



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Cristiano André Teixeira

**APLICAÇÃO DO MÉTODO *BOTTOM-UP* PARA ESTIMATIVA DE USOS FINAIS
DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR RESIDENCIAL BRASILEIRO**

Florianópolis
2020

Cristiano André Teixeira

**APLICAÇÃO DO MÉTODO *BOTTOM-UP* PARA ESTIMATIVA DE USOS FINAIS
DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR RESIDENCIAL BRASILEIRO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação
em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de
Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em
Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Roberto Lamberts, PhD.

Coorientador: Prof.^a Michele Fossati, Dra.

Florianópolis

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Teixeira, Cristiano André

Aplicação do método bottom-up para estimativa de usos finais de energia elétrica no setor residencial brasileiro / Cristiano André Teixeira ; orientador, Roberto Lamberts, coorientadora, Michele Fossati, 2020.

120 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Desempenho energético. 3. Setor residencial. 4. Modelo de demanda. 5. Método bottom-up. I. Lamberts, Roberto . II. Fossati, Michele. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. IV. Título.

Cristiano André Teixeira

Aplicação do método bottom-up para estimativa de usos finais de energia elétrica no setor residencial brasileiro

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Martin Gabriel Ordenes Mizgier, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Prof.^a Veridiana Atanasio Scalco, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Prof.^a María Andrea Triana Montes, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Prof. Fernando Simon Westphal, Dr.
Coordenador do Curso

Prof. Roberto Lamberts, PhD.
Orientador

Prof.^a Michele Fossati, Dra.
Coorientador

Florianópolis, 2020.

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, por me inspirar, proteger e auxiliar neste período de estudos, de pesquisas e de elaboração da dissertação. A minha avó, Adeli Marcelino Teixeira, que nesta vida sempre me incentivou a seguir o caminho da integridade e a me dedicar nos estudos. Aos meus pais e demais familiares, pelo apoio nesta jornada desde a graduação até o mestrado. À minha namorada, Andressa Caldas Vieira, pela companhia e apoio neste período de mestrado.

Gostaria de agradecer o meu orientador, professor Roberto Lamberts, e a minha coorientadora, professora Michele Fossati, pelas discussões, correções e apoio que foram fundamentais para a conclusão deste trabalho. Também gostaria de agradecer os colegas do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações pelas trocas de experiências durante o período de mestrado, que certamente contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação.

Por fim, gostaria de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro que ajudou a viabilizar este estudo.

RESUMO

O consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro vem crescendo anualmente, apesar de esforços governamentais no sentido de promover seu uso eficiente. Nesse contexto, a elaboração de modelos energéticos atualizados que estimem o consumo de energia elétrica de usos finais no setor residencial brasileiro é importante para auxiliar a implantação de medidas de eficiência energética mais eficazes. Assim, este estudo objetivou aplicar o método *bottom-up* para estimar o consumo anual de energia elétrica de nove equipamentos: lâmpadas, chuveiros, televisores, ares condicionados, refrigeradores, congeladores, ventiladores, micro-ondas e máquinas de lavar roupa. O estudo teve como base a análise das informações dos domicílios coletadas pela Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos (PPH), elaborada em 2019, e os consumos de seus equipamentos foram estimados a partir de equações de determinação de consumo e de simulações energéticas através do programa EnergyPlus, no caso de ares condicionados. Os consumos dos nove equipamentos foram, então, agregados e projetados para refletir os consumos de energia elétrica de todos os domicílios das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e Norte, e de todo o país, sendo, posteriormente, comparados com o consumo real do setor residencial e com os resultados de consumo apresentados no relatório da PPH realizada entre os anos de 2004 e 2006. O estudo demonstrou que cinco dos equipamentos analisados representaram 70% do consumo nacional do setor residencial: refrigeradores, chuveiros, televisores, lâmpadas e congeladores. Também demonstrou-se que as maiores variações de consumo entre as regiões ocorreram com os equipamentos cujos padrões de uso estão diretamente relacionados ao clima, sendo eles chuveiros, ventiladores e ares condicionados. A comparação entre os resultados estimados neste estudo e no relatório da PPH demonstrou que a inserção da tecnologia LED aliada à redução do número de lâmpadas incandescentes nos domicílios pode ter influenciado a redução do consumo das lâmpadas, e que, em contrapartida, a popularização de novas tecnologias de televisores (LCD/LED e plasma) pode ter contribuído para o aumento do consumo desses equipamentos, cuja posse e frequência de uso ainda é alta nos domicílios brasileiros.

Palavras-chave: Desempenho energético. Modelo de demanda. Método bottom-up. Setor residencial.

ABSTRACT

Electricity consumption in the Brazilian residential sector is growing annually despite government efforts to promote an efficient use of electricity. In this context, the development of up-to-date energy models that are able to estimate electricity end-uses in the Brazilian residential sector is important to contribute to the implementation of more effective energy efficiency measures. Then this study intended to use the bottom-up method in order to estimate the annual electricity consumption of nine equipment: light bulbs, showers, televisions, AC units, fridges, freezers, fans, microwaves and washing machines. The study is based on the analysis of dwelling information collected by the Electrical Appliances Possession and Usage Habits Research (PPH) that was conducted in 2019. The electricity consumption of their equipment were estimated according to electricity consumption equations and, for AC units, through energy simulation with the software EnergyPlus. Then the consumption of those equipment were aggregated and projected in order to estimate the electricity consumption of all dwellings in the South, Southeast, Midwest, Northeast and North regions, as well as in the entire country. In the next step the consumption of those equipment were compared with the real consumption of the residential sector and with consumption results presented by a report of a previous PPH that was conducted between 2004 and 2006. The study showed that five of the nine equipment analyzed were responsible for 70% of the national electricity consumption in the residential sector: fridges, showers, televisions, light bulbs and freezers. The study also showed that the biggest variation in electricity consumption between regions occurred with those equipment whose usage patterns were influenced by the climate like showers, fans and AC units. The comparison between the results obtained in this study and in the PPH report showed that the insertion of LED technologies combined with the reduction of incandescent light bulbs in buildings may be helping in the reduction of electricity consumption for lighting, and, on the other hand, the popularization of new technologies of televisions (LCD/LED e plasma) may be contributing to the rise of energy consumption of these equipment whose possession and usage are still high in Brazilian buildings.

Keywords: Energy performance. Demand model. Bottom-up method. Residential sector.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Consumo de energia elétrica no Brasil de 2009 a 2018. | 15 |
| Figura 2 – Etiqueta PBE para refrigeradores..... | 17 |
| Figura 3 – Selo Procel..... | 17 |
| Figura 4 – Distribuição geográfica das PPHs de 2004 a 2006 e de 2019. | 20 |
| Figura 5 – Número de domicílios no Brasil de 2016 a 2018..... | 25 |
| Figura 6 – Número de domicílios no Brasil por região para o ano de 2018. | 25 |
| Figura 7 – Número de domicílios até quatro moradores e com cinco ou mais moradores. | 25 |
| Figura 8 – Número de domicílios com dois moradores e com três moradores. | 25 |
| Figura 9 – Consumo de energia elétrica e população por região – Ano de 2018..... | 27 |
| Figura 10 – Percentuais de consumo de usos finais de energia elétrica por região..... | 27 |
| Figura 11 – Zoneamento climático da ASHRAE 169 para o Brasil. | 28 |
| Figura 12 – Demanda média de potência por domicílio em relação à temperatura externa. ... | 33 |
| Figura 13 – Relação entre UEC e graus-hora para a China, Japão, EUA e Canadá..... | 34 |
| Figura 14 – Resultados da aplicação do modelo PRISM em um domicílio..... | 35 |
| Figura 15 – Consumo para aquecimento ambiental e de água dos modelos representativos... | 37 |
| Figura 16 – Redução do consumo com a aplicação das medidas de eficiência energética. | 38 |
| Figura 17 – Exemplo de perturbações da taxa de ocupação..... | 40 |
| Figura 18 – Proporção do consumo de energia elétrica. Ano base: 1996. | 42 |
| Figura 19 – Percentual de consumo - Anual | 43 |
| Figura 20 – Estimativa do consumo de energia e emissões de CO ₂ de ares condicionados. ... | 44 |
| Figura 21 – Etapas realizadas. | 46 |
| Figura 22 – Formas de estimativa de consumo dos equipamentos..... | 47 |
| Figura 23 – Exemplo de estimativa do consumo das lâmpadas pelo <i>script</i> | 49 |
| Figura 24 – Exemplo de estimativa do consumo dos refrigeradores pelo <i>script</i> | 50 |
| Figura 25 – Exemplo de estimativa do consumo dos televisores pelo <i>script</i> | 53 |
| Figura 26 – Exemplo de estimativa do consumo das máquinas de lavar roupa pelo <i>script</i> | 55 |
| Figura 27 – Exemplo de estimativa do consumo dos chuveiros pelo <i>script</i> | 57 |
| Figura 28 – Etapas utilizadas para estimar o consumo de ares condicionados | 59 |
| Figura 29 – Etapas utilizadas para elaborar os casos para simulação | 61 |
| Figura 30 – Etapas utilizadas para estimar o consumo dos casos de uso eventual..... | 66 |
| Figura 31 – Municípios por região. | 71 |
| Figura 32 – Domicílios por região..... | 71 |

| | |
|---|----|
| Figura 33 – Distribuição dos consumos anuais de energia elétrica por domicílio. | 71 |
| Figura 34 – Percentual de domicílios por classe socioeconômica e número de residentes. | 73 |
| Figura 35 – Posse média de lâmpadas. | 73 |
| Figura 36 – Percentual de lâmpadas por faixa de potência – PPH 2019. | 74 |
| Figura 37 – Padrão nacional de uso das lâmpadas dos dormitórios e das salas – PPH 2019... | 74 |
| Figura 38 – Padrão nacional de uso das lâmpadas das cozinhas – PPH 2019. | 75 |
| Figura 39 – Percentual de consumo anual estimado das lâmpadas por região..... | 75 |
| Figura 40 – Posse média de refrigeradores. | 77 |
| Figura 41 – Percentual de refrigeradores por tipo – PPH 2019..... | 77 |
| Figura 42 – Percentual de consumo anual estimado dos refrigeradores por região. | 79 |
| Figura 43 – Ajuste do termostato por estação do ano – PPH 2019. | 79 |
| Figura 44 – Posse média de congeladores..... | 80 |
| Figura 45 – Percentual de congeladores por tipo – PPH 2019..... | 80 |
| Figura 46 – Percentual de consumo anual estimado dos congeladores. | 81 |
| Figura 47 – Posse média de televisores..... | 81 |
| Figura 48 – Percentual de televisores por tipo de tela – PPH 2019..... | 82 |
| Figura 49 – Percentual de televisores por frequência de uso – PPH 2019..... | 83 |
| Figura 50 – Horário de uso de todos os televisores – PPH 2019..... | 83 |
| Figura 51 – Percentual de consumo anual estimado dos televisores. | 84 |
| Figura 52 – Posse média de chuveiros elétricos. | 85 |
| Figura 53 – Percentual de chuveiros por faixa de potência – PPH 2019. | 85 |
| Figura 54 – Percentual de chuveiros por tempo de duração do banho – PPH 2019..... | 86 |
| Figura 55 – Percentual de chuveiros utilizados na temperatura máxima – PPH 2019. | 86 |
| Figura 56 – Percentual de chuveiros utilizados na temperatura intermediária – PPH 2019. ... | 87 |
| Figura 57 – Percentual de chuveiros utilizados na temperatura fria – PPH 2019. | 87 |
| Figura 58 – Percentual de consumo anual estimado dos chuveiros elétricos..... | 88 |
| Figura 59 – Posse média de micro-ondas..... | 88 |
| Figura 60 – Percentual de micro-ondas por capacidade de armazenagem – PPH 2019..... | 89 |
| Figura 61 – Percentual de micro-ondas por frequência de uso – PPH 2019..... | 89 |
| Figura 62 – Percentual de consumo anual estimado dos micro-ondas. | 90 |
| Figura 63 – Posse média de máquinas de lavar roupa. | 90 |
| Figura 64 – Percentual de máquinas de lavar roupa por tipo e capacidade – PPH de 2019. ... | 91 |
| Figura 65 – Percentual de máquinas de lavar roupa por frequência de uso – PPH 2019. | 91 |

| | |
|---|-----|
| Figura 66 – Percentual de consumo anual estimado das máquinas de lavar roupa. | 92 |
| Figura 67 – Posse média de ventiladores. | 92 |
| Figura 68 – Percentual de ventiladores por frequência de uso – PPH 2019. | 93 |
| Figura 69 – Percentual de ventiladores por tempo de uso diário – PPH 2019. | 93 |
| Figura 70 – Percentual de consumo anual estimado dos ventiladores. | 94 |
| Figura 71 – Posse média de ares condicionados. | 94 |
| Figura 72 – Percentual de domicílios por tipo– PPH 2019. | 95 |
| Figura 73 – Percentual de domicílios por orientação das janelas – PPH 2019. | 95 |
| Figura 74 – Percentual de domicílios por tipo de cobertura – PPH 2019. | 95 |
| Figura 75 – Percentual de domicílios por tipo e tonalidade de paredes externas – PPH 2019. | 96 |
| Figura 76 – Percentual de ares condicionados por capacidade térmica – PPH 2019. | 96 |
| Figura 77 – Percentual de ares condicionados por tipo – PPH 2019. | 97 |
| Figura 78 – Média da temperatura mais utilizada ao ligar o ar condicionado – PPH 2019. | 97 |
| Figura 79 – Percentual de ares condicionados utilizados de forma intensa – PPH 2019. | 98 |
| Figura 80 – Horários de uso de todos os ares condicionados da base de dados – PPH 2019. | 98 |
| Figura 81 – Percentual de consumo anual estimado dos ares condicionados. | 99 |
| Figura 82 – Consumo mensal por hora de ares condicionados com uso intenso. | 100 |
| Figura 83 – Percentual de consumo considerando os valores do Inmetro. | 100 |
| Figura 84 – Percentual de consumo anual estimado dos nove equipamentos (nacional). | 101 |
| Figura 85 – Percentuais de consumo com modificação da frequência ou tempo de uso. | 103 |
| Figura 86 – Percentuais de consumo com a modificação da frequência e/ou tempo de uso. | 104 |
| Figura 87 – Percentuais de consumo nacionais deste estudo e encontrados na literatura. | 105 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Informações da PPH realizada entre 2004 e 2006..... | 20 |
| Tabela 2 – Proporção de faixas socioeconômicas no Brasil. | 21 |
| Tabela 3 – Informações sobre as potências das lâmpadas pesquisadas pela PPH..... | 22 |
| Tabela 4 – Perguntas sobre os equipamentos do segundo grupo. | 22 |
| Tabela 5 – Perguntas sobre o uso dos equipamentos do segundo grupo. | 23 |
| Tabela 6 – Consumo anual dos modelos representativos do estudo de Cardoso (2012). | 29 |
| Tabela 7 – Perguntas sobre o uso dos equipamentos do segundo grupo. | 32 |
| Tabela 8 – Medidas de eficiência energética consideradas..... | 37 |
| Tabela 9 – Usos finais estimados..... | 41 |
| Tabela 10 – Comparação entre percentuais de consumo. | 43 |
| Tabela 11 – Potências representativas das lâmpadas. | 50 |
| Tabela 12 – Consumos mensais representativos de refrigeradores. | 51 |
| Tabela 13 – Consumos mensais representativos de congeladores..... | 52 |
| Tabela 14 – Faixas de tempo de uso diário de micro-ondas. | 52 |
| Tabela 15 – Frequências de uso consideradas. | 53 |
| Tabela 16 – Potências representativas de televisores e micro-ondas..... | 54 |
| Tabela 17 – Potências representativas de máquinas de lavar roupa. | 55 |
| Tabela 18 – Faixas de tempo de uso diário de chuveiros..... | 56 |
| Tabela 19 – Potências representativas de chuveiros. | 58 |
| Tabela 20 – Tempo de uso diário considerado. | 58 |
| Tabela 21 – Características físicas escolhidas..... | 60 |
| Tabela 22 – Características escolhidas do ar condicionado e de seu padrão de uso..... | 60 |
| Tabela 23 – Propriedades do piso..... | 61 |
| Tabela 24 – Propriedades de coberturas e paredes. | 62 |
| Tabela 25 – Variáveis do PTHP. | 63 |
| Tabela 26 – Valores de capacidade térmica e COP. | 64 |
| Tabela 27 – Dias considerados por faixas de frequência. | 65 |
| Tabela 28 – Número de domicílios..... | 67 |
| Tabela 29 – Consumo de energia elétrica do setor residencial..... | 68 |
| Tabela 30 – Valores considerados para a análise das faixas de limite..... | 68 |
| Tabela 31 – Consumo mensal por horas de uso - Inmetro. | 69 |

