis são independentes.

6.3 Análise da regressão linear múltipla

Primeiramente, indica-se a relevância da discussão do consumo residencial de energia elétrica em um contexto regional, e não em abordagem nacional, uma vez que os resultados para as regiões foram significativamente diferentes entre si. As análises de regressão linear múltipla partiram de um conjunto de 1577 observações, 14 variáveis e 5 regiões geográficas. Para uma melhor compreensão, esses resultados foram apresentados por regiões.

A análise dos parâmetros estatísticos para seleção de modelos com maior qualidade, e a análise gráfica dos resíduos será apresentada com maior detalhamento na análise da região Norte, de forma a fazer-se compreender seus procedimentos analíticos, que também foram desenvolvidos para as outras regiões.

6.3.1 Análise de regressão: região Norte

As análises de regressão para a região Norte foram realizadas partindo-se do conjunto de 18 observações. Dos modelos obtidos pelos procedimentos, foram selecionados seis com maior significância estatística, que se apresentam na Tabela 8. Inicialmente foram elaboradas análises relacionadas às variáveis de entrada aos modelos, e posteriormente as análises comparativas para a seleção de um modelo com melhor qualidade a ser utilizado para a estimação do consumo futuro.

Tabela 8 - Modelos de regressão para o consumo residencial de energia elétrica: região Norte, 2000-2018.

Variáveis	I (F)	II (F)	III (F)	IV (B)	V (B)	VI(B)
β_0	0,08 (0,01)	0,09 (0,15)	0,02 (0,06)	-0,62 (0,10)	-0,60 (0,11)	-0,58 (0,11)
$\Delta \ln D02sm$	-0,34** (0,14)	-0,45*** (0,14)	-0,04 (0,21)	-0,27*** (0,09)	-0,30*** (0,10)	-0,28** (0,10)
$\Delta \ln Da5sm$		0,21* (0,12)	0,41*** (0,13)			
$\Delta \ln Durb$			-0,67** (0,29)			
$\Delta \ln P60a$			1,86 (1,40)	17,04*** (2,46)	16,68*** (2,52)	16,19*** (2,62)
$\Delta \ln P014$				16,85*** (2,48)	16,98*** (2,51)	16,30*** (2,67)
$\Delta \ln SM$					-0,11 (0,13)	-0,11 (0,13)
$\Delta \ln Tar$						-0,06 (0,07)
R^2	0,27	0,41	0,60	0,84	0,85	0,85
$R^2 (adj)$	0,23	0,33	0,47	0,80	0,80	0,79
S	0,038	0,035	0,031	0,019	0,019	0,020
d	2,38 (id)	1,12 (ic)	1,62 (ic)	2,33 (id)	2,34 (id)	2,45 (id)
p-valor	0,81	0,98	0,81	0,60	0,37	0,42
N	18	18	18	18	18	18

F=modelos resultantes do procedimento *Forward*; B=modelos resultantes do procedimento *Backward*; $\Delta \ln$ = diferença anual entre o logaritmo natural (*ln*) do dado do ano t e o *ln* do dado do ano t-1; *D02sm* = domicílios com faixa de renda até 2 salários mínimos; *Da5sm* = domicílios com faixa de renda acima de 5 salários mínimos; *Durb* = domicílios urbanos; *P014* = população com idade de 0 a 14 anos; *P60a* = população com 60 anos de idade e acima; *SM*=salário mínimo; *Tar* = tarifa de energia elétrica; R^2 = coeficiente de determinação; $R^2 (adj)$ = coeficiente de determinação ajustado; S = desvio padrão do modelo de regressão; d refere-se ao valor do teste Durbin-Watson; para o diagnóstico do resultado do teste de Durbin-Watson, (dp) e (id) referem-se as condições de dependência e de independência entre os resíduos, e (ic) indica o resultado do teste inconclusivo; p-valor refere-se ao teste de normalidade de Anderson-Darling. Nota: O nível de significância estatística dos coeficientes de regressão é dado por: (*) para $p < 0,1$, (**) para $p < 0,05$ e (***) para $p < 0,01$. O desvio padrão dos coeficientes de regressão apresentam-se entre parênteses.

Primeiramente, a partir da análise do nível de significância dos coeficientes de regressão dos modelos, observa-se que as variáveis *D02sm*, *Da5sm*, *Durb*, *P014* e *P60a* apresentam significantes contribuições aos modelos. De forma contrária, *SM* e *Tar* apresentaram fraca contribuição aos modelos.

Os domicílios *D02sm*, que apresentaram a maior taxa de crescimento geométrico no período (8,8%), dentre os outros grupos de domicílios por faixa de renda, apresentaram influência negativa, e de forma significativa em todos os modelos, exceto no modelo III. Dessa forma, há indícios de que quando a pobreza aumenta (aumento no *D02sm*) há redução no consumo de energia elétrica. A partir dessa análise, leva-se a questionar o papel da tarifa social nessa região, que pode não estar cumprindo o objetivo de reduzir a pobreza energética das famílias com menores rendas domiciliares. De forma inversa, e como esperado, os domicílios *Da5sm*, presente nos modelos II e III, mostraram influência positiva, e apresentando forte significância no modelo III. Os domicílios urbanos (*Durb*)

mostraram contribuição negativa e significativa no modelo III, estimando ser devido à composição por uma maior participação dos domicílios de baixa renda.

Em termos de intensidade, as variáveis *P014*, e *P60a* apresentam efeito positivo e relevante sobre o padrão do consumo, observado nos modelos IV a VI, podendo-se interpretar que o aumento de 1% na população de crianças (*P014*) e na de idosos (*P60a*) eleva o consumo de energia elétrica em aproximadamente 17%, respectivamente. Dessa forma, a elevada contribuição da população de crianças (*P014*) pode não estar relacionada ao uso de eletrônicos no domicílio, mas ao trabalho infantil com relevante contribuição para a renda familiar nessa região, reforçada pela forte correlação desse grupo com o número de domicílios *D02SM*. Nesse sentido, apesar dos esforços das políticas públicas em promover a ampliação do acesso dessas crianças ao ensino de forma a aumentar as horas diárias de permanência na escola IBGE (2003; 2014), a sua efetividade poderia ser ampliada através da integração a políticas de redução da pobreza. Em relação à influência do consumo pela população de idosos (*P60a*), e diante do relevante crescimento dessa população nos últimos 19 anos nessa região, à taxa média geométrica de 4,1%, recomenda-se desenvolver medidas da política de eficiência energética voltadas à essa população como uma oportunidade para reduzir o consumo.

Na análise da independência dos resíduos, através do teste de *Durbin-Watson*, ao nível de confiança de 5%, os modelos os modelos I, III, IV, V e VI apresentaram indícios de independência dos resíduos, enquanto os modelos II e III apresentaram resultado inconclusivo.

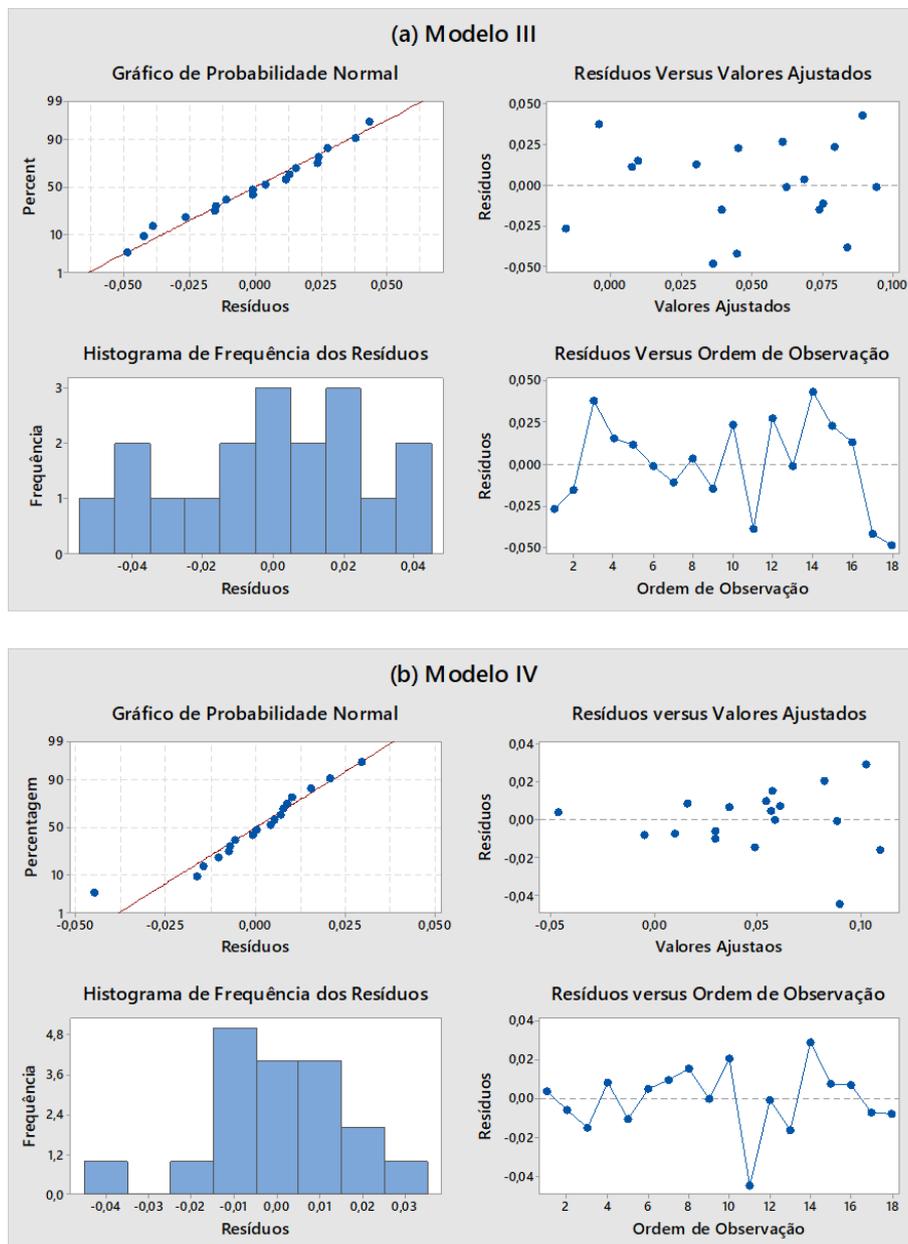
Partindo de uma análise comparativa entre os modelos I, II, e III, obtidos pelo procedimento *Forward*, observa-se que a entrada de variáveis ocasiona alteração das medidas estatísticas R^2 , $R^2 (adj)$, S e p -valor do teste de normalidade. Na expectativa de que a adição de uma variável deve melhorar as condições de ajuste do modelo, essas medidas estatísticas são úteis na análise comparativa, de forma a evitar-se a seleção de modelos com maior número de variáveis e com menor qualidade no ajuste. Comparando os modelos I ao II, a adição da segunda variável (*Da5sm*) ao modelo II, apresentou uma elevação significativa no resultado de R^2 , alterando de 0,27 para 0,41, e também de $R^2 (adj)$, e como esperado, houve redução do desvio-padrão (S) no modelo II. A partir da interpretação do desvio padrão (S) de 0,038 do modelo I, e de 0,035 do modelo II, é de que 95% das

observações estão dentro de um desvio máximo de 3,8% e de 3,5% da linha de regressão ajustada. Comparativamente, entre o modelo I e II, houve uma melhoria do ajuste, dado o aumento no *p-valor* do teste de normalidade, de 0,81 para 0,98. Dessa forma, conclui-se que o modelo II apresenta qualidade superior ao modelo I, devendo esse último ser descartado. Comparando os modelos II e III, observou-se que a adição de duas variáveis, *Durb* e *P60a*, elevou os valores de R^2 e de $R^2 (adj)$, reduzindo o desvio padrão (*S*). E apesar da redução do *p-valor* referente ao teste de normalidade, de 0,98 para 0,81, ainda assim considera-se que o modelo III apresenta maior qualidade ao modelo II, devendo esse último ser descartado.

Comparando os modelos IV, V e VI, obtidos pelo procedimento *Backward*, que remove variáveis a cada etapa, observa-se que o modelo IV apresenta qualidade superior aos modelos V e VI. Na comparação entre os modelos V e VI, quando da remoção da variável *Tar* do modelo V, o valor de R^2 foi mantido, mas o valor de $R^2 (adj)$ no modelo V apresentou-se maior que no modelo VI, e não houve redução significativa do *p-valor* do teste de normalidade dos resíduos. Dessa forma, há indícios de maior qualidade do modelo V ao VI, descartando-o modelo VI. Comparando os modelos IV e V, a remoção da variável *SM* do modelo IV teve como consequência a redução do R^2 , no entanto mantendo-se o valor de $R^2 (adj)$ e de *S*, e elevando-se significativamente o *p-valor* do teste de normalidade. Dessa forma, a partir das análises acima detalhadas, identifica-se que o modelo IV apresenta melhor ajuste ao modelo V.

A Figura 11 apresenta, como exemplo, a saída de resultados do software MINITAB para a análise gráfica dos resíduos dos modelos III e IV.

Figura 11 - Plotagem dos resíduos dos modelos de regressão, região Norte: (a) III ; (b) IV.



A partir da Figura 11, observa-se no *Gráfico de Probabilidade Normal* um melhor ajuste linear do modelo III ao IV, onde o primeiro apresentou *p-valor* (0,80) de maior significância, em relação ao modelo IV (0,60). Apesar de não haver clara simetria no *Histograma de Frequência*, há evidências de normalidade dos erros em todos os modelos. O gráfico de *Resíduos versus Ordem de Observação* permite identificar uma maior distância dos resíduos do modelo III da linha neutra, em relação ao modelo IV. No gráfico de *Resíduos versus Valores Ajustados* verifica-se que o modelo III apresenta maior força na pressuposição de que os resíduos são aleatoriamente distribuídos, em relação ao modelo

IV, que apresenta os resíduos em forma de cone horizontal. Diante da análise comparativa dos modelos III e IV, adota-se o critério de análise do VIF dos coeficientes de regressão dos modelos. Observou-se que o modelo IV apresentou VIF >5 para os coeficientes *P60a* e *P014*, indicando multicolinearidade entre essas variáveis, enquanto o modelo III apresentou VIF <5 para todos os coeficientes. Dessa forma, selecionou-se o modelo III para o desenvolvimento da estimação do consumo futuro da região Norte.

6.3.2 Análise de regressão: região Nordeste

Dos modelos de regressão linear obtidos para a Região Nordeste foram selecionados cinco com maior significância estatística, que se apresentam na Tabela 9, sendo resultados do procedimento *Forward*.

Tabela 9 - Modelos de regressão para o consumo residencial de energia elétrica: região Nordeste, 2000-2018.

Regressão	I (F)	II (F)	III (F)	IV (F)	V (F)
β_0	-0,01 (0,02)	0,47 (0,18)	0,45 (0,16)	0,34 (0,13)	0,35 (0,13)
$\Delta \ln Dtot$			-26,70** (11,2)		
$\Delta \ln Durb$			19,68** (8,72)		
$\Delta \ln Drur$	1,18*** (0,38)	0,91** (0,34)	6,69** (2,58)		
$\Delta \ln P3559$		-17,42** (6,61)	-14,73** (5,59)	-10,81** (4,99)	-12,04** (4,82)
$\Delta \ln Tar$				-0,17* (0,09)	-0,20** (0,09)
$\Delta \ln D02sm$					0,51 (0,34)
R^2	0,39	0,59	0,77	0,45	0,54
$R^2 (adj)$	0,35	0,54	0,69	0,37	0,42
S	0,045	0,038	0,031	0,027	0,026
d	0,75 (dp)	1,13 (ic)	1,94 (id)	1,96 (id)	1,55 (ic)
p-valor	0,38	0,90	0,70	0,80	0,78
N	17	17	17	16	16

F=modelos resultantes do procedimento *Forward*; $\Delta \ln$ = diferença anual entre o logaritmo natural (*ln*) do dado do ano t e o *ln* do dado do ano t-1; *Dtot* = domicílios totais *Durb* = domicílios urbanos; *D02sm* = domicílios com faixa de renda até 2 salários mínimos; *P3559* = população com idade entre 35 e 59 anos; *Tar* = tarifa de energia elétrica; R^2 = coeficiente de determinação; $R^2 (adj)$ = coeficiente de determinação ajustado; S = desvio padrão do modelo de regressão; d refere-se ao valor do teste *Durbin-Watson*; para o diagnóstico do resultado do teste de *Durbin-Watson*, (dp) e (id) referem-se as condições de dependência e de independência entre os resíduos, e (ic) indica o resultado do teste inconclusivo; p-valor refere-se ao teste de normalidade de *Anderson-Darling*. Nota: O nível de significância estatística dos coeficientes de regressão é dado por: (*) para $p < 0,1$, (**) para $p < 0,05$ e (***) para $p < 0,01$. O desvio padrão dos coeficientes de regressão apresentam-se entre parênteses.

