

Composição familiar e consumo de energia elétrica nos domicílios brasileiros¹

Jamaika Prado²
Weslem Rodrigues Faria³

Resumo

Este estudo analisa os efeitos da composição familiar no consumo de energia elétrica nos domicílios brasileiros, utilizando dados da POF 2017/2018. Os resultados mostram que os efeitos da composição familiar no consumo de eletricidade variam de acordo com o tamanho da família e o nível de consumo de energia. Observa-se um efeito de escala econômica no consumo *per capita* em famílias com quatro membros, enquanto em domicílios unipessoais, o aumento de membros com 15 anos ou mais está associado a um consumo maior de eletricidade. Esse efeito é mais fraco em famílias que consomem mais eletricidade.

Palavras-chaves: Consumo de energia elétrica, Composição da família, Tamanho da Família, Modelo de limites ótimos.

Área: Demografia

¹ Os autores agradecem ao financiamento da FAPEMIG e CNPq.

² Doutoranda - PPGE/UFJF.

³ Professor adjunto - PPGE/UFJF

1. Introdução

O consumo mundial de eletricidade cresce a taxas elevadas, impulsionado pela crescente dependência das sociedades por esse recurso. No ranking global de consumo de eletricidade, o Brasil ocupa a sexta posição, consolidando-se como o maior consumidor de energia elétrica da América Latina. Em 2022, o país consumiu 509 mil GWh de eletricidade, representando 40% do consumo total da região e 2,3% do consumo mundial (ENERDATA, 2023; EPE, 2023).

Nesse contexto, o setor residencial no Brasil assume um papel importante devido à sua participação significativa e ao crescimento constante no consumo de energia elétrica. O setor residencial é o segundo maior consumidor de eletricidade do país, representando 30% do consumo total de energia elétrica em 2022, ficando atrás apenas do setor industrial, que contribuiu com 36,2% do consumo total. Em 2022, o setor residencial era composto por 78,9 milhões de unidades consumidoras, correspondendo a 87,2% das unidades consumidoras do país. No período de 2013 a 2022, o número de unidades consumidoras do setor residencial registrou um aumento de 15,1 milhões, equivalente a um crescimento de 24%. Nesse intervalo, o consumo do setor residencial aumentou 22% (EPE, 2023).

Alguns estudos observaram que fatores demográficos, especificamente a estrutura etária e o tamanho da família, influenciam a demanda por eletricidade. O consumo de energia se modifica ao longo da vida, pois diferentes faixas etárias apresentam padrões distintos de consumo (Huang, 2022; Kostakis, 2020; O'Neill; Chen, 2002; Yamasaki; Tominaga, 1997). A população brasileira vivencia profundas transformações devido à queda da fecundidade e ao aumento da expectativa de vida (Diógenes, 2015).

Dados do Censo mostram o rápido envelhecimento da população nos últimos anos. Em 2022, a população com 60 anos ou mais representava 15,8 % do conjunto da população, um crescimento de 56% em relação a 2010 (IBGE, 2023a). A taxa de fecundidade foi de 1,9 filho por mulher em 2010, abaixo do nível de reposição populacional (IBGE, 2013). Esse declínio da fecundidade, apontado como um dos principais fatores da redução no tamanho das famílias (Bongaarts, 2001; Carvalho; Alves, 2012; Rosero-Bixby *et al.*, 2009; Therborn, 2006), é acompanhado por um processo de reconfiguração dos domicílios. Observa-se uma redução do número de moradores por domicílio e um crescimento acelerado do número de domicílios. De acordo com dados do Censo, o tamanho médio dos domicílios diminuiu de 3,1 pessoas em 2010 para 2,79 pessoas. O número de domicílios particulares permanentes aumentou em 26,3% entre 2010 e 2022, enquanto o crescimento da população foi de 6,5% (IBGE, 2023b). Ou seja, a taxa de crescimento dos domicílios é superior à da população.

A taxa de crescimento dos domicílios maior que o crescimento populacional e a redução do número médio de moradores por domicílios podem influenciar o padrão e os níveis de consumo das famílias (Hogan, 2005). Os domicílios são caracterizados por apresentar economias de escala, à medida que aumenta o número de moradores, o custo *per capita* para manter o padrão de vida diminui. Isso ocorre devido ao compartilhamento de recursos por um maior número de pessoas, incluindo consumo de energia elétrica, mobília, transporte, espaço, aquecimento ou resfriamento. Assim, à medida que o número de moradores por domicílio diminui, perde-se a vantagem proporcionada pela economia de escala, resultando em um maior consumo de recursos *per capita* (Mackellar *et al.*, 1995; O'Neill; Chen, 2002).

Diante das significativas mudanças demográficas em curso no Brasil, caracterizadas por uma tendência de famílias menores e mais envelhecidas, acompanhadas por um processo de mais domicílios e menos pessoas por domicílio, compreender os efeitos dessas mudanças no consumo residencial de energia elétrica pode auxiliar na identificação de padrões e níveis de consumo dos diferentes tamanhos e composições familiares.

Assim, o objetivo deste estudo é explorar a relação entre a composição familiar e o consumo de energia elétrica no Brasil. A composição familiar aqui se refere ao número de

membros na família em diferentes faixas etárias. Para tal, será utilizado o modelo de limites ótimos desenvolvido por Gannon *et al.* (2014), o qual permite capturar como os efeitos da composição familiar no consumo de energia elétrica variam com o tamanho da família e o nível de consumo de energia elétrica. Os dados utilizados para a análise são provenientes da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) de 2017/2018, que fornece informações sobre o consumo de energia elétrica, as características das famílias e dos domicílios. Os resultados evidenciam que os efeitos da composição familiar no consumo de eletricidade variam de acordo com o tamanho da família e o nível de consumo de energia. Observa-se um efeito de escala econômica no consumo *per capita* em famílias maiores, enquanto em domicílios unipessoais, o aumento de membros com 15 anos ou mais está associado a um consumo maior de eletricidade. Esse efeito é mais fraco em famílias que consomem mais eletricidade.

Este estudo pode contribuir para a compreensão dos efeitos das mudanças no tamanho da família e na composição etária dos membros da família no consumo residencial de energia elétrica no Brasil. Embora a literatura possua uma ampla investigação no contexto do consumo de energia elétrica residencial brasileiro, existem poucas abordagens que identificam a não linearidade da idade com o consumo de eletricidade como Abrahão (2020) e Abrahão e Souza (2021). No entanto, nenhum desses estudos compreende as variações dos efeitos de tamanho e idade ao mesmo tempo. Os resultados da pesquisa podem auxiliar na identificação de tipos de famílias com maior potencial de aumento no consumo de energia, subsidiando o desenvolvimento de políticas públicas direcionadas e mais eficientes.

2. Os efeitos do tamanho e da composição familiar no consumo de eletricidade

A família e o domicílio são as unidades mais importantes na análise do consumo de energia, pois a maioria dos bens utilizados nos domicílios e que consomem energia são compartilhados pelos membros da família (Schipper, 1996).

A influência do tamanho e da idade no consumo de energia doméstico tem sido amplamente pesquisada na literatura, com diferentes métodos e determinantes sendo utilizados. O tamanho da família, representado pelo número de pessoas no domicílio, está geralmente associado a um maior consumo de energia elétrica (Frondel *et al.*, 2019; Hansen, 2018; Huang, 2015; Jones; Lomas, 2015; Kim, 2018; Kostakis, 2020; Leahy; Lyons, 2010).

Por exemplo, Jones e Lomas (2015) investigaram os determinantes do consumo doméstico de energia no Reino Unido e identificaram que famílias com três ou mais membros tinham uma probabilidade significativamente maior de serem maiores consumidoras de eletricidade do que famílias com um ou dois membros. Frondel *et al.* (2019) também encontraram a mesma relação para a Alemanha, em que o consumo de eletricidade é menos heterogêneo para domicílios unipessoais e mais heterogêneo para famílias com quatro ou mais membros, sugerindo que o maior consumo está relacionado ao maior número de membros na família.

O tamanho da família pode ter um efeito positivo sobre o consumo total de energia elétrica, mas negativo sobre o consumo de energia elétrica *per capita* (Huebner *et al.*, 2016; Xu *et al.*, 2020). Os estudos que utilizam o consumo de eletricidade em termos *per capita* permite identificar o efeito de escala econômica do compartilhamento de bens que demandam eletricidade no domicílio. Estudos como os de O'Neill e Chen (2002) para os Estados Unidos e Simões e Leder (2022) para Brasil destacam essa relação. O'Neill e Chen (2002) constataram que famílias com duas pessoas consumiam cerca de 17% menos energia *per capita* do que famílias com uma pessoa nos Estados Unidos. Adicionalmente, verificaram que as famílias com três pessoas consumiam mais de um terço a menos de energia *per capita* do que aquelas que viviam sozinhas.

A literatura sugere que, além do tamanho da família, a composição etária dos membros também é importante para explicar o consumo de energia elétrica. Su (2019) observou que o aumento no número de membros na família pode estar associado a mudanças no consumo de energia elétrica, mas que essas mudanças são condicionadas à idade dos membros. Ao investigar os fatores que influenciavam o consumo de eletricidade no Taiwan, a autora verificou que pessoas com idades entre 35 e 64 anos consumiam mais eletricidade *per capita* do que indivíduos em outras faixas etárias. Famílias com bebês consomem mais eletricidade em comparação àquelas com crianças e adolescentes. Enquanto, os idosos foram identificados como o grupo etário com menor consumo de energia elétrica.