| | |
|---|----|
| Tabela 32 – Comparação das médias de consumo anual de energia elétrica. | 72 |
| Tabela 33 – Percentual de refrigeradores por tipo e capacidade – PPH 2019..... | 78 |
| Tabela 34 – Percentual de televisores por tipo e tamanho de tela – PPH 2019. | 82 |
| Tabela 35 – Potências representativas dos televisores..... | 84 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABEP – Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*
- CCEB – Critério de Classificação Econômica Brasil
- CDD – Graus-hora de refrigeração (*Cooling Degree Days*)
- C_{ch_ano} – Consumo anual de energia elétrica de chuveiros
- C_{ch_max} – Consumo mensal de energia elétrica os chuveiros na temperatura máxima
- C_{ch_int} – Consumo mensal de energia elétrica os chuveiros na temperatura intermediária
- $C_{l,amb}$ – Consumo anual de energia elétrica de lâmpadas por ambiente
- C_{maq} – Consumo anual de energia elétrica de máquinas de lavar
- $C_{mês,zc,freq}$ – Consumo horário de ar condicionado por mês, zona climática e frequência de uso
- C_{mic} – Consumo anual de energia elétrica de micro-ondas
- $C_{ref/cong}$ – Consumo anual de energia elétrica de refrigeradores ou congeladores
- C_T – Capacidade térmica
- C_{tv} – Consumo anual de energia elétrica de televisores
- C_{vent} – Consumo anual de energia elétrica de ventiladores
- CRT – Tubo de Raios Catódicos (*Cathode-ray Tube*)
- HDD – Graus-hora de aquecimento (*Heating Degree Days*)
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- LCD – Display de Cristal Líquido (*Liquid-crystal Display*)
- LED – Diodo Emissor de Luz (*Light-emitting Diode*)
- ONU – Organização das Nações Unidas
- P – Potência do equipamento
- PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem
- PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
- PNEf – Plano Nacional de Eficiência Energética
- PPH – Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos
- Procel – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
- T – Tempo de uso do equipamento
- $T_{méd,reg}$ – Média das horas de uso dos ares condicionados por região
- U – Transmitância Térmica

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 | OBJETIVOS..... | 18 |
| 1.1.1 | Objetivo Geral | 18 |
| 1.1.2 | Objetivos Específicos | 18 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 19 |
| 2.1 | PESQUISAS SOBRE O SETOR RESIDENCIAL BRASILEIRO..... | 19 |
| 2.2 | CARACTERÍSTICAS DO SETOR RESIDENCIAL BRASILEIRO..... | 25 |
| 2.3 | MÉTODOS DE ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR RESIDENCIAL: <i>TOP-DOWN</i> E <i>BOTTOM-UP</i> | 30 |
| 2.4 | MODELOS DE ESTIMATIVA DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR RESIDENCIAL..... | 32 |
| 2.5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 45 |
| 3 | MÉTODO..... | 46 |
| 3.1 | TRATAMENTO DA BASE DE DADOS | 47 |
| 3.2 | ESTIMATIVA DOS CONSUMOS DE ENERGIA ELÉTRICA DOS EQUIPAMENTOS | 47 |
| 3.2.1 | Estimativa do consumo de lâmpadas | 48 |
| 3.2.2 | Estimativa do consumo de refrigeradores e congeladores | 50 |
| 3.2.3 | Estimativa do consumo de televisores e micro-ondas..... | 52 |
| 3.2.4 | Estimativa do consumo de máquinas de lavar roupa | 54 |
| 3.2.5 | Estimativa do consumo de chuveiros | 56 |
| 3.2.6 | Estimativa do consumo de ventiladores | 58 |
| 3.2.7 | Estimativa do consumo de ares condicionados | 59 |
| 3.2.7.1 | <i>Definição do módulo de simulação e das variáveis consideradas.....</i> | <i>59</i> |
| 3.2.7.2 | <i>Elaboração dos casos para simulação</i> | <i>60</i> |
| 3.2.7.3 | <i>Estimativa de consumo dos casos de uso eventual.....</i> | <i>66</i> |
| 3.3 | PROJEÇÃO DA AMOSTRA | 67 |

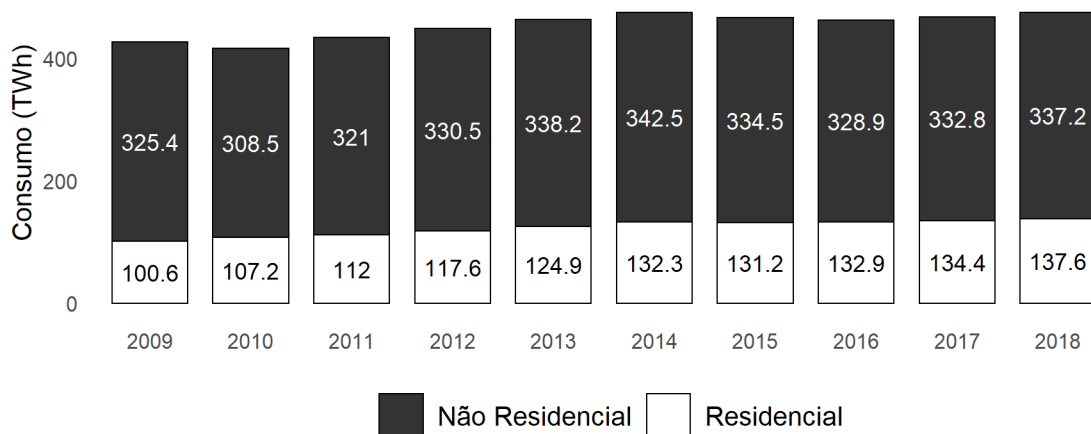
| | | |
|----------|--|------------|
| 3.4 | COMPARAÇÃO ENTRE CONSUMO ESTIMADO E REAL | 67 |
| 3.5 | ANÁLISE DOS LIMITES DE FREQUÊNCIA E TEMPO DE USO | 68 |
| 3.6 | ANÁLISE DO CONSUMO DO AR CONDICIONADO COM EQUAÇÕES | 69 |
| 3.7 | APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS | 70 |
| 4 | RESULTADOS | 71 |
| 4.1 | LÂMPADAS | 73 |
| 4.2 | REFRIGERADORES | 77 |
| 4.3 | CONGELADORES (<i>freezers</i>) | 80 |
| 4.4 | TELEVISORES..... | 81 |
| 4.5 | CHUVEIROS | 85 |
| 4.6 | MICRO-ONDAS | 88 |
| 4.7 | MÁQUINAS DE LAVAR ROUPA | 90 |
| 4.8 | VENTILADORES | 92 |
| 4.9 | ARES CONDICIONADOS | 94 |
| 4.10 | ESTIMATIVA DOS CONSUMOS NACIONAIS..... | 101 |
| 4.11 | ANÁLISE DOS LIMITES DE FREQUÊNCIA E TEMPO DE USO | 103 |
| 4.12 | DISCUSSÃO ACERCA DOS RESULTADOS E DO MÉTODO <i>BOTTOM-UP</i> | 105 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 108 |
| 5.1 | LIMITAÇÕES DO ESTUDO | 110 |
| 5.2 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 112 |

1 INTRODUÇÃO

Em 2017, o consumo mundial de energia elétrica chegou a 22.200 TWh, representando um crescimento de 70% em relação ao ano 2000, em uma taxa anual de crescimento de cerca de 3%, o que fez da energia elétrica a segunda maior fonte de energia utilizada como uso final, atrás apenas do petróleo (IEA, 2018a). Estima-se que a demanda de energia elétrica continuará em alta nas próximas décadas devido ao crescimento econômico e ao aumento da qualidade de vida nos países emergentes (UNDP, 2016).

No Brasil, o consumo de energia elétrica também aumentou. Somente o consumo do setor residencial cresceu cerca de 37% de 2009 a 2018, conforme a Figura 1, chegando a representar cerca de um quarto do consumo total de energia elétrica em 2018 (EPE, 2019b; EPE 2019c). O consumo no setor residencial aumentou em quase todos os anos, excetuando-se 2015, que, segundo informações da Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica (EPE, 2015), apresentou queda devido ao aumento do preço da tarifa de energia elétrica naquele ano. Em 2015 também houve uma redução significativa do consumo das indústrias, de 5,3%, o que contribuiu para a redução total do consumo de energia elétrica.

Figura 1 – Consumo de energia elétrica no Brasil de 2009 a 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O aumento das emissões mundiais de dióxido de carbono (CO₂), gás que contribui para o aumento do efeito estufa, é uma das consequências do crescimento do consumo de energia elétrica mundial. Segundo o Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais da ONU (UN DESA, 2019), em 2016, 43,62% da energia elétrica gerada no mundo foi produzida pela queima de petróleo ou de carvão, processo que tem a emissão de CO₂ como um de seus subprodutos.

O aumento do consumo global de energia e o conseqüente aumento das emissões de CO₂ incentivaram a adoção de metas para a redução do consumo e das emissões globais. Os estados membros da União Europeia, por exemplo, estabeleceram uma meta, para obter, até 2050, redução de 80% a 95% das emissões dos gases do efeito estufa em relação aos níveis de 1990, sendo que os investimentos na eficiência energética das edificações foram considerados essenciais para que se assegurasse utilização sustentável dos recursos energéticos (EUROPEAN UNION, 2012).

Já o Brasil, no âmbito do acordo de Paris, comprometeu-se a reduzir suas emissões de gases do efeito estufa para um nível 37% inferior aos níveis de 2015, até o ano de 2025, o que inclui obter 10% de ganhos de eficiência no consumo de energia elétrica até o ano de 2030 (MMA, 2015). Esta meta já havia sido estabelecida no Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) (MME, 2011), que foi desenvolvido e coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e que propôs linhas de ações para aumentar a eficiência energética de diversos setores (residencial, comercial, industrial, entre outros) de modo a alcançar redução do consumo de energia elétrica em 10% até 2030, tendo como base projeções de consumo previstas no Plano Nacional de Energia 2030 (MME, 2007).

Os esforços para o uso eficiente da energia consumida no Brasil, no entanto, vêm sendo executados desde 1984, através do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) (EPE, 2019a). A etiqueta do PBE fornece informações sobre o desempenho energético de equipamentos elétricos e de equipamentos que consomem combustíveis (fogões, automóveis, fornos, entre outros), e objetiva incentivar o consumidor a fazer uma compra mais adequada e estimular a fabricação de equipamentos mais eficientes. A etiqueta atribui aos equipamentos uma classificação que vai da A (relativa aos equipamentos mais eficientes) até a letra que corresponde aos menos eficiente, a qual varia conforme o equipamento, indo no máximo até a letra G (INMETRO, 2012).

Em 1985 foi criado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), que é coordenado pelo MME, executado pela Eletrobrás e que desde então promove ações de incentivo ao aumento da eficiência de bens e serviços e de estímulo ao desenvolvimento de hábitos de uso mais eficientes da energia elétrica (PROCEL, 2019a). Entre suas ações destaca-se o Selo Procel, que objetiva identificar, de uma forma mais simples, os equipamentos elétricos mais eficientes à disposição no mercado (PROCEL, 2019b). A Figura 2 e a Figura 3 apresentam exemplos da etiqueta do PBE e do Selo Procel.

Figura 2 – Etiqueta PBE para refrigeradores.

| Energia (Elétrica) | | REFRIGERADOR |
|---|----------------|--------------|
| Fabricante Marca | ABCDEF | XYZ(Logo) |
| Tipo de degelo Modelo (tensão(V)) | ABC Automático | IPQR/220 |
| Mais eficiente | | A |
| CONSUMO DE ENERGIA (kWh/mes) <small>(calculado no teste clima tropical)</small> | XYZ | |
| Volume do compartimento refrigerado (l) | 000 | |
| Volume do compartimento do congelador (l) | 000 | |
| Temperatura do congelador (°C) | | -18 |
| <small>Regulamento Específico Para Uso de Eletrodomésticos de Consumo de Energia Lista de Refrigeradores e Assessorias - REEP 2014-2017 Instruções de instalação e recomendações de uso, veja o Manual do aparelho.</small> | | |
| PROCEL PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA | | |
| <small>IMPORTANTE: A REMOÇÃO DESTA ETIQUETA ANTES DA VENDA, ESTA EM DESACORDO COM O CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR</small> | | |

Fonte: Inmetro (2019a).

Figura 3 – Selo Procel.



Fonte: PROCEL (2019b).

O setor residencial brasileiro, por sua vez, é heterogêneo e possui diversos agentes culturais, comportamentais e formas de uso final de energia (GONZALES-MAHECHA et al., 2019). Além disso, o consumo de energia elétrica dos usos finais pode mudar entre as regiões, uma vez que o Brasil possui dimensões continentais com diferentes climas e regiões em diferentes estágios de desenvolvimento socioeconômico. O avanço das tecnologias, como a popularização de lâmpadas fluorescentes (mais eficientes energeticamente) em detrimento das incandescentes (menos eficientes), também é um fator que altera o consumo dos equipamentos. É, por isso, importante a realização de pesquisas que visem a obter um perfil atualizado do consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro, tanto nacional como regionalmente.

Segundo Kavgigc (2010), a elaboração de modelos que estimem o consumo de energia elétrica das edificações e que possam avaliar o impacto de uma determinada medida de eficiência energética é fundamental para auxiliar a implementação racional de políticas públicas de redução do consumo de energia. Na literatura, é possível encontrar duas formas gerais de modelagem para estimar o consumo de energia elétrica do setor residencial: o método *top-down* (de cima para baixo), que avalia o consumo de energia do setor residencial como um todo, sem distinguir usos finais de energia por domicílio; e o método *bottom-up* (de baixo para cima), que se baseia, principalmente, no consumo dos usos finais de energia das edificações, para, então, determinar o consumo de energia de uma região ou de todo o setor (SWAN & URGUSAL, 2009). Desta forma, o modelo *bottom-up* é capaz de informar o peso de cada uso final de energia elétrica e de indicar o impacto do aumento da posse ou da eficiência de um determinado equipamento elétrico no setor residencial.