As análises iniciais partiram de um conjunto de 18 observações. Os modelos I, II e III possuem 17 observações (N=17), uma vez removida a observação referente à diferença de dados entre os anos 2003-2002, enquanto os modelos IV e V, com N=16, tiveram,

adicionalmente, a remoção das observações referentes à diferença de dados dos anos 2000-2001. A remoção de observações nos procedimentos de análise foi realizada por mostrarem inconsistência em relação as demais observações.

A partir da análise do nível de significância dos coeficientes de regressão dos modelos, observa-se que todas as variáveis, exceto *D02sm* apresentam contribuição significativa aos modelos. As variáveis *Dtot*, *P3559* e *Tar* apresentaram contribuição negativa no consumo. Em termos de intensidade, as variáveis *Dtot*, *Durb* e *P3559*, junto ao *Drur* no modelo III, apresentaram forte influência sobre o consumo. No modelo III, confirma-se a relevância da influência do número de domicílios sobre o consumo. Verificou-se ainda uma influência significativa e positiva dos domicílios rurais, que apresentaram crescimento médio geométrico anual de 5% no período 2010-2018 e superior à taxa de crescimento dos domicílios urbanos. Estima-se que essa influência pode ser um dos efeitos dos programas de redução de déficit habitacional, principalmente pela ampliação da conexão de eletrodomésticos com a rede de energia elétrica, análise coerente com o estudo de Abrahão e Souza (2020b).

A população com idade entre 35 e 59 anos (*P3559*), apresentou no período 2000-2018 um crescimento médio geométrico anual de 2,7%, com influência significativa e negativa nos modelos II, III, IV e V. Estima-se que essa população, considerada como ativa na produção de renda no domicílio, atua com maior controle nas despesas domiciliares na região Nordeste, incluindo o consumo de energia elétrica, dada sua significância para desacelerar o consumo. Dessa forma, os programas de eficiência energética que promovem a introdução de equipamentos eficientes, seja pelo acesso a novos equipamentos ou pela sua substituição, poderiam colaborar para a redução da pobreza energética caso fossem voltados para essa população ativa, de forma que a redução no consumo domiciliar seja promovida, não pela restrição do consumo devido às condições da renda familiar, mas pela eficiência energética dos equipamentos.

A tarifa de energia elétrica, presente nos modelos IV e V apresentou influência significativa e negativa no modelo V. As variáveis *SM* e *PIB*, não presentes nos modelos, mostraram-se, dessa forma, com menor influência sobre o consumo no período analisado.

De forma inesperada, a variável de domicílios *D02sm*, selecionada apenas no modelo V, mostrou influência positiva para o crescimento do consumo. Duas condições colaboram

para esse resultado. Primeiro, a condição do elevado número de domicílios classificados como *D02sm*, que no ano de 2000 representavam 47% dos domicílios totais, evoluindo para 61% em 2018. Segundo, os benefícios de distribuição de renda concedidos as famílias de baixa renda, como o Programa Bolsa Família, com 47% do total de famílias beneficiadas no Brasil até o ano 2016 localizadas na região Nordeste, promoveram condições para o consumo de energia elétrica nos domicílios *D02sm* (ABRAHÃO; SOUZA, 2020; DATASEBRAE, 2016). Logo, estima-se uma elevada dependência do consumo dos domicílios *D02sm* aos benefícios sociais promovidos pelo Governo, como o programa Bolsa Família, os Benefícios da Prestação Continuada (Aposentadoria e Assistência Social), bem como a política da tarifa social. Estima-se ainda, tal como na região Norte, que a tarifa social pode não estar cumprindo o objetivo de reduzir a pobreza energética das famílias com menor renda domiciliar, mas atuando como limitador do consumo para a manutenção da adesão ao benefício da tarifa reduzida, principalmente nos domicílios rurais da região Nordeste.

As análises desenvolvidas para a seleção do modelo de maior qualidade para a região Nordeste seguiram os mesmos argumentos explicados e detalhados nos resultados da região Norte. Na análise comparativa, para a seleção de um modelo com maior qualidade, descarta-se o modelo I por possuir baixo valor de R^2 , e um p -valor pequeno quando comparado aos outros modelos.

Dentre os modelos II, III, IV e V selecionou-se o modelo V por apresentar medidas estatísticas significantes, melhor ajuste de resíduos no gráfico resíduos versus valores ajustados, e $VIF < 5$ para todos os coeficientes de regressão. Algumas das razões para o descarte dos outros modelos são: o histograma e o gráfico probabilístico normal dos resíduos evidenciam maior normalidade dos erros e variância constante para o modelo V, aos modelos II e III; o modelo III apresentou três coeficientes de regressão com $VIF > 5$; o modelo IV apresenta qualidade das medidas estatísticas inferior ao modelo V. Os resultados dos gráficos de resíduos dos modelos II a V apresentam-se no Apêndice C, Figura C1. Dessa forma, determinou-se a estimação do consumo futura para a região Nordeste através da equação do modelo V.

6.3.3 Análise de regressão: região Centro-Oeste

A Tabela 10 apresenta os modelos obtidos pela análise de regressão linear múltipla para a região Centro-Oeste que apresentaram maior significância estatística.

Tabela 10 - Modelos de regressão para o consumo residencial de energia elétrica: região Centro-Oeste, 2000-2018.

Coeficientes	I (F)	II (F)	III (B)	IV (B)	V (B)
β_0	-0,06 (0,07)	-0,41 (0,12)	-0,66 (0,22)	-0,67 (0,22)	-0,78 (0,24)
$\Delta \ln Durb$			0,77 (0,55)	1,02 (0,63)	
$\Delta \ln Drur$		0,12* (0,06)	0,27** (0,11)	0,27** (0,11)	0,10 (0,07)
$\Delta \ln D02sm$			-0,15* (0,08)	-0,26 (0,16)	
$\Delta \ln D25sm$	0,39 ** (0,18)	0,42*** (0,15)			
$\Delta \ln Da5sm$				-0,23 (0,28)	
$\Delta \ln P014$		6,80** (2,37)			
$\Delta \ln P3559$			7,72** (2,88)	7,48** (2,94)	9,82 *** (2,97)
$\Delta \ln P60a$	2,06 (1,37)	9,49 (2,64)	9,30*** (2,85)	9,65*** (2,91)	10,82*** (3,12)
R^2	0,28	0,64	0,66	0,68	0,49
$R^2 (adj)$	0,18	0,52	0,50	0,49	0,37
S	0,020	0,015	0,016	0,016	0,018
d	1,54 (id)	1,92 (id)	1,86 (ic)	1,88 (ic)	2,01 (id)
p-valor	0,71	0,76	0,62	0,86	0,66
N	17	17	17	17	17

F=modelos resultantes do procedimento *Forward*; B=modelos resultantes do procedimento *Backward*; $\Delta \ln$ = diferença anual entre o logaritmo natural (*ln*) do dado do ano t e o *ln* do dado do ano t-1; *Durb* = domicílios urbanos; *Drur* = domicílios rurais; *D02sm* = domicílios com faixa de renda até 2 salários mínimos; *D25sm* = domicílios com faixa de renda entre 2 e até 5 salários mínimos; *Da5sm* = domicílios com faixa de renda acima de 5 salários mínimos; *P014* = população com idade de 0 a 14 anos; *P3559* = população com idade entre 35 e 59 anos; *P60a* = população com 60 anos de idade e acima; R^2 = coeficiente de determinação; $R^2 (adj)$ = coeficiente de determinação ajustado; S = desvio padrão do modelo de regressão; d refere-se ao valor do teste *Durbin-Watson*; para o diagnóstico do resultado do teste de *Durbin-Watson*, (dp) e (id) referem-se as condições de dependência e de independência entre os resíduos, e (ic) indica o resultado do teste inconclusivo; p-valor refere-se ao teste de normalidade de *Anderson-Darling*. Nota: O nível de significância estatística dos coeficientes de regressão é dado por: (*) para $p < 0,1$, (**) para $p < 0,05$ e (***) para $p < 0,01$. O desvio padrão dos coeficientes de regressão apresentam-se entre parênteses.

Os resultados dos modelos de regressão partiram de 17 observações (N=17), havendo a remoção de uma observação referente à diferença de dados entre os anos 2001-2000, que mostrou inconsistência em relação as demais observações.

Do ponto de vista do nível de significância estatística dos coeficientes de regressão dos modelos selecionados ressalta-se as variáveis *Durb* (modelos III e IV), *D25sm* (modelos I e II), *P014* (modelo II), *P3559* e *P60a* (modelos III a V). Do ponto de vista da propriedade

da influência, observou-se todas as variáveis com efeito positivo, exceto *D02sm* (modelos III e IV) e *Da5sm* (modelo IV). Do ponto de vista da magnitude da influência, ressalta-se as variáveis *P014*, *P3559* e *P60a*. A variação de 1% na *P014* resulta em um crescimento do consumo entre 7% (modelo II). A variação de 1% na *P3559* resulta em um crescimento do consumo entre 8% (modelos II e IV) a 10% (modelo V). De forma mais intensa, variação de 1% na *P60a* resulta em um crescimento do consumo entre 9% (modelo III) a 11% (modelos IV e V).

Apesar dos domicílios rurais apresentarem no período um crescimento médio geométrico inferior aos domicílios urbanos, o primeiro mostrou-se estatisticamente mais significativo ao segundo, porém com contribuição menor ao crescimento do consumo. Os domicílios com faixa de renda até 2 salários mínimos (*D02sm*), nos modelos III e IV, e os domicílios com faixa de renda acima de 5 salários mínimos (*Da5sm*), no modelo IV, apresentam influência negativa e pouco significativa, atuando de forma a desacelerar o crescimento do consumo. Esse resultado é coerente com a redução da renda dos domicílios, que levaram os domicílios *Da5sm*, a apresentarem decréscimo no período 2000-2018, passando de 37% para 27% dos domicílios totais. Dessa forma, compreende-se que a influência dos domicílios *Da5sm* para desacelerar o consumo relaciona-se mais à redução da renda familiar, verificada pela migração de parte desses domicílios para o grupo de domicílios com faixas de renda inferiores, do que à elevação dos níveis de eficiência energética de equipamentos. Tal como nas regiões Norte e Nordeste, as variáveis *PIB* e *SM* não entraram nos modelos, e junto com a *Tar*, essas variáveis apresentam indícios de menor influência sobre o consumo na região Centro-Oeste.

A variável *P014*, tal como na região Norte, apresentou influência positiva e significativa, porém com contexto diferente, devido às condições socioeconômicas e culturais da região Centro-Oeste. Estima-se que a influência positiva da população *P014* ao consumo de energia elétrica é devido ao maior acesso aos equipamentos no interior do domicílio, e consistentes com os elevados índices de posse de equipamentos, principalmente na categoria lazer, identificados por Abrahão e Souza (2020a). A população *P3559* da região Centro-Oeste apresentou influência significativa e positiva sobre o consumo de energia elétrica, e de forma contrária aos resultados da região Nordeste, estimando-se que, pelas condições socioeconômicas e culturais da região Centro-Oeste, a renda gerada por esse grupo etário promove o acesso aos equipamentos e contribui para ampliação do consumo

no domicílio. Já a população de idosos P60a, com entrada em todos os modelos selecionados, apresentaram influência positiva e significativa. Dessa forma, as populações do grupo etário P1535 e P60a, que apresentaram as maiores taxas de crescimento médio geométrico na região Centro-Oeste no período 2000-108, em torno de 4%, podem representar oportunidades para a implementação de medidas relacionadas as políticas de eficiência energética com fins de atrasar o crescimento do consumo da região.

As análises dos modelos para a seleção daqueles de maior qualidade seguiram os mesmos argumentos apresentados detalhadamente na análise dos resultados da região Norte. Dentre os modelos II a IV selecionou-se o modelo III por apresentar medidas estatísticas significantes, melhor ajuste de resíduos no gráfico resíduos versus valores ajustados. Algumas das razões para o descarte dos outros modelos são: (i) na análise do valor de R^2 descartou-se os modelos I e V, pela menor significância em relação aos outros modelos; (ii) o modelo II apresentou menor evidência de variância constante em relação ao modelo III; (iii) o modelo IV apresentou $VIF > 5$ para 5 coeficientes de regressão. Dessa forma, determinou-se a estimação do consumo futura para a região Nordeste através da equação do modelo III. Os resultados dos gráficos de resíduos dos modelos II à V estão apresentados no Apêndice C, Figura C2, e os detalhes do modelo III apresentam-se no Apêndice D (Tabela D3).

6.3.4 Análise de regressão: região Sudeste

A Tabela 11 apresenta os modelos obtidos pela análise de regressão linear múltipla para a região Sudeste selecionados pela significância estatística.

Tabela 11 – Modelos de regressão para o consumo residencial de energia elétrica: região Sudeste, 2000-2018.

Regressão	I (F)	II (B)	III (B)	IV (B)
β_0	0,03 (0,07)	-0,14 (0,09)	-0,16 (0,09)	-0,24 (0,27)
$\Delta \ln D02sm$	-0,38*** (0,10)	-0,25* (0,12)	-0,28** (0,12)	-0,29* (0,13)
$\Delta \ln P014$		10,60*** (3,07)	12,69*** (3,75)	11,78** (4,89)
$\Delta \ln P1534$	2,66** (1,22)			2,23 (7,24)
$\Delta \ln P60a$		7,43** (2,86)	8,50** (3,06)	9,25** (4,01)
$\Delta \ln DPIB$			-0,124 (0,13)	-0,13 (0,13)
$\Delta \ln SM$	0,22* (0,11)			
R^2	0,66	0,69	0,71	0,71
$R^2 (adj)$	0,59	0,62	0,61	0,58
S	0,017	0,016	0,016	0,017
d	2,23 (id)	2,59 (id)	2,38 (id)	2,42 (id)
p-valor	0,66	0,66	0,92	0,86
N	17	17	17	17

F=modelos resultantes do procedimento *Forward*; B=modelos resultantes do procedimento *Backward*; $\Delta \ln$ = diferença anual entre o logaritmo natural (*ln*) do dado do ano t e o *ln* do dado do ano t-1; *D02sm* = domicílios com faixa de renda até 2 salários mínimos; *P014* = população com idade de 0 a 14 anos; *P1534* = população com idade entre 15 e 34 anos; *P60a* = população com 60 anos de idade e acima; *PIB* = produto interno bruto; *SM* = salário mínimo; R^2 = coeficiente de determinação; $R^2 (adj)$ = coeficiente de determinação ajustado; S = desvio padrão do modelo de regressão; d refere-se ao valor do teste *Durbin-Watson*; para o diagnóstico do resultado do teste de *Durbin-Watson*, (dp) e (id) referem-se as condições de dependência e de independência entre os resíduos, e (ic) indica o resultado do teste inconclusivo; p-valor refere-se ao teste de normalidade de *Anderson-Darling*. Nota: O nível de significância estatística dos coeficientes de regressão é dado por: (*) para $p < 0,1$, (**) para $p < 0,05$ e (***) para $p < 0,01$. O desvio padrão dos coeficientes de regressão apresentam-se entre parênteses.

As análises iniciais partiram de um conjunto de 18 observações, e evoluíram para 17 observações sendo removida a observação referente à diferença de dados entre os anos 2001-2000 por mostrar inconsistência em relação as demais observações. Todos os quatro modelos apresentaram indícios de independência dos resíduos através do teste de *Durbin-Watson*, ao nível de confiança de 5%.

Do ponto de vista do nível de significância estatística dos coeficientes de regressão, com exceção das variáveis *P1534* (modelo IV) e *PIB*, todos apresentaram relevância para contribuir ao modelo. Do ponto de vista da propriedade da influência, apenas as variáveis

PIB e *D02sm* apresentaram influência negativa, enquanto as outras variáveis apresentam contribuição positiva ao consumo. Do ponto de vista da magnitude da influência, reforça-se as variáveis demográficas através dos grupos etários da população, *P014*, *P1534* e *P60a*, que apresentaram contribuição muito significativa nos modelos. Convém observar que os grupos etários *P014* e *P60a*, os quais se estimam passar mais horas no domicílio, utilizando a energia elétrica com maior intensidade, apresentaram contribuição mais ampla para o crescimento do consumo do que a população *P1534*, em idade ativa. Diferentemente dos resultados das regiões Nordeste e Centro-Oeste, a população *P3559* não mostrou possuir efeito sobre o consumo de energia elétrica na região Sudeste.