Estudos adicionais realizados em diferentes países também verificam que o consumo varia com a idade dos membros da família. Leahy e Lyons (2010) constataram que o consumo de eletricidade nas residências irlandesas era significativamente maior nas famílias com membros de idade entre 45 e 64 anos do que nas famílias com membros de idade entre 35 e 44 anos. Ademais, foi observada uma redução significativa no consumo doméstico de eletricidade quando os membros da família tinham mais de 64 anos de idade. Kavousian *et al.* (2013) encontraram resultados semelhantes nos Estados Unidos, com as famílias cuja idade dos membros era maior que 55 anos ou entre 19 e 35 anos consumindo menos energia. No Brasil, Abrahão e Souza (2021) identificaram que os grupos etários de 0 a 59 anos eram os maiores consumidores de energia elétrica, com destaque para a faixa etária ativa entre 15 e 59 anos.

A literatura demonstra interesse em explorar os efeitos de crianças e idosos no consumo de eletricidade doméstica. De um lado, estudos apontam que a presença de crianças na família pode impactar positivamente o consumo de energia elétrica domiciliar. Os estudos de Brounen *et al.* (2012), Hansen (2018), McLoughlin *et al.* (2012), Romero-Jordán *et al.* (2016) e Simões e Leder (2022) constataram que o consumo de energia elétrica é positivamente influenciado pelo número de crianças na família. Brounen *et al.* (2012) verificaram que famílias com crianças consumiam quase um quinto a mais de eletricidade do que famílias sem filhos, mesmo que o consumo *per capita* fosse menor. Os autores identificaram que, à medida que as crianças avançam na idade, elas passam a utilizar de forma independente os eletrodomésticos e aparelhos eletrônicos dentro do domicílio. Simões e Leder (2022) analisaram fatores comportamentais de consumo de energia elétrica das famílias em dois conjuntos habitacionais na cidade de João Pessoa, Paraíba. Os resultados indicaram que famílias com três membros, incluindo uma criança, podem consumir tanta energia quanto famílias com 6 ou 7 adultos. Os autores argumentaram que as famílias com crianças podem enfrentar um aumento desproporcional nas despesas de energia, devido ao conforto térmico e atividades de lazer que consomem mais eletricidade.

No entanto, outros estudos, como o de Hasanov e Mikayilov (2017) no Azerbaijão e Leahy e Lyons (2010) na Irlanda, mostram que o consumo de energia elétrica entre famílias com crianças pode ser menor ou não diferir significativamente dos demais grupos etários.

Em relação aos estudos que investigam o efeito da presença de idosos na família e o consumo de eletricidade, também não há consenso nos resultados encontrados. Alguns estudos (Fu *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2019; Kostakis, 2020; Tonn; Eisenberg, 2007) indicam que os idosos consomem mais energia devido ao maior tempo em casa e ao uso de aparelhos. Outros estudos (Abrahão, 2020; Abrahão; Souza, 2021; Guo *et al.*, 2016; Liddle; Lung, 2010; Su, 2019), por outro lado, apontam para uma redução desse consumo. Por exemplo, no Brasil, Abrahão e Souza (2021) observaram que o consumo de energia dos idosos é quase seis vezes menor em comparação com a população entre 15 e 59 anos. Conforme esses estudos, a redução do consumo por parte dos idosos pode estar relacionado à diminuição da renda, que tende a reduzir com a idade.

A literatura sobre consumo de energia elétrica sugere que a relação entre o tamanho e a composição etária das famílias e o consumo de energia elétrica é não linear. Brounen (2012) e

Su (2019) e Huang (2022) constataram que a idade não está linearmente relacionada ao consumo de energia elétrica, o consumo pode variar de acordo com a faixa etária dos membros da família. Quanto a relação do tamanho da família e o consumo de energia elétrica, Hung e Huang (2015) encontraram uma relação em forma de U. O ponto de inflexão ocorreu em famílias com três membros, o que significa que a economia de escala é observada somente em famílias menores, com até três pessoas. Huebner *et al.* (2016) e Frondel *et al.* (2019) verificaram que a heterogeneidade no consumo de energia elétrica aumentou com o tamanho da família. Ademais, Zhang (2017), Kim (2020) e Huang (2022) verificaram que o efeito do tamanho da família no consumo de energia elétrica difere entre os níveis de consumo de eletricidade. Huang (2022) investigou a relação da composição familiar e o consumo residencial de eletricidade para o Taiwan e identificou que os efeitos da composição familiar no consumo doméstico de energia elétrica diferem dependendo do tamanho e do nível de consumo de eletricidade das famílias. Esses estudos ressaltaram as possíveis relações não-lineares da idade e do tamanho da família no consumo de eletricidade, que dependem do nível de consumo de eletricidade e do tamanho da família.

3. Metodologia

Neste estudo, a análise da relação entre a composição familiar e o consumo de energia elétrica das famílias no Brasil é abordada por meio da aplicação de dois modelos: o modelo de regressão linear e o modelo de limites ótimos.

3.1 Modelo de regressão linear

O modelo de regressão linear da relação da composição familiar no consumo de energia elétrica pode ser escrito da seguinte forma:

$$C_i = \alpha + \beta X_i + \theta Z_i + u_i \quad (1)$$

Onde C é o consumo de energia elétrica *per capita* da família; X representa a composição familiar; Z é o vetor de variáveis de controle de outras características da família; α , β e θ são os parâmetros estimados; u é o termo de erro; e i representa o número de domicílios ($i = 1, 2, \dots, 16.468$).

A estimativa do modelo de regressão linear envolve inicialmente a utilização do método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). No entanto, Marazzi (1993) destaca que, na presença de *outliers* nos dados, a suposição de que os erros seguem uma distribuição normal torna-se inválida. Para lidar com esse tipo de problema, a regressão robusta é empregada, executando um procedimento iterativo para identificar *outliers* e reduzir seu impacto nas estimativas dos coeficientes de regressão. A principal diferença em relação a estimação por MQO reside na função objetivo da regressão robusta, que pode adotar uma função de perda diferente, atribuindo menor peso aos resíduos de grande magnitude. A escolha adequada da função de perda é crucial para obter robustez e alta eficiência gaussiana.

O método de estimadores MM, desenvolvido por Yohai (1987) é considerado o mais adequado para modelos de regressão devido à sua alta resistência a outliers e eficiência (Verardi; Croux, 2009). Esse método envolve três etapas: primeiro, calcula-se uma estimativa inicial de regressão, robusta e com alto ponto de ruptura, porém nem sempre eficiente; em seguida, obtém-se uma estimativa M da escala dos erros com base nos resíduos da estimativa inicial; por fim, calcula-se uma estimativa M dos parâmetros de regressão utilizando o estimador de escala da segunda etapa. A consistência e a normalidade assintótica das

estimativas MM são verificadas, e um algoritmo numérico iterativo é fornecido para sua aplicação.

Conforme destaca Wooldridge (2015), as relações lineares nem sempre são suficientes para todas as aplicações em economia. Para avaliar a adequação de modelos lineares, Ramsey (1969) propôs o teste de erro de especificação de regressão (RESET), que examina se a inclusão de combinações não lineares de variáveis explicativas pode melhorar a explicação da variável dependente. Esse teste adiciona termos quadráticos e cúbicos dos valores ajustados como variáveis explicativas e testa se os coeficientes desses termos são estatisticamente iguais a zero. Uma estatística F significativa sugere que o modelo linear está mal especificado, indicando a necessidade de considerar modelos de regressão não linear.

3.2 Modelo de limites ótimos

A análise não linear permite corrigir estimativas tendenciosas em pressupostos lineares e capturar características assimétricas e não lineares de determinados fenômenos econômicos. Sob a hipótese de que a relação entre o consumo doméstico de energia elétrica e a composição familiar pode variar dependendo do tamanho da família e do nível de consumo doméstico de energia elétrica, o modelo proposto por Gannon *et al.* (2014) será utilizado para avaliar os efeitos dos limites das características demográficas.

Esse método permite que os coeficientes de regressão variem de acordo com os valores da variável de limite, indicando a possibilidade de coeficientes não constantes no modelo. Portanto, o modelo de coeficiente constante pode ser expandido para acomodar efeitos diferenciais de X sobre C , que são determinados pelos valores da variável de limite. Nesse contexto, C representa o consumo de energia doméstica *per capita*, X denota a composição familiar, e Z representa um vetor de outras variáveis explicativas. Com base no estudo de Huang (2022), o modelo de limite ótimo pode ser expresso da seguinte forma:

$$C_i = \alpha + \sum_{m=1}^M \beta_m (X_i D_{m,1}) + \theta Z_i + u_i \quad (2)$$

α e β são os parâmetros estimados; D é uma variável *dummy*, com os indicadores de subpopulações definidos da seguinte forma:

$$D_{m,i} = 1\{\tau_{m-1} < D_i \leq \tau_m\}, m = 1, \dots, M, \quad (3)$$

onde $\tau_1, \dots, \tau_{M-1}$ representam os parâmetros de limiar e M é o número de subpopulações ou regimes, determinado pelos limiares τ . Ademais, $1\{A\}$ é a função indicadora que assume valor 1 se for verdadeiro e 0 caso contrário. Portanto, $D_{m,1}$ é igual 1 se a observação i for satisfazer as condições de limiar para a subpopulação m e 0 caso contrário. Se houver M populações, haverá $(M - 1)$ parâmetros de limiar. Este modelo divide os dados em M subpopulações, cada uma com um coeficiente X_i dado por β_1, \dots, β_M . Sob a suposição do número de subpopulações, os valores ótimos dos parâmetros são estimados pelo método de máxima verossimilhança. Em relação ao número de subpopulações, Gannon *et al.* (2014) sugeriram que esse número fosse estimado considerando todos os modelos possíveis com m subpopulações, onde $m=1, \dots, M$. A seleção do modelo é feita comparando os valores dos critérios de informação para todos os modelos possíveis e optando pelo modelo com o menor critério de informação.