No Brasil, uma nova Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos para o setor residencial foi realizada em 2019 através de recursos advindos do Plano de Aplicação de Recursos do Procel (PAR 2017) (PROCEL, 2019c). Assim, com informações atualizadas da posse e do uso dos equipamentos elétricos no setor residencial brasileiro, é possível estimar, através do método *bottom-up*, o consumo de energia elétrica do setor residencial e a participação de seus usos finais nesse consumo. Este trabalho, então, visa à obtenção de uma estimativa atualizada dos usos finais de energia elétrica no setor residencial brasileiro através da aplicação do método *bottom-up*, tanto em nível nacional como regional.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Este estudo objetiva estimar o consumo de energia elétrica de usos finais no setor residencial brasileiro a partir da aplicação do método *bottom-up*.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar o tratamento da base de dados da PPH, versão 2019, e comparar com dados da PPH realizada entre 2004 e 2006;
- Estimar o consumo de energia elétrica de nove equipamentos: lâmpadas, chuveiros, televisores, ares condicionados, refrigeradores, congeladores, ventiladores, micro-ondas e máquinas de lavar roupa, para cada região do país;
- Estimar o percentual de consumo nacional e regionais de cada equipamento em relação ao consumo real do setor residencial brasileiro;
- Comparar os percentuais de consumo estimados com valores encontrados na literatura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentadas as pesquisas sobre o setor residencial brasileiro (2.1), as características do setor residencial brasileiro (2.2), a descrição dos métodos *top-down* e *bottom-up* (2.3), os modelos de estimativa *top-down* e *bottom-up* encontrados na literatura (2.4) e as considerações finais (2.5).

2.1 PESQUISAS SOBRE O SETOR RESIDENCIAL BRASILEIRO

No Brasil, são realizadas duas pesquisas governamentais em nível nacional que visam a compreender o perfil socioeconômico da população e que incluem informações sobre as edificações residenciais brasileiras e sobre a posse de equipamentos elétricos: a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua) (IBGE, 2019a) e a Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos (PPH) (PROCEL, 2019c).

A PNAD Contínua visa à geração de informações trimestrais contínuas para o estudo do desenvolvimento socioeconômico do país, através da análise de uma amostra probabilística, elaborada a partir de informações cadastrais do Sistema Integrado de Pesquisas Domiciliares (SIPD) (IBGE, 2019b) e constituída de 15.096 unidades primárias espalhadas pelo Brasil, sendo que, em cada uma dessas unidades primárias, são visitados 14 domicílios por trimestre (IBGE, 2019c). Na pesquisa de 2015, coletou-se, entre outros dados, informações sobre o tipo de domicílio (casa, apartamento, casa de cômodos ou cortiço), o número de moradores por domicílio, o material das paredes (alvenaria/taipa com revestimento, alvenaria/taipa sem revestimento, madeira ou outro) e a posse de geladeiras, máquinas de lavar roupa e televisores.

A PPH, elaborada pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), objetiva obter informações sobre a posse de equipamentos elétricos e seus hábitos de uso nos setores residencial, comercial e industrial brasileiros, de modo a gerar informações que contribuam para o planejamento energético do país. A primeira PPH foi realizada em 1988, sendo seguida de duas outras versões, uma realizada entre 1997 e 1998 e outra entre 2004 e 2006. Em 2019, uma nova PPH foi realizada apenas para o setor residencial (PROCEL, 2019).

Na PPH realizada entre 2004 e 2006, foram coletados dados de 9.847 domicílios nas cinco regiões do país e em municípios que possuíam perfis elétricos semelhantes aos perfis das concessionárias de energia elétrica que atuavam em cada região. Desses domicílios, foram coletadas, entre outros dados, as informações da Tabela 1.

Tabela 1 – Informações da PPH realizada entre 2004 e 2006.

| Informações sobre o domicílio | Informações sobre os equipamentos elétricos |
|---|---|
| Número de pessoas por domicílio | Tipo, número e padrão de uso de lâmpadas por cômodo |
| Tipos de domicílios | Número e padrão de uso de equipamentos elétricos |
| Tipos de cômodos | Tipo de aquecimento de água para banho |
| Material de paredes, coberturas e pisos | Hábitos de uso dos chuveiros elétricos |
| Área construída dos domicílios | Tipo, número e frequência de uso do ar condicionado |

Fonte: Adaptado de (PROCEL, 2007).

A PPH realizada em 2019, por sua vez, possui um tamanho amostral maior, com 18.775 domicílios distribuídos em todos os estados da federação, incluindo todas as suas mesorregiões e o Distrito Federal. Dos quatro estados com maior número de domicílios (São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Bahia) foram coletados dados de 1.100 domicílios. Dos demais estados e do Distrito Federal, foram coletados dados de 625 domicílios. A escolha dos municípios para a distribuição dos domicílios seguiu uma metodologia distinta da pesquisa realizada entre 2004 e 2006: considerou-se que a amostra deveria cobrir todas as capitais e cidades com cem mil ou mais domicílios, e, caso alguma mesorregião não possuísse cidades com cem mil ou mais domicílios, a cidade com maior número de domicílios deveria ser considerada (ELETROBRÁS, 2019a). A Figura 4 apresenta a distribuição geográfica dos municípios dos quais foram coletadas informações pelas PPHs de 2004 a 2006 e de 2019.

Figura 4 – Distribuição geográfica das PPHs de 2004 a 2006 e de 2019.



Fonte: Adaptado de Eletrobrás (2019a).

A amostra da PPH de 2019 também foi coletada em um sistema de controle de cotas para representar o estrato socioeconômico brasileiro definido pelo Critério de Classificação Econômica Brasil (CCEB) (ABEP, 2019), relativo ao ano de 2015. Esse critério avalia a condição socioeconômica dos brasileiros através de um sistema de pontos somados conforme a posse de equipamentos elétricos, automóveis, motocicletas, a escolaridade do chefe de família, o número de banheiros, o número de empregados domésticos e a existência de água encanada e/ou rua pavimentada. O sistema de controle de cotas segue a proporção de faixas socioeconômicas por região determinada a partir de estudos probabilísticos do Datafolha e IBOPE Inteligência (ABEP, 2015), sendo que, para atender à cota, no início da entrevista, são realizadas as perguntas relativas ao sistema de pontuações da ABEP, para classificar o domicílio. Se for necessária a inclusão do domicílio para atender à cota de domicílios por região, a pesquisa continua, se não for necessário, a entrevista é encerrada. A Tabela 2 apresenta as proporções das classes socioeconômicas no Brasil e nas cinco regiões utilizadas na PPH.

Tabela 2 – Proporção de faixas socioeconômicas no Brasil.

| Classe | Brasil | Sudeste | Sul | Nordeste | Centro-Oeste | Norte |
|---------------|---------------|----------------|------------|-----------------|---------------------|--------------|
| A | 3% | 4% | 3% | 1% | 4% | 2% |
| B1 | 5% | 7% | 6% | 2% | 6% | 3% |
| B2 | 18% | 23% | 21% | 10% | 20% | 11% |
| C1 | 23% | 27% | 29% | 15% | 22% | 14% |
| C2 | 25% | 24% | 24% | 24% | 26% | 28% |
| D-E | 27% | 16% | 47% | 47% | 22% | 42% |

Fonte: ABEP (2015).

Nesta versão da PPH, foram coletadas informações:

- Sobre os residentes, como o número de pessoas por domicílio e a idade dos residentes;
- Sobre os domicílios, como o tipo de domicílio (casa, apartamento, quarto ou cômodo), o andar em que o domicílio se encontra, a tonalidade das paredes externas (clara, média ou escura), a orientação da maioria das janelas, o material predominante de paredes (alvenaria com revestimento externo, alvenaria sem revestimento externo, madeira, taipa de mão ou pau a pique, taipa de pilão, zinco ou outra chapa metálica, estrutural ou outro material), de coberturas (laje de concreto, telha de barro, telha de amianto, zinco ou outra chapa metálica, madeira, palha ou outro material) e o consumo mensal de energia elétrica do domicílio;
- Sobre os equipamentos elétricos, foram coletados dados de 63 tipos de equipamentos. Eles podem ser separados em três grupos, que distinguem quanto às informações coletadas.

O primeiro grupo corresponde ao sistema de iluminação, cujas informações foram coletadas separadamente para dez tipos de cômodo, quando existentes no domicílio: quarto, banheiro, sala de estar ou jantar, copa ou cozinha, área de serviço, garagem, área externa, corredores, varandas e outros (ambientes não mencionados no questionário).

De cada ambiente foi coletado o número de lâmpadas por tipo (incandescente, fluorescente compacta, fluorescente tubular, LED, tubo LED, dicrónica, dicrónica LED, mini dicrónica ou outro tipo). No caso de lâmpadas incandescentes, fluorescentes compactas e LED, também foram coletadas informações sobre suas potências, quando o entrevistado soube informá-las. A Tabela 3 apresenta as alternativas referentes às potências das lâmpadas.

Tabela 3 – Informações sobre as potências das lâmpadas pesquisadas pela PPH.

| Tipo de lâmpada | Alternativas para faixa de potência |
|------------------------|---|
| Incandescente | Não sabe a potência, até 40 W, 60 W, 100 W e 150 W ou maior. |
| Fluorescente compacta | Não sabe a potência, até 12 W, 13 W a 16 W, 17 W a 25 W e 26W ou maior. |
| LED | Não sabe a potência, até 18 W, 9 W a 11 W, 12 W a 15 W e 16 W ou maior. |

Fonte: Adaptado de Eletrobrás (2019d).

Quanto à informação de uso das lâmpadas, a PPH classificou os dormitórios e os banheiros em dois tipos: eventuais (que não possui um período regular em que a lâmpada é utilizada) e habituais (que possui um período regular em que a lâmpada é utilizada). Assim, a PPH coletou os horários em que cada lâmpada dos dormitórios e dos banheiros de uso habitual, bem como dos outros oito ambientes, costumavam ser ligadas e desligadas.

Os equipamentos do segundo grupo correspondem aos refrigeradores, *freezers*, televisores, micro-ondas, máquinas de lavar roupa, chuveiros e ares condicionados. Desses equipamentos foram coletadas informações mais detalhadas que permitem definir, além da quantidade de equipamentos por domicílio e seu tempo de uso, suas tecnologias, dimensões ou capacidades. A Tabela 4 mostra as principais informações coletadas sobre esses equipamentos.

Tabela 4 – Perguntas sobre os equipamentos do segundo grupo.

| Equipamento | Pergunta | Alternativas |
|--------------------|---------------------------|---|
| Refrigerador | Tipo de aparelho | Frigobar, refrigerador de uma porta, refrigerador de uma porta <i>frost free</i> , combinado, combinado <i>frost free</i> , <i>side by side</i> . |
| | Capacidade de armazenagem | < 199 litros, 200 - 299 litros, 300 - 399 litros, 400 - 499 litros, 500 litros ou maior, NS/NR (não sabe ou não respondeu). |
| <i>Freezer</i> | Tipo de aparelho | Congelador vertical, congelador vertical <i>frost free</i> , congelador horizontal. |

| | | |
|-------------------------|---|---|
| | Capacidade de armazenagem | < 150 litros, 150 - 229 litros, 230 - 309 litros, 310 litros ou maior, NS/NR. |
| Televisor | Tipo de aparelho | CRT (tubo), plasma, LCD/LED. |
| | Tamanho da tela | < 20", 20 - 29", 30 - 39", 40 - 50", acima de 50", NS/NR. |
| Micro-ondas | Capacidade de armazenagem | Até 20 litros, de 21 litros a 29 litros, mais de 30 litros, NS/NR. |
| Máquina de lavar roupas | Tipo de aparelho | Automática, automática lava e seca, semi-automática. |
| | Capacidade de armazenagem | Até 6 kg, de 7 - 9 kg, 10 kg ou maior, NS/NR. |
| Chuveiro | Fonte de aquecimento | Energia elétrica, energia solar, gás, mista, outras, natural (sem aquecimento), NS/NR. |
| | Tipo de aparelho | Eletrônico, convencional. |
| | Potência máxima do aparelho | < 4500 W, 4501 - 6000 W, 6001 - 7500 W, maior que 7500 W, NS/NR. |
| Ar condicionado | Tipo de aparelho | Janela, portátil, split comum, split inverter, outro. |
| | Capacidade térmica | Até 7500 Btu/h, 7.501 - 10.000 Btu/h, 10.001 - 12.000 Btu/h, 12.001 - 18.000 Btu/h, 18.000 - 24.000 Btu/h, maior que 24.000 Btu/h, NS/NR. |
| | Tipo de operação | Frio, quente/frio (ciclo reverso), NS/NR. |
| | Temperatura mais utilizada ao ligar o ar condicionado | Valor numérico. |

Fonte: Adaptado de Eletrobrás (2019d).

A informação de uso dos equipamentos do segundo grupo varia conforme o equipamento. De refrigeradores, *freezers*, televisores, micro-ondas e máquinas de lavar roupa foi perguntada a frequência de uso, que varia entre intensa (seis a sete vezes por semana), grande (quatro a cinco vezes por semana), média (duas a três vezes por semana), pequena (uma vez por semana), mínima (uma vez a cada quinze dias), raramente (uma vez por mês) ou não utiliza o aparelho. Além disso, foram coletadas informações que auxiliam na compreensão do tempo de uso e/ou do número de vezes que os equipamentos televisores, micro-ondas, máquina de lavar roupas, chuveiros, e ares condicionados eram utilizados, conforme mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Perguntas sobre o uso dos equipamentos do segundo grupo.

| Equipamento | Pergunta | Alternativas |
|-------------------------|------------------------------------|--|
| Televisor | Horário de uso | Eventual, horários que costuma estar ligado. |
| Microondas | Tempo de uso ao longo do dia | Até 10 min., 11 min. – 30 min., 31 min. – 60 min., 61 min. – 90 min., acima de 90 min. |
| Máquina de lavar roupas | Número de lavagens ao longo do dia | Valor numérico, NS/NR. |
| Chuveiro | Número de banhos por dia | Valor numérico. |
| | Tempo médio de duração do banho | Até 5 min., 6 min. - 10 min., 11 min. – 20 min., acima de 20 min., NS/NR. |
| Ar condicionado | Horário de uso | Eventual, horários que costuma estar ligado. |

Fonte: Adaptado de Eletrobrás (2019d).

A alternativa “eventual” no horário de uso de televisores e ares condicionados é para aqueles casos em que o equipamento era utilizado, porém não em um horário específico.

Também foi analisada a sazonalidade de uso de chuveiros e de ares condicionados. No caso dos chuveiros, foi perguntado em quais meses predominava o banho na temperatura máxima, intermediária ou completamente fria. No caso dos ares condicionados, a pergunta relativa à frequência de uso do equipamento foi realizada separadamente para cada mês do ano.

Com exceção de lâmpadas e chuveiros, a PPH não coletou informações sobre a potência ou o consumo dos equipamentos. No entanto, as alternativas relativas às perguntas de tipo de equipamento coincidem com as divisões dos equipamentos elétricos cadastrados nas tabelas de consumo/eficiência energética disponibilizadas pelo Inmetro (2019b), o que permite obter uma estimativa de potência ou consumo desses equipamentos.