As análises dos modelos para a seleção daqueles de maior qualidade seguiram os mesmos argumentos apresentados detalhadamente na análise dos resultados da região Norte. Primeiramente, descartou-se o modelo IV, visto que o modelo III, possui uma variável a menos e apresenta mesmo valor de R^2 , um maior valor de R^2 (adj) e um maior valor do *p*-valor referente ao teste de normalidade. Os modelos I, II e III foram analisados comparativamente, e os gráficos de resíduos apresentam-se no Apêndice C (Figura C3). Após as análises, selecionou-se o modelo I, pela significância das medidas estatísticas, e descartando-se os demais após a análise do VIF, com os detalhes do modelo apresentados no Apêndice D (Tabela D4). Os modelos II e III apresentaram dois coeficientes com $VIF > 5$, dessa forma, selecionando-se o modelo I para a estimação futura do consumo.

6.3.5 Análise de regressão: região Sul

A Tabela 12 apresenta os modelos obtidos pela análise de regressão linear múltipla para a região Sul selecionados pela significância estatística.

Tabela 12 - Modelos de regressão para o consumo residencial de energia elétrica: região Sul, 2000-2018.

Regressão	I (F)	II (F,B)	III (B)
β_0	0,07 (0,02)	2,64 (0,90)	2,92 (0,90)
$\Delta \ln Tar$	-0,14** (0,05)	-0,13*** (0,04)	-0,22*** (0,07)
$\Delta \ln P3559$	-2,77** (1,28)	-45,60*** (15,0)	-49,4*** (14,9)
$\Delta \ln P1534$	2,56 (1,51)	6,00*** (1,71)	6,32*** (1,67)
$\Delta \ln P60a$		-46,60** (16,2)	-51,70*** (16,4)
$\Delta \ln Da5sm$			-0,32 (0,20)
$\Delta \ln SM$			-0,24 (0,19)
R^2	0,63	0,78	0,83
$R^2 (adj)$	0,55	0,71	0,73
S	0,02	0,016	0,015
d	1,87 (id)	2,52 (id)	2,07 (ic)
p-valor	0,60	0,63	0,47
N	17	17	17

F=modelos resultantes do procedimento *Forward*; B=modelos resultantes do procedimento *Backward*; $\Delta \ln$ = diferença anual entre o logaritmo natural (*ln*) do dado do ano t e o *ln* do dado do ano t-1; *Da5sm* = domicílios com faixa de renda acima de 5 salários mínimos; *P1534* = população com idade entre 15 e 34 anos; *P3559* = população com idade entre 35 e 59 anos; *P60a* = população com 60 anos de idade e acima; *PIB* = produto interno bruto; *SM* = salário mínimo; *Tar* = tarifa elétrica; R^2 = coeficiente de determinação; $R^2 (adj)$ = coeficiente de determinação ajustado; S = desvio padrão do modelo de regressão; d refere-se ao valor do teste *Durbin-Watson*; para o diagnóstico do resultado do teste de *Durbin-Watson*, (dp) e (id) referem-se as condições de dependência e de independência entre os resíduos, e (ic) indica o resultado do teste inconclusivo; p-valor refere-se ao teste de normalidade de *Anderson-Darling*. Nota: O nível de significância estatística dos coeficientes de regressão é dado por: (*) para $p < 0,1$, (**) para $p < 0,05$ e (***) para $p < 0,01$. O desvio padrão dos coeficientes de regressão apresentam-se entre parênteses.

As análises iniciais partiram de um conjunto de 18 observações, e evoluíram para 17 observações sendo removida a observação referente à diferença de dados entre os anos 2014-2013, coincidente com o período de correção da tarifa elétrica (Figura 6, p.46), por mostrar inconsistência em relação as demais observações.

Do ponto de vista do nível de significância estatística dos coeficientes de regressão, ressalta-se as variáveis dos grupos etários *P1534*, *P3559* e *P60a*, e a variável *Tar*. As variáveis *Da5sm* e *SM*, selecionadas apenas no modelo III, não mostraram significância em

seus coeficientes. Do ponto de vista da propriedade da influência, todas as variáveis mostraram contribuição negativa, exceto a *P1534*. De forma inesperada, a região Sul foi a única região onde a variável *P60a* apresentou influência negativa, estimando-se ter forte relação com o acelerado processo de envelhecimento populacional e as condições de renda dessa população. Dessa forma, esse estudo estima que, tal como Guo, Sun e Dai (2016) e Liddle e Lung (2010), a renda da população de idosos reduz gradualmente com o crescimento da idade, levando uma redução dos níveis de consumo em relação ao consumo das pessoas em idade ativa e de idade média, e principalmente nessa região em avançado processo de envelhecimento.

Do ponto de vista da magnitude da influência, as variáveis dos grupos etários, *P3559* e *P60a* nos modelos II e III, apresentaram magnitude aproximadamente 8 vezes superior à *P1534*.

Diferentemente das demais regiões, os domicílios da região Sul que mostraram fraca correlação com o consumo, mostram indícios de que não apresentam relação explicativa com o padrão do consumo no período, indo de forma contrária as análises de estudos apresentados no referencial teórico, mas compatível com os resultados da decomposição de consumo pelos domicílios, desenvolvida por Abrahão e Souza (2020b) para essa região.

As análises dos modelos para a seleção daqueles de maior qualidade seguiram os mesmos argumentos apresentados detalhadamente na análise dos resultados da região Norte. Observa-se que os modelos II e III apresentaram elevado desvio-padrão para o coeficiente dos regressores nas variáveis *P3559* e *P60a*. Devido à essas discrepâncias, analisou-se os coeficientes do modelo I, que apresentaram $VIF < 5$, e determinando-se esse como o modelo de maior qualidade para a estimação do consumo futuro. Os gráficos da análise de resíduos apresentam-se no Apêndice C (Figura C4) e os detalhes do modelo I apresentam-se no Apêndice D (Tabela D5).

6.4 Resumo dos resultados

A partir dos resultados obtidos, observou-se que, entre as regiões, diferentes modelos explicam empiricamente o padrão do consumo do período 2000-2018. Os resultados do trabalho apresentaram ainda uma clara evidência de que a estrutura etária da população é uma variável relevante que influencia o consumo de energia elétrica com propriedades, significância e magnitudes diferentes em cada região. O Quadro 1 apresenta um resumo dos resultados referentes à influência dos grupos etários sobre o consumo de energia elétrica.

Quadro 1 – Resumo da influência dos grupos etários sobre o consumo de energia elétrica

Região	Grupos etários	Discussão
Norte	P014 e P60a	Contribuição forte e positiva. O aumento de 1% da P60a eleva o consumo em 1,9%. A relevante influência das crianças e idosos se dá particularmente devido à contribuição para a renda familiar pelo trabalho infantil e pelos benefícios da aposentadoria.
Nordeste	P3559	Contribuição forte e negativa. Representam a população ativa, que gera renda ao domicílio, inferindo-se o intenso controle sobre as despesas com energia elétrica no domicílio.
Centro-Oeste	P014, P3559 e P60a	Contribuição forte e positiva
Sudeste	P014, P1534 e P60a	Contribuição forte e positiva. O aumento de 1% da P1534 eleva o consumo em 2,7%
Sul	P3559 e P60a	Contribuição forte e negativa

Os resultados mostraram que o número de domicílios, em cada região, apresentou menor relevância para influenciar o consumo, quando comparado à estrutura demográfica, como pode ser verificado no Quadro 2.

Quadro 2 – Resumo da influência do número de domicílios sobre o consumo de energia elétrica

Região	Grupos de domicílios	Discussão
Norte	D02sm e Durb	Contribuição pequena e negativa
	Da5sm	Contribuição positiva
Nordeste	D02sm	Contribuição insignificante
	Dtot, Durb, Drur	Contribuição forte e positiva
Centro-Oeste	Todos os grupos	Contribuição insignificante
Sudeste		
Sul		

As variáveis PIB, SM e Tar mostraram propriedades negativas, magnitude insignificante, com indícios de menor efeito sobre o consumo, exceto pela influência do SM na região Sudeste, que mostrou propriedade positiva, ainda que com magnitude insignificante.

6.5 Estimação do consumo futuro

As previsões para a estimação do consumo futuro foram realizadas através da equação de regressão obtida pelo modelo selecionado como o de maior qualidade em cada região. As previsões do consumo futuro envolvem ambientes aleatórios muito voláteis, como variações diversas, como por exemplo a pandemia COVID-19 que afetou a população brasileira em 2020. Dessa forma, a premissa de que todas as outras variáveis, não incluídas nas análises, permaneceriam sob condições normais, foram afetadas pela pandemia, que vem alterando as formas de morar e trabalhar da população brasileira, a renda familiar, a economia e a produção industrial, incluindo a produção de domicílios. Dessa forma estima-se que houve um impacto, ainda desconhecido, da pandemia sobre o consumo residencial, e não sendo adequada a apresentação dos resultados da estimação futura do consumo residencial de energia elétrica nas condições pré-estabelecidas por esse trabalho. Uma vez realizadas, verificou-se que, caso o cenário da previsão futura se mantivesse dentro das condições normais do período 2000-2018, seria previsto um crescimento médio geométrico anual do consumo entre os anos 2019-2025 em altos índices, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, que corresponderiam à respectivamente, 8,9% e 13,5%, e aproximadamente 2 e 3 vezes superior ao crescimento médio geométrico anual do consumo no período 2000-2018, respectivamente. Nas regiões Centro-Oeste e Sudeste esse crescimento seria de respectivamente, 4,7%, 2,2%, superior ao crescimento médio geométrico anual do consumo no período 2000-2018, em 1 e 0,5 pontos percentuais, respectivamente. Na região Sul, o crescimento médio geométrico anual para o período 2019-2025 seria de 2,3%, o equivalente a 0,6 pontos percentuais inferior ao crescimento do consumo no período 2000-2018. Os resultados estimados para o consumo futuro, não apresentados nessa Seção, estão disponibilizados no Apêndice E (Tabela E1).

7. Conclusões

O Brasil vem apresentando o fenômeno natural da transição demográfica, concomitantemente ao crescimento acelerado do consumo residencial de energia elétrica. Apesar de uma ampla literatura no contexto do consumo residencial, o planejamento energético, em especial os estudos para o PNE2030, não incorporam as particularidades dos processos demográficos. A relevância e inovação do estudo está relacionada à investigação da influência da estrutura demográfica sobre o consumo residencial de energia elétrica. A maioria dos estudos voltados à análise do consumo residencial de energia elétrica, investigam seu crescimento em função do crescimento e características de renda dos domicílios, do uso final, da posse de eletrodomésticos, e de indicadores e variáveis relacionadas ao crescimento econômico, sendo poucos os estudos que incluíram a variável demográfica. Uma vez identificada uma lacuna na literatura científica brasileira, esse estudo se propôs a investigar como a estrutura etária da população afetou o consumo residencial no Brasil no período 2000-2018, em uma abordagem regional. O estudo partiu de um conjunto de 1577 observações, composto por 13 variáveis preditoras, e utilizou a análise de regressão linear múltipla, selecionando-se os modelos de maior significância estatística, e realizando-se a estimação do consumo futuro para cada região. Os dados de entrada nas análises foram considerados a partir de diferenças anuais e transformados em logaritmo natural para reduzir a sua dispersão. A população foi dividida em quatro grupos etários (*P014*, *P1534*, *P3559*, *P60a*) consistentes com as institucionalidades brasileiras, e os domicílios classificados como totais e por localização (*Dtot*, *Durb* e *Drur*), e em três faixas de renda (*D02sm*, *D25sm*, *Da5sm*). Foram ainda consideradas as variáveis PIB, salário mínimo e tarifa. Como limite desse estudo, considerou-se que todas as outras variáveis, não incluídas nas análises, permanecem sob condições normais (*ceteris paribus*), e que o crescimento do número de domicílios para o período 2016-2018 seguiu a mesma tendência de crescimento do período anterior.

Os resultados mostraram diferentes modelos de regressão entre as regiões para explicar o padrão do consumo do período 2000-2018, com forte evidência da influência da estrutura etária populacional. De forma geral, os domicílios mostraram menor relevância para influenciar o consumo comparado à população, enquanto as variáveis econômicas, PIB, salário mínimo e tarifa mostraram influência insignificante.

Na região Norte a população *P014* e *P60a* mostraram contribuição forte e positiva ao consumo. A variação de 1% da *P60a* aumenta o consumo em 1,9%. Estima-se que a relevante influência das crianças e idosos nessa região se dá particularmente devido à contribuição para a renda familiar pelo trabalho infantil e pelos benefícios da aposentadoria, respectivamente. Na região Nordeste apenas a *P3559* mostrou influência sobre o consumo de forma forte e negativa, e por ser uma população em idade ativa, que gera renda ao domicílio, estima-se um intenso controle sobre os gastos com energia. Na região Centro-Oeste houve forte e positiva influência da população *P014*, *P3559* e *P60a* sobre o consumo. Na região Sudeste a população dos grupos etários *P014*, *P1534* e *P60a* mostraram influência forte e positiva, onde o aumento de 1% do grupo *P1534* aumenta 2,7% do consumo. De forma inesperada, na região Sul, os grupos etários *P3559* e *P60a* apresentaram influência forte com propriedade negativa, com efeito para desacelerar o crescimento do consumo, enquanto a população *P1534* apresentou influência forte e positiva.

As previsões para a estimação do consumo futuro foram apresentadas no Apêndice E, uma vez verificado que a premissa de que todas as outras variáveis, não incluídas nas análises, permaneceriam sob condições normais, foram afetadas pela pandemia COVID-19, que vem alterando as formas de morar e trabalhar da população brasileira. Dessa forma estima-se um impacto da pandemia sobre o consumo residencial, ainda desconhecido.

Os resultados levaram às conclusões de que o processo de mudança populacional relacionado ao aumento do consumo de energia elétrica também afeta o Brasil, e é um recurso inexplorado, ainda não considerado pela política energética. Dessa forma, acredita-se que esse processo deve ser considerado nas futuras revisões do planejamento energético, uma vez poderia fornecer importantes implicações econômicas para a política energética. As descobertas desse estudo são consistentes com diversos estudos publicados para outros países, conforme apresentado nesse trabalho.

Dada as diferentes respostas regionais, recomenda-se o detalhamento regional da política de eficiência energética, e sua integração com as políticas públicas de outras esferas. Outra recomendação seria expandir os esforços do programa da política de eficiência energética para a transição dos níveis de eficiência energética voltados para a população de idosos, e aos domicílios de baixa renda, por exemplo, a oferta de programas de compra de

equipamentos energeticamente eficientes voltados para os beneficiários dos programas Bolsa Família, programa de Benefícios da Prestação Continuada (Aposentadoria e Assistência Social) e aos trabalhadores com renda vinculada ao salário mínimo. Dessa forma, reforça-se as indicações dos estudos de Bardazzi e Pazienza (2020), de Zaidi (2020), e de Royston, Selby e Shove (2018), que identificam que um dos maiores desafios da política pública está relacionado à sua transversalidade.

Recomenda-se que estudos como esse sejam elaborados com mais frequência, e que os futuros trabalhos possam incluir nas análises dos efeitos da pandemia sobre o consumo residencial de energia elétrica, e que viabilizem a avaliação da evolução do processo de transição demográfica sobre o consumo residencial nos próximos anos.

Referências

- ABRAHÃO, K. C. de F. J.; SOUZA, R. G. V. de. Estimativa da evolução do uso final de energia elétrica no setor residencial do Brasil por região geográfica. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 383-408, abr./jun. 2021. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000200532>
- ABRAHÃO, K. C. de F. J.; SOUZA, R. V. G. de. What has driven the growth of Brazil's residential electricity consumption during the last 19 years? An index decomposition analysis. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 7-39, abr./jun. 2021. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000200513>
- ACHÃO, C.C.L. (2009) Análise de decomposição das variações no consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro. Tese de doutorado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.
- ACHÃO, C.C.L., SCHAEFFER R. (2009) Decomposition analysis of the variations in residential electricity consumption in Brazil for the 1980-2007 period: Measuring the activity, intensity and structure effects. *Energy Policy*, 2009, v.37, 5208-5220.
- ALMEIDA, M. A.; SCHAEFFER, R.; LA ROVERE, E.L. (2001) The potential for electricity conservation and peak load reduction in the residential sector of Brazil. *Energy*, v.26, n.4, p.413-429, 2001.
- ANDRADE, F.V. (2014) Projeções e avaliação do consume de energia elétrica para o setor residencial brasileiro a partir da técnica de decomposição Logarithimc Mean Divisia Index (LMDI). Tese de doutorado. UFMG, Belo Horizonte, 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. (2018) Tarifa média (R\$/MWh) por classes de consumo e por regiões geográficas do Brasil 2018. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: maio de 2019c.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. (2019a) A tarifa de energia elétrica. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/tarifas>. Acesso em: janeiro de 2019a.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. (2019b) Tarifa Social de Energia Elétrica. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/tarifa-social-baixa-renda>. Acesso em 05/12/2019.