No processo de estimação, é importante destacar que o número máximo de limites é seis, devido a restrições computacionais no processo.

4. BASE DE DADOS

Neste estudo, a base de dados utilizada é a Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) para o Brasil, referente aos anos de 2017/2018, conduzida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019). Para os propósitos deste estudo, apenas os domicílios que possuem informações sobre o consumo de energia elétrica são considerados, totalizando 16.468 domicílios.

A variável dependente é o consumo doméstico de energia elétrica *per capita* anual, medido em quilowatt-hora (kWh), calculado pela divisão do consumo total de energia elétrica anual pelo número de membros da família.

As variáveis explicativas podem ser classificadas em três categorias: características do chefe do domicílio, características do domicílio e atributos da moradia. As características do chefe de família são idade, sexo e escolaridade. A idade do chefe da família, variável contínua, pode revelar a fase do ciclo de vida da família e os efeitos geracionais no consumo doméstico de eletricidade. O sexo é uma variável *dummy*, com valor 1 se o chefe da família for homem e 0 se a chefe for mulher. O nível de escolaridade, medido pelo grau mais elevado obtido pelo chefe da família, é representado por uma variável com sete níveis de instrução: sem instrução, ensino fundamental incompleto, ensino fundamental completo, ensino médio incompleto, ensino médio completo, ensino superior incompleto e ensino superior completo.

As características familiares incluem tamanho da família, composição familiar e renda. O tamanho é determinado pelo número de membros na família, variando de 1 a 17 na amostra utilizada. Estudos indicam que, embora exista uma relação positiva entre o consumo total de energia elétrica e o tamanho da família, economias de escala podem influenciar o consumo individual com a inclusão de um novo membro (Brounen *et al.*, 2012; Huang, 2015).

As variáveis de composição familiar são expressas pelo número de membros da família nas faixas etárias: 0 a 14 anos, 15 a 24 anos, 25 a 44 anos, 45 a 59 anos e 60 anos ou mais. Visto que os padrões de consumo de energia elétrica podem variar entre as gerações mais jovens e as mais velhas, as variáveis de composição familiar podem capturar os efeitos da idade dos seus membros (Huang, 2015, 2022). A variável renda *per capita* da família, medida em reais, é calculada pela razão entre a renda total da família e o número de seus membros.

Os atributos relacionados à habitação incluem a situação de propriedade, o tipo de moradia, o número de cômodos e a posse de eletrodomésticos. A condição de propriedade é representada por três categorias: próprio, alugado, cedido ou outro. O tipo de moradia é uma variável com três categorias: casa, apartamento ou outro tipo de habitação. O número de cômodos é uma variável com dez categorias, variando de um a dez cômodos. O número de eletrodomésticos considerados são os aparelhos de DVD e Blu-Ray, ar-condicionado, chuveiro elétrico, equipamento de som, ferro elétrico, forno elétrico, micro-ondas, freezer, geladeira, máquina de lavar louça, máquina de lavar roupa, microcomputador ou notebook, purificador de água, tablet, televisão e ventilador ou circulador de ar.

A Tabela 1 apresenta as principais estatísticas descritivas das variáveis dependentes e independentes utilizadas nas estimações.

Tabela 1- Estatísticas descritivas das variáveis

Variáveis	Média	Desvio- Padrão	Mínimo	Máximo
Consumo de Energia Elétrica <i>per capita</i> anual (kWh)	421,29	270,80	18,46	1.200
Tamanho da Família	2,69	1,55	1	17
Idade 0 a 14 anos	0,57	0,95	0	9
Idade 15 a 24 anos	0,43	0,75	0	7
Idade 25 a 44 anos	0,75	0,81	0	5
Idade 45 a 59 anos	0,47	0,70	0	5
Idade 60 anos ou mais	0,46	0,68	0	5

Idade do Chefe da Família	50,65	16,90	12	107
Renda <i>per capita</i> anual	15.617,21	21.727,57	0	56.835,15
Número de Aparelho de DVD ou Blu-Ray	0,09	0,34	0	7
Número de Ar-Condicionado	0,36	0,51	0	4
Número de Chuveiro Elétrico	0,41	0,56	0	5
Número de Equipamento de Som	0,31	0,50	0	4
Número de Ferro Elétrico	0,61	0,52	0	4
Número de Forno Elétrico	0,08	0,28	0	2
Número de Forno Micro-ondas	0,26	0,44	0	2
Número de Freezer	0,07	0,27	0	3
Número de Geladeira	0,98	0,24	0	3
Número de Máquina de Lavar Louça	0,00	0,07	0	1
Número de Máquina de Lavar Roupa	0,37	0,49	0	2
Número de Microcomputador ou Notebook	0,20	0,47	0	6
Número de Purificador de Água	0,03	0,17	0	4
Número de Tablet	0,05	0,25	0	4
Número de Televisão	1,05	0,46	0	6
Número de Ventilador ou Circulador de Ar	0,99	0,89	0	8
Variáveis Dummies	Frequência	%	Mínimo	Máximo
Tipo de Família:				
Família Unipessoal*	3998	24,28	0	1
Família de Duas Pessoas	4743	28,80	0	1
Família de Três Pessoas	3569	21,67	0	1
Família de Quatro Pessoas	2289	13,90	0	1
Família de Cinco Pessoas	1059	6,43	0	1
Família de Seis Pessoas ou Mais	810	4,92	0	1
Sexo do Chefe da Família:				
Feminino*	7419	45,05	0	1
Masculino	9049	54,95	0	1
Nível de Instrução do Chefe da Família:				
Sem Instrução*	2497	15,16	0	1
Ensino Fundamental Incompleto	7748	47,05	0	1
Ensino Fundamental Completo	1269	7,71	0	1
Ensino Médio Incompleto	815	4,95	0	1
Ensino Médio Completo	2938	17,84	0	1
Ensino Superior Incompleto	327	1,99	0	1
Ensino Superior Completo	874	5,31	0	1
Propriedade do Domicílio:				
Domicílio Alugado*	2755	16,73	0	1
Domicílio Próprio	11901	72,27	0	1
Domicílio Cedido ou Outro	1812	11,00	0	1
Tipo de Habitação:				
Casa*	15488	94,05	0	1
Apartamento	934	5,67		1
Outro tipo de Habitação	46	0,28	0	1
Número de Cômodos por Domicílio:				
Domicílio de um Cômodo*	52	0,32	0	1
Domicílio de Dois Cômodos	309	1,88	0	1
Domicílio de Três Cômodos	1158	7,03	0	1
Domicílio de Quatro Cômodos	2723	16,54	0	1
Domicílio de Cinco Cômodos	5538	33,63	0	1
Domicílio de Seis Cômodos	3612	21,93	0	1
Domicílio de Sete Cômodos	1812	11,00	0	1
Domicílio de Oito Cômodos	759	4,61	0	1
Domicílio de Nove Cômodos	284	1,72	0	1
Domicílio de Dez Cômodos ou mais	221	1,34	0	1
Total de Observações	1648			

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Pesquisa de Orçamento Familiar 2017/2018 (IBGE, 2019).

Nota: * Categoria de referência.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste estudo, os modelos de regressão linear e de limites ótimos foram utilizados para estimar a relação entre a composição familiar e o consumo de energia elétrica no Brasil. O modelo de regressão linear foi empregado para estimar como o uso de energia elétrica nos domicílios se altera com a composição e o tamanho da família. Por sua vez, o modelo de limites ótimos foi utilizado para capturar as mudanças na composição familiar em relação ao consumo de energia *per capita*. Os resultados dos modelos serão apresentados e discutidos nas duas próximas seções.

5.1 Resultados do Modelo de Regressão Linear

A Tabela 2 apresenta os resultados do modelo de regressão linear robusto estimado por MQO. O modelo considera três tipos de especificações diferentes para capturar os efeitos dos membros da família no consumo de energia elétrica.

O Modelo 1(A) utiliza o tamanho da família como medida para avaliar o efeito de um membro adicional no consumo de energia elétrica *per capita*. No Modelo 1(B), são incorporadas variáveis que representam o número de membros na família por faixa etária: 0 a 14 anos, 15 a 24 anos, 25 a 44 anos, 45 a 59 anos e 60 anos ou mais. Isso permite avaliar os efeitos diferenciais relacionados à idade dos membros. No Modelo 1(C) são utilizadas variáveis *dummies* para o tipo de família, que incluem domicílios com uma pessoa, duas pessoas, três pessoas, quatro pessoas, cinco pessoas, seis pessoas ou mais. Essa especificação visa medir a diferença no consumo de energia elétrica *per capita* devido ao tamanho da família, sendo o grupo de referência os domicílios unipessoais.