Do terceiro grupo, que abrange os demais equipamentos como ventiladores, fornos elétricos e liquidificadores, foram coletadas, entre outros dados, informações sobre o número de equipamentos, as suas frequências de uso e seus tempos de uso diário. A pergunta sobre a frequência de uso possuía as mesmas alternativas daquelas apresentadas para o segundo grupo. Quanto ao tempo de uso diário, a pergunta possuía as seguintes alternativas: Até 10 min., 11 min. a 30 min., 31 min. a 60 min., 61 min. a 120 min., 2h 01 min. a 4h, 4h 01 min. a 6h, 6h 01 min. a 12h, 12h 01 min. a 23h 59 min. ou 24h. As perguntas deste grupo, porém, não permitem definir diferentes tecnologias ou tipos de um determinado equipamento, nem seu uso sazonal.

A PPH também coletou algumas informações que objetivavam verificar o nível de consciência sobre o uso eficiente da energia elétrica e o interesse do entrevistado no tema (ELETROBRÁS, 2019a). Para isso, foram realizadas 20 perguntas sobre hábitos dos usuários, como deixar equipamentos em *stand-by* quando não estão em uso ou desligar o televisor quando ninguém está assistindo, além de quatro outras perguntas que objetivavam saber se os usuários recebiam ou tinham interesse em receber informações sobre como economizar energia, por quais meios essas informações eram recebidas e quais seriam os melhores para recebê-las.

2.2 CARACTERÍSTICAS DO SETOR RESIDENCIAL BRASILEIRO

O número de domicílios no Brasil vem crescendo anualmente, como mostra a Figura 5, que apresenta o número de domicílio do país de 2016 a 2018, segundo estimativas da PNAD Contínua (IBGE, 2019d). Em 2018, o Brasil superou a marca de 70 milhões de domicílios, com a predominância de casas unifamiliares (61,1 milhões). Quanto à distribuição regional dos domicílios, apresentada na Figura 6, também a partir de dados da PNAD Contínua, o Sudeste possui o maior número, com 31 milhões, ou 43,7% do total de domicílios do país, seguido do Nordeste (18,5 milhões), Sul (10,7 milhões), Centro-Oeste (5,5 milhões) e Norte (5,3 milhões).

Figura 5 – Número de domicílios no Brasil de 2016 a 2018.

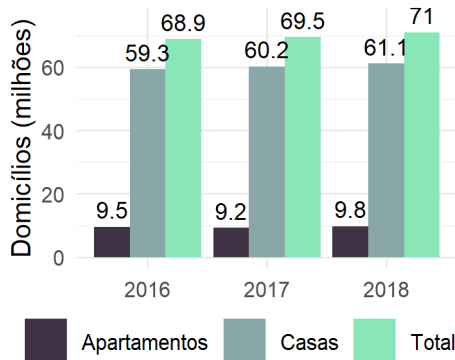
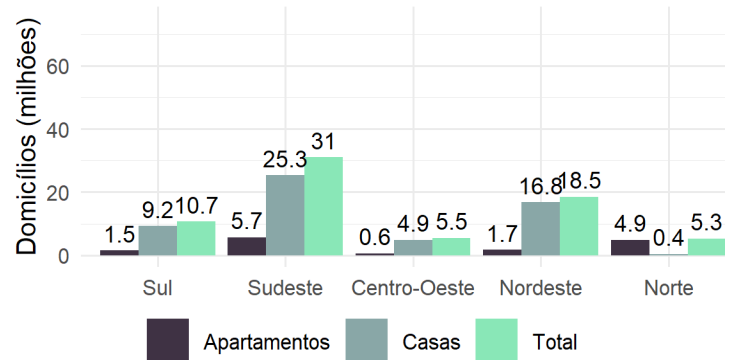


Figura 6 – Número de domicílios no Brasil por região para o ano de 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No período de 2016 a 2018 também houve um aumento do número de domicílios de um a quatro moradores, acompanhado da redução do número de domicílios com cinco ou mais, conforme as estimativas da PNAD Contínua apresentadas na Figura 7. Além disso, em 2018, pela primeira vez, o número de domicílios com dois moradores superou o número de domicílios com três moradores em mais de um milhão de unidades, como mostra a Figura 8.

Figura 7 – Número de domicílios até quatro moradores e com cinco ou mais moradores.

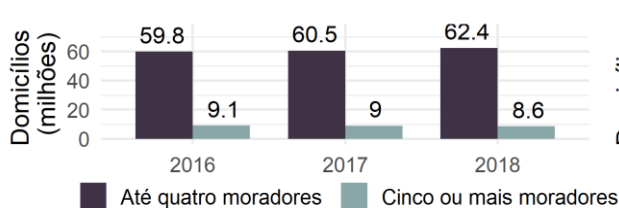
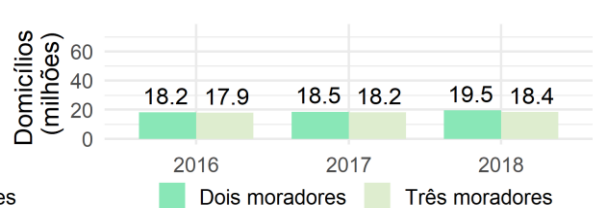


Figura 8 – Número de domicílios com dois moradores e com três moradores.



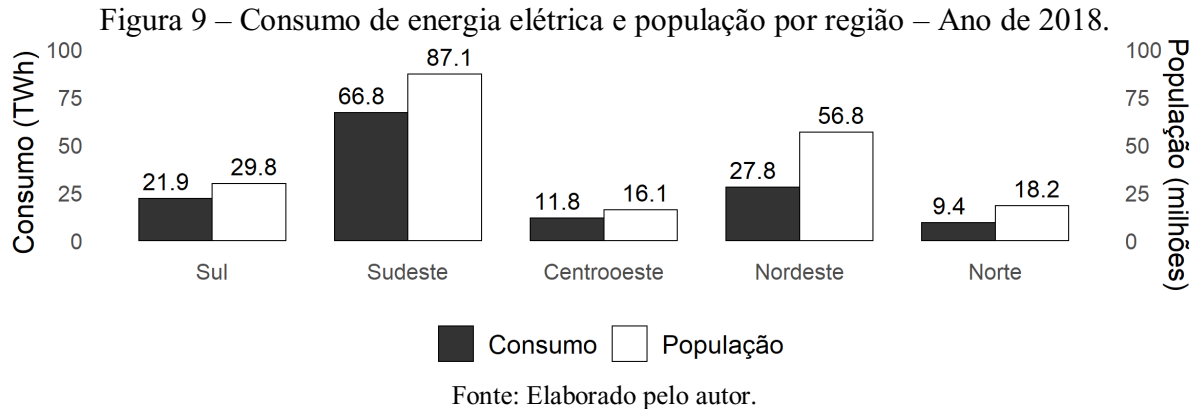
Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto ao layout das unidades habitacionais, no Brasil prevalece uma concepção tripartida, que divide as unidades habitacionais em três zonas: íntima, social e de serviços, sendo a área íntima correspondente aos dormitórios, a social à sala e a de serviços à cozinha e/ou área de serviço. Brandão (2003), ao analisar 3.011 plantas de apartamentos oriundos de 56 cidades brasileiras e que foram lançados no período de 1995 a 2000, identificou a predominância da tripartição íntimo-social-serviços dos apartamentos analisados. Esse comportamento ocorreu independentemente do número de dormitório ou da área útil dos apartamentos e que cuja tripartição se tornava mais nítida com o aumento da área útil dos apartamentos, uma vez que, com o aumento da área útil, tendia-se a desaparecer a integração entre a cozinha e a sala. Sobre as áreas dos ambientes, o trabalho de Teixeira (2015), que analisou as plantas de apartamentos de 167 edificações multifamiliares nas cinco regiões do país, demonstrou que mais de 70% dos dormitórios da amostra possuía áreas úteis entre 8 m² e 12 m² e que, das áreas de estar/jantar, 24 % e 30% possuíam, respectivamente, áreas úteis entre 12 m² e 16 m² e entre 16 m² e 20 m².

Sobre os materiais das envoltórias, a amostra de domicílios coletada pela PPH realizada entre 2004 e 2006 aponta para uma predominância de paredes de alvenaria com revestimento externo (79,3% da amostra), de coberturas com telha de barro (45,3%) ou em laje de concreto (27,9%) e de pisos de cerâmica (64,0%). Já a PNAD Contínua estimou que, em 2018, 88,2% dos domicílios do país possuíam paredes de alvenaria ou taipa com revestimento, e, a respeito das coberturas, 50,1% eram de telha sem laje de concreto, 32,7% eram de telha com laje de concreto e 14,7% possuíam apenas a laje de concreto.

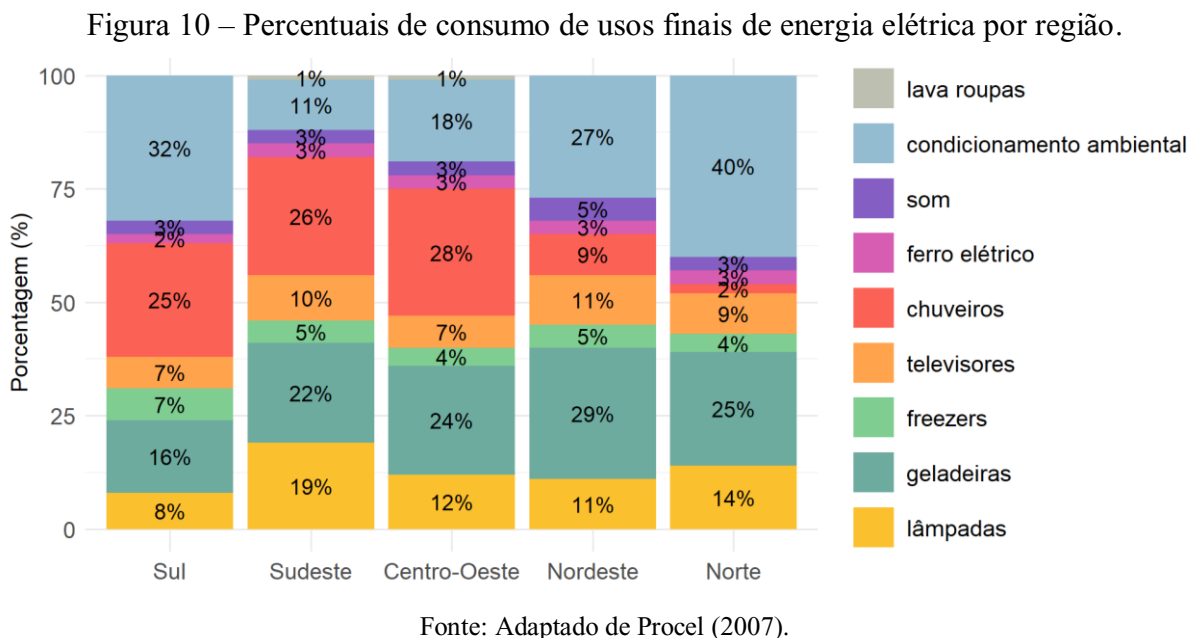
Quanto à posse média de equipamentos (média do número de equipamentos por domicílio), a amostra da PPH realizada entre 2004 e 2006 apresentou valor igual para lâmpadas incandescentes e fluorescentes (4,01 unidades); para refrigeradores, a posse média foi de 1,0 unidade; para televisores, foi de 1,41 unidade; para ares condicionados, foi de 0,16 unidade. A estimativa da PNAD Contínua para o ano de 2018 apresentou uma posse de 0,98 unidade para refrigeradores e de 0,65 unidade para máquinas de lavar roupa. Uma análise mais detalhada sobre os equipamentos elétricos do setor residencial brasileiro é apresentada no capítulo 4.

Os equipamentos elétricos do setor residencial brasileiro foram responsáveis por um consumo de 137,6 TWh de energia elétrica em 2018 (EPE, 2019c). Somente o Sudeste, que possuía cerca de 42% da população do país naquele ano (IBGE, 2019e), foi responsável por 48,5% do consumo, seguido, em ordem decrescente de proporção de consumo, das regiões Nordeste (20,2%), Sul (15,9%), Centro-Oeste (8,6%) e Norte (6,8%). A Figura 9 apresenta o valor, em TWh, do consumo de energia elétrica das cinco regiões do país e suas populações.



A região Sudeste abrange os três maiores consumidores de energia elétrica do setor residencial: São Paulo, que consumiu 39,9 TWh em 2018, ou seja, 29% do consumo nacional para esse setor; Rio de Janeiro, que consumiu 13,4 TWh; e Minas Gerais, que foi responsável por um consumo de 11,0 TWh.

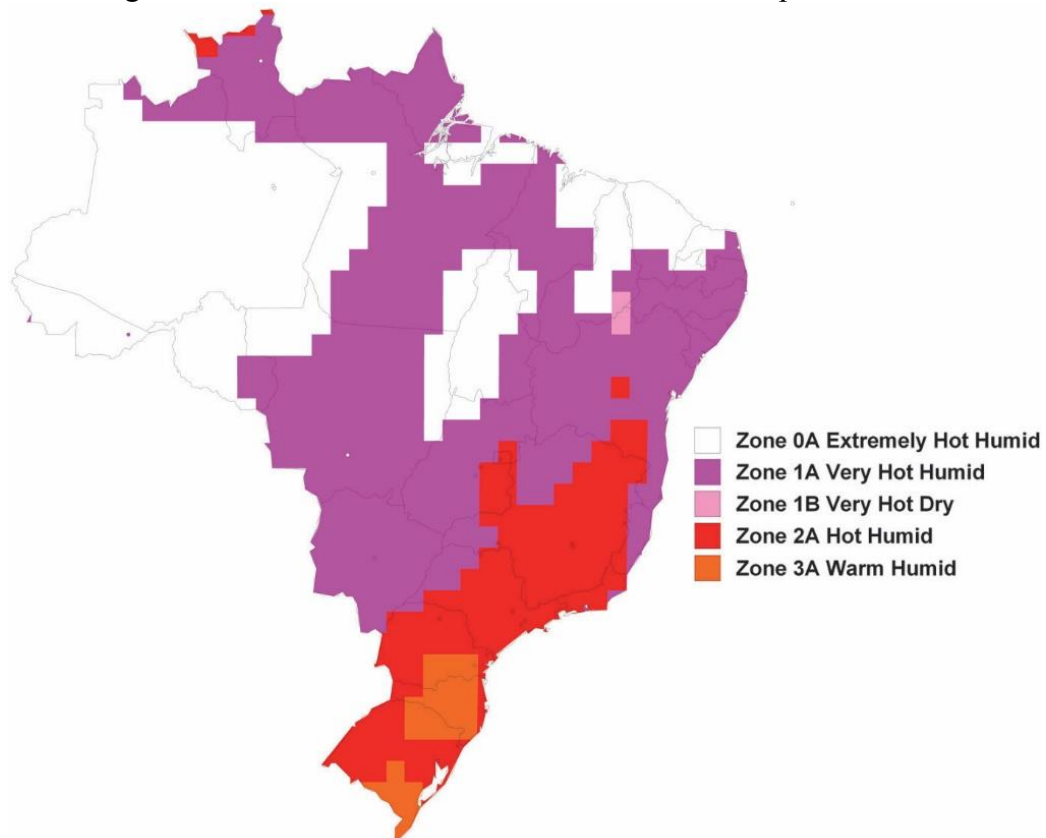
Os percentuais de consumo de usos finais também variam conforme a região, como mostra as estimativas dos percentuais de consumo por usos finais presentes no relatório da PPH realizada entre 2004 e 2006 (PROCEL, 2007) e apresentadas na Figura 10.