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. (2020) Tarifa média (R\$/MWh) por classes de consumo e por regiões geográficas do Brasil 2003-2020. Disponível em:
http://relatorios.aneel.gov.br/_layouts/xlviewer.aspx?id=/RelatoriosSAS/RelSampRegCC.xlsx&Source=http://relatorios.aneel.gov.br/RelatoriosSAS/Forms/AllItems.aspx&DefaultItemOpen=1. Acesso em 04/08/2020.
- BARDAZZI, R.; PAZIENZA, M.G. (2020) When I was your age: Generational effects on long-run residential energy consumption in Italy. *Energy Research & Social Science*, v.70, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101611>
- BEDNAR, D.J., REAMES, T.G. (2020) Recognition of and response to energy poverty in the United States. *Nat Energy* 5, 432–439 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41560-020-0582-0i.or>
- BOERI, A.; GIANFRATE, G.; BOULANGER, S.O.M.; MASSARI, M. (2020) Future design approaches for energy poverty: users profiling and services for no-vulnerable condition. *Energies*, v.13, 2115, 2020. <https://doi.org/10.3390/en13082115>
- BRASIL. (2005a) Câmara dos Deputados. Consultoria Legislativa; Francisco José Rocha de Sousa. A evolução das tarifas de energia elétrica e do salário mínimo. Brasília, 2005. Disponível em: http://www2.camara.leg.br/a-camara/documentos-e-pesquisa/estudos-e-notas-tecnicas/areas-da-conle/tema16/2005_14301.pdf. Acesso em 27/07/2017.
- BRASIL. (2020b) Ministério da Economia. Projeto de Lei para Diretrizes Orçamentárias para 2021 (PLDO-2021). Disponível em: https://www.gov.br/economia/pt-br/centrais-de-conteudo/apresentacoes/2020/abril/2020-04-15_apresentacao-pldo-2021-imprensa-v4.pptx. Acesso em: 04/08/2020.
- BRASIL. (2007) Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de energia 2030. Brasília: MME: EPE, 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030>. Acesso em: janeiro de 2019.
- BRASIL. (2020c) Portal Brasileiro de Dados Abertos. Disponível em: <https://dados.gov.br/organization/about/ministerio-das-cidades-mcidades>. Acesso em: junho de 2020.
- BRASIL. (2009) Presidência da República Federativa do Brasil. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Decreto de 2 de dezembro de 1999 – Programa Nacional de

Eletrificação Rural “ Luz no Campo”. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/anterior%20a%202000/1999/Dnn8715.htm.
Acesso em 15/07/2019.

BRASIL. (2001a) Presidência da República Federativa do Brasil. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Decreto N° 4.059 de 19 de dezembro de 2001 – Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/D4059.htm. Acesso em 15/07/2019.

BRASIL. (1995) Presidência da República Federativa do Brasil. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei N° 9.032, de 28 de abril de 1995. Lei da Aposentadoria. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9032.htm. Acesso em: junho de 2018.

BRASIL. (2001b) Presidência da República Federativa do Brasil. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei N° 10.295 de 17 de outubro de 2001 – Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10295.htm. Acesso em 24/01/2019.

BRASIL. (2002) Presidência da República Federativa do Brasil. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei N° 10.438 de 26 de abril de 2002 – Universalização de energia elétrica e outros. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10438.htm. Acesso em 24/07/2019.

BRASIL. (2003) Presidência da República Federativa do Brasil. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei N° 10.741 de 1o de outubro de 2003 – Estatuto do Idoso. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/L10.741.htm. Acesso em: janeiro de 2018.

BRASIL. (2005b) Presidência da República Federativa do Brasil. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei N° 11.124, de 16 de junho de 2005. Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11124.htm. Acesso em: janeiro de 2020.

BRASIL. (2008) Presidência da República Federativa do Brasil. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei N° 11.692, de 10 de junho de 2008. Programa Nacional de Inclusão de Jovens – Projovem. Lei N° 11.692/2008. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/l11692.htm. Acesso em: janeiro de 2020.

BRASIL. (2013) Presidência da República Federativa do Brasil. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei Nº 11.825, de 05 de agosto de 2013. Estatuto da Juventude. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/l12852.htm. Acesso em: janeiro de 2020.

BRASIL. (2009) Presidência da República Federativa do Brasil. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei Nº 11.977 de 7 de julho de 2009 – Programa Minha Casa Minha Vida. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l11977.htm. Acesso em 24/01/2019.

BRASIL. (2011) Presidência da República Federativa do Brasil. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei Nº 12.513, de 26 de outubro de 2011. Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego (Pronatec). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/l12513.htm. Acesso em: janeiro de 2020.

BRASIL. (2020a) Secretaria Geral. Exposição de Motivos – EM Nº 00145/2020 ME. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Projetos/ExpMotiv/MECON/2020/145-ME.htm. Acesso em: 04/08/2020.

BROUNEN, D., KOK, N., QUIGLEY, J.M. (2012) Residential energy use and conservation: economics and demographics. *European Economic Review*, 2012, 56, p.931-945.

CARRARA, A.F.; CORREA, A.L. (2012) O regime de metas de inflação no Brasil: uma análise empírica do IPCA. *Revista Economia Contemporânea*, Rio de Janeiro, v.16, n.3, p.441-462, set-dez/2012. <https://doi.org/10.1590/S1415-9848201200030004>.

COSTA, F.; JANNUZI, G.; LAMBERTS, R.; LETSCHERT, V.; MELO, A.P.; BORGRES, K.; CARVALHO, S.; GOES, R.; KISHINAMI, R.; KARALI, N.; PARK, W.Y.; SHAH, N. (2019) Estudo de impacto regulatório: Diretrizes gerais e estudo de caso para condicionadores de ar tipo Split system no Brasil. In: Projeto Kigali, Instituto Clima e Sociedade. Rio de Janeiro, março de 2019. Disponível em: <http://kigali.org.br/publicacoes/>. Acesso em: 16/02/2020.

DATASEBRAE. (2016) Programas Sociais – Bolsa Família. Famílias beneficiadas por estado – 2016. Disponível em: <https://datasebrae.com.br/programas-sociais/#estados>. Acesso em: 5 nov. 2019.

- DEUTSCH, M., TIMPE, P. (2013) The effect of age on residential energy demand. ECEEE Summer Study Proceedings. 2013, p.2177-2188.
- DRAPER, N.R. (1991) Straight line regression when both variables are subject to error. Conference on Applied Statistics in Agriculture. 3rd Annual Conference Proceedings. Kansas State University, 1991, p.1-18. <https://doi.org/10.4148/2475-7772.1414>
- DRAPER, N.R., SMITH, H. (1998) Applied regression analysis. Third Edition. Wiley, N. York. 1998. DOI:10.1002/9781118625590
- ELETROBRAS. (1988) Pesquisa de posse de eletrodomésticos e hábitos de consumo: ano base 1987 - Classe Residencial. Rio de Janeiro, 1988.
- ELETROBRAS. (1998) Pesquisa de posse de eletrodomésticos e hábitos de consumo: 1997-1998 - Classe Residencial. ELETROBRAS, PROCEL, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 1998.
- ELETROBRAS. (2007) Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso: ano base 2005 - Classe Residencial. ELETROBRAS, PROCEL, Rio de Janeiro, setembro, 2007.
- ELETROBRAS. (2019) Pesquisa de posse e hábitos de uso de equipamentos elétricos na Classe Residencial. Relatório Técnico 2019. ELETROBRAS, PROCEL, 2019. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao>. Acesso em 23/11/2019.
- ELNAKAT, A.; GOMEZ, J.D; BOOTH, N. (2016) A zip code study of socioeconomic, demographic, and household gendered influence on the residential energy sector. Energy Report, 2016, vol.2, p.21-27. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2016.01.003>
- ENERDATA. (2020) Global Energy Statistical Yearbook 2019 - Electricity. Disponível em: <https://yearbook.enerdata.net/electricity/electricity-domestic-consumption-data.html>. Acesso em: Abril, 2020. P.29
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. (2019a) Balanço Energético Nacional 2019: Ano Base 2018. Rio de Janeiro, EPE, 2019. p.29
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. (2019b) Capítulo 3 – Consumo de energia elétrica por setor (1970-2018). Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>. Acesso em: junho de 2019.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. (2020) Estudos do Plano decenal de Expansão de Energia 2030: Premissas Econômicas e Demográficas. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico->

175/PNE%202030%20-%20Cen%C3%A1rios%20Macroecon%C3%B4micos.pdf.

Acesso em 26/07/2020.

- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. (2019c) Mercado Mensal de Energia Elétrica 1995-2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>. Acesso em: Janeiro de 2019.
- ESTIRI, H.; ZAGHENI, E. Age matters: aging and household energy demand in the United States. *Energy Research and Social Science*, vol.5, 2019, 62-70. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.05.006>.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO – FJP. (2014) Centro de Estatística e Informações. Déficit habitacional no Brasil: Anos 2011 e 2012. Belo Horizonte, 2014.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO – FJP. (2018) Déficit habitacional no Brasil 2015. Belo Horizonte, 2018.
- FUMO, N., BISWAS, M.A.R. (2015) Regression analysis for prediction of residential energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, vol. 47, p. 332-343. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.035>
- GUO, W.; SUN, T.; DAI, H. (2016) Effect of population structure change on carbon emission in China. *Sustainability*, 2016, 8, 225. doi:10.3390/su8030225.
- GHISI, E.; GOSCH, S.; LAMBERTS, R. (2007) Electricity end-uses in the residential sector of Brazil. *Energy Policy*, v.35, n.8, p.789-202, 2007
- HAMZA, N., GILROY, R. (2011) The challenge to UK energy policy: an ageing population perspective on energy saving measures and consumption. *Energy Policy*, 2011, 39, p.782-789.
- HASANOV, F.J., BULUT, C., SULEYMANOV, E. (2016) Do population age groups matter in the energy use of the oil-exporting countries? *Economic Modelling*, 2016, vol. 54, 82-99. doi:10.1016/j.econmod.2015.12.018
- HASANOV, F.J., MIKAYILOV, J.I. (2017) The impact of age groups on consumption of residential electricity in Azerbaijan. *Communist Post-Communist Studies*, 2017, vol. 50, 339-351. doi:10.1016/j.postcomstud.2017.09.005.
- HUNT, J.D., STILPEN, D., DE FREITAS, M.A. (2018) A review of the causes impacts and solutions for electricity supply crises in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, vol.88, 208-222. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.030>.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. (2019c) Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios. Tabelas 1999-2018 – Grandes regiões.

Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/habitacao/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html?=&t=downloads>. Acesso em 02/02/2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. (2004) Síntese de Indicadores Sociais – Ano Base 2003. Estudos e Pesquisas. Informação demográfica e Socioeconômica. Rio de Janeiro, 2004

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. (2003) Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios: Trabalho Infantil 2001. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em : https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/trabalho_infantil/default.shtm. Acesso em: janeiro 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. (2019b) Diretoria de Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Gerência de Estudos e Análises da Dinâmica Demográfica. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao_da_populacao/2013/default_tab.shtm. Acesso em 02/02/2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. (2010) Pesquisa de Orçamentos Familiares - POF. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/educacao/9050-pesquisa-de-orcamentos-familiares.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: Abril, 2020

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. (2019d) População Urbana e Rural por faixa etária, Regiões, 2010 - Tabela 1378. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1378>. Acesso em 02/02/2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. (2019c) Contas Nacionais – Valores correntes: Produto Interno Bruto. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9300-contas-nacionais-trimestrais.html?=&t=resultados&utm_source=landing&utm_medium=explica&utm_campaign=pib%2523evolucao-pib%23evolucao-pib#evolucao-pib. Acesso em 02/07/2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. (2014) Síntese de Indicadores Sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira 2013. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas->

novoportal/sociais/educacao/9221-sintese-de-indicadores-sociais.html?edicao=17068&t=publicacoes. Acesso em: janeiro 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. (2019e) Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. Acessado entre janeiro de 2018 e janeiro de 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO. (2015) Programa Brasileiro de Etiquetagem. Brasil, 2015. Disponível em: http://www2.inmetro.gov.br/pbe/novidades_detalhe.php?i=MTc=. Acesso em: 02/04/2020

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO. (2020) Tabelas de consumo / eficiência energética. Brasil. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>. Acesso em 24/08/2014; 05/11/2019; 02/04/2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. (2016) Atlas of Energy – 2016. Disponível em: <http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/-1118783123/1>. Acesso em: junho de 2019.p.29

INSTITUIÇÃO FISCAL INDEPENDENTE – IFI. (2020) Relatório de acompanhamento fiscal Nº 42 – Julho, 2020. Senado Federal, Brasília, 2020. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/ifi/relatorio-de-acompanhamento-fiscal>. Acesso em: 04/08/2020.

IPEADATA. (2020) Salário mínimo mensal vigente: 1940-2020. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?stub=1&serid1739471028=1739471028>. Acesso em: 07/07/2020.

JANUZZI, G. M.; SCHIPPER, L. (1991) The Structure of Electricity Demand in the Brazilian Household Sector. *Energy Policy*, v. 19, n. 11, p. 879-891, 1991.

KIM, J.; SEO, B. Aging populational and energy demand. In *Proceedings of the 3rd IAEE Asian Conference*, Kyoto, Japão, 2012, p.66-78.

KIM, J.; JANG, M.; SHIN, D. (2019) Examining the role of population age structure upon residential electricity demand: a case from Korea. *Sustainability* 2019, 11, 3914; doi:10.3390/su11143914

LEON, N. PESSANHA, J.F.M., BOSIGNOLI, D.O. (2007) A distribuição de renda na previsão de mercado de energia elétrica nas residências. XIX SNTPEE, GLP-22, Rio de Janeiro, 2007.

- LIDDLE, B. (2011) Consumption-Driven Environmental Impact and Age Structure Change in OECD Countries. *Demographic Research*, 2011, vol.24, 749-770. doi:10.4054/DemRes.2011.24.30.
- LIDDLE, B. (2004) Demographic Dynamics and Per Capita Environmental Impact: Using Panel Regressions and Household Decompositions to Examine Population and Transport. *Population and Environment*, Vol. 26, No. 1, 2004.
- LIDDLE, B. (2014) Impact of population, age structure, and urbanization on carbon emission/energy consumption: evidence from macro-level, cross-country analyses. *Population Environmental*, v.35 (3), p 286-304, 2014. <https://doi:10.1007/s11111-013-0198-4>.
- LIDDLE, B., LUNG, S. (2010) Age-structure, urbanization, and climate change in developed countries: Revisiting STIRPAT for disaggregated population and consumption-related environmental impacts. *Population Environmental*, 2010, vol. 31, 317-343. doi:10.1007/s11111-010-0101-5.
- LINS, FERNANDA ESTELITA. (2010) Demanda por energia elétrica residencial urbana no Brasil: uma análise baseada nos microdados das POFs 2002-2003 e 2008-2009. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, 2010. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFPE_33d4fcfedc1bcfd6b2881f200f0e4cf3. Acessado em abril de 2019.
- LORENZO, H. C. (2002) O setor elétrico brasileiro: passado e futuro. *Perspectivas*, São Paulo, 24-25: 147-170, 2001-2002.
- MENZ, T., WELSCH, H. (2012) Population aging and carbon emissions in OECD countries: Accounting for life-cycle and cohort effects. *Energy Economics*, 2012; 34(3):842-849. doi:10.1016/j.eneco.2011.07.016.
- MINITAB. (2010) Minitab 17 Statistical Software. State College, PA: Minitab, Inc. 2010. Disponível em: www.minitab.com
- MODIGLIANI, F. Life cycle thrift, and the wealth of nations. *The American Economic Review*, Junho, 1986 v.76, nº p.297-313. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/1813352>
- MONTGOMERY, D.C. (2013) Introduction to statistical quality control. Seventh Edition, John Wiley & Sons Inc., 2013. ISBN: 978-1-118-14681-1
- MONTGOMERY, D.C., PECK, E.A., VINING, G.G. Introduction to regression analysis. Fifth Edition, Wiley, N. Jersey, 2012. ISBN 978-0-470-54281-1

- MORISHITA, C.; GHISI, E. (2010) Assessment of the impact of energy-efficiency household appliances on the electricity consumption in the residential sector of Brazil. World Energy Congress, 2010, Montreal. Sustainable Energy, 2010, v.1. Disponível em: <http://www.worldenergy.org/documents/congresspapers/244.pdf>. Acesso em 10/04/2019.
- N. LEON, J. F. M. PESSANHA, D. O. BOSINGNOLI. (2007) A distribuição de renda na previsão de mercado de energia elétrica das residências. XIX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Rio de Janeiro, 2007.
- NICOLSON, M.L., FELL, M.J., HUEBNER, G.M. (2018) Consumer demand for time of use electricity tariffs: A systematized review of the empirical evidence. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018, vol. 97, 276-289. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.040>.
- OLIVEIRA, M.H.F.; REBELATTO, D.A.N. (2015) The evaluation of electric energy consumption in the Brazilian residential sector: A technological improvement proposal in order to increase its efficiency. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.49, p.836-844, 2019.
- O'NEIL, B.C., CHEN, B.S. (2002) Demographic determinants of household energy use in the United States. Population and Development Review, 2002, Vol.28, p.53-88.
- PEREIRA JR., A.O., PEREIRA, A.S., LA ROVERE, E.L., BARATA, M.M.L., VILLAR, S.C., PIRES, S.H. (2011) Strategies to promote renewable energy in Brazil. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, vol.15, 681-688. doi:10.1016/j.rser.2010.09.027.
- PESSANHA, J.F.M., LEON, N. (2015) Forecasting long-term electricity demand in the residential sector. Population Environmental. 2015; Volume 55, 2015, p.529-538.
- PESSANHA, J.F.M., LEON, N. (2012) Long-term forecasting of household and residential electric customers in Brazil. IEEE Latin America Transactions, 2012, vol. 10, 1537-1543. doi:10.1109/TLA.2012.6187597
- PIRES, J.C.L.; GIAMBAGI, F.; SALES, A.F. (2002) As perspectivas do setor elétrico após racionamento. Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), Textos para Discussão 97, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/td/td-97.pdf. Acessado em 04/07/2014.
- PORTALBRASIL. (2020) Índice Nacional de Preços ao Consumidor – IPCA. Disponível em: <https://www.portalbrasil.net/ipca/>. Acesso em: 04/08/2020.