Tabela 2- Resultados das regressões robustas de MQO para consumo de energia elétrica *per capita*

Variáveis Explicativas	Modelo 1 (A)	Modelo 1 (B)	Modelo 1 (C)
Tamanho da Família	-108,99*** (1,77)	-	-
Nº de Membros 0-14 anos	-	-83,69*** (1,96)	-
Nº de Membros 15-24 anos	-	-101,46*** (2,41)	-
Nº de Membros 25-44 anos	-	-139,42*** (2,85)	-
Nº de Membros 45-59 anos	-	-143,60*** (3,33)	-
Nº de Membros 60 anos ou mais	-	-175,07*** (4,30)	-
Família de Duas Pessoas	-	-	-363,09*** (4,44)
Família de Três Pessoas	-	-	-494,83*** (4,60)
Família de Quatro Pessoas	-	-	-561,64*** (4,77)
Família de Cinco Pessoas	-	-	-602,62*** (4,95)
Família de Seis Pessoas ou mais	-	-	-642,07*** (5,09)
Idade do Chefe da Família	1,27*** (0,12)	3,11*** (0,16)	0,12 (0,09)
Sexo do Chefe da Família	-17,62*** (2,93)	-7,39** (2,92)	-11,96*** (2,29)
Fundamental Incompleto	23,56***	20,13***	14,16***

	(4,63)	(4,55)	(3,73)
Fundamental Completo	28,02***	23,88***	14,25**
	(6,93)	(6,87)	(5,64)
Médio Incompleto	20,81***	17,17**	22,72***
	(7,88)	(7,80)	(6,15)
Médio Completo	30,00***	31,52***	23,10***
	(6,10)	(6,03)	(4,80)
Superior Incompleto	67,73***	71,30***	36,46***
	(13,33)	(13,36)	(10,09)
Superior Completo	60,81***	63,01***	42,52***
	(10,11)	(10,09)	(7,28)
Renda <i>Per capita</i>	0,002***	0,002***	0,001***
	(0,00)	(0,00)	(0,00)
Domicílio Próprio	-12,62***	-9,23**	2,42
	(4,34)	(4,32)	(3,54)
Domicílio Cedido ou outro	-9,96*	-10,99**	-2,50
	(5,66)	(5,61)	(4,64)
Apartamento	34,13***	34,33***	16,70***
	(7,85)	(7,74)	(6,12)
Outro tipo de habitação	-2,14	6,39	-9,73
	(34,40)	(33,4)	(28,33)
Domicílio de Dois Cômodos	49,49*	63,52**	27,00
	(27,78)	(28,09)	(26,54)
Domicílio de Três Cômodos	49,16*	65,86**	47,69*
	(25,62)	(25,92)	(24,72)
Domicílio de Quatro Cômodos	26,74	46,53*	43,74*
	(25,10)	(25,44)	(24,35)
Domicílio de Cinco Cômodos	10,75	32,24	45,39*
	(24,99)	(25,34)	(24,28)
Domicílio de Seis Cômodos	16,49	40,43	49,61**
	(25,07)	(25,43)	(24,32)
Domicílio de Sete Cômodos	11,41	38,05	51,28**
	(25,21)	(25,58)	(24,41)
Domicílio de Oito Cômodos	0,65	27,54	53,40**
	(25,82)	(26,16)	(24,78)
Domicílio de Nove Cômodos	-4,52	23,27	41,04
	(27,20)	(27,49)	(25,29)
Domicílio de Dez Cômodos ou mais	-10,22	21,01	42,36
	(28,41)	(28,72)	(26,13)
Nº de Aparelho de DVD ou Blu-Ray	-4,23	-6,47**	1,32
	(2,84)	(2,82)	(2,19)
Nº de Ar-Condicionado	-8,79*	-9,80**	-9,34***
	(4,76)	(4,77)	(3,34)
Nº de Chuveiro Elétrico	30,09***	30,30***	20,10***
	(3,18)	(3,13)	(2,48)
Nº de Equipamento de Som	-2,63	-3,19	-4,87**
	(2,88)	(2,84)	(2,26)
Nº de Ferro Elétrico	-13,65***	-8,48***	5,93**
	(3,00)	(2,97)	(2,38)
Nº de Forno Elétrico	-8,53	-8,06	3,67
	(5,44)	(5,37)	(4,22)
Nº de Forno Micro-ondas	19,63***	21,16***	23,72***
	(3,65)	(3,63)	(2,82)
Nº de Freezer	-1,77	5,05	6,14
	(6,09)	(5,87)	(4,44)
Nº de Geladeira	24,23***	31,62***	46,82***
	(6,90)	(6,86)	(5,76)
Nº de Máquina de Lavar Louça	-47,03*	-57,64**	-31,57*
	(24,97)	(24,89)	(18,49)
Nº de Máquina de Lavar Roupas	5,96*	6,96**	15,47***

	(3,26)	(3,22)	(2,57)
Nº de Microcomputador ou Notebook	-20,29*** (3,35)	-18,09*** (3,40)	-4,96* (2,53)
Nº de Purificador de Água	10,01 (8,65)	10,49 (8,36)	14,01** (6,68)
Nº de Tablet	-26,25*** (5,01)	-33,37*** (5,04)	-6,12* (3,58)
Nº de Televisão	-1,22 (3,42)	1,63 (3,44)	7,53*** (2,71)
Nº de Ventilador ou Circulador de Ar	6,43*** (1,74)	7,01*** (1,72)	10,93*** (1,28)
Constante	569,87*** (27,27)	486,07*** (27,73)	624,69*** (25,80)
Teste RESET	F(3,16425)=2258,2***	F(3,16421)=1837,8***	F(3,16421)=168.01***
Total de Observações	16468		

Fonte: Elaborada a partir dos resultados.

Nota: *, ** e *** representam os níveis de significância de 10%, 5% e 1% respectivamente. Os valores entre parênteses são erros padrão.

Após estimar as regressões por MQO, análises gráficas foram realizadas para identificar *outliers* nos dados, revelando sua presença na Figura 1A do Apêndice. Para abordar esse problema, os modelos de regressão robustos foram estimados usando o estimador MM, reconhecido por sua alta resistência a *outliers* e eficiência em modelos com erros que seguem uma distribuição normal.

Para detectar a multicolinearidade, foram calculados os fatores de inflação da variância (VIF) dos modelos. O maior valor observado foi de 7,78, o que indica a ausência de multicolinearidade. A Tabela 3 apresenta os resultados das estimativas dos modelos de regressão robustos, obtidos pelo do estimador MM.

Tabela 3- Resultados das regressões robustas de MM para consumo de energia elétrica *per capita*

Variáveis Explicativas	Modelo 2 (A)	Modelo 2 (B)	Modelo 2 (C)
Tamanho da Família	-82,09*** (1,47)	-	-
Nº de Membros 0-14 anos	-	-66,93*** (1,50)	-
Nº de Membros 15-24 anos	-	-79,58*** (1,84)	-
Nº de Membros 25-44 anos	-	-101,89*** (2,20)	-
Nº de Membros 45-59 anos	-	-99,69*** (2,61)	-
Nº de Membros 60 anos ou mais	-	-118,38*** (3,47)	-
Família de Duas Pessoas	-	-	-371,87*** (12,49)
Família de Três Pessoas	-	-	-506,04*** (12,85)
Família de Quatro Pessoas	-	-	-573,05*** (13,08)
Família de Cinco Pessoas	-	-	-615,41*** (13,25)
Família de Seis Pessoas ou mais	-	-	-655,13*** (13,44)
Idade do Chefe da Família	0,69*** (0,10)	1,79*** (0,14)	0,11 (0,09)
Sexo do Chefe da Família	-13,37***	-8,61***	-9,91***

	(2,27)	(2,29)	(2,07)
Fundamental Incompleto	13,25***	11,55***	11,12***
	(3,65)	(3,71)	(3,37)
Fundamental Completo	9,49*	7,29	10,57**
	(5,25)	(5,36)	(4,93)
Médio Incompleto	3,69	3,16	16,71***
	(5,97)	(6,05)	(5,37)
Médio Completo	14,35***	16,18***	18,21***
	(4,73)	(4,79)	(4,32)
Superior Incompleto	23,24**	26,47**	22,52**
	(9,97)	(10,22)	(9,40)
Superior Completo	19,06**	18,87**	33,99***
	(7,83)	(7,99)	(6,77)
Renda <i>per capita</i>	0,004***	0,004***	0,001***
	(0,00)	(0,00)	(0,00)
Domicílio Próprio	-7,37**	-5,27	0,58
	(3,31)	(3,38)	(3,21)
Domicílio Cedido ou outro	-3,61	-3,6	-1,34
	(4,35)	(4,41)	(4,13)
Apartamento	28,51***	28,61***	15,76***
	(7,09)	(7,05)	(5,83)
Outro tipo de habitação	-13,19	-6,89	-38,05
	(24,27)	(25,54)	(33,32)
Domicílio de Dois Cômodos	22,77	35,99	-4,76
	(23,92)	(23,91)	(25,08)
Domicílio de Três Cômodos	22,63	39,49*	30,78
	(22,58)	(22,46)	(22,34)
Domicílio de Quatro Cômodos	19,32	37,22*	29,55
	(22,16)	(22,06)	(21,81)
Domicílio de Cinco Cômodos	11,36	29,64	31,59
	(22,07)	(21,97)	(21,77)
Domicílio de Seis Cômodos	14,39	34,44	34,7
	(22,12)	(22,03)	(21,79)
Domicílio de Sete Cômodos	12,7	33,56	38,43*
	(22,22)	(22,14)	(21,87)
Domicílio de Oito Cômodos	5,56	25,35	40,62*
	(22,54)	(22,46)	(22,15)
Domicílio de Nove Cômodos	2,1	21,72	23,04
	(23,57)	(23,51)	(22,64)
Domicílio de Dez Cômodos ou mais	-10,42	13,94	26,83
	(24,87)	(25,11)	(23,66)
Nº de Aparelho de DVD ou Blu Ray	1,15	-0,16	2,49
	(2,13)	(2,16)	(1,91)
Nº de Ar-Condicionado	-18,83***	-19,14***	-13,25***
	(3,74)	(3,79)	(3,09)
Nº de Chuveiro Elétrico	16,95***	18,2***	17,63***
	(2,56)	(2,59)	(2,25)
Nº de Equipamento de Som	-4,06*	-4,22**	-4,31**
	(2,11)	(2,14)	(1,92)
Nº de Ferro Elétrico	-6,62***	-4,5*	4,2**
	(2,35)	(2,37)	(2,08)
Nº de Forno Elétrico	-2,62	-3,48	4,47
	(4,34)	(4,44)	(3,77)
Nº de Forno Micro-ondas	10,23***	11,44***	19,58***
	(2,75)	(2,83)	(2,48)
Nº de Freezer	-12,9***	-9,69**	-0,94
	(4,42)	(4,52)	(3,98)
Nº de Geladeira	21,48***	25,15***	37,36***
	(5,63)	(5,65)	(5,64)
Nº de Máquina de Lavar Louça	-33,87	-36,82*	-16,26

	(21,39)	(21,56)	(15,89)
Nº de Máquina de Lavar Roupa	5,05** (2,50)	5,37** (2,55)	16,75*** (2,24)
Nº de Microcomputador ou Notebook	-15,15*** (2,52)	-15,06*** (2,58)	-4,38* (2,29)
Nº de Purificador de Água	8,74 (7,11)	9,84 (7,07)	9,99 (6,30)
Nº de Tablet	-13,75*** (3,81)	-18,62*** (3,86)	-5,01 (3,16)
Nº de Televisão	-3,86 (2,67)	-2,32 (2,68)	2,89 (2,33)
Nº de Ventilador ou Circulador de Ar	4,78*** (1,31)	5,43*** (1,33)	9,49*** (1,10)
Constante	480,31*** (23,92)	425,28*** (23,95)	672,19*** (26,94)
Total de Observações		16468	

Fonte: Elaborada a partir dos resultados.