Percebe-se, pela Figura 10, que o percentual de consumo de chuveiros elétricos é alto nas regiões Sul (25%), Sudeste (26%) e Centro-Oeste (28%), e cai nas regiões Nordeste (9%) e Norte (2%). Já o Norte obteve o maior percentual de consumo para condicionamento ambiental (ar condicionado): 40%.

Esses resultados podem estar associados a fatores climáticos, uma vez que as regiões Sul e Sudeste possuem climas mais frios em relação às regiões Norte e Nordeste, como mostra o zoneamento climático da ASHRAE 169 (ASHRAE, 2013) (Figura 11). Esse zoneamento divide o Brasil em cinco zonas, de acordo com os graus horas anuais de aquecimento (*heating degree days* - HDD) e/ou refrigeração (*cooling degree days* - CDD), além do seu grau de umidade: zona 0A ($6000 < \text{CDD}_{10^{\circ}\text{C}}$ e clima úmido), zona 1A ($5000 < \text{CDD}_{10^{\circ}\text{C}} \leq 6000$ e clima úmido), zona 1B ($5000 < \text{CDD}_{10^{\circ}\text{C}} \leq 6000$ e clima seco), zona 2A ($3500 < \text{CDD}_{10^{\circ}\text{C}} \leq 5000$ e clima úmido) e zona 3A ($\text{CDD}_{10^{\circ}\text{C}} < 3500$ e $\text{HDD}_{18^{\circ}\text{C}} \leq 200$ e clima úmido).

Figura 11 – Zoneamento climático da ASHRAE 169 para o Brasil.



Fonte: ASHRAE (2013).

As regiões Norte e Nordeste possuem quase todo seu território nas zonas 0A e 1A, as de maior CDD entre as cinco zonas citadas no parágrafo anterior. A região Sudeste, por sua vez, possui a maior parte de seu território na zona 2A, enquanto que a região Sul possui boa parte de seu território na zona 3A, a de menor CDD entre as cinco zonas apresentadas. Chama a atenção, no entanto, o percentual de consumo de ar condicionado obtido pelo relatório da PPH na região Sul (32%), o segundo maior entre as regiões.

Outros consumos que são influenciados pelo clima são os de refrigeradores e congeladores, que tendem a consumir mais energia elétrica para conservação de alimentos em climas mais quentes. O estudo de Cardoso (2012), por exemplo, que avaliou os impactos energéticos dos Programas Brasileiros de Etiquetagem Energética em três equipamentos: refrigeradores, ar-condicionados e motores elétricos, desenvolveu modelos representativos de consumo anual de refrigeradores de uma porta cadastrados no PBE, para as cinco regiões, a partir de equações que consideravam, entre outras informações, as diferenças entre as temperaturas médias anuais das regiões (18 °C para a Sul, 22,2 °C para a Sudeste, 23,3 °C para a Centro-Oeste, 24,7 °C para a Nordeste e 25,1 °C para a Norte) e a temperatura interna do refrigerador, que foi fixada em 5 °C.

Os resultados de consumo anual unitário dos modelos de refrigerador, apresentados na Tabela 6, demonstram que há diferenças significativas entre os consumos das regiões, que pode chegar a 55%, se considerados os consumos dos modelos representativos do Sul e do Norte. A Tabela também demonstra que, de modo geral, houve redução do consumo ao longo dos anos, devido à melhora da eficiência dos refrigeradores pertencentes ao PBE.

Tabela 6 – Consumo anual dos modelos representativos do estudo de Cardoso (2012).

| Ano | Consumo anual | | | | |
|------|---------------|-----------|--------------|-----------|-----------|
| | Sul | Sudeste | Centro-Oeste | Nordeste | Norte |
| 1993 | 247,0 kWh | 326,8 kWh | 347,7 kWh | 374,3 kWh | 381,9 kWh |
| 1994 | 242,3 kWh | 320,6 kWh | 341,1 kWh | 367,2 kWh | 374,6 kWh |
| 1995 | 235,1 kWh | 311,1 kWh | 331,0 kWh | 356,3 kWh | 363,5 kWh |
| 1996 | 228,2 kWh | 301,9 kWh | 321,2 kWh | 345,8 kWh | 352,8 kWh |
| 1997 | 221,4 kWh | 293,0 kWh | 311,7 kWh | 335,6 kWh | 342,4 kWh |
| 1998 | 214,5 kWh | 283,8 kWh | 302,0 kWh | 325,1 kWh | 331,7 kWh |
| 1999 | 199,7 kWh | 264,3 kWh | 281,2 kWh | 302,7 kWh | 308,8 kWh |
| 2000 | 197,9 kWh | 261,8 kWh | 278,6 kWh | 299,9 kWh | 306,0 kWh |
| 2001 | 196,4 kWh | 259,8 kWh | 276,5 kWh | 297,6 kWh | 303,7 kWh |
| 2002 | 174,7 kWh | 231,2 kWh | 246,0 kWh | 264,8 kWh | 270,1 kWh |
| 2003 | 169,0 kWh | 223,6 kWh | 237,9 kWh | 256,1 kWh | 261,3 kWh |
| 2004 | 163,2 kWh | 216,0 kWh | 229,8 kWh | 247,3 kWh | 252,4 kWh |
| 2005 | 156,0 kWh | 206,4 kWh | 219,6 kWh | 236,4 kWh | 241,2 kWh |
| 2006 | 157,7 kWh | 208,7 kWh | 222,0 kWh | 239,0 kWh | 243,9 kWh |

Fonte: Adaptado de Cardoso (2012).

Os resultados dos refrigeradores e congeladores apresentados no relatório da PPH, no entanto, parecem não considerar o clima, uma vez que há uma variação menor do percentual de consumo entre as regiões, com exceção do Sul, para refrigeradores, cujo percentual foi de 16%.

2.3 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR RESIDENCIAL: *TOP-DOWN* E *BOTTOM-UP*

O método *top-down* estima as mudanças no consumo de energia total do setor residencial decorrente de variações macroeconômicas (como produto interno bruto e índices de preço), climáticas, de taxas de demolição e de construção de edificações, de posse de equipamentos elétricos, entre outros fatores tratados no conjunto das edificações do setor residencial, normalmente através de equações de regressão. O método *top-down* se baseia em dados históricos agregados, que não precisam ser separados de acordo com as características do setor residencial (SWAN & URGUSAL, 2009), além de serem tipicamente utilizado para analisar variações de longo prazo do setor residencial (STREICHER et al., 2019).

Os modelos de estimativa de consumo energético que utilizam o método *top-down* são mais fáceis de serem desenvolvidos, pois possuem um nível de desagregação menor (o sistema energético tende a ser tratado como um todo) e por conta de os dados tecnológicos, econômicos, climáticos ou ambientais utilizados estarem em uma escala macroeconômica. No entanto, uma desvantagem desses modelos está na falta de informações detalhadas sobre os usos finais de energia, o que dificulta a capacidade de o modelo identificar áreas-chave que devem ser aprimoradas para reduzir o consumo de energia de um setor (SWAN & URGUSAL, 2009).

O método *bottom-up* combina as características das edificações e de usos finais de energia para estimar a demanda de energia do setor residencial, suas emissões de CO₂ ou a eficácia de uma determinada medida de eficiência energética (KAVGIC et al., 2010). Os modelos *bottom-up*, como geralmente consideram um grande número de edificações, tendem a agrupá-las de acordo com as suas características mais comuns, gerando edificações representativas, que podem ser utilizadas para estimar a demanda de energia elétrica do setor residencial (STREICHER et al., 2019).

Uma vantagem dos modelos realizados pelo método *bottom-up* é que, como utilizam dados mais detalhados do setor residencial, conseguem estimar melhor a redução do consumo energético devido a avanços tecnológicos do setor (SWAN et al., 2011). Os modelos *bottom-up* também são mais indicados para estimar qual aspecto da edificação possui o maior impacto no consumo de energia para o condicionamento artificial das edificações, podendo identificar, por consequência, os elementos com maior potencial para reduzir o consumo para condicionamento artificial (STREICHER et al., 2019).

No entanto, os modelos *bottom-up* necessitam de uma base de dados extensa que contenha informações detalhadas das edificações ou de seus consumos de energia (LI et al. 2019). É comum, em modelos *bottom-up*, a utilização de dados relativos ao uso dos equipamentos, às condições climáticas e às características físicas da edificação (MURATORI et al, 2013). Por isso, ao utilizar o método *bottom-up*, corre-se o risco de não possuir dados suficientes para caracterizar cada modelo representativo (KAVGIC et al., 2010). O uso de múltiplas fontes para elaborar os modelos energéticos é comum em pesquisas *bottom-up*.

O método *bottom-up* pode ser dividido em duas formas principais de abordagem: estatística e com modelos físicos. A abordagem estatística se baseia em dados históricos de consumo de energia das edificações, que são tratados através de equações de regressão para estimar o consumo de um determinado uso final. Uma vez que a relação entre os usos finais de energia e o consumo de energia das edificações é estabelecida, é possível estimar o consumo de energia do setor residencial (SWAN & URGUSAL, 2009). Uma vantagem da abordagem estatística está no fato de que, por utilizar dados de consumo reais de energia elétrica, os modelos estatísticos incorporam o comportamento do usuário, sem precisar determiná-los para estimar o consumo dos usos finais (SWAN & URGUSAL, 2009). No entanto, por se basear em dados históricos, os modelos com abordagem estatística são inflexíveis quando se tenta introduzir novas tecnologias (BOOTH et al., 2012).

Na abordagem com modelos físicos, a demanda de energia das edificações ou das edificações representativas é calculada diretamente a partir de ferramentas capazes de estimar seu balanço energético (SOTO & JENTSCH, 2016). Para isso, os modelos físicos necessitam de informações mais detalhadas das edificações (padrões de uso de equipamentos, *setpoints* de uso do ar condicionado, características físicas dos materiais da envoltória, entre outras), e, por isso, geralmente utilizam informações de amostras representativas do setor residencial (KAVGIC et al., 2010). A grande questão desta abordagem está em como definir o comportamento do usuário, devida a grande variabilidade de uso dos equipamentos. Para Cheng e Steemers (2011), a generalização do comportamento do usuário é uma grande desvantagem das pesquisas *bottom-up* com modelos físicos. Segundo Buttita et al (2017), as edificações representativas do setor residencial devem considerar a operação dos equipamentos e a ocupação dos ambientes em um uso não generalizado, evitando padrões únicos de uso de equipamentos e ocupação. Porém, segundo os autores, poucas pesquisas *bottom-up* que utilizam edificações representativas enfatizam a importância do comportamento do usuário. No Brasil, que possui dimensões continentais com climas variados e regiões geográficas em diferentes

estágios de desenvolvimento socioeconômico, a generalização do comportamento do usuário pode reduzir as diferenças estimadas de consumo entre as regiões.

Para Kavgic et al. (2010), a falta de transparência em relação aos dados de entrada e à estrutura dos modelos energéticos utilizados, assim como de seus algoritmos, é a principal deficiência das pesquisas *bottom-up* com modelos físicos. Desta forma, há uma dificuldade em demonstrar as incertezas dos parâmetros de entrada dos modelos desenvolvidos e de disponibilizar essas informações de tal forma que os tomadores de decisão que utilizem os modelos possam saber os efeitos dessas incertezas nos resultados obtidos (BOOTH et al., 2012). A Tabela 7 apresenta outras vantagens e desvantagens identificadas por Kavgic et al. (2010) dos métodos *bottom-up* estatístico e *bottom-up* com modelos físicos.

Tabela 7 – Perguntas sobre o uso dos equipamentos do segundo grupo.

| | Vantagens | Desvantagens |
|--------------------------------------|--|--|
| <i>Bottom-up</i> estatístico | Pode incluir fenômenos sociais e econômicos. | Tem uma capacidade limitada para analisar o impacto de medidas de eficiência energética. |
| | Mais fácil para modelar em relação ao modelo físico. | Necessita de dados históricos. |
| <i>Bottom-up</i> com modelos físicos | Utiliza informações que podem ser medidas fisicamente. | Requer uma quantidade grande de dados técnicos. |
| | Capaz de analisar e quantificar o impacto de uma combinação de medidas de eficiência energética. | Não determina o comportamento humano dentro do modelo, mas por suposições externas. |

Fonte: Adaptado de Kavgic et al. (2010).

2.4 MODELOS DE ESTIMATIVA DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR RESIDENCIAL.

O método *top-down* foi utilizado por Summerfield et al. (2010) para elaborar dois modelos matemáticos que determinam a tendência de variação da energia total fornecida ao setor residencial inglês em função de variações da média das temperaturas externas e do preço da energia, incluindo eletricidade, gás e outros combustíveis fósseis e líquidos. Os modelos matemáticos, intitulados ADEPT (*annual delivered energy, price, and temperature*) e STEP (*seasonal temperature energy price*), foram elaborados a partir de regressões lineares múltiplas de bases de dados anual e trimestral, respectivamente, que possuíam informações de energia fornecida ao setor residencial, de temperaturas médias externas e de índices de preço da energia fornecida de 1970 até 2001 para o modelo ADEPT e de 1998 até 2008 para o modelo STEP.

A Equação (1) e a Equação (2) apresentam as equações que descrevem os modelos ADEPT e STEP, onde Q_D é a energia fornecida por edificação em MWh, incluindo todos os usos finais (iluminação, aquecimento do ambiente, uso de equipamentos elétricos, entre outros), θ_e é a temperatura média nos meses em que os ambientes ingleses são aquecidos artificialmente (outubro a março) e P_Q é o preço da energia. O coeficiente de determinação (R^2) do modelo ADEPT foi de 0,74 e o do modelo STEP foi superior a 0,99.

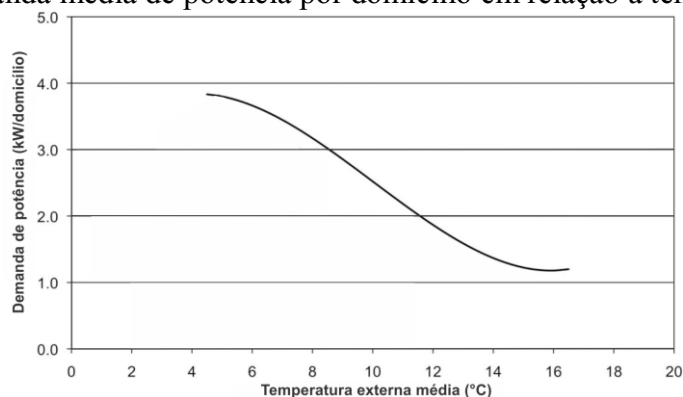
$$Q_D = 33,6 - 0,99\theta_e - 4,94P_Q \quad (1)$$

$$Q_D = 6,64 - 1,42\theta_e + 0,22\theta_e^2 + 0,007\theta_e^3 - 0,92P_Q \quad (2)$$

A análise da demanda de energia com o modelo ADEPT demonstrou que, considerando os preços de energia de 2005 e uma temperatura média de 7 °C na estação de aquecimento (período de outubro a março), a energia fornecida aos domicílios ingleses foi de 21 MWh; e que, se a temperatura média no período de aquecimento sobe 1 °C, a energia fornecida aos domicílios reduz em aproximadamente 1 MWh, cerca de 5% do total anual. O modelo ADEPT também demonstrou que um aumento de 50% do preço da energia poderia levar a uma redução da demanda de aproximadamente 10%.

No modelo STEP, convertido para demanda de potência (kW/edificação) e considerando o preço de energia de 2005, foi demonstrado que a energia fornecida por edificação obtem seu menor valor (1,2 kW) quando a temperatura média externa é de 16°C, como mostra a Figura 12, e aumenta a temperaturas médias abaixo de 15 °C, devido à necessidade de aquecimento dos ambientes.