- PRIMC, K. SLABE-ERKER, R. MAJCEN, B. Constructing energy poverty profiles for an effective energy policy. *Energy Policy*, 128, 2019, p. 272-734. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.01.059>
- RAMOS, C.C.O. (2014) Caracterização de perdas comerciais em sistemas de energia através de técnicas inteligentes. Tese de doutorado. Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2014.
- ROBERTS, S. Demographics, energy and our homes. *Energy Policy*, 2008, vol.36, p. 4630-4632. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.064>
- ROYSTON S., SELBY J., SHOVE E. (2018) Invisible energy policies: A new agenda for energy demand reduction. *Energy Policy* 2018; 123: 127-135. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.052>
- SANQUIST, T.F., ORR, H., SHUI, B., BITTNER, A.C. (2012) Lifestyle factors in U.S. residential electricity consumption. *Energy Policy*, 2012; 42:354-64.
- SCOPUS. (2019) Disponível em: <https://www.scopus.com/>. Acesso em:2019
- SILVA, A.S.; LUIZ, F.; MANSUR, A.C.; VIEIRA, A.S.; SCHAEFER, A.; GHISI, E. (2014) Knowing electricity end-uses to successfully promote energy efficiency in buildings: a case study in low-income houses in Southern Brazil. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, v. 02, p.7-18, 2014. <https://dx.doi.org/10.5278/ijsepm.2014.2.2>
- SIQUEIRA, M. L.; CORDEIRO JUNIOR, H. H.; CASTELAR, I. (2006) A demanda por energia elétrica no Nordeste brasileiro após racionamento de 2001-2002: previsões de longo prazo. *Pesquisa e planejamento econômico*, v.36, n. 1, o. 137-178, 2006.
- SWAN, L.G.; UGURSAL, V.I. (2009) Modeling of end-use energy consumption in residential sector: A review of modeling techniques. *Renewable and Sustainable Energy Review*, v.13, p.1819-1835, 2009.
- TONN, B., EISENBERG, J. (2006) The aging US population and residential energy demand. *Energy Policy*, 2006, 35, p.743-745. doi:10.1016/j.enpol.2005.12.011
- TSO, G.K.F, GUAN, J. (2014) A multilevel regression approach to understand effects of environment indicators and household features on residential energy consumption. *Energy*. 2014 Mar 1;66: 722-731. [https://doi: 10.1016/j.energy.2014.01.056](https://doi:10.1016/j.energy.2014.01.056)
- TURRA, C.M., QUEIROZ, B.L. (2007) Before it's too late: demographic transition, labour supply, and social security problems in Brazil. United Nations Expert Group Meeting

on Social and Economic Implications of Changing Population Age Structures. 2007. Disponível em: (<https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/egm-mex-turra.pdf>). Acesso em: Dezembro, 2018.

UNITED NATIONS. (2019) Human development indices and indicators: 2018 Statistical Update. United Nations Development Programme, NY, 2019. Disponível em: http://hdr.undp.org/sites/default/files/2018_human_development_statistical_update.pdf. Acesso em: Maio de 2019. 0.29

VILLAREAL, M.J.C.; MOREIRA, J.M.L. (2013) Household consumption of electricity in Brazil between 1985 and 2013. *Energy Policy*, 2016, vol.96, p. 251-259.

WOLFRAM, C.; SHELEF, O.; GERTLER, P. (2012) How will energy demand develop in the developing world? *Journal of Economic Perspectives*, 2012, v.26, N.1, p.119-138.

YANG, Y., ZHAO, T., WANG, Y., SHI, Z. (2015) Research on impacts of population-related factors on carbon emissions in Beijing from 1984 to 2012. *Environmental Impact Assessment Review*, 2015; 55:45-53. doi:10.1016/j.eiar.2015.06.007

ZAIDI, A. (2015) Aging and development. Professional development reading pack, N.25. Applied Knowledge Services – GSDRC. November, 2015. Disponível em: http://www.gsdr.org/wp-content/uploads/2015/11/Aging-and-Development_RP1.pdf. Acesso em: Março, 2020.

ZANON, R.R., MORETTO, A.C., RODRIGUES, R.L. (2014) Aging of Population and Changes in Consumption Patterns: Impacts on the production structure in Brazil. *Revista Brasileira de Estudos de População*, 2014, vol.30, pp.S45-S67. ISSN: 01023098; DOI: 10.1590/S0102-30982013000400004

ZHANG, C., TAN, Z. (2016) The relationships between population factors and China's carbon emissions: Does population aging matter? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016; 65:1018-1025. <https://doi:10.1016/j.rser.2016.06.083>.

Apêndice A - Dados de entrada na análise de regressão linear múltipla

Região Norte														
t	$\Delta \ln C$	$\Delta \ln Dtot$	$\Delta \ln Durb$	$\Delta \ln Drur$	$\Delta \ln$	$\Delta \ln$	$\Delta \ln$	$\Delta \ln P014$	$\Delta \ln P1534$	$\Delta \ln P3559$	$\Delta \ln P60a$	$\Delta \ln PIB$	$\Delta \ln Tar$	$\Delta \ln SM$
2001	-0,04274		0,12011		0,20997	0,13273	0,00431	0,00971	0,02653	0,03963	0,02743	0,04464	-0,02071	0,10174
2002	0,02408		0,03850		0,11479	0,00417	-0,01302	0,00986	0,02450	0,03903	0,02967	0,07703	0,00026	-0,01269
2003	0,03394		0,05617		0,08231	0,13178	-0,10342	0,00958	0,02287	0,03855	0,03147	0,06939	0,04767	0,09339
2004	0,02455		0,24978		0,25040	0,24395	0,25907	0,00850	0,02182	0,03824	0,03292	0,09432	0,08225	0,00680
2005	0,01907		0,05383		0,15353	0,02709	-0,08299	0,00694	0,02112	0,03800	0,03411	0,04779	0,04887	0,08777
2006	0,06133		0,03191		0,03315	0,04762	-0,00230	0,00546	0,02027	0,03768	0,03534	0,08891	0,01336	0,12322
2007	0,06415		0,03363		0,06415	0,00168	0,03084	0,00398	0,01934	0,03734	0,03647	0,06364	-0,03553	0,03863
2008	0,07236		0,04586		0,06343	0,03511	0,02711	0,00246	0,01839	0,03686	0,03800	0,08947	-0,06269	0,03076
2009	0,05895		0,04385		0,05965	0,03392	0,02640	0,00095	0,01741	0,03621	0,04012	0,01130	0,01207	0,07155
2010	0,10312		0,04201		0,05629	0,03281	0,02572	-0,00050	0,01635	0,03548	0,04238	0,18074	-0,08662	0,03497
2011	0,04485		0,04031		0,05329	0,03177	0,02507	-0,00181	0,01529	0,03474	0,04426	0,08873	0,02012	0,00337
2012	0,08802		0,04363		0,05235	0,06833	-0,03321	-0,00293	0,01427	0,03394	0,04586	0,01556	0,03200	0,07541
2013	0,09322		0,03983		0,05338	0,02374	0,03816	-0,00389	0,01298	0,03346	0,04691	0,06362	-0,21097	0,02878
2014	0,13220		0,04314		0,01460	0,08577	0,02488	-0,00462	0,01129	0,03346	0,04731	-0,01002	0,04053	0,00354
2015	0,06833		0,03276		0,14559	-0,06518	-0,08634	-0,00493	0,00919	0,03362	0,04730	-0,06129	0,09442	-0,01670
2016	0,04343		0,06574		0,01144	-0,02903	-0,08274	-0,00840	0,00964	0,03359	0,04732	-0,01074	0,05030	0,04944
2017	0,00264		0,06574		0,05148	0,01517	-0,04269	-0,00941	0,00804	0,03356	0,04727	0,03762	0,05088	0,03371
2018	-0,01246		0,06574		0,05482	0,02010	-0,06318	-0,01031	0,00689	0,03285	0,04713	0,00415	0,10215	-0,01879

Região Nordeste														
t	$\Delta \ln C$	$\Delta \ln Dtot$	$\Delta \ln Durb$	$\Delta \ln Drur$	$\Delta \ln$	$\Delta \ln$	$\Delta \ln$	$\Delta \ln P014$	$\Delta \ln P1534$	$\Delta \ln P3559$	$\Delta \ln P60a$	$\Delta \ln PIB$	$\Delta \ln Tar$	$\Delta \ln SM$
2001	-0,13230	0,05617	0,08384	-0,04367	0,12159	0,02439	-0,06267	-0,00643	0,01900	0,02909	0,01772	0,01348	0,04544	0,10174
2002	-0,00322	0,03313	0,02842	0,05104	0,03984	0,04252	-0,00502	-0,00604	0,01696	0,02904	0,01808	0,07915	-0,05155	-0,01269
2003	0,08745	0,04336	0,03814	0,06276	0,10253	0,00921	-0,08670	-0,00563	0,01506	0,02863	0,01894	0,03577	0,01472	0,09339
2004	0,04595	0,03673	0,03584	0,04001	0,02215	0,05000	0,06151	-0,00538	0,01341	0,02775	0,02064	0,05624	0,05140	0,00680
2005	0,08216	0,02667	0,01505	0,06800	0,05814	0,00548	-0,04561	-0,00529	0,01190	0,02668	0,02043	0,07184	0,06898	0,08777
2006	0,03643	0,04518	0,04111	0,05914	0,06264	0,03503	-0,12649	-0,00531	0,01042	0,02572	0,02698	0,07246	0,04763	0,12322
2007	0,05994	0,05652	0,04721	0,08757	0,04789	0,07789	0,16576	-0,00550	0,00910	0,02472	0,02656	0,06788	-0,00961	0,03863
2008	0,10671	0,05112	0,04483	0,07141	0,04368	0,06771	0,04230	-0,00580	0,00758	0,02429	0,02799	0,07622	-0,07405	0,03076
2009	0,08602	0,02842	0,02457	0,04059	0,04441	0,00833	0,00870	-0,00624	0,00576	0,02465	0,02880	0,05417	-0,02569	0,07155
2010	0,06899	0,02740	0,02880	0,02301	0,03401	0,03132	-0,01241	-0,00686	0,00381	0,02545	0,02925	0,12015	-0,04414	0,03497
2011	0,04454	0,02667	0,02799	0,02249	0,03289	0,03037	-0,01256	-0,00775	0,00224	0,02590	0,02974	0,04675	-0,00050	0,00337
2012	0,05934	0,03621	0,03082	0,05308	0,03412	0,03972	0,02373	-0,00893	0,00113	0,02601	0,03020	0,05604	0,01621	0,07541
2013	0,11541	0,03494	0,02990	0,05040	0,03595	0,04109	0,02624	-0,01034	0,00002	0,02636	0,03069	0,04641	-0,23702	0,02878
2014	0,06192	0,02949	0,03170	0,02275	0,00909	0,05711	0,05117	-0,01197	-0,00123	0,02698	0,03126	0,04334	-0,01138	0,00354
2015	0,02202	0,01688	0,00595	0,04963	0,07123	-0,04380	-0,08857	-0,01351	-0,00264	0,02761	0,03186	-0,04881	0,13658	-0,01670
2016	0,03011	0,03535	0,02234	0,07257	0,04606	0,02642	0,00092	-0,01521	-0,00374	0,02785	0,03237	-0,00428	0,02280	0,04944
2017	0,00524	0,03535	0,02234	0,07078	0,04606	0,02584	0,00057	-0,01582	-0,00556	0,02793	0,03278	0,02747	-0,00159	0,03371
2018	0,02178	0,03535	0,02234	0,06913	0,04606	0,02512	0,00057	-0,01630	-0,00675	0,02714	0,03333	0,00415	0,13532	-0,01879

Região Centro-Oeste														
t	$\Delta \ln C$	$\Delta \ln Dtot$	$\Delta \ln Durb$	$\Delta \ln Drur$	$\Delta \ln$	$\Delta \ln$	$\Delta \ln$	$\Delta \ln P014$	$\Delta \ln P1534$	$\Delta \ln P3559$	$\Delta \ln P60a$	$\Delta \ln PIB$	$\Delta \ln Tar$	$\Delta \ln SM$
2001	-0,13675	0,04563	0,05956	-0,05185	0,11141	0,04625	-0,00567	0,00551	0,01662	0,03927	0,03925	0,04592	0,05767	0,10174
2002	0,01601	0,04364	0,05621	-0,05469	0,10034	0,04420	-0,00580	0,00562	0,01523	0,03854	0,03957	0,28908	-0,00947	-0,01269
2003	0,04921	0,04521	0,03508	0,12529	0,12407	0,06928	-0,06168	0,00529	0,01428	0,03765	0,04031	0,07736	0,05779	0,09339
2004	0,04831	0,03127	0,02862	0,05104	-0,04715	0,07319	0,05957	0,00418	0,01397	0,03656	0,04172	0,07072	0,09198	0,00680
2005	0,04656	0,03418	0,02518	0,09829	0,15836	-0,01792	-0,03337	0,00261	0,01407	0,03539	0,04336	0,01754	0,02489	0,08777
2006	0,05024	0,03252	0,03335	0,02678	0,02904	0,05569	0,00600	0,00132	0,01395	0,03429	0,04484	0,05036	0,00152	0,12322
2007	0,05196	0,05070	0,05216	0,04053	0,03046	0,06750	0,05208	0,00021	0,01370	0,03321	0,04621	0,09081	-0,04421	0,03863
2008	0,03619	0,02602	0,03131	-0,01181	-0,00176	0,03861	0,04107	-0,00086	0,01332	0,03232	0,04740	0,11151	-0,12887	0,03076
2009	0,06550	0,02674	0,02541	0,03641	0,05437	0,04230	-0,02833	-0,00185	0,01273	0,03167	0,04841	0,06428	-0,02506	0,07155
2010	0,07929	0,04167	0,05970	-0,09923	-0,00320	0,05622	0,07394	-0,00270	0,01199	0,03116	0,04923	0,07516	-0,03091	0,03497
2011	0,03810	0,04001	0,05633	-0,11018	-0,00332	0,05326	0,06892	-0,00340	0,01099	0,03052	0,04992	0,05724	0,02034	0,00337
2012	0,07644	0,02654	0,01766	0,11131	0,04721	0,02487	0,00641	-0,00390	0,00969	0,02982	0,05046	0,04844	0,00418	0,07541
2013	0,07326	0,03138	0,02622	0,07721	0,03355	0,02842	0,03327	-0,00415	0,00830	0,02911	0,05070	0,03097	-0,18568	0,02878
2014	0,07679	0,02896	0,03183	0,00380	-0,05322	0,06771	0,05913	-0,00411	0,00681	0,02837	0,05070	0,04889	-0,02450	0,00354
2015	0,01611	0,01672	0,01278	0,05121	0,12110	-0,03273	-0,02303	-0,00361	0,00510	0,02759	0,05048	-0,03525	0,25758	-0,01670
2016	0,01028	0,02475	0,02361	0,03448	0,03581	0,02042	0,01819	-0,00782	0,00641	0,02693	0,05020	0,02672	-0,01083	0,04944
2017	0,02926	0,02475	0,02361	0,03438	0,03581	0,02042	0,01798	-0,00761	0,00471	0,02642	0,04978	-0,00417	-0,05139	0,03371
2018	0,03182	0,02475	0,02361	0,03427	0,03581	0,02042	0,01776	-0,00741	0,00340	0,02551	0,04944	0,00415	0,10345	-0,01879