Nota: *, ** e *** representam os níveis de significância de 10%, 5% e 1% respectivamente. Os valores entre parênteses são erros padrão.

O resultado do Modelo 2 (A) indica que o efeito do tamanho da família é estatisticamente significativo. A inclusão de um membro na família resulta em uma redução de 82,09 kWh no consumo de eletricidade *per capita* no domicílio.

No Modelo 2 (B), os efeitos de um membro adicional da família são significativos em todas as faixas etárias. O efeito de escala econômica varia conforme o aumento no número de membros na família, diferindo entre as faixas etárias. Para membros com 60 anos ou mais, a redução no consumo *per capita* é mais acentuada, alcançando 118,38 kWh. Em contrapartida, um aumento no número de membros de 0 a 14 anos resulta em uma redução menos expressiva, de 66,93 kWh *per capita*.

A inclusão de um membro adicional na faixa etária de 15 a 24 anos resulta em uma redução de 79,58 kWh no consumo de energia *per capita*. Para membros com idades entre 25 e 44 anos, a redução no consumo *per capita* é de 101,89 kWh. Já um aumento no número de membros com idades entre 45 e 59 anos apresenta uma redução de 99,69 kWh no consumo *per capita*. Os resultados do Modelo 2 (C) mostram significância estatística de todas as variáveis *dummies* referentes ao tipo de domicílio. Observa-se uma redução mais acentuada no consumo de eletricidade *per capita* quando o tamanho da família passa de duas para três pessoas, resultando em uma redução de aproximadamente 134 kWh.

Esses resultados destacam a variabilidade do efeito de um membro adicional no consumo de energia elétrica *per capita*, a qual depende do tamanho da família. Ademais, a adição de membros em diferentes faixas etárias pode produzir efeitos diversos no consumo de energia elétrica (Brounen *et al.*, 2012; Huang, 2022; Su, 2019). Embora os resultados dos modelos de regressão linear forneçam informações importantes sobre os efeitos dos membros da família no consumo de energia elétrica, o teste RESET revela problemas na forma funcional desses modelos. Portanto, é pertinente considerar a possibilidade de uma relação não linear entre a composição familiar e o consumo de energia. A próxima seção abordará mais detalhadamente essa relação.

5.2 Resultados do Modelo de Limites Ótimos

Nesta seção, o modelo de limites ótimos é utilizado para explorar a relação não linear entre o consumo de energia elétrica *per capita* e a composição familiar, representada pelo número de membros em diferentes faixas etárias. Sua característica mais importante é a

capacidade de considerar os efeitos diferenciais da composição familiar no consumo de energia *per capita*. Ele se baseia no modelo 2 (A).

Para examinar as variações no efeito da composição familiar no consumo de energia elétrica em diferentes tamanhos de famílias e níveis de consumo, o tamanho da família é considerado como indicador de limite no modelo 3, enquanto o nível de consumo de energia elétrica é utilizado no modelo 4, conforme apresentado na tabela 4. O nível de consumo de energia é classificado em seis faixas de consumo iguais: até 200, de 201 a 400, de 401 a 600, de 601 a 800, de 801 a 1000 e maior ou igual a 1001 kWh. Cada grupo de consumo é numerado de 1 a 6, representando baixo a alto consumo de energia. Devido às limitações de espaço, apenas os resultados das variáveis de composição familiar são apresentados neste estudo.

Tabela 4 - Efeitos de limites do tamanho da família no consumo de energia elétrica *per capita*

	Modelo 3	Modelo 4
Indicador de limite	Tamanho da Família	Nível de Consumo de Energia Elétrica
Variável de Composição Familiar	Tamanho da Família	
Número de subpopulações	4	5
Parâmetros de Limite		
τ_1	1	1
τ_2	2	2
τ_3	3	3
τ_4		4
Coefficientes de Composição Familiar		
β_1	515,13*** (15,84)	-165,94*** (10,64)
β_2	76,02*** (7,86)	-142,2*** (1,64)
β_3	6,779 (5,24)	-138,16*** (1,54)
β_4	-11,61*** (3,96)	-122,83*** (1,37)
β_5		-102,99*** (1,23)
BIC	211.144,37	216.586,25
Total de Observações	16.468	

Fonte: Elaborada a partir dos resultados.

Nota: *, ** e *** representam os níveis de significância de 10%, 5% e 1% respectivamente. Os valores entre parênteses são erros padrão.

No modelo 3, os resultados mostram que o número ótimo de subpopulações é 4, destacando-se como o modelo com menor critério de informação bayesiano (BIC), com três parâmetros de limites τ . Os coeficientes β estimados, derivados dos valores da variável de limite, são utilizados para medir o efeito marginal da composição familiar no consumo de energia elétrica *per capita* em diferentes contextos.

Os coeficientes estimados do tamanho da família são significativos e positivos quando o número de membros da família é inferior a três. Quando o número de membros é igual a três, embora o efeito seja positivo, não se observa significância estatística. No entanto, quando o número de membros da família é igual a quatro, o coeficiente estimado do tamanho da família é significativamente negativo, indicando que um membro adicional resulta em uma redução no consumo de energia *per capita*. Assim, a escala econômica do consumo *per capita* de energia devido a um membro adicional só se manifesta quando a família possui quatro pessoas, enquanto em famílias menores, tal efeito não é observado.

No modelo 4, o número ótimo de subpopulações é 5, com quatro parâmetros de limite. O tamanho da família é estatisticamente significativo e tem efeito negativo em diferentes níveis

de consumo de eletricidade. Esse resultado indica que a inclusão de um membro adicional na família resulta em uma redução no consumo *per capita* de energia elétrica. Ademais, os valores absolutos dos coeficientes estimados diminuem progressivamente à medida que aumenta o nível de consumo de energia. A redução no consumo de energia elétrica atribuída a um membro adicional é menor em domicílios com alto consumo em comparação aos de baixo consumo. Portanto, o efeito de escala econômica é mais fraco para domicílios que consomem mais eletricidade.

Para verificar o efeito do consumo de energia elétrica *per capita* para um membro adicional em diferentes grupos etários, é considerada a composição familiar, representada pelo número de membros em diferentes faixas etárias (0 a 14, 15 a 24, 25 a 44, 45 a 59 e 60 anos ou mais). Para isso, é utilizado um modelo de limite ótimo, no qual o número de subpopulações será otimizado de acordo com o critério BIC para cada modelo. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

Os resultados obtidos no modelo 5(A) apontam um efeito negativo e significativo do número de membros com idades entre 0 e 14 anos no consumo de energia elétrica *per capita* para todas as subpopulações. Isso sugere que o aumento no número de crianças tem um efeito de escala econômica no consumo de eletricidade para todos os tamanhos de famílias. Observa-se que esse efeito de escala econômica é mais acentuado nas famílias compostas por duas pessoas.

Os modelos 5(B), 5(C), 5(D) e 5(E) fornecem os resultados para as demais faixas etárias. No primeiro limite, os efeitos dos membros adicionais são positivos e significativos. Um membro adicional com mais de 14 anos aumenta o consumo de energia elétrica *per capita* em domicílios unipessoais. Para famílias com duas pessoas ou mais, os coeficientes estimados são negativos e significativos. A influência de um número crescente de membros na redução do consumo de eletricidade *per capita* é mais forte em famílias maiores. Esses resultados permitem comparar o efeito de escala econômica decorrente do aumento do número de membros entre diferentes grupos etários. O efeito do consumo de energia elétrica *per capita* devido ao aumento no número de membros com idade entre 25 e 44 anos é maior do que em outros grupos etários. Por outro lado, nos domicílios unipessoais, um aumento no número de membros com idades entre 15 e 24 anos resulta em um aumento maior no consumo de eletricidade em comparação com outras faixas etárias. Isso pode refletir a ineficiência no uso de eletricidade por parte das pessoas nessa faixa etária.

Para complementar a análise, a Tabela 1A do apêndice fornece informações sobre o número de domicílios com diferentes composições etárias dos membros da família, por tamanho da família. Famílias menores, com um ou dois membros, têm uma proporção significativa de pessoas com 60 anos ou mais. Isso sugere que o envelhecimento populacional está associado a uma redução no tamanho dos domicílios no contexto brasileiro. Quanto ao consumo de energia elétrica, domicílios pequenos ocupados por idosos podem ter capacidade econômica limitada para investir em aparelhos eficientes em termos energéticos.