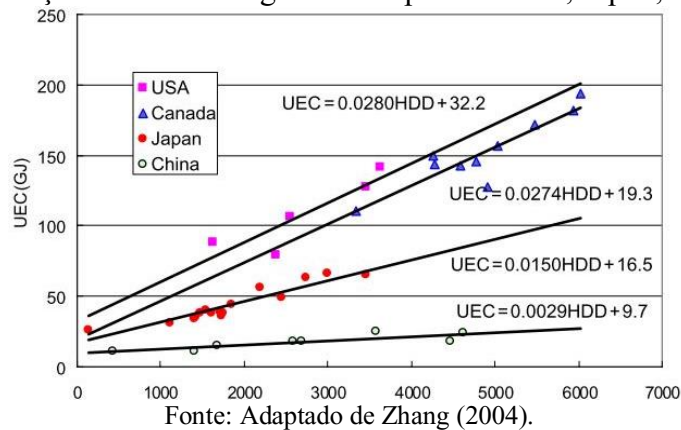
Figura 12 – Demanda média de potência por domicílio em relação à temperatura externa.



Fonte: Adaptado de Summerfield et al. (2010).

Equações de regressão linear também foram desenvolvidas por Zhang (2004) para relacionar o consumo anual de energia por domicílio (UEC) na China, no Japão, nos Estados Unidos e no Canadá com os valores de graus-hora de aquecimento de cada país. O UEC é o resultado da divisão entre consumo de energia primária do setor residencial pelo número de domicílios, e os graus-hora de aquecimento utilizados na pesquisa correspondem a valores de temperatura externa abaixo de 18°C. A Figura 13 apresenta o gráfico das equações de regressão linear determinadas com base no ano de 1997.

Figura 13 – Relação entre UEC e graus-hora para a China, Japão, EUA e Canadá.



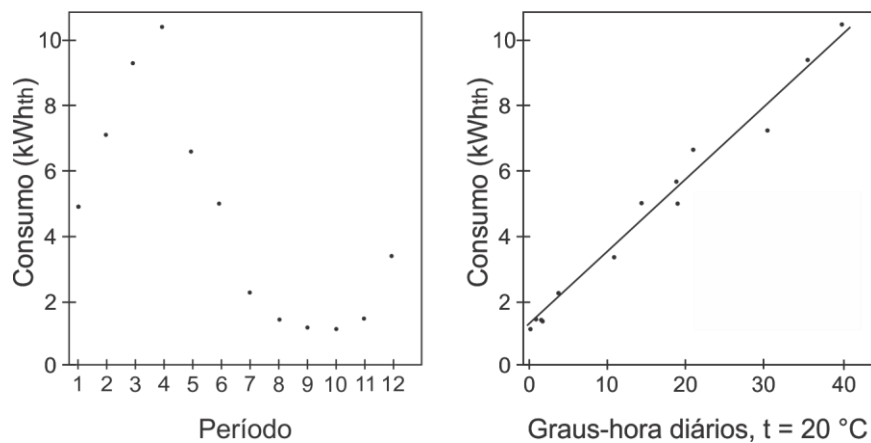
No estudo, demonstrou-se que é possível estabelecer uma relação entre consumo de energia do setor residencial e o clima dos cinco países analisados, no entanto, além dos graus-hora de aquecimento, outros fatores, como estilo de vida, preço da energia e políticas energéticas também influenciam o consumo de energia primária desses países.

O método *bottom-up* estatístico foi utilizado por Fels (1986) para o desenvolvimento do modelo PRISM (*Princeton Scorekeeping Method*), que correlaciona informações de contas de energia dos domicílios com dados climáticos do local onde a edificação está inserida. O modelo utiliza a Equação (3), que foi desenvolvida partindo-se do princípio de que a demanda de energia para o aquecimento de um domicílio (f) ocorre no momento em que a temperatura externa atinge o valor T_{out} , e que essa demanda é diretamente proporcional à relação $t - T_{out}$ (graus-hora de aquecimento), onde t corresponde à temperatura de *setpoint* para aquecimento. A equação também utiliza uma constante referente à perda de calor da edificação (β) e um valor fixo de energia consumida para aquecimento (α), que pode ocorrer em algumas edificações.

$$f = \alpha + \beta(t - T_{out}) \quad (3)$$

A partir dessa equação, dos dados de consumo de energia medidos da edificação e das médias das temperaturas externas diárias locais, são realizadas regressões lineares para determinar os valores de α e β . O valor de t é determinado por um processo iterativo, que escolhe o valor que possibilita, na equação, uma relação entre consumo e graus-hora mais adequada. A Figura 14 apresenta o resultado da aplicação do modelo desenvolvido na análise de uma residência em Nova Jersey, nos Estados Unidos. O gráfico da esquerda corresponde a série de dados de consumo de energia térmica, em kWh_{th}, medidos ao longo do período de um ano e o gráfico da direita corresponde à reta da equação desenvolvida junto aos dados de consumo. Obteve-se, nesse caso, um R^2 igual a 0,985.

Figura 14 – Resultados da aplicação do modelo PRISM em um domicílio.



Fonte: Adaptado de Fels (1986).

O mesmo modelo também pode ser aplicado a um grupo de edificações, com base em uma análise de cada caso, para identificar, por exemplo, a variação do consumo com a aplicação de medidas de eficiência energética, devendo-se ter, para isso, um grupo com as medidas de eficiência energética e outro sem elas.

No *bottom-up* com modelos físicos, é possível observar uma variedade de métodos de estimativa de desempenho energéticos. Ballarini et al. (2014) analisaram o desempenho energético e as emissões de CO₂ dos sistemas de aquecimento ambiental e de aquecimento de água de modelos representativos para a região de Piemonte, na Itália, tendo como base uma análise de tipologias habitacionais desenvolvidas a partir de informações do TABULA - *Typology Approach for Building Stock Energy Assessment* – (TABULA, 2019), projeto que estruturou uma forma de elaboração de tipologias habitacionais para fins de análise de desempenho energético em países da União Europeia.

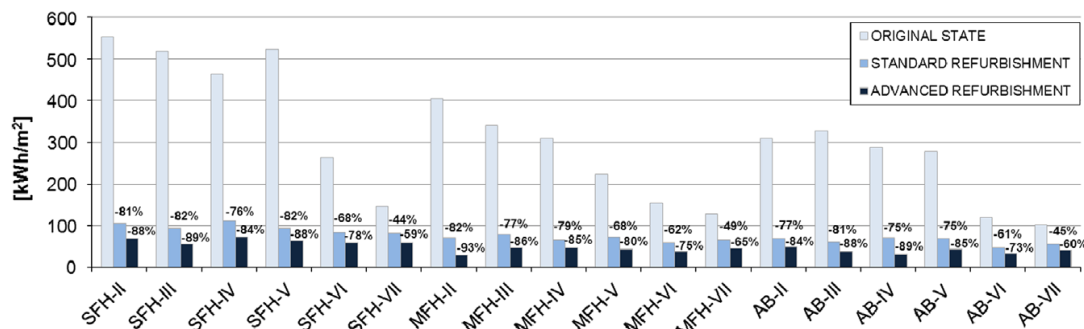
As edificações representativas da zona bioclimática na qual está inserida Piedmont foram elaboradas seguindo duas abordagens. Na primeira, foram desenvolvidos modelos virtuais com características que fossem representativas da amostra, através de análises estatísticas de uma amostra de edificações pertencentes à zona bioclimática de Piedmont. Na segunda abordagem, utilizada somente quando não havia dados suficientes para elaborar o modelo virtual, foi utilizada uma edificação real como exemplo, escolhida de acordo com a experiência de um grupo de estudiosos. As edificações representativas foram divididas conforme faixas de idade de construção e tipos de edificação (isolada, multifamiliar e blocos de apartamento). Os tipos multifamiliar e blocos de apartamento representavam edificações com um número de apartamentos distinto, sendo o multifamiliar representativo de edificações com um número menor de apartamentos: até quinze para edificações de dois a cinco andares e de dezesseis a vinte para edificações de dois a quatro andares.

Ao total foram elaboradas 18 edificações representativas, cuja representatividade em relação ao número total de domicílios da região de Piedmont foi estimada com base em dados estatísticos encontrados na literatura. Analisou-se as edificações representativas em três condições de envoltória e de sistemas de aquecimento. Na primeira condição, intitulada original, foram utilizadas as envoltórias e sistemas de aquecimento comumente encontrado nas edificações dos modelos representativos. Na segunda e na terceira condições, intituladas, respectivamente, *standard* e *advanced*, utilizaram-se recomendações de projeto TABULA para análise do desempenho energético das edificações representativas. Na condição *standard* considerou-se uma transmitância de 0,33 W/(m²K) nas paredes, de 0,30 W/(m²K) nas coberturas e de 2,00 W/(m²K) nas aberturas. Na condição *advanced* considerou-se transmitâncias de 0,25 W/(m²K) nas paredes, de 0,23 W/(m²K) nas coberturas e de 1,70 W/(m²K) nas aberturas.

Para os sistemas de aquecimento, considerou-se sistemas distintos para as edificações representativas, que variavam entre caldeiras de condensação, bombas de calor e aquecimento distrital na condição *standard*, e entre de bombas de calor geotérmicas, bombas de calor geotérmicas com energia solar, caldeiras de condensação com energia solar e bombas de calor com energia solar na condição *advanced*. Para a estimativa do desempenho energético das edificações representativas, foi utilizado um método mensal de cálculo energético disponibilizado na UNI/TS 11300 (UNI, 2008), norma italiana de análise de desempenho energético de edificações.

O estudo demonstrou que os modelos representativos nas condições *standard* e *advanced* possuem um desempenho muito superior à condição original, como mostra a Figura 15, que apresenta o consumo, em energia primária (kWh/m²), para o aquecimento ambiental e de água dos 18 modelos representativos: unifamiliar (SFH), multifamiliar (MFH) e blocos de apartamento (AB). No entanto, as diferenças entre o consumo das condições *standard* e *advanced* é pequena, se considerada a redução em relação ao consumo na condição original.

Figura 15 – Consumo para aquecimento ambiental e de água dos modelos representativos.



Fonte: Ballarini et al. (2014).

O estudo também demonstrou que, considerada a projeção de consumo para a região de Piemonte, é possível obter uma redução de consumo de 77% (cerca de 60 TWh) com as medidas da condição *standard* e de 85% (cerca de 70 TWh) com as medidas da condição *advanced*.

A análise do impacto do uso de medidas de eficiência energética a partir do método *bottom-up* com modelos físicos também foi realizada Mata et al. (2013), que analisaram as medidas aplicadas às edificações residenciais suecas descritas na Tabela 8:

Tabela 8 – Medidas de eficiência energética consideradas.

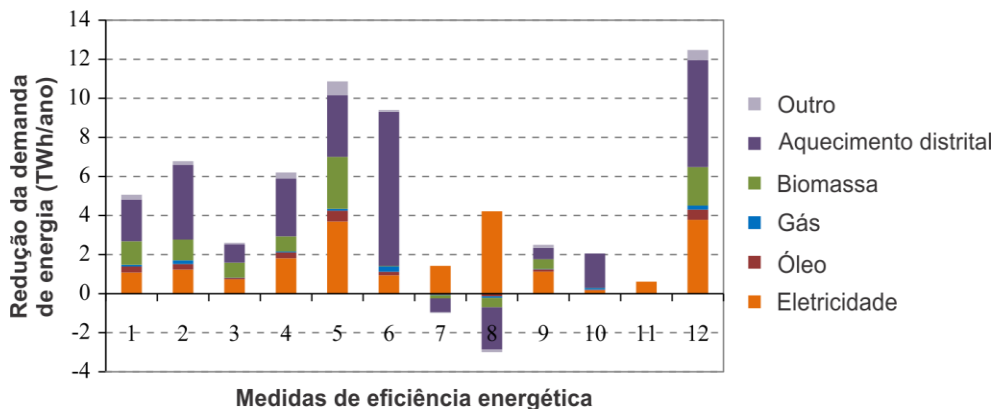
| Tipo | Medidas |
|------|--|
| 1 | Redução da transmitância térmica de porões. |
| 2 | Redução da transmitância térmica de paredes. |
| 3 | Redução da transmitância térmica de coberturas e áticos. |
| 4 | Substituição de janelas. |
| 5 | Melhoria do sistema de ventilação com recuperação de calor em edificações unifamiliares. |
| 6 | Melhoria do sistema de ventilação com recuperação de calor em edificações multifamiliares. |
| 7 | Redução de 50% da potência para iluminação. |
| 8 | Redução de 50% da potência para outros equipamentos. |
| 9 | Redução da potência utilizada para aquecimento de água em edificações unifamiliares. |
| 10 | Redução da potência utilizada para aquecimento de água em edificações multifamiliares. |
| 11 | Substituição de bombas de calor por outras mais eficientes. |
| 12 | Redução da temperatura interna dos ambientes para 20 °C. |

Fonte: Adaptado de Mata et al. (2013)

Os autores utilizaram um modelo que estima o consumo de energia de edificações representativas suecas a partir da simulação dos seus balanços energéticos desenvolvida pelo software Simulink (MATHWORKS, 2019). As edificações representativas foram obtidas através de uma pesquisa anterior do setor residencial sueco em que foram inspecionadas 1.400 edificações residenciais de 30 municípios, que refletiam a variabilidade de população e de zonas bioclimáticas daquele país. Após a estimativa do consumo das 1.400 edificações, seus consumos foram projetados para o número total de edificações da Suécia, conforme a representatividade de cada edificação analisada.

Nos parâmetros de entrada, para caracterizar as edificações representativas, foram utilizados valores médios de ganhos internos de calor de pessoas, do sistema de iluminação e de equipamentos, valores de área e de propriedades térmicas de paredes externas e de janelas, área dos ambientes aquecidos artificialmente, percentual de sombreamento nas janelas, taxas de ventilação natural, temperatura interna mínima, temperatura a partir da qual é aberta as janelas para ventilação natural, além da zona bioclimática de cada modelo representativo e de outros valores técnicos relacionados aos aparelhos de condicionamento artificial. As reduções anuais de demanda energética são apresentados na Figura 16, conforme o tipo de medida de eficiência energética descrito na Tabela 8 e a fonte de energia economizada.

Figura 16 – Redução do consumo com a aplicação das medidas de eficiência energética.



Fonte: Mata et al. (2013).

Os resultados demonstraram que as maiores reduções de demanda de energia ocorrem com a redução da temperatura interna dos ambientes para 20 °C (cerca de 12 TWh ou 14%), com o uso de sistemas de recuperação de calor em edificações unifamiliares (cerca de 11 TWh ou 12%) ou com o uso de sistemas de recuperação de calor em edificações multifamiliares (cerca de 9 TWh ou 10%).

O aumento da demanda de algumas fontes devido à redução da potência do sistema de iluminação (tipo 7) ou à redução da potência de outros equipamentos (tipo 8) ocorreu pela necessidade de se aumentar o consumo para aquecimento dos ambientes, uma vez que parte da energia consumida do sistema de iluminação e dos equipamentos é convertida em calor.