Região Sudeste														
t	$\Delta \ln C$	$\Delta \ln Dtot$	$\Delta \ln Durb$	$\Delta \ln Drur$	$\Delta \ln$	$\Delta \ln$	$\Delta \ln$	$\Delta \ln P014$	$\Delta \ln P1534$	$\Delta \ln P3559$	$\Delta \ln P60a$	$\Delta \ln PIB$	$\Delta \ln Tar$	$\Delta \ln SM$
2001	-0,16158	0,03363	0,03369	0,03282	0,12402	0,06316	-0,02890	-0,00232	0,00846	0,02782	0,02740	-0,00073	0,04904	0,10174
2002	-0,02714	0,05156	0,05299	0,03282	0,17098	0,09338	-0,04793	-0,00222	0,00736	0,02689	0,02752	0,08352	0,06850	-0,01269
2003	0,04578	0,02783	0,02720	0,03614	0,05143	0,06231	-0,01965	-0,00243	0,00645	0,02581	0,02837	0,03456	0,07651	0,09339
2004	0,02944	0,02708	0,02802	0,01455	0,04912	0,05895	-0,02049	-0,00323	0,00588	0,02456	0,03025	0,06106	0,04024	0,00680
2005	0,05652	0,02651	0,02554	0,03935	0,10544	0,01776	-0,02163	-0,00441	0,00552	0,02326	0,03261	0,05784	0,00207	0,08777
2006	0,02980	0,03271	0,03238	0,03707	0,05228	0,06542	-0,02134	-0,00542	0,00505	0,02200	0,03471	0,07204	-0,02656	0,12322
2007	0,05511	0,00492	0,00342	0,02423	-0,00359	0,01794	-0,00403	-0,00633	0,00454	0,02073	0,03669	0,06587	-0,05201	0,03863
2008	0,03877	0,02852	0,02824	0,03215	0,01286	0,04055	0,02646	-0,00732	0,00392	0,01974	0,03829	0,06619	-0,13918	0,03076
2009	0,05709	0,01628	0,01653	0,01305	0,07368	0,03634	-0,06121	-0,00836	0,00311	0,01912	0,03943	0,01135	0,01119	0,07155
2010	0,03916	0,02242	0,02801	-0,05201	0,01159	0,03131	0,02017	-0,00944	0,00222	0,01872	0,04023	0,13901	-0,03161	0,03497
2011	0,04600	0,02193	0,02724	-0,05492	0,01123	0,03053	0,01972	-0,01049	0,00138	0,01830	0,04098	0,05556	-0,03074	0,00337
2012	0,03714	0,02184	0,02036	0,04401	0,06703	0,00365	0,00436	-0,01151	0,00057	0,01787	0,04161	0,03558	-0,00645	0,07541
2013	0,03596	0,03217	0,03015	0,06138	0,02187	0,05466	0,00965	-0,01256	-0,00020	0,01740	0,04203	0,03328	-0,20277	0,02878
2014	0,03704	0,02742	0,02909	0,00317	0,01342	0,02450	0,04554	-0,01363	-0,00088	0,01689	0,04226	0,01173	0,00178	0,00354
2015	-0,02245	0,01185	0,01096	0,02488	0,10406	0,00329	-0,07310	-0,01460	-0,00151	0,01631	0,04231	-0,08144	0,26191	-0,01670
2016	0,00029	0,02282	0,02209	0,03336	0,04038	0,02333	0,00123	-0,01459	-0,00279	0,01583	0,04222	-0,03258	0,00309	0,04944
2017	0,00123	0,00367	0,00155	0,03336	0,04300	-0,02529	0,00123	-0,01414	-0,00445	0,01549	0,04200	0,01630	-0,07738	0,03371
2018	0,00929	0,02468	0,02405	0,03336	0,04300	0,02463	0,00123	-0,01372	-0,00567	0,01476	0,04156	0,00415	0,09494	-0,01879

Região Sul														
Ano	$\Delta \ln C$	$\Delta \ln Dt_{tot}$	$\Delta \ln Durb$	$\Delta \ln Drur$	$\Delta \ln$	$\Delta \ln$	$\Delta \ln$	$\Delta \ln P014$	$\Delta \ln P1534$	$\Delta \ln P3559$	$\Delta \ln P60a$	$\Delta \ln PIB$	$\Delta \ln Tar$	$\Delta \ln SM$
2001	-0,02556	0,03388	0,04616	-0,13651	0,06763	0,05340	-0,04385	-0,00500	0,00706	0,02831	0,03038	0,02373	0,07563	0,10174
2002	-0,00031	0,03277	0,04413	0,21234	0,09009	0,07938	0,04754	-0,00525	0,00634	0,02686	0,03114	0,03879	0,02713	-0,01269
2003	0,01712	0,02719	0,03185	0,01573	0,02454	0,08427	-0,02746	-0,00578	0,00598	0,02528	0,03224	0,09775	0,01302	0,09339
2004	0,01922	0,02329	0,02575	0,02300	-0,00590	0,00098	0,07234	-0,00692	0,00618	0,02353	0,03385	0,04215	0,08045	0,00680
2005	0,05116	0,02172	0,02463	0,01613	0,13553	0,02844	-0,05909	-0,00842	0,00668	0,02175	0,03567	-0,00184	-0,00374	0,08777
2006	0,01149	0,02061	0,02412	0,01682	0,06244	0,03074	-0,01725	-0,00964	0,00702	0,02002	0,03731	0,05090	-0,02811	0,12322
2007	0,06299	0,02339	0,02423	0,03056	-0,00732	0,06174	0,00562	-0,01069	0,00728	0,01830	0,03884	0,09219	-0,08969	0,03863
2008	0,03094	0,02683	0,02618	0,02738	0,02734	0,02973	0,02435	-0,01163	0,00725	0,01691	0,04009	0,06817	-0,06283	0,03076
2009	0,05660	0,00722	0,01171	-0,00022	0,00891	0,02475	-0,01242	-0,01243	0,00680	0,01597	0,04102	0,02261	-0,02147	0,07155
2010	0,04583	0,01354	0,02372	-0,03648	0,00939	0,02029	0,01058	-0,01304	0,00601	0,01536	0,04169	0,08910	-0,00555	0,03497
2011	0,03552	0,01336	0,02317	-0,03786	0,00931	0,01988	0,01047	-0,01342	0,00521	0,01478	0,04229	0,05269	-0,00050	0,00337
2012	0,05214	0,02489	0,02399	0,03544	0,08118	0,04075	-0,04466	-0,01357	0,00429	0,01416	0,04278	0,03743	-0,02251	0,07541
2013	0,05361	0,04366	0,04637	0,02584	0,02348	0,03337	0,07630	-0,01347	0,00288	0,01377	0,04297	0,08294	-0,23708	0,02878
2014	0,07852	0,03043	0,03269	0,01861	-0,00304	0,02884	0,06219	-0,01303	0,00094	0,01378	0,04288	0,01248	0,04101	0,00354
2015	-0,04680	0,01386	0,01537	0,00498	0,11823	-0,00227	-0,05724	-0,01213	-0,00142	0,01398	0,04260	-0,04049	0,31471	-0,01670
2016	0,01776	0,00104	0,00147	0,00013	-0,04368	0,02517	0,00914	-0,01459	-0,00150	0,01422	0,04225	-0,00416	-0,05118	0,04944
2017	0,02218	0,01038	0,01196	0,00091	-0,02335	0,01998	0,02708	-0,01369	-0,00382	0,01460	0,04173	0,00833	-0,10709	0,03371
2018	0,02979	0,01928	0,02146	0,00137	0,04550	0,01329	0,00247	-0,01292	-0,00560	0,01429	0,04132	0,00415	0,12239	-0,01879

Apêndice B - Resultado da matriz de correlação de Pearson e p -valor (probabilidade da correlação) entre os pares de variáveis de entrada ao modelo

Matriz B1 - Correlação de Pearson: região Norte

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

	$\Delta \ln C$	$\Delta \ln Durb$	$\Delta \ln D02sm$	$\Delta \ln D25sm$	$\Delta \ln Da5sm$	$\Delta \ln P014$	$\Delta \ln P1534$	$\Delta \ln P3559$	$\Delta \ln P60a$	$\Delta \ln PIB$	$\Delta \ln Tar$
$\Delta \ln Durb$	-0,417 0,085										
$\Delta \ln D02sm$	-0,521 0,027	0,731 0,001									
$\Delta \ln D25sm$	-0,192 0,446	0,785 0,000	0,532 0,023								
$\Delta \ln Da5sm$	0,124 0,623	0,692 0,001	0,406 0,095	0,635 0,005							
$\Delta \ln P014$	-0,235 0,348	0,304 0,220	0,592 0,010	0,525 0,025	0,291 0,242						
$\Delta \ln P1534$	-0,264 0,289	0,281 0,258	0,546 0,019	0,516 0,028	0,292 0,240	0,983 0,000					
$\Delta \ln P3559$	-0,389 0,111	0,321 0,193	0,586 0,011	0,476 0,046	0,240 0,338	0,971 0,000	0,970 0,000				
$\Delta \ln P60a$	0,452 0,060	-0,349 0,156	-0,612 0,007	-0,501 0,034	-0,219 0,383	-0,962 0,000	-0,961 0,000	-0,992 0,000			
$\Delta \ln PIB$	0,063 0,804	0,140 0,579	0,076 0,766	0,333 0,177	0,432 0,073	0,468 0,050	0,514 0,029	0,462 0,054	-0,425 0,078		
$\Delta \ln Tar$	-0,376 0,124	0,270 0,278	0,207 0,409	0,103 0,685	-0,199 0,427	-0,103 0,684	-0,185 0,463	-0,046 0,855	0,025 0,923	-0,496 0,036	
$\Delta \ln SM$	-0,132 0,600	-0,063 0,804	-0,004 0,989	0,238 0,342	-0,205 0,414	0,426 0,178	0,477 0,045	0,457 0,057	-0,431 0,074	0,166 0,510	-0,121 0,632

Matriz B2 – Correlação de Pearson: região Nordeste

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

	Δln C	Δln Dtot	Δln Durb	Δln Drur	Δln D02sm	Δln D25sm	Δln Da5sm	Δln P014	Δln P1534	Δln P3559	Δln P60a	Δln PIB	Δln Tar
Δln Dtot	-0,252 0,312												
Δln Durb	-0,498 0,036	0,842 0,000											
Δln Drur	0,596 0,009	-0,015 0,954	-0,547 0,019										
Δln D02sm	-0,514 0,029	0,405 0,096	0,483 0,042	-0,293 0,237									
Δln D25sm	0,166 0,511	0,602 0,008	0,460 0,055	0,113 0,655	-0,448 0,062								
Δln Da5sm	0,279 0,263	0,249 0,318	0,075 0,766	0,257 0,303	-0,585 0,011	0,714 0,001							
Δln P014	0,150 0,551	0,357 0,145	0,454 0,058	-0,189 0,452	0,182 0,469	0,277 0,266	0,006 0,980						
Δln P1534	-0,227 0,365	0,469 0,049	0,598 0,009	-0,309 0,211	0,463 0,053	0,163 0,519	-0,146 0,563	0,867 0,000					
Δln P3559	-0,621 0,006	-0,063 0,804	0,083 0,743	-0,289 0,245	0,420 0,083	-0,344 0,163	-0,387 0,112	0,275 0,269	0,194 0,441				
Δln P60a	0,290 0,242	-0,361 0,141	-0,494 0,037	0,298 0,230	-0,492 0,038	-0,050 0,844	0,186 0,459	-0,729 0,001	-0,956 0,000	-0,418 0,084			
Δln PIB	0,381 0,118	0,189 0,454	0,182 0,469	0,038 0,881	-0,351 0,154	0,585 0,011	0,265 0,288	0,678 0,002	0,420 0,082	-0,474 0,047	-0,293 0,238		
Δln Tar	-0,422 0,081	-0,144 0,569	-0,142 0,573	-0,001 0,997	0,304 0,221	-0,477 0,045	-0,348 0,157	-0,214 0,394	-0,046 0,855	0,286 0,251	-0,042 0,868	-0,474 0,047	
Δln SM	-0,065 0,798	0,440 0,670	0,443 0,065	-0,115 0,649	0,550 0,018	-0,049 0,847	-0,393 0,107	0,454 0,058	0,448 0,062	-0,092 -0,717	-0,357 0,146	0,226 0,368	0,002 0,995

Matriz B3 – Correlação de Pearson: região Centro-Oeste

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

	$\Delta \ln C$	$\Delta \ln Dtot$	$\Delta \ln Durb$	$\Delta \ln Drur$	$\Delta \ln D02sm$	$\Delta \ln D25sm$	$\Delta \ln Da5sm$	$\Delta \ln P014$	$\Delta \ln P1534$	$\Delta \ln P3559$	$\Delta \ln P60a$	$\Delta \ln PIB$	$\Delta \ln Tar$
$\Delta \ln Dtot$	-0,212 0,399												
$\Delta \ln Durb$	-0,325 0,188	0,860 0,000											
$\Delta \ln Drur$	0,292 0,239	-0,315 0,202	-0,752 0,000										
$\Delta \ln D02sm$	-0,403 0,098	0,144 0,569	-0,071 0,778	0,330 0,182									
$\Delta \ln D25sm$	0,116 0,648	0,595 0,009	0,569 0,014	-0,293 0,238	-0,564 0,015								
$\Delta \ln Da5sm$	0,241 0,336	0,078 0,759	0,343 0,163	-0,548 0,018	-0,865 0,000	0,423 0,081							
$\Delta \ln P014$	-0,319 0,197	0,643 0,004	0,457 0,056	-0,014 0,956	0,373 0,128	0,353 0,151	-0,333 0,177						
$\Delta \ln P1534$	-0,232 0,355	0,711 0,001	0,588 0,010	-0,169 0,503	0,215 0,391	0,461 0,054	-0,151 0,550	0,895 0,000					
$\Delta \ln P3559$	-0,362 0,140	0,697 0,001	0,530 0,020	-0,078 0,760	0,351 0,153	0,400 0,100	-0,297 0,231	0,985 0,000	0,938 0,000				
$\Delta \ln P60a$	0,480 0,044	-0,615 0,007	-0,432 0,074	0,000 0,999	-0,433 0,073	-0,310 0,210	0,401 0,099	-0,933 0,000	-0,789 0,000	-0,939 0,000			
$\Delta \ln PIB$	0,006 0,982	0,529 0,024	0,565 0,015	-0,359 0,143	-0,006 0,982	0,456 0,057	0,048 0,850	0,550 0,018	0,582 0,011	0,584 0,011	-0,523 0,026		
$\Delta \ln Tar$	-0,299 0,229	-0,189 0,454	-0,185 0,463	0,092 0,715	0,351 0,153	-0,335 0,174	-0,349 0,155	0,132 0,601	-0,151 0,551	0,038 0,881	-0,175 0,487	-0,293 0,237	
$\Delta \ln SM$	-0,178 0,479	0,263 0,291	0,028 0,912	0,310 0,211	0,356 0,147	0,116 0,646	-0,455 0,058	0,362 0,140	0,512 0,030	0,430 0,075	-0,351 0,153	-0,130 0,606	-0,176 0,485