A presença de crianças ou adultos entre 25 e 44 anos é relevante nas famílias com três ou quatro membros. Para famílias com estas dimensões, um membro adicional nessas faixas etárias resulta em economia de escala devido ao compartilhamento dos custos e no declínio no consumo de energia elétrica *per capita*.

Tabela 5- Efeitos de membros adicionais da família em diferentes faixas etárias no consumo de energia elétrica *per capita*

Indicador de limite	Tamanho da Família				
	Modelo 5 (A)	Modelo 5 (B)	Modelo 5 (C)	Modelo 5 (D)	Modelo 5 (E)

Variável de composição familiar	Número de membros de 0-14 anos	Número de membros de 15-24 anos	Número de membros de 25-44 anos	Número de membros de 45-59 anos	Número de membros de 60 anos ou mais
Número de subpopulações	4	4	4	4	4
Parâmetros de Limite					
τ_1	1	1	1	1	1
τ_2	2	2	2	2	2
τ_3	3	3	3	3	3
Coeficientes de composição familiar					
β_1	-85,00*** (11,10)	321,91*** (20,60)	287,33*** (8,21)	288,82*** (6,86)	287,76*** (7,11)
β_2	-148,12*** (5,03)	-11,17* (6,37)	-34,1*** (4,27)	-15,41*** (3,79)	-12,24*** (4,17)
β_3	-125,7*** (3,53)	-91,25*** (4,98)	-96,89*** (3,41)	-74,74*** (4,21)	-78,37*** (5,36)
β_4	-108,35*** (3,47)	-113,01*** (3,60)	-119,47*** (3,43)	-108,03*** (5,21)	-115,7*** (6,18)
BIC	224.378,53	225.163,93	222.724,03	223.960,03	223.598,78
Observações	16.468				

Fonte: Elaborada a partir dos resultados.

Nota: *, ** e *** representam os níveis de significância de 10%, 5% e 1% respectivamente. Os valores entre parênteses são erros padrão.

Quando a variável de limite é o nível de consumo de eletricidade, os coeficientes estimados na tabela 6 indicam que as variáveis de composição familiar são consistentemente negativas e significativas em todos os modelos. Isso sugere que, mesmo em domicílios com maiores níveis de consumo de eletricidade, um aumento no número de membros na família em diferentes faixas etárias resulta em economia de escala, embora esse efeito seja menor.

Ao analisar os efeitos da escala econômica relacionados a um membro adicional entre as faixas etárias, os resultados mostram que os efeitos de um número crescente de membros entre diferentes grupos etários variam. Em domicílios com menor nível de consumo de energia elétrica, o aumento no número de membros com 60 anos ou mais tem um efeito negativo mais expressivo em comparação com outras faixas etárias.

Quando o consumo doméstico está no nível de 3 a 5, a inclusão de um membro adicional na família, com idade entre 25 e 44 anos, gera um efeito mais expressivo no consumo de eletricidade *per capita* em comparação com os demais grupos etários. Por outro lado, quando o consumo de eletricidade é mais elevado, observa-se que um aumento no número de membros da família na faixa etária de 44 a 59 anos resulta em um efeito de escala menor. Esses resultados indicam que um aumento no número de membros na família resultaria em economia de escala de energia, devido ao compartilhamento de eletrodomésticos e de espaço habitacional. Nesse contexto, a composição familiar tem um efeito importante na eficiência do consumo doméstico de eletricidade, que está associada ao seu tamanho.

Tabela 6- Efeitos de membros adicionais da família em diferentes faixas etárias no consumo de energia elétrica *per capita*

Indicador de limite	Nível de Consumo de Energia Elétrica				
	Modelo 6 (A)	Modelo 6 (B)	Modelo 6 (C)	Modelo 6 (D)	Modelo 6 (E)
Variável de composição familiar	Número de membros de 0-14 anos	Número de membros de 15-24 anos	Número de membros de 25-44 anos	Número de membros de 45-59 anos	Número de membros de 60 anos ou mais

Número de subpopulações	5	5	5	5	5
Parâmetros de Limite					
τ_1	1	1	1	1	1
τ_2	2	2	2	2	2
τ_3	3	3	3	3	3
τ_4	4	4	4	4	4
Coefficientes de composição familiar					
β_1	-185,6*** (32,07)	-186,14*** (62,34)	-275,79*** (42,81)	-230,86*** (53,94)	-294,15*** (62,56)
β_2	-139,89*** (4,84)	-156,88*** (6,51)	-204,69*** (5,75)	-174,56*** (7,77)	-249,91*** (8,92)
β_3	-126,48*** (4,31)	-131,47*** (5,83)	-167,78*** (4,88)	-113,55*** (6,40)	-164,45*** (6,89)
β_4	-115,6*** (3,81)	-107,44*** (4,96)	-133,42*** (4,16)	-65,65*** (5,12)	-102,68*** (5,77)
β_5	-95,36*** (3,26)	-80,63*** (4,19)	-96,52*** (3,55)	-25,16*** (4,34)	-44,66*** (5,07)
BIC	224.354,17	225.431,33	224.444,58	226.026,33	225.533,58
Observações	16.468				

Fonte: Elaborada a partir dos resultados.

Nota: *, ** e *** representam os níveis de significância de 10%, 5% e 1% respectivamente. Os valores entre parênteses são erros padrão.

Ye *et al.* (2018) destacam a relevância da propriedade e utilização de eletrodomésticos na compreensão do consumo de energia elétrica residencial. Suas descobertas indicam que famílias com maior quantidade de aparelhos tendem a ter um consumo energético mais elevado, especialmente em residências com mais moradores e maior área física. A análise da relação entre o número de eletrodomésticos e o tamanho familiar, apresentada na Tabela 2A do Apêndice, revela que as correlações mais significativas ocorrem entre o tamanho da família e a posse de dispositivos como DVD ou Blu-Ray, ventiladores ou circuladores de ar, e televisores.

A Figura 2A do apêndice ilustra a posse de eletrodomésticos por tamanho da família. À medida que o tamanho da família aumenta, observa-se um aumento no número de aparelhos de DVD/Blu-Ray, ventiladores/circuladores de ar e de televisores, corroborando os resultados apresentados na tabela 2A. Adicionalmente, é possível identificar os eletrodomésticos mais adquiridos em diferentes tamanhos de famílias. A média do número de televisores, geladeiras, ventiladores e ferro elétrico mais alta em comparação com outros aparelhos, indicando a necessidade e a prevalência desses aparelhos.

A Figura 3A do Apêndice ilustra a posse de eletrodoméstico *per capita* por tamanho de família. Nos domicílios unipessoais, as médias de televisores, geladeiras, ventiladores, ferro elétrico e chuveiro são, respectivamente, 0,97, 0,95, 0,80, 0,54 e 0,53. Conforme o tamanho da família aumenta, a posse média de eletrodomésticos por pessoa diminui para todos os tipos de aparelhos e tamanhos de família, evidenciando o efeito de economia de escala decorrente do compartilhamento desses aparelhos no domicílio.

Esses resultados demonstram que o consumo de energia elétrica nos domicílios está associado ao tamanho e à composição etária das famílias. Diante da redução do tamanho médio das famílias, ao mesmo tempo em que o número de domicílios aumenta e a população brasileira envelhece rapidamente, a tendência é que o consumo de energia aumente, mesmo com as taxas de crescimento populacional em declínio.

Considerações finais

Este estudo empregou modelos de regressão linear e de limites ótimos para estimar a relação entre a composição e tamanho das famílias e o consumo de eletricidade no Brasil. Os resultados dos modelos de regressão linear sugerem que o efeito no consumo de energia elétrica *per capita* pode ser diferente para domicílios com tamanhos diferentes. O aumento no número de membros da família em diferentes faixas etárias pode ter efeitos distintos no consumo de energia elétrica.

Em relação aos efeitos limiares do tamanho da família no consumo de energia elétrica *per capita*, os resultados indicam que a economia de escala no consumo de energia elétrica devido a um membro adicional da família só aparece para famílias com quatro membros. Se uma família for pequena, a economia de escala não tem efeito. Quando o nível de consumo doméstico de energia elétrica é tratado como indicador de limiar, a redução no consumo de energia elétrica *per capita* atribuída a um membro adicional da família é menor em famílias com alta demanda.

Os efeitos heterogêneos do consumo de energia elétrica *per capita* para membros adicionais da família de diferentes faixas etárias revelam padrões distintos. Quando o tamanho da família é o indicador de limite, o aumento no número de crianças resulta em economia de escala em famílias de todos os tamanhos. Por outro lado, um membro adicional com 15 anos ou mais aumenta o consumo de energia elétrica *per capita* em domicílios unipessoais, mas o reduz em famílias maiores. Além disso, a influência de membros adicionais na redução do consumo *per capita* é mais forte em famílias maiores. Quando o indicador é o nível de consumo de eletricidade, a economia de escala decorrente do aumento de membros afeta o consumo em todos os tamanhos de famílias, embora seja menos pronunciada nas de alto consumo. Ademais, o efeito dos membros adicionais varia entre as faixas etárias.

Devido às tendências demográficas, prevê-se que a procura por eletricidade aumente em decorrência da redução no tamanho das famílias, do envelhecimento populacional, especificamente pela tendência de idosos morarem sozinhos e, conseqüentemente, do aumento do número de domicílios, e da maior dependência da eletricidade. Compreender essas questões pode ter implicações econômicas significativas para a política energética, especialmente as destinadas à população idosa e às famílias de baixa renda, por meio de programas de aquisição de eletrodomésticos mais eficientes energeticamente.

Referências

ABRAHÃO, K. C. DE F. J. A influência da estrutura demográfica sobre o consumo residencial de energia elétrica. 2020.