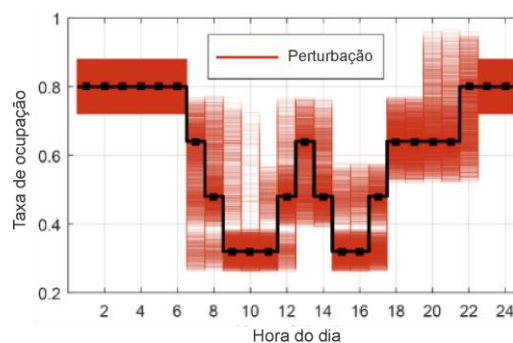
Posteriormente, Mata et al. (2014) apresentaram uma metodologia para análise do desempenho térmico do setor de edificações (comerciais ou residenciais) a partir da elaboração de edificações de referência. O método proposto é dividido em quatro etapas: segmentação, caracterização, quantificação e validação. Na etapa de segmentação, é definido o número de edificações representativas necessário para representar o conjunto de edificações de um país. Para isso, são determinados os critérios de segmentação que vão gerar os modelos representativos, como o tipo de edificação (unifamiliar, multifamiliar, isolada, geminada, entre outros), o seu ano de construção, que define os critérios de isolamento da envoltória atendidos em países de clima frio, o sistema de condicionamento artificial utilizado e o clima do local onde a edificação está inserida. Na etapa de caracterização, cada edificação representativa é elaborada de acordo com as suas propriedades físicas, conforme os parâmetros definidos na etapa de segmentação, utilizando-se, para isso, informações obtidas em pesquisas nacionais sobre o setor de edificações. Na etapa de quantificação, é atribuído um coeficiente para cada edificação representativa, que determina a proporção nacional de edificações a que cada edificação representativa corresponde. Na última etapa, a de validação, é estimado o consumo de energia das edificações do país a partir da projeção dos consumos das edificações representativas conforme seus coeficientes de representatividade. O resultado é, então, comparado com valores de consumo do setor de edificações encontrados na literatura.

Li et al. (2019) desenvolveram uma metodologia *bottom-up* com modelos físicos para estimar o consumo de energia para condicionamento artificial do setor residencial, considerando dados atuais ou projeções para as próximas décadas. O método sugere quatro etapas. Na primeira etapa, são desenvolvidas as edificações representativas a partir de tipos de estrutura familiar (número de residentes e gerações no domicílio, que determina seu padrão de ocupação), de formas da edificação (tipos de layout e área útil) e da idade da construção. Na segunda etapa, é estimado o consumo para aquecimento e refrigeração das edificações representativas através do software EnergyPlus (ENERGYPLUS, 2019a), e, a partir dessa informação, é determinada uma média de consumos de energia por metro quadrado das edificações representativas, que considera suas representatividades em relação ao conjunto total de edificações do setor.

Na terceira etapa, é estimada a área total construída das edificações na região analisada para o ano sobre o qual obteve-se dados da literatura e para projeções futuras, utilizando-se, para isso, taxas de aumento populacional e taxas de demolição de edificações. Por fim, na quarta etapa, é estimado o consumo do setor residencial a partir dos valores de consumo médio das edificações representativas, das estimativas de área total construída e de um ajuste climático, obtido a partir das variações de graus-hora de aquecimento e refrigeração para os climas futuros, conforme dados encontrados na literatura.

Wang et al. (2018) elaboraram um modelo para estimar o desempenho termoenergético de edificações residenciais suíças e de possíveis medidas de eficiência energética adotadas a partir do uso de informações georreferenciadas das edificações analisadas e da simulação de seus desempenhos termoenergéticos com o programa EnergyPlus. O modelo, denominado CESAR (*Combined Energy Simulation And Retrofitting*), é capaz de receber as coordenadas do espaço ocupado por uma edificação, bem como das edificações do seu entorno, através de informações pré-processadas por programas do tipo GIS (*Geographical Information System*), como o AchGIS. Com a definição do espaço ocupado das edificações e de informações disponíveis de suas alturas, o volume da edificação é definido, sendo que cada pavimento corresponde a uma zona térmica modelada no EnergyPlus. A definição da geometria do entorno permite simular as interações entre a edificação e o entorno no que se refere a sombreamento e a reflexão dos raios solares pelas edificações. As características da edificação foram modeladas com base em valores encontrados na literatura. Para a determinação da ocupação dos modelos e do uso do sistema de iluminação, foi utilizado um padrão de ocupação de dia típico definido em norma e introduzida uma perturbação aleatória ao redor dos valores para gerar uma diversidade maior de padrões de ocupação. A Figura 17 demonstra as variações de padrões de ocupação geradas. A cada modelo de edificação foi atribuída uma dessas variações.

Figura 17 – Exemplo de perturbações da taxa de ocupação.



Fonte: Wang et al. (2018).

No Brasil, as pesquisas *bottom-up* utilizaram equações de determinação de consumo, que relacionam informações de consumo específico ou de potência dos equipamentos ao seus padrões de uso. Achão (2003) analisou o consumo de usos finais de energia do setor residencial de 11 regiões metropolitanas: Belém, Fortaleza, Recife, Salvador, Curitiba, Porto Alegre, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, São Paulo, Brasília e Goiânia. Foram estimados o consumo de sete usos finais, apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Usos finais estimados.

| Usos finais | Equipamento(s) considerado(s) |
|---------------------------|---|
| Cocção | Fogão |
| Aquecimento de água | Chuveiro elétrico |
| Iluminação | Lâmpada |
| Lazer | Televisão, videocassete e aparelho de som |
| Condicionamento ambiental | Ventilador e ar condicionado |
| Conservação de alimentos | Geladeira e refrigerador |
| Serviços gerais | Liquidificador, máquina de costura, máquina de lavar louça, máquina de lavar roupa, máquina de secar roupa, microcomputador, secador de cabelo e torradeira elétrica. Aspirador de pó, batedeira, enceradeira, ferro elétrico, micro-ondas, |

Fonte: Adaptado de Achão (2003).

Esses consumos foram estimados conforme a representatividade da classe de renda da população brasileira, para considerar possíveis variações de posse ou de consumo específico dos equipamentos analisados. Utilizou-se, para isso, a divisão da Síntese de Indicadores Sociais do IBGE (IBGE, 2000), que segmentou a população brasileira em cinco classes: classe I (menos de dois salários mínimos), classe II (2 a 3 salários mínimos), classe III (3 a 5 salários mínimos), classe IV (5 a 10 salários mínimos) e classe V (mais de dez salários mínimos).

A equação que descreve o método de estimativa de consumo dos usos finais é apresentada na Equação (4), em que E_{jk}^{β} é o consumo de um uso final β para uma região j e para uma classe de renda k , N_{ij} é o número de equipamentos do tipo i em uma região j , c_i é o consumo específico do equipamento i e C é o conjunto de equipamentos de uma finalidade β .

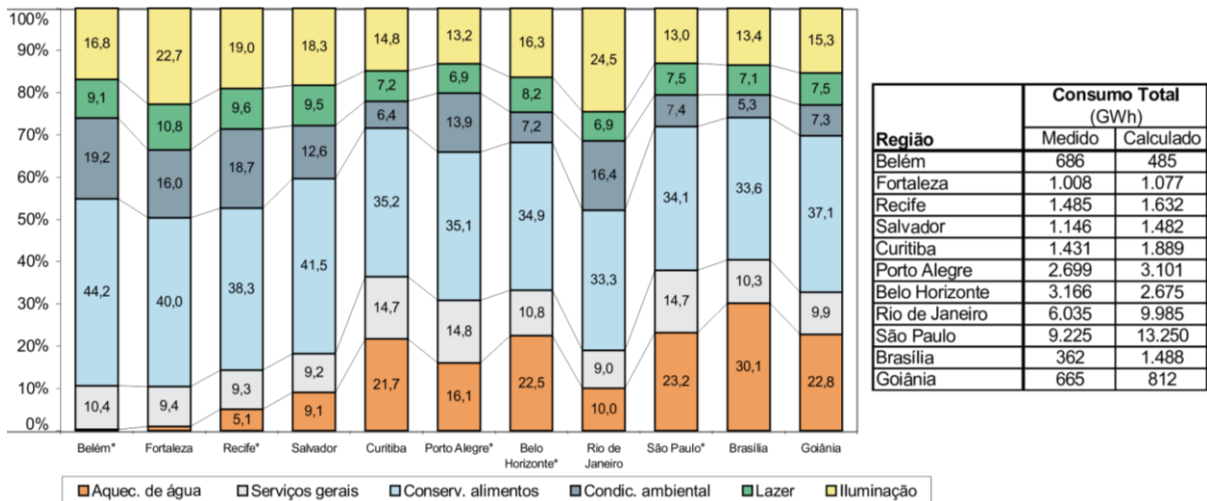
$$E_{jk}^{\beta} = \sum_{i \in C} N_{ij} c_i \quad (4)$$

Os consumos específicos dos equipamentos (c_i) foram determinados por equações, que variavam conforme o equipamento. Foram utilizadas informações de consumo de alimentos e

de proporção de fogões por tipo de combustível (GLP ou lenha) para determinar os consumos específicos de cocção, de potência do chuveiro e do tempo médio de banho para determinar os consumos específicos de aquecimento de água, e de potência do equipamento e seu tempo de uso para determinar os consumos específicos de serviços gerais, conservação de alimentos, condicionamento ambiental, lazer e iluminação. Essas informações foram obtidas a partir de revisões bibliográficas de diversas fontes encontradas na literatura.

Os resultados, estimados para o ano de 1996, demonstraram que em seis das 11 regiões metropolitanas (Fortaleza, Salvador, Curitiba, Rio de Janeiro, Brasília e Goiânia) a estimativa de consumo ficou próxima dos consumos medidos pelas concessionárias de energia, como mostra a tabela da Figura 18, que também apresenta um gráfico com os percentuais de consumo.

Figura 18 – Proporção do consumo de energia elétrica. Ano base: 1996.



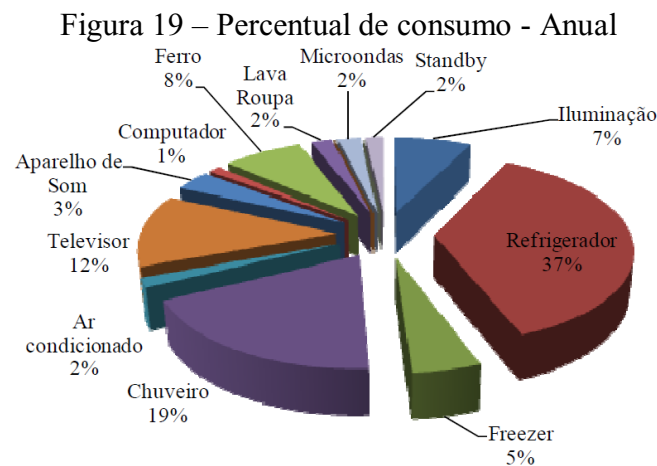
Fonte: adaptado de Achão (2003).

Percebe-se, pelo gráfico da Figura 18, a baixa proporção de consumo para aquecimento de água nas regiões metropolitanas de Fortaleza, Salvador, Recife e Rio de Janeiro (0,3% a 10%). Essas quatro regiões metropolitanas também obtiveram uma proporção elevada de consumo para condicionamento ambiental (16% a 19,2%).

Fedrico et al. (2009) estimaram a proporção de consumo de refrigeradores, *freezers*, ares condicionados, televisores, lâmpadas, aparelhos de som, microcomputadores, ferros elétricos, máquinas de lavar roupa, máquinas de lavar louça, secadoras de roupas, micro-ondas, fornos elétricos e torneiras elétricas, incluindo seus consumos em *stand-by*. Os consumos foram estimados com base em informações dos domicílios da PPH realizada entre 2004 e 2005 e a partir de uma equação que multiplicou a potência de cada equipamento pelo seu tempo de uso.

Como a PPH informou apenas as potências dos chuveiros, dos ares condicionados e das lâmpadas, foram utilizadas informações de sites de fabricantes para obter a potência representativa dos outros equipamentos. O tempo de uso total foi determinado a partir da multiplicação da frequência de uso dos equipamentos pelos tempos de uso diários.

O consumo, por sua vez, não foi projetado para o número total de domicílios das regiões; foram considerados apenas os domicílios da PPH. Considerou-se a proporção de consumo como a relação entre o consumo dos equipamentos de um determinado tipo pelo consumo total estimado. A Figura 19 apresenta os percentuais de consumo estimados por Fedrigo et al. (2009). Somente o consumo de refrigeradores e chuveiros representaram 56% do consumo total. O consumo para ar condicionado, por suas vez, apresentou uma proporção baixa, de 3%.



Fonte: Fedrigo et al. (2009).

Para alguns equipamentos, os percentuais a que Fedrigo et al (2009) chegaram possui diferenças significativas em relação aos percentuais de consumo nacionais presentes no relatório da PPH realizada entre 2004 e 2006, como mostra a Tabela 10.

Tabela 10 – Comparação entre percentuais de consumo.

| Estudos | Ar condicionado | Chuveiro | Refrigerador | Iluminação |
|-----------------------|-----------------|----------|--------------|------------|
| Fedrigo et al. (2009) | 2% | 19% | 37% | 7% |
| Estimativa da PPH | 20% | 24% | 22% | 14% |

Fonte: Elaborado pelo autor

González-Mahecha et al. (2019) estimaram o potencial de redução das emissões de CO₂ no setor residencial brasileiro até 2050. Para isso, foram estabelecidos dois cenários: um cenário de referência em que as tecnologias empregadas nos equipamentos continuam sendo utilizadas

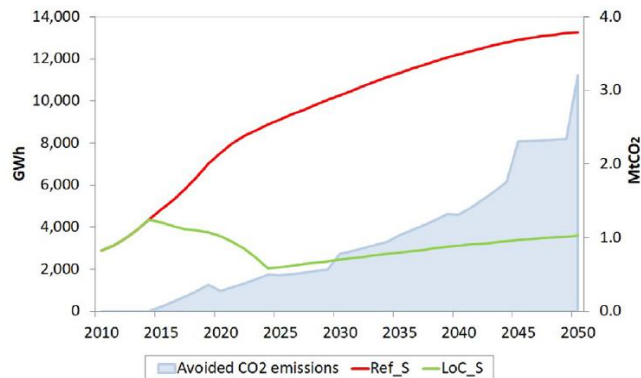
até 2050, com ganhos limitados em relação a suas eficiências energéticas; e um cenário de baixa emissão de CO₂, que considera a penetração de tecnologias mais eficientes de lâmpadas, ares condicionados, refrigeradores, fogões e chuveiros, além do aumento do uso da energia fotovoltaica nas residências, tendo como base valores encontrados na literatura.

Foram elaboradas equações que representavam a demanda energética de 2010 até 2050 por uso final, calibradas com informações de demanda de energia estimadas pelo Plano Nacional de Energia 2050 (EPE, 2019) e pelo Balanço Energético Nacional (EPE, 2010), além de outros estudos e projeções encontrados na literatura. A Equação (5) apresenta a equação geral que descreve o consumo de cada uso final considerado, onde $EC_{end-use}$ é o consumo de energia por uso final em kWh, $Households$ é o número de domicílios privados permanentes, $AOHA$ é a posse do aparelho por domicílio, PA é sua potência em kWh, UP é o padrão de uso em horas, i é a região onde o domicílio se encontra e j é o tipo de aparelho.

$$EC_{end-use} = \sum_{i,j} Households_{ij} \times AOHA_{ij} \times PA_j \times UP_{ij} \quad (5)$$

O estudo demonstrou que o consumo de energia elétrica para condicionamento artificial no cenário de referência pode quadruplicar até 2050, indo de cerca de 3 TWh (ou 3000 GWh) em 2010 para ceca de 13 TWh (ou 13000 GWh) em 2050, fazendo desse uso final o maior motor do crescimento da demanda energética residencial brasileira. A Figura 20 apresenta a estimativa de consumo para condicionamento artificial nos cenários de referência (Ref_S) e de baixa emissão de CO₂ (LoC_S), junto com o montante de toneladas de CO₂ que deixariam de ser emitidas no cenário de baixa emissão de CO₂.