Matriz B4 – Correlação de Pearson: região Sudeste

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

	Δln C	Δln Dtot	Δln Durb	Δln Drur	Δln D02sm	Δln D25sm	Δln Da5sm	Δln P014	Δln P1534	Δln P3559	Δln P60a	Δln PIB	Δln Tar
Δln Dtot	-0,273 0,273												
Δln Durb	-0,243 0,332	0,983 0,000											
Δln Drur	-0,187 0,458	0,160 0,527	-0,023 0,927										
Δln D02sm	-0,571 0,013	0,476 0,046	0,419 0,084	0,345 0,161									
Δln D25sm	-0,224 0,372	0,846 0,000	0,841 0,000	0,082 0,746	0,342 0,164								
Δln Da5sm	0,311 0,209	-0,042 0,870	0,010 0,970	-0,284 0,253	-0,745 0,000	-0,217 0,388							
Δln P014	-0,166 0,509	0,494 0,037	0,484 0,042	0,083 0,744	0,410 0,091	0,707 0,001	-0,331 0,180						
Δln P1534	-0,171 0,498	0,487 0,040	0,490 0,039	0,013 0,958	0,387 0,113	0,700 0,001	-0,318 0,199	0,954 0,000					
Δln P3559	-0,349 0,156	0,569 0,014	0,552 0,018	0,128 0,612	0,537 0,021	0,734 0,001	-0,376 0,125	0,966 0,000	0,941 0,000				
Δln P60a	0,364 0,137	-0,554 0,223	-0,524 0,125	-0,195 0,135	-0,563 0,400	-0,711 0,138	0,407 0,154	-0,948 0,000	-0,869 0,000	-0,979 0,000			
Δln PIB	0,367 0,134	0,302 0,223	0,375 0,125	-0,366 0,135	-0,211 0,400	0,364 0,138	0,350 0,154	0,499 0,035	0,472 0,048	0,363 0,139	-0,307 0,215		
Δln Tar	-0,342 0,000	-0,140 0,956	-0,005 0,984	-0,048 0,851	0,546 0,019	-0,010 0,968	-0,633 0,005	0,041 0,871	0,002 0,994	0,135 0,593	-0,209 0,405	-0,499 0,035	
Δln SM	-0,063 0,803	0,047 0,852	-0,005 0,896	0,282 0,257	0,100 0,692	0,143 0,570	-0,125 0,620	0,436 0,071	0,464 0,053	0,406 0,095	-0,356 0,147	0,139 0,582	-0,207 0,410

Matriz B5 – Correlação de Pearson: região Sul

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

	Δln C	Δln Dtot	Δln Durb	Δln Drur	Δln D02sm	Δln D25sm	Δln Da5sm	Δln P014	Δln P1534	Δln P3559	Δln P60a	Δln PIB	Δln Tar
Δln Dtot	0,067 0,792												
Δln Durb	-0,040 0,874	0,930 0,000											
Δln Drur	0,095 0,708	0,214 0,395	0,147 0,561										
Δln D02sm	-0,384 0,116	0,310 0,210	0,326 0,187	0,183 0,467									
Δln D25sm	0,034 0,892	0,474 0,047	0,528 0,024	0,344 0,162	0,097 0,702								
Δln Da5sm	0,346 0,159	0,286 0,250	0,250 0,317	0,358 0,145	-0,591 0,010	-0,072 0,776							
Δln P014	-0,422 0,081	0,460 0,055	0,570 0,014	0,163 0,519	0,389 0,110	0,560 0,016	-0,136 0,590						
Δln P1534	0,138 0,585	0,330 0,181	0,418 0,084	0,056 0,825	0,181 0,473	0,444 0,065	-0,092 0,716	0,544 0,020					
Δln P3559	-0,404 0,096	0,406 0,094	0,541 0,021	0,118 0,640	0,317 0,199	0,594 0,009	-0,134 0,595	0,984 0,000	0,567 0,014				
Δln P60a	0,411 0,091	-0,394 0,106	-0,519 0,027	-0,137 0,587	-0,310 0,211	-0,583 0,011	0,124 0,624	-0,985 0,000	-0,519 0,027	-0,997 0,000			
Δln PIB	0,379 0,120	0,402 0,099	0,421 0,082	0,074 0,771	-0,315 0,203	0,510 0,031	0,308 0,213	0,177 0,483	0,590 0,010	0,210 0,425	-0,182 0,471		
Δln Tar	-0,606 0,008	-0,204 0,417	-0,134 0,595	-0,102 0,688	0,453 0,059	-0,297 0,232	-0,417 0,085	0,237 0,344	-0,224 0,370	0,143 0,572	-0,159 0,582	-0,576 0,012	
Δln SM	0,039 0,879	0,023 0,929	0,028 0,912	-0,350 0,155	0,134 0,597	0,351 0,153	-0,521 0,027	0,286 0,249	0,484 0,042	0,357 0,146	-0,331 0,179	0,224 0,372	-0,313 0,206

Apêndice C - Resultados de saída do *software* MINITAB para a análise gráfica dos resíduos aos modelos selecionados por região geográfica.

Figura C1 - Plotagem dos resíduos dos modelos de regressão, região Nordeste: (a) II; (b) III; (c) IV; (d) V.

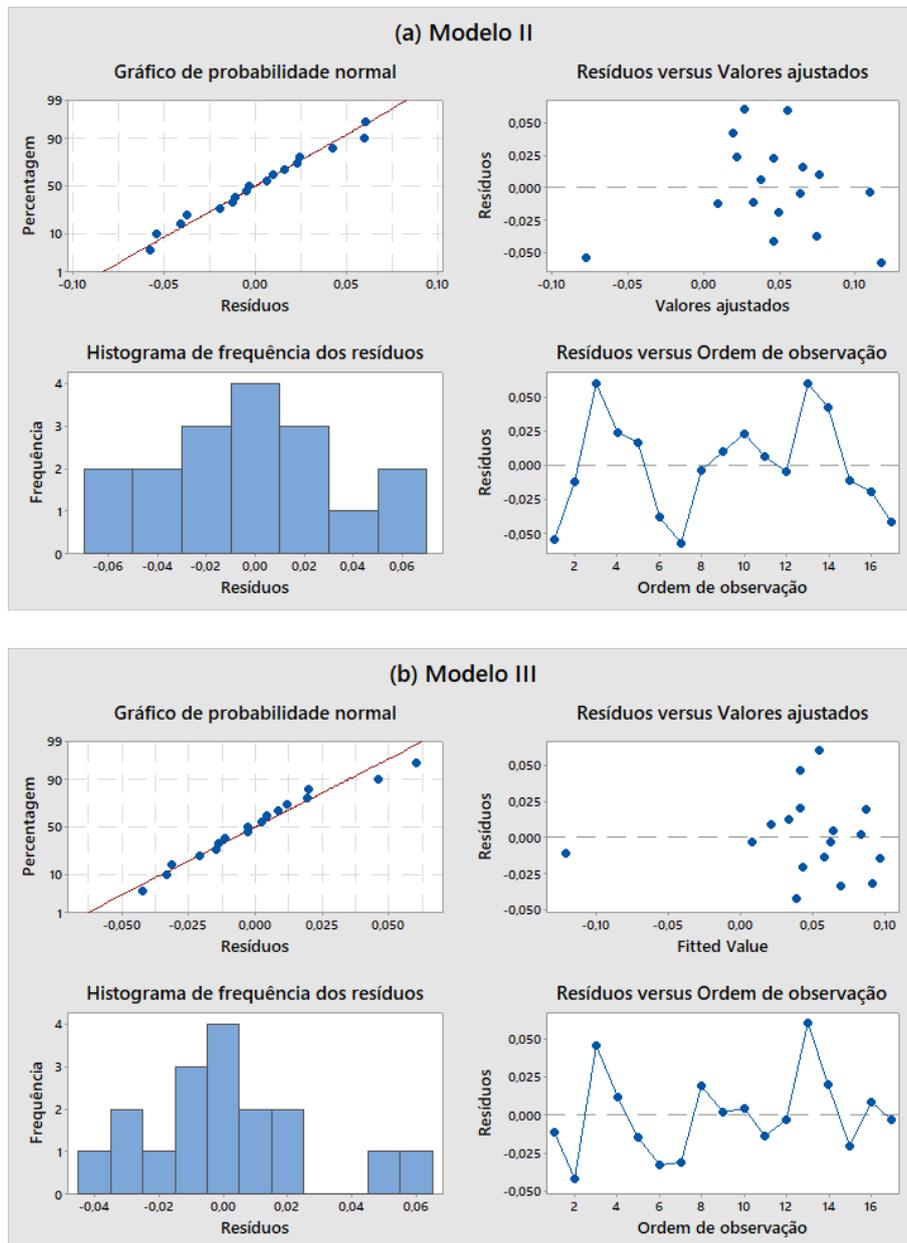


Figura C1 - Plotagem dos resíduos dos modelos de regressão, região Nordeste: (a) II; (b) III; (c) IV; (d) V (continuação).

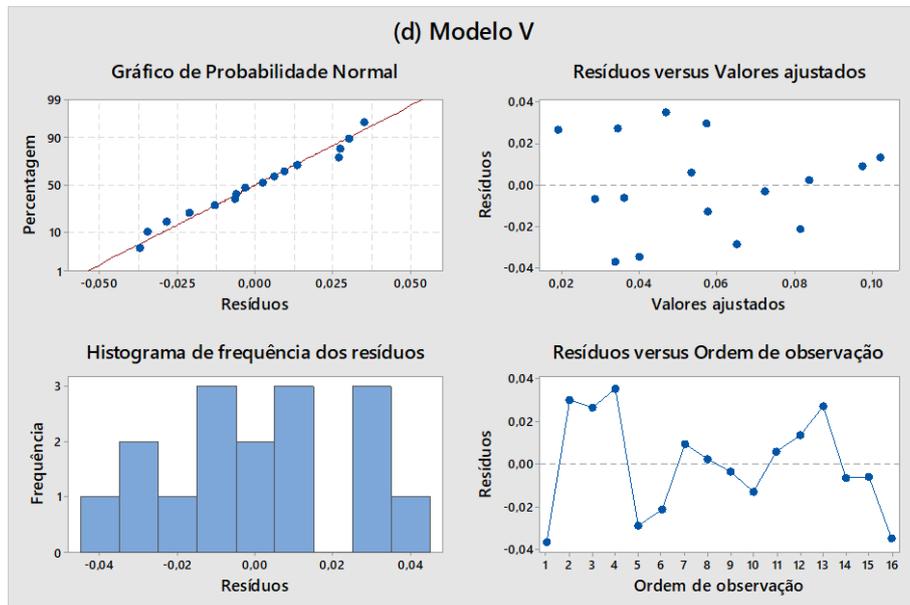
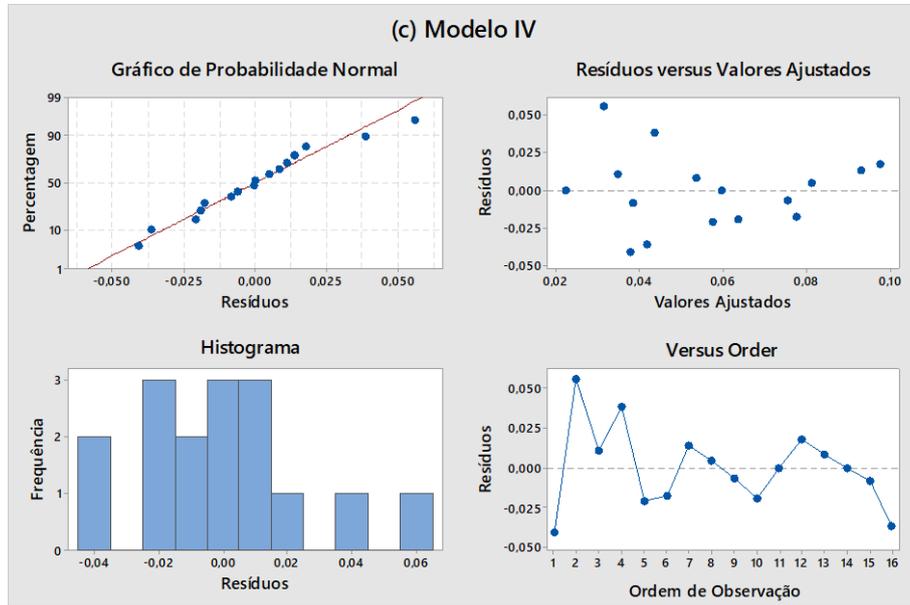


Figura C2 - Plotagem dos resíduos dos modelos de regressão, região Centro-Oeste: (a) II; (b) III; (c) IV; (d) V.

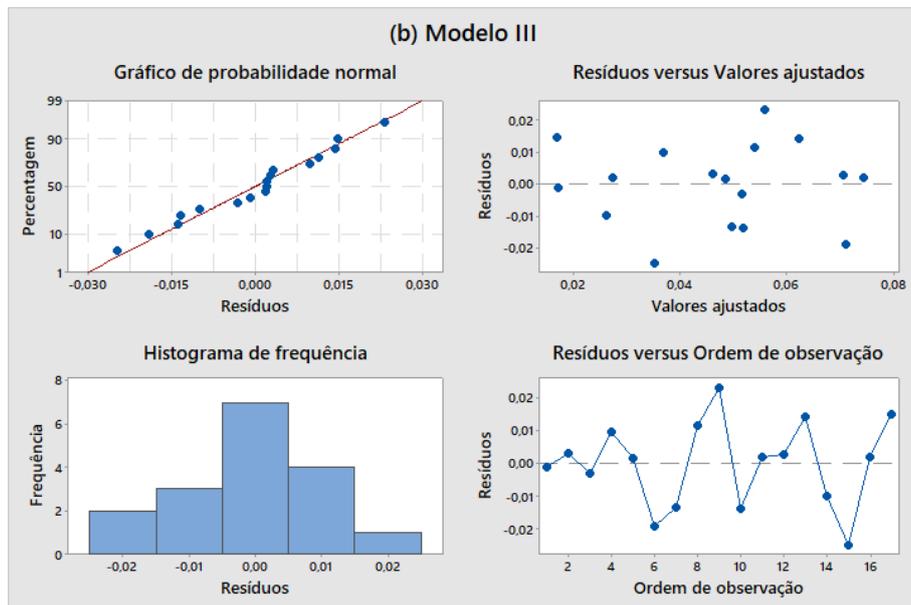
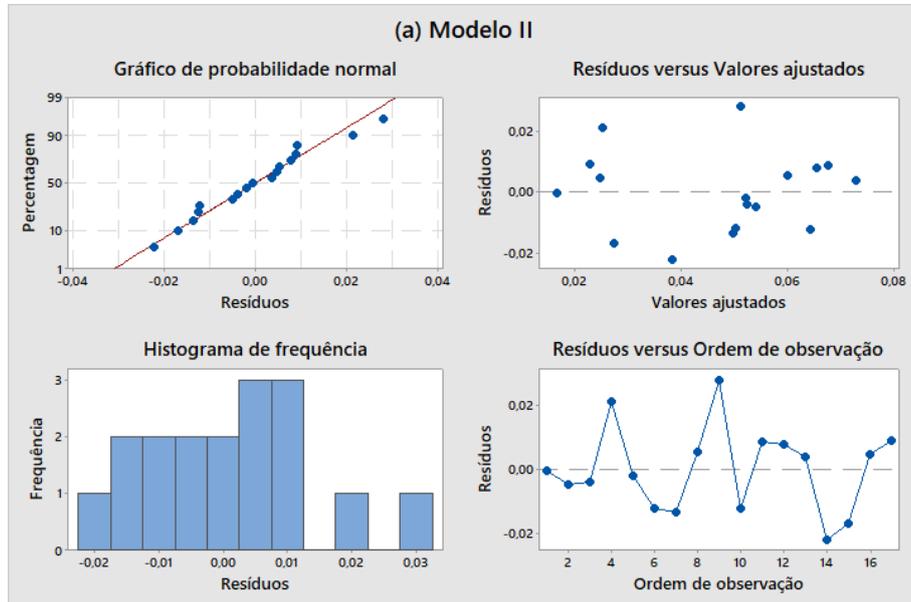


Figura C2 - Plotagem dos resíduos dos modelos de regressão, região Centro-Oeste: (a) II; (b) III; (c) IV; (d) V (continuação).