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**, v. 21, p. 7–39, 2021.

BONGAARTS, J. **Household size and composition in the developing world**. [s.l.] Population Council, 2001. Disponível em: <https://knowledgecommons.popcouncil.org/departments_sbsrpgy/283>. Acesso em: 8 jun. 2023.

BROUNEN, D.; KOK, N.; QUIGLEY, J. M. Residential energy use and conservation: Economics and demographics. **European Economic Review**, Green Building, the Economy, and Public Policy. v. 56, n. 5, p. 931–945, 2012.

CARVALHO, A. A.; ALVES, J. E. D. Explorando o consumo das famílias brasileiras e sua interface com o ciclo de vida e gênero. **Oikos: Família e Sociedade em Debate**, v. 23, n. 1, p. 6–29, 2012.

CRAICE, C. Como consumimos? Possibilidade de análise do consumo pela demografia: estudo do caso em Lucas do Rio Verde. **Anais**, n. 0, p. 1–12, 2016.

DIÓGENES, V. H. D. **Quando menos é mais: análise do impacto da transição demográfica no consumo de energia elétrica domiciliar do brasileiro**. masterThesis—[s.l.] Brasil, 2015.

ENERDATA. **World Power consumption | Electricity consumption**. Disponível em: <<https://yearbook.enerdata.net/electricity/electricity-domestic-consumption-data.html>>. Acesso em: 9 jan. 2024.

EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023: ano base 2022**. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario-livro/#316_Consumidores_por_classe>. Acesso em: 22 nov. 2023.

FRONDEL, M.; SOMMER, S.; VANCE, C. Heterogeneity in German Residential Electricity Consumption: A quantile regression approach. **Energy Policy**, v. 131, p. 370–379, 2019.

FU, C.; WANG, W.; TANG, J. Exploring the sensitivity of residential energy consumption in China: Implications from a micro-demographic analysis. **Energy Research & Social Science**, v. 2, p. 1–11, 2014.

GANNON, B.; HARRIS, D.; HARRIS, M. Threshold Effects in Nonlinear Models with an Application to the Social Capital-Retirement-Health Relationship. **Health Economics**, v. 23, n. 9, p.1072–1083, 2014.

GUO, W.; SUN, T.; DAI, H. Effect of Population Structure Change on Carbon Emission in China. **Sustainability**, v. 8, n. 3, p.225, 2016.

HANSEN, A. R. Heating homes: Understanding the impact of prices. **Energy Policy**, v. 121, p. 138–151, 2018.

HASANOV, F. J.; MIKAYILOV, J. I. The impact of age groups on consumption of residential electricity in Azerbaijan. **Communist and Post-Communist Studies**, v. 50, n. 4, p. 339–351, 2017.

HOGAN, D. J. Mobilidade populacional, sustentabilidade ambiental e vulnerabilidade social. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 22, p.323–338, 2005.

HUANG, W.-H. The determinants of household electricity consumption in Taiwan: Evidence from quantile regression. **Energy**, v. 87, p.120–133, 2015.

HUANG, W.-H. Nonlinear relationship between household composition and electricity consumption: optimal threshold models. **Optimization and Engineering**, v. 23, n. 4, p.2261–2292, 2022.

HUEBNER, G. *et al.* Understanding electricity consumption: A comparative contribution of building factors, socio-demographics, appliances, behaviours and attitudes. **Applied Energy**, v. 177, p.692–702, 2016.

HUNG, M.-F.; HUANG, T.-H. Dynamic demand for residential electricity in Taiwan under seasonality and increasing-block pricing. **Energy Economics**, v. 48, p.168–177, 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE | Brasil em síntese | população | taxas de fecundidade total**. Disponível em: <<https://brasilemsintese.ibge.gov.br/populacao/taxas-de-fecundidade-total.html>>. Acesso em: 30 abr. 2024.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **POF 2017-2018 | IBGE**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/24786-pesquisa-de-orcamentos-familiares-2.html>>. Acesso em: 2 maio. 2023.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Brasil: população por idade de 60 anos e mais e sexo**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/0c84737978791f626e1a10b75eae18b3c.docx>. Acesso em: 5 fev. 2024a.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **País tem 90 milhões de domicílios, 34% a mais que em 2010 | Agência de Notícias**. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37238-pais-tem-90-milhoes-de-domicilios-34-a-mais-que-em-2010>>. Acesso em: 23 nov. 2023b.

JONES, R. V.; LOMAS, K. J. Determinants of high electrical energy demand in UK homes: Socio-economic and dwelling characteristics. **Energy and Buildings**, v. 101, p. 24–34, 2015.

KAVOUSIAN, A.; RAJAGOPAL, R.; FISCHER, M. Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior. **Energy**, v. 55, p.184–194, 2013.

KIM, J.; JANG, M.; SHIN, D. Examining the Role of Population Age Structure upon Residential Electricity Demand: A Case from Korea. **Sustainability**, v. 11, n. 14, p.39, 2019.

KIM, M.-J. RETRACTED: Characteristics and determinants by electricity consumption level of households in Korea. **Energy Reports**, v. 4, p. 70–76, 2018.

KIM, M.-J. Understanding the determinants on household electricity consumption in Korea: OLS regression and quantile regression. **The Electricity Journal**, v. 33, n. 7, p.106802, 2020.

KOSTAKIS, I. Socio-demographic determinants of household electricity consumption: evidence from Greece using quantile regression analysis. **Current Research in Environmental Sustainability**, v. 1, p.23–30, 2020.

LEAHY, E.; LYONS, S. Energy use and appliance ownership in Ireland. **Energy Policy**, v. 38, n. 8, p.4265–4279, 2010.

LIDDLE, B.; LUNG, S. Age-structure, urbanization, and climate change in developed countries: revisiting STIRPAT for disaggregated population and consumption-related environmental impacts. **Population and Environment**, v. 31, n. 5, p.317–343, 2010.

MACKELLAR, F. L. *et al.* Population, Households, and CO 2 Emissions. **Population and Development Review**, v. 21, n. 4, p.849, 1995.

MARAZZI, A. **Algorithms, Routines, and S-Functions for Robust Statistics**. [s.l.] CRC Press, 1993.

MCLOUGHLIN, F.; DUFFY, A.; CONLON, M. Characterising domestic electricity consumption patterns by dwelling and occupant socio-economic variables: An Irish case study. **Energy and Buildings**, v. 48, p.240–248, 2012.

O'NEILL, B. C.; CHEN, B. S. Demographic Determinants of Household Energy Use in the United States. **Population and Development Review**, v. 28, p.53–88, 2002.

RAMSEY, J. B. Tests for Specification Errors in Classical Linear Least-Squares Regression Analysis. **Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology**, v. 31, n. 2, p.350–371, 1969.

ROMERO-JORDÁN, D.; DEL RÍO, P.; PEÑASCO, C. An analysis of the welfare and distributive implications of factors influencing household electricity consumption. **Energy Policy**, v. 88, p.361–370, 2016.

ROSETO-BIXBY, L.; CASTRO-MARTÍN, T.; MARTÍN-GARCÍA, T. Is Latin America starting to retreat from early and universal childbearing? **Demographic Research**, v. 20, p.169–194, 2009.

SCHIPPER, L. Life-styles and the environment: the case of energy. **Daedalus**, v. 125, n. 3, p.113–139, 1996.

SIMÕES, G. M. F.; LEDER, S. M. Energy poverty: The paradox between low income and increasing household energy consumption in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 268, p.112234, 2022.

SU, Y.-W. Residential electricity demand in Taiwan: Consumption behavior and rebound effect. **Energy Policy**, v. 124, p.36–45, 2019.

THERBORN, G. **Sexo e poder: a família no mundo 1900-2000**. São Paulo: Contexto, 2006.

TONN, B.; EISENBERG, J. The aging US population and residential energy demand. **Energy Policy**, v. 35, n. 1, p.743–745, 2007.

VERARDI, V.; CROUX, C. Robust regression in Stata. **Stata Journal**, v. 9, n. 3, 2009.

WOOLDRIDGE, J. M. **Introductory Econometrics: A Modern Approach**. [s.l.] Cengage Learning, 2015.

YAMASAKI, E.; TOMINAGA, N. Evolution of an aging society and effect on residential energy demand. **Energy Policy**, v. 25, n. 11, p.903–912, 1997.