Figura 20 – Estimativa do consumo de energia e emissões de CO₂ de ares condicionados.



Fonte: González-Mahecha et al. (2019).

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O consumo de energia das edificações residenciais brasileiras deve continuar aumentando nas próximas décadas influenciado por diversos fatores, como o aumento da população, a inserção de novas tecnologias no mercado e a modificação do uso e da posse de equipamentos elétricos nas residências. Há, na literatura, uma série de estudos que modelaram o setor energético residencial de seus países a fim de estimar o consumo de energia do setor ou determinar quais medidas de eficiência energética possuem o melhor desempenho quando aplicadas em larga escala. Esses estudos são geralmente divididos em dois métodos: *top-down* e *bottom-up*, que possuem vantagens e desvantagens. O método *bottom-up* é mais preciso quando se objetiva analisar o desempenho energético do setor residencial e de seus usos finais. No entanto, essa abordagem requer um volume maior de informações construtivas, técnicas e de comportamento do usuário.

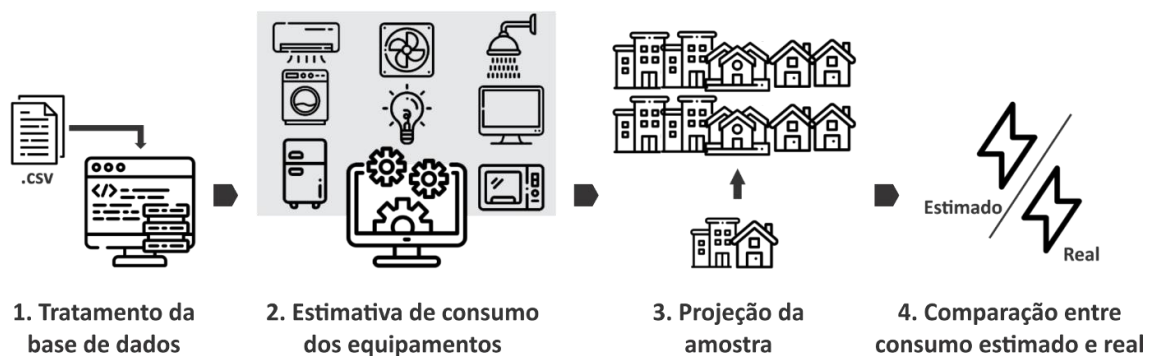
No Brasil, pesquisas *bottom-up* de estimativa do consumo de energia elétrica do setor residencial vêm sendo realizadas a partir de equações de determinação de consumo, que relacionam informações de consumo específico ou de potência dos equipamentos aos seus padrões de uso. Essas pesquisas foram capazes de estimar o impacto de diversos usos finais na demanda de energia elétrica do setor residencial, além de demonstrarem a importância de se considerar a região geográfica nessas análises, uma vez que o percentual de consumo de alguns usos finais, como chuveiros e ares condicionados, tende a possuir variações significativas entre as cinco regiões.

Contudo, devido ao avanço tecnológico, que incentiva a popularização de alguns equipamentos e a obsolescência de outros, como videocassetes, aparelhos de DVD e televisores de tubo, é importante a realização constante de pesquisas que visem à determinação do consumo de energia elétrica no setor residencial. A PPH realizada em 2019, complementada por outras fontes como as tabelas de consumo/eficiência energética dos equipamentos do PBE, disponibilizadas pelo Inmetro, podem providenciar as informações necessárias para uma estimativa *bottom-up* atualizada do consumo de energia elétrica do setor residencial, sendo, desta forma, um esforço importante no sentido de se compreender a estrutura da demanda energética no setor residencial brasileiro.

3 MÉTODO

Neste estudo, utilizou-se o método *bottom-up* para estimar o consumo de energia elétrica de nove equipamentos presentes no setor residencial brasileiro: lâmpadas, refrigeradores, televisores, chuveiros, ares condicionados, congeladores (*freezers*), ventiladores, micro-ondas e máquinas de lavar roupa. Escolheu-se o método *bottom-up* por possibilitar estimativas individuais de usos finais de energia elétrica, sendo, assim, o mais apropriado para atender aos objetivos deste estudo. O método utilizado para estimar o consumo dos equipamentos e para análise dos resultados consiste em quatro etapas, descritas na Figura 21.

Figura 21 – Etapas realizadas.



Fonte: Autor, com imagens adaptadas de Flaticon (2019).

Na primeira etapa, foi realizado o tratamento da base de dados dos 18.775 domicílios pesquisados na PPH, versão de 2019. Nesta etapa, foram separadas as informações pertinentes para determinar o consumo de energia elétrica dos equipamentos e para a análise da posse, das tecnologias e/ou dos padrões de uso dos nove equipamentos escolhidos.

Na segunda etapa, foram estimados os consumos de energia elétrica dos nove equipamentos, considerando todos os domicílios da amostra. Posteriormente, esses consumos foram agrupados conforme os estados da federação a que os domicílios pertenciam.

Na terceira etapa, os consumos de energia elétrica dos nove equipamentos foram projetados para refletir os consumos de energia elétrica de todos os domicílios de cada estado.

Na quarta etapa, os consumos projetados foram agrupados por região geográfica e seus valores foram comparados com os consumos regionais de energia elétrica obtidos no Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2019c). Essa comparação também foi realizada em nível nacional, a partir dos consumos dos nove equipamentos agregados nacionalmente. Os itens 3.1 a 3.4 apresentam as quatro etapas do método de forma mais detalhada.

3.1 TRATAMENTO DA BASE DE DADOS

A Eletrobrás disponibilizou a base de dados no formato .csv com as informações dos 18.775 domicílios pesquisados pela PPH, formato que permite a sua utilização em outras plataformas, como o RStudio, *software* que será utilizado durante as quatro etapas (RStudio, 2019). O RStudio é uma plataforma em linguagem de programação R que permite o desenvolvimento de *scripts* para o manuseio de bases de dados extensas, como a da PPH, além de possuir ferramentas ligadas à área de análise de dados que facilitam o tratamento e a visualização das informações contidas na base de dados.

Uma vez importada a base de dados para o RStudio, foi elaborado um *script* inicial cuja função era converter os dados numéricos da base de dados em informações gráficas sobre posses, tipos de equipamentos, faixas de potência, faixas de capacidade de armazenagem e padrões de uso dos equipamentos analisados. Essa atividade permitiu compreender melhor a base de dados e identificar as informações que seriam utilizadas posteriormente para determinar o consumo de energia elétrica dos nove equipamentos.

As informações de posse dos equipamentos foram, então, comparadas com as da PPH realizada entre 2004 e 2006, para cada região geográfica e a partir dos valores apresentados em seu relatório, que está disponível em PROCEL (2007).

3.2 ESTIMATIVA DOS CONSUMOS DE ENERGIA ELÉTRICA DOS EQUIPAMENTOS

Os consumos anuais de energia elétrica dos nove equipamentos foram estimados de duas formas gerais, como mostra a Figura 22.

Figura 22 – Formas de estimativa de consumo dos equipamentos.



Fonte: Autor, com imagens adaptadas de Flaticon (2019).

A primeira forma foi utilizada para estimar o consumo de energia elétrica de oito equipamentos: lâmpadas, refrigeradores, congeladores, televisores, micro-ondas, máquinas de lavar roupa, chuveiros e ventiladores. Para isso, foram utilizadas equações de determinação de consumo, cujas variáveis mudaram conforme o equipamento analisado. Já a segunda forma foi utilizada para estimar o consumo de ares condicionados, a partir de simulações computacionais realizadas pelo *software* EnergyPlus, versão 9.1 (ENERGYPLUS, 2019), que possibilita uma análise mais próxima do consumo do ar condicionado na residência, uma vez que permite o uso de arquivos climáticos locais. Em ambos os procedimentos, foram elaborados *scripts*, através do programa Rstudio, que realizaram as estimativas de consumo dos equipamentos.

Nos itens 3.2.1 a 3.2.6 são apresentados os procedimentos utilizados para estimar o consumo dos equipamentos pela primeira forma de estimativa. Esses procedimentos serão apresentados através das equações de determinação de consumo, juntamente com um exemplo de como foram realizadas as modificações do *data frame* (base de dados importada) para se chegar aos resultados das equações apresentadas. Esses exemplos, no entanto, são apenas ilustrativos e não refletem o conjunto de dados da amostra, que será apresentado no capítulo 4. O item 3.2.7, por fim, apresenta os procedimentos para estimar o consumo de energia elétrica de ares condicionados.

3.2.1 Estimativa do consumo de lâmpadas

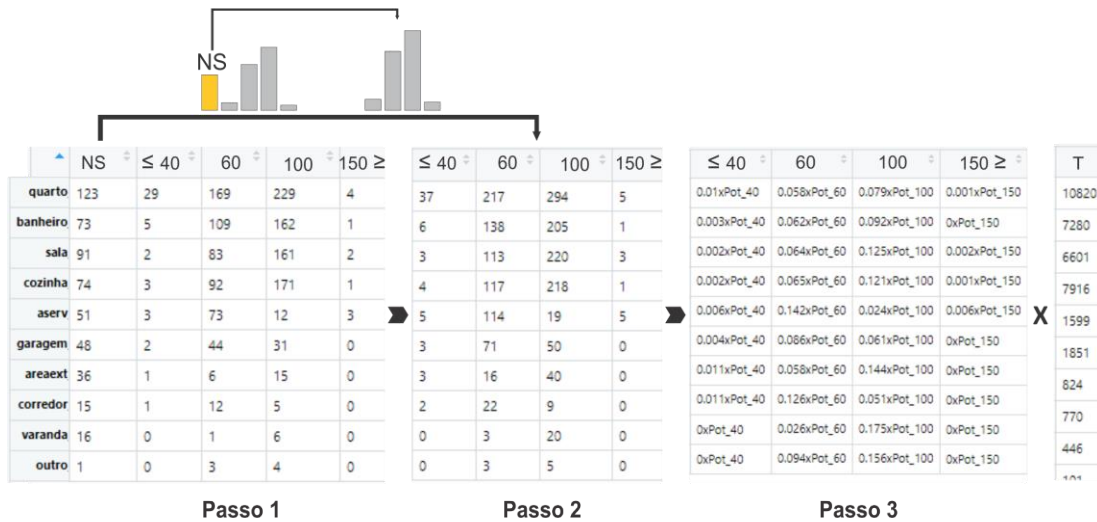
Para a estimativa do consumo anual de energia elétrica das lâmpadas, considerou-se os dez ambientes que não eram de uso eventual: quarto, banheiro, sala, cozinha, área de serviço, garagem, área externa, corredor, varanda e outros, que são os ambientes não classificados pela PPH, mas que possuem informações sobre o horário de uso das lâmpadas.

O consumo por ambiente pode ser determinado pela equação (6) em que $C_{l,amb}$ é o consumo de energia elétrica das lâmpadas por ambiente (kWh), $Prop_{t,f}$ é a proporção de lâmpadas por tipo (t) e faixa de potência (f), $P_{t,f}$ é a potência representativa por tipo e faixa de potência (kW) e T é o tempo de uso diário das lâmpadas do ambiente (horas). O consumo total é o resultado do somatório dos consumos dos dez ambientes.

$$C_{l,amb} = \sum_{t,f} Prop_{t,f} \times P_{t,f} \times T \times 365 \quad (6)$$

A Figura 23 ilustra o procedimento para estimar o consumo das lâmpadas com o *script*.

Figura 23 – Exemplo de estimativa do consumo das lâmpadas pelo *script*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Primeiramente, foram agrupados, para cada um dos dez ambientes, o número de lâmpadas por tipo e faixa de potência, como mostra o passo 1, para o caso de lâmpadas incandescentes. No passo 2, foi realizado um ajuste para aqueles casos em que o entrevistado não sabia a potência da lâmpada (NS). Nesse ajuste, é separada a quantidade de lâmpadas marcadas como NS e, posteriormente, essa quantidade é dividida e distribuída para as colunas das faixas de potência (colunas ≤ 40 a $150 \geq$), de forma proporcional, sendo que a coluna com uma quantidade maior de lâmpadas recebe uma quantidade proporcionalmente maior. No passo 3, foram obtidas as proporções de lâmpadas em relação ao total de lâmpadas do ambiente. Essas proporções foram, então, multiplicadas pelas suas potências representativas (Pot_40, Pot_60, Pot_100 e Pot_150, no exemplo) e pelo tempo total de uso das lâmpadas do ambiente (T), informado pela PPH, obtendo-se, assim, o consumo diário para os dez ambientes. Os valores de consumo foram, então, somados e multiplicados por 365 para se chegar ao consumo anual.

Para determinar as potências representativas das lâmpadas, considerou-se as lâmpadas incandescentes, fluorescentes compactas e LED cadastradas pelo Inmetro e disponíveis em Inmetro (2019b) (lâmpadas incandescentes) e em Inmetro (2019c) (lâmpadas fluorescentes compactas e LED). As lâmpadas cadastradas foram agrupadas conforme as faixas de potência da PPH e calculadas suas potências médias para cada faixa. Devido à baixa proporção de lâmpadas fluorescentes tubulares, tubo LED, dicrónica, dicrónica LED e mini dicrónica, suas potências não foram consideradas. A Tabela 11 apresenta os valores de potência utilizados.

Tabela 11 – Potências representativas das lâmpadas.

| Tipo | Faixa de potência | Potência representativa |
|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| Incandescente | Até 40 W | 36,5 W |
| | 60 W | 60 W |
| | 100 W | 100W |
| | 150 W ou maior | 150 W |
| Fluorescente compacta | Até 12 W | 9,56 W |
| | 13 W a 16 W | 14,79 W |
| | 17 W a 25 W | 22,4 W |
| | 26W ou maior | 57,50 W |
| LED | Até 8 W | 5,58 W |
| | 9 W a 11 W | 9,52 W |
| | 12 W a 15 W | 13,43 W |
| | 16 W ou maior | 31,20 W |

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.2 Estimativa do consumo de refrigeradores e congeladores

A estimativa do consumo de energia elétrica anual de refrigeradores e congeladores ($C_{ref/cong}$, em kWh) considera a quantidade de equipamentos de um mesmo tipo e faixa de capacidade de armazenagem total ($n_{t,cap}$) e seus respectivos consumos mensais representativos ($C_{t,cap}$), em kWh/mês, conforme equação (7). Deve-se salientar que não foram consideradas as diferenças climáticas entre as regiões, pois não foram encontradas na literatura equações que fizessem a correção do consumo pelo clima para todos os tipos de refrigeradores/congeladores pesquisados na PPH.

$$C_{ref/cong} = \sum_{t,cap} C_{t,cap} \times n_{t,cap} \times 12 \quad (7)$$

A Figura 24 ilustra o procedimento utilizado para determinar o consumo dos refrigeradores a partir do *script*. Para os congeladores, seguiu-se o mesmo procedimento.

Figura 24 – Exemplo de estimativa do consumo dos refrigeradores pelo *script*.

| | P7