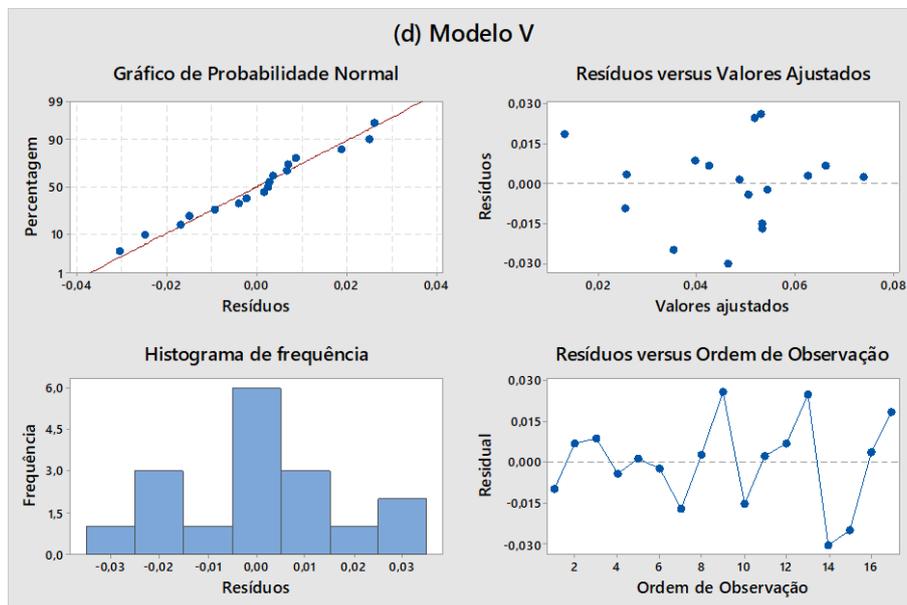
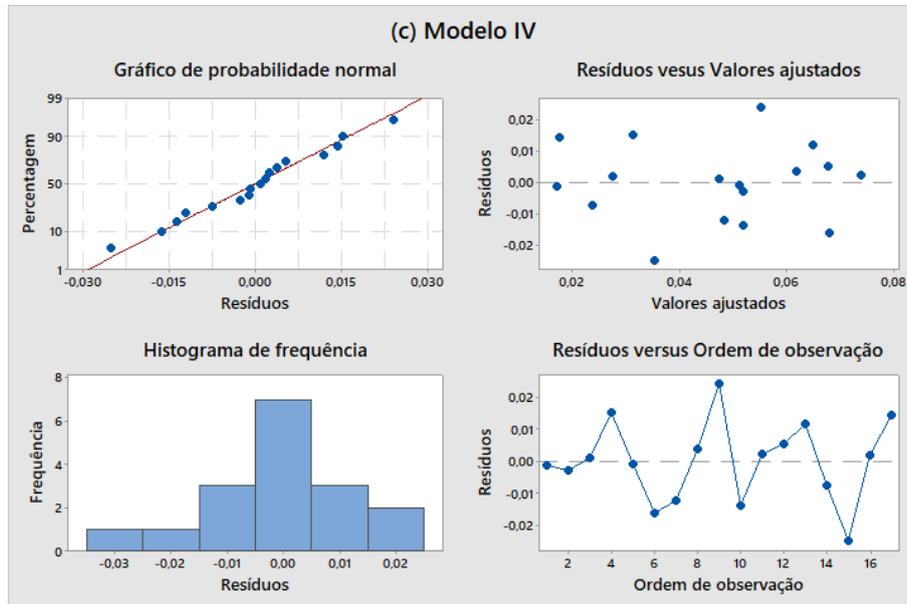


Figura C3 - Plotagem dos resíduos dos modelos de regressão, região Sudeste: (a) I; (b) II; (c) III.

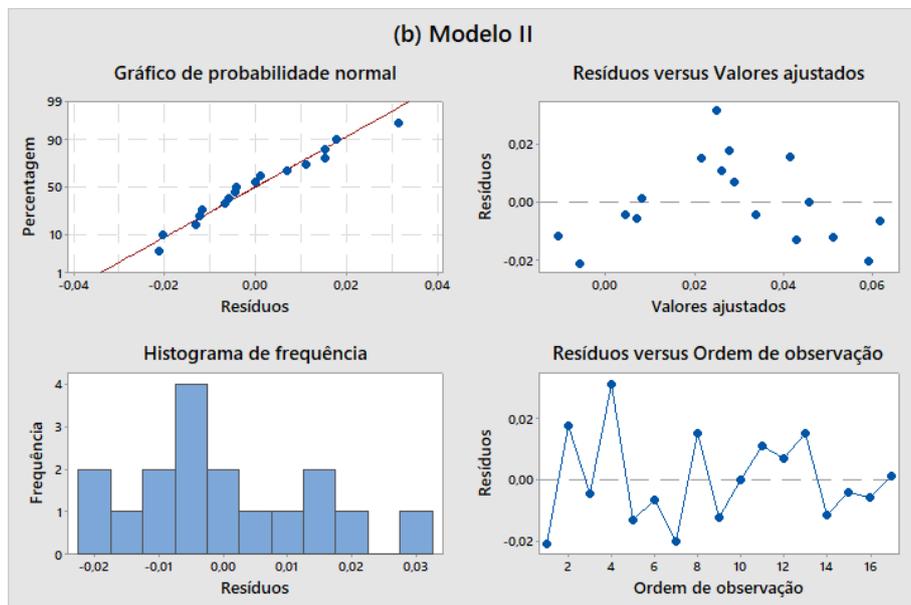
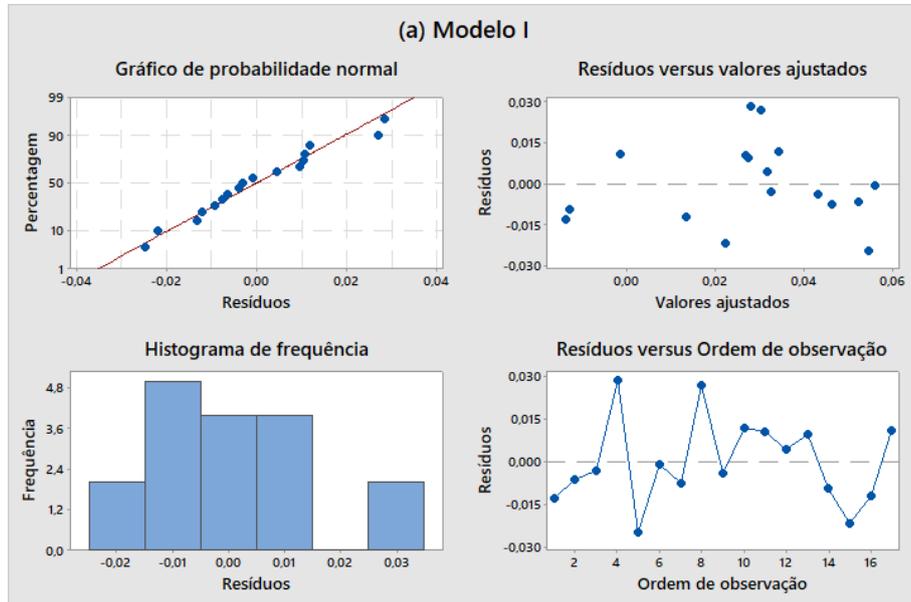


Figura C3 - Plotagem dos resíduos dos modelos de regressão, região Sudeste: (a) I; (b) II; (c) III (continuação).

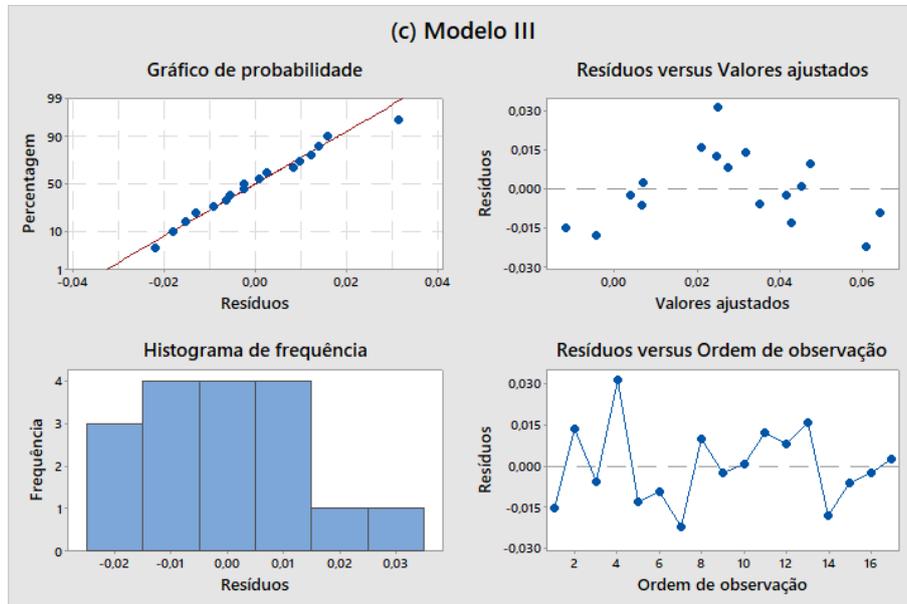
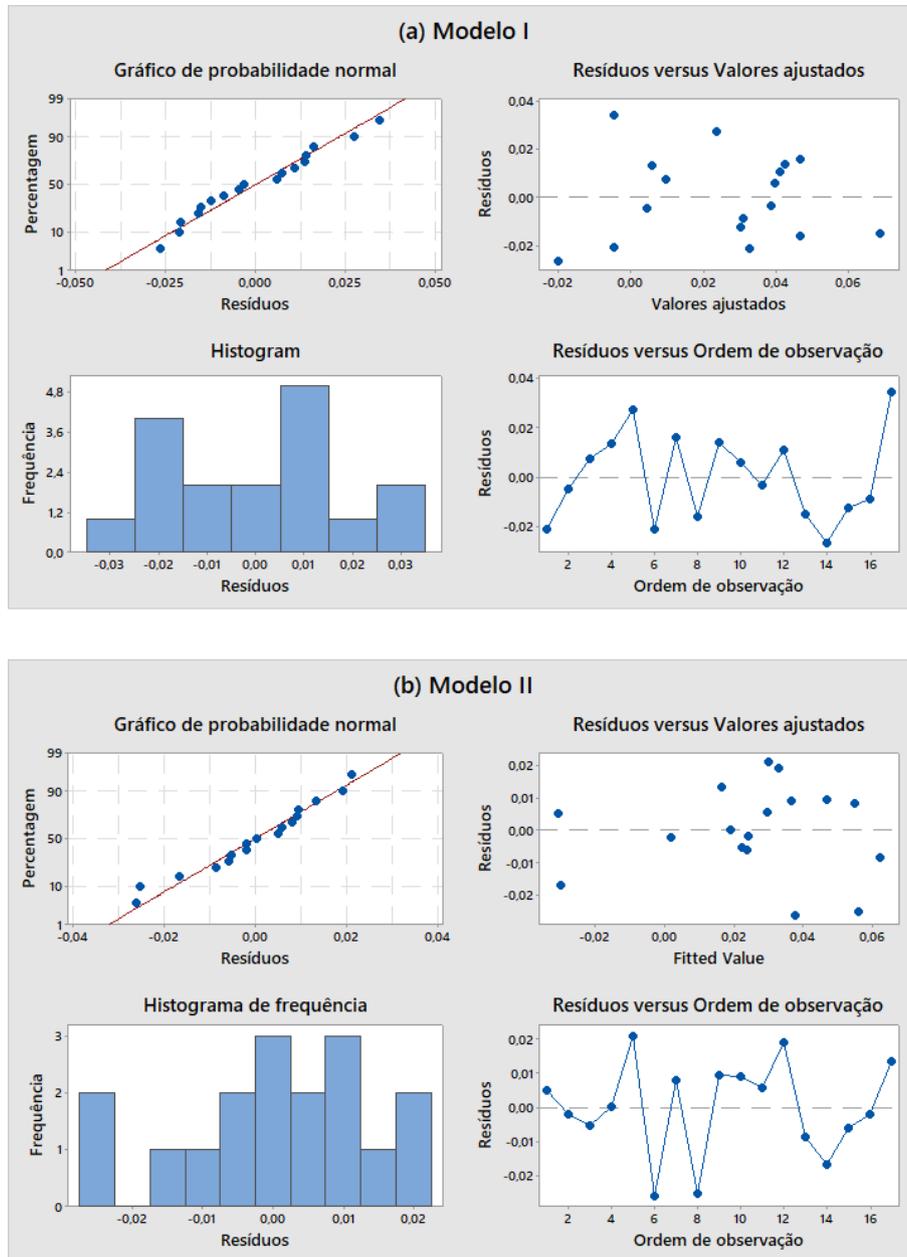


Figura C4 - Plotagem dos resíduos dos modelos de regressão, região Sul: (a) I; (b) II.



Apêndice D - Resultados de saída do *software* MINITAB para os modelos de regressão selecionados como de maior qualidade: região, 2000-2018.

Tabela D1 – Modelo III: região Norte

Região Norte					
Variáveis	Coeficientes	Desvio padrão	t-valor	p-valor	VIF
β_0	0,0203	0,0643	0,32	0,758	
$\Delta \ln D02sm$	-0,044	0,210	-0,21	0,836	3,29
$\Delta \ln Da5sm$	0,406	0,133	3,06	0,009	2,02
$\Delta \ln Durb$	-0,666	0,287	-2,32	0,037	3,75
$\Delta \ln P60a$	1,86	1,40	1,33	0,207	1,67
R^2	0,60				
$R^2 (adj)$	0,47				
$R^2 (pred)$	0,00				
S	0,0312168				
D (teste Durbin-Watson)	1,61926 (ic)				
p-valor (teste Anderson-Darling)	0,81				
N	18				

Tabela D2 – Modelo V: região Nordeste

Região Nordeste					
Variáveis	Coeficientes	Desvio padrão	t-valor	p-valor	VIF
β_0	0,352	0,127	2,78	0,017	
$\Delta \ln D02sm$	0,514	0,337	1,53	0,153	1,15
$\Delta \ln P3559$	-12,04	4,82	-2,50	0,028	1,09
$\Delta \ln Tar$	-0,2044	0,0899	-2,27	0,042	1,16
R^2	0,5383				
$R^2 (adj)$	0,4229				
$R^2 (pred)$	0,00				
S	0,258881				
D (teste Durbin-Watson)	1,54600				
p-valor (teste Anderson-Darling)	0,780				
N	16				

Tabela D3 – Modelo III: região Centro-Oeste

Região Centro-Oeste					
Variáveis	Coeficientes	Desvio padrão	t-valor	p-valor	VIF
β_0	-0,662	0,216	-3,07	0,011	
$\Delta \ln Durb$	0,773	0,548	1,41	0,186	4,01
$\Delta \ln Drur$	0,273	0,111	2,47	0,031	3,47
$\Delta \ln D02sm$	-0,1520	0,0800	-1,90	0,084	1,41
$\Delta \ln P3559$	7,72	2,88	2,6	0,021	8,74
$\Delta \ln P60a$	9,30	2,85	3,27	0,007	7,84
R^2	0,6590				
$R^2 (adj)$	0,5041				
$R^2 (pred)$	0,1574				
S	0,0156229				
D (teste Durbin-Watson)	1,85513				
p-valor (teste Anderson-Darling)	0,62				
N	17				

Tabela D4 – Modelo I: região Sudeste

Região Sudeste					
Variáveis	Coeficientes	Desvio padrão	t-valor	p-valor	VIF
β_0	0,03400	0,00753	4,51	0,001	
$\Delta \ln D02sm$	-3,79	0,101	-3,77	0,002	1,12
$\Delta \ln P1534$	2,66	1,22	2,18	0,048	1,31
$\Delta \ln SM$	0,219	0,110	1,99	0,068	1,20
R^2	0,6626				
$R^2 (adj)$	0,5891				
$R^2 (pred)$	0,2971				
S	0,0167505				
D (teste Durbin-Watson)	2,23132				
p-valor (teste Anderson-Darling)	0,661				
N	17				

Tabela D5 – Modelo I: região Sul

Região Sul					
Variáveis	Coeficientes	Desvio padrão	t-valor	p-valor	VIF
β_0	0,0664	0,0210	3,16	0,007	
$\Delta \ln D02sm$	-0,1403	0,0473	-2,97	0,011	1,19
$\Delta \ln P3559$	-2,77	1,28	-2,17	0,050	1,64
$\Delta \ln Tar$	2,56	1,51	1,69	0,115	1,67
R^2	0,6313				
$R^2 (adj)$	0,5463				
$R^2 (pred)$	0,13				
S	0,0199046				
D (teste Durbin-Watson)	0,86650				
p-valor (teste Anderson-Darling)	0,595				
N	17				

Apêndice E - Resultados da estimação do consumo futuro de energia elétrica para o setor residencial

Tabela E1 – Resultados da estimação do consumo futuro de energia elétrica 2025, regiões; taxa de crescimento médio geométrico anual do consumo residencial de energia elétrica para o período 2019-2025

Regiões	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Modelo selecionado	III	V	III	I	I
Consumo ano 2025 (GWh)	17.084	52.009	16.113	76.439	25.506
Crescimento (*) (%)	8,9	13,5	4,7	2,2	2,3

Nota: (*) crescimento médio geométrico anual estimado para o período 2019-2025