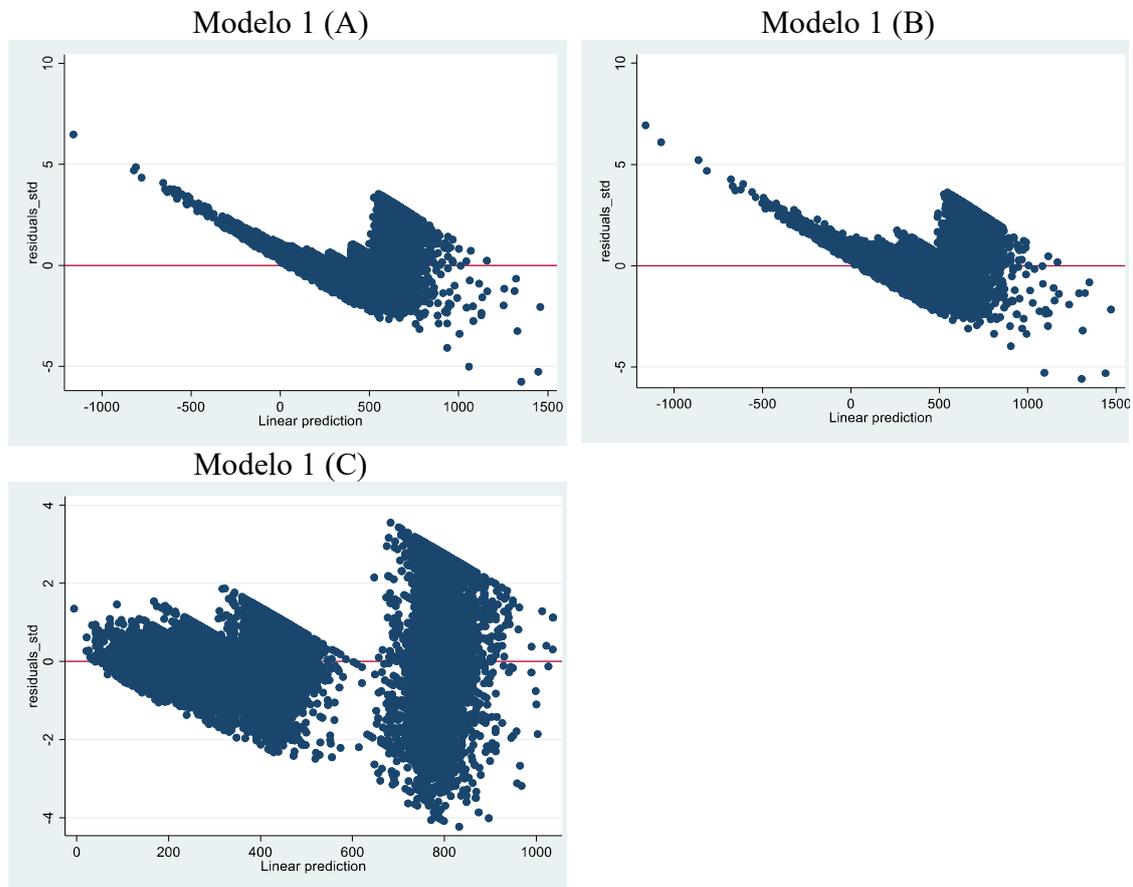
YE, Y.; KOCH, S. F.; ZHANG, J. Determinants of household electricity consumption in South Africa. **Energy Economics**, v. 75, p.120–133, 2018.

YOHAI, V. J. High Breakdown-Point and High Efficiency Robust Estimates for Regression. **The Annals of Statistics**, v. 15, n. 2, p.642–656, 1987.

ZHANG, Z.; CAI, W.; FENG, X. How do urban households in China respond to increasing block pricing in electricity? Evidence from a fuzzy regression discontinuity approach. **Energy Policy**, v. 105, p. 161–172, 2017.

APÊNDICE

Figura 1A - Testes de identificação de *outliers*.



Fonte: Elaborada a partir dos resultados.

Tabela 1A- Número de domicílios com diferentes composições domiciliares por tamanho de domicílio

	Tamanho da Família						Total
	1	2	3	4	5	6	
Número de domicílios com pelo menos um membro de 0 a 14 anos	0	422	2021	1710	887	738	5778
Número de domicílios com pelo menos um membro com idade entre 15 e 24 anos	124	949	1495	1195	659	609	5031
Número de domicílios com pelo menos um membro com idade entre 25 e 44 anos	836	1845	2510	1907	891	703	8692
Número de domicílios com pelo menos um membro com idade entre 45 e 59 anos	1120	1786	1329	831	437	391	5894
Número de domicílios com pelo menos um membro com 60 anos ou mais	1918	2184	953	452	237	218	5962

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da POF 2017/2018 (IBGE, 2019).

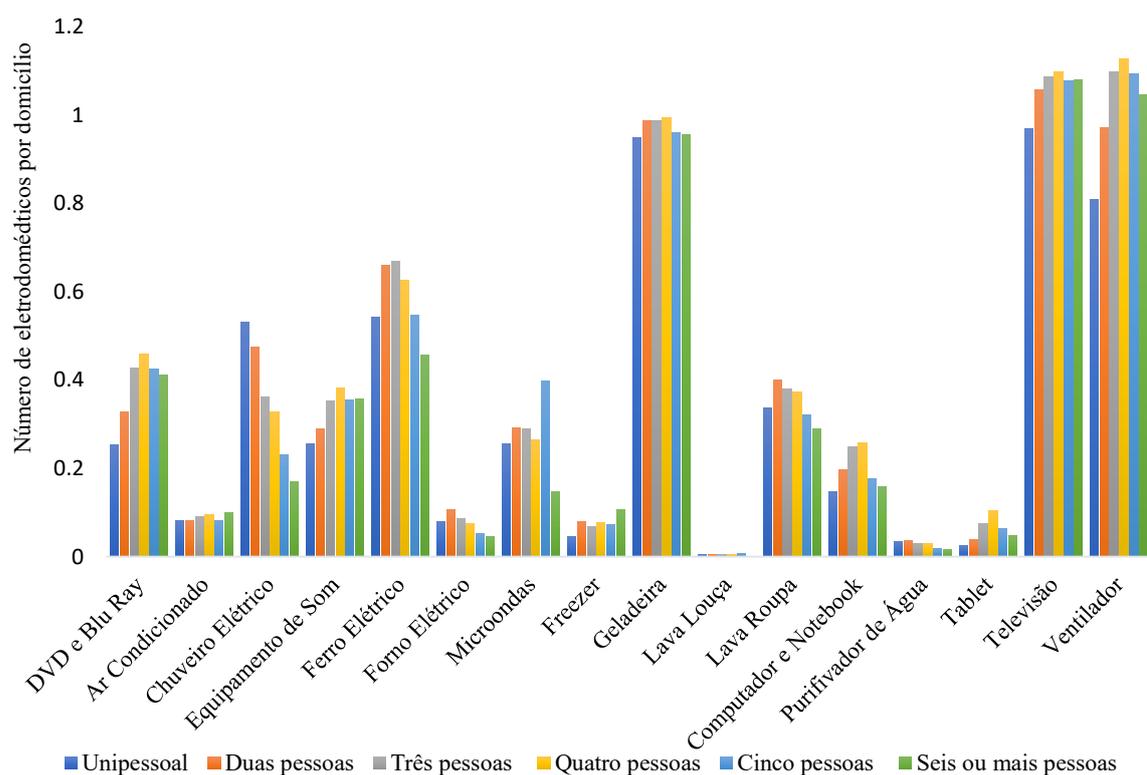
Tabela 2A- Coeficientes de correlação de Pearson entre posse de eletrodomésticos e tamanho da família

Número de Aparelho de DVD ou Blu-Ray	0,12
--------------------------------------	------

Número de Ar-Condicionado	0,01
Número de Chuveiro Elétrico	-0,18
Número de Equipamento de Som	0,08
Número de Ferro Elétrico	-0,02
Número de Forno Elétrico	-0,04
Número de Forno Micro-ondas	-0,05
Número de Freezer	0,05
Número de Geladeira	0,02
Número de Máquina de Lavar Louça	-0,01
Número de Máquina de Lavar Roupa	-0,02
Número de Microcomputador ou Notebook	0,03
Número de Purificador de Água	-0,03
Número de Tablet	0,06
Número de Televisão	0,08
Número de Ventilador ou Circulador de Ar	0,10

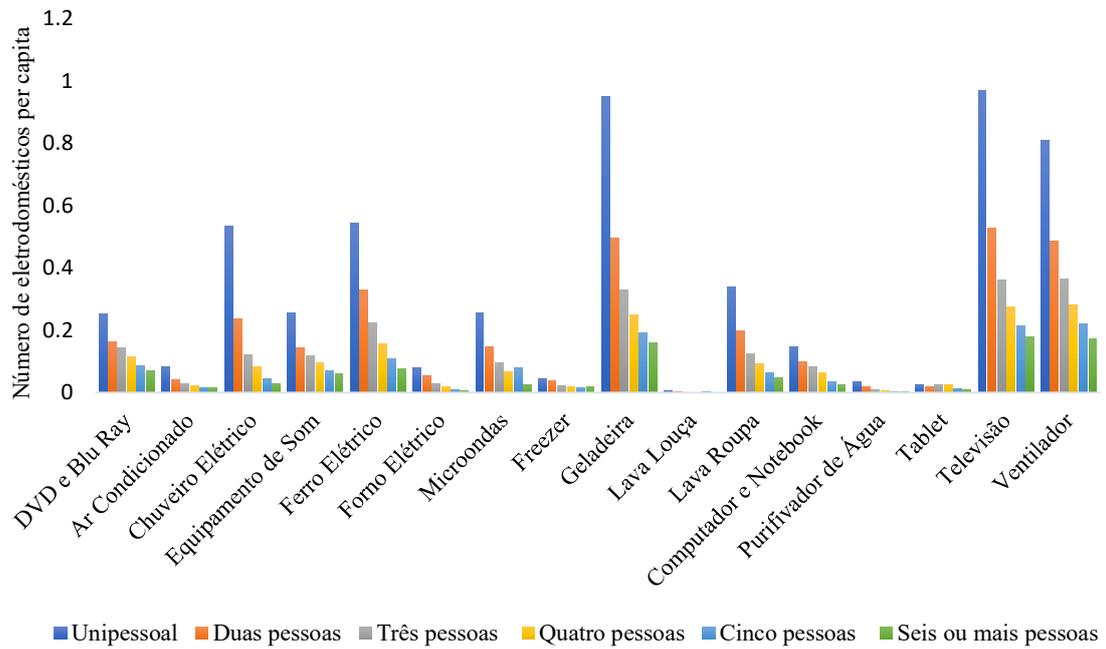
Fonte: Elaborada a partir dos resultados.

Figura 2A - Número de eletrodomésticos por tamanho da família



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da POF 2017/2018 (IBGE, 2019).

Figura 3A - Número de eletrodomésticos *per capita* por tamanho de família



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da POF 2017/2018 (IBGE, 2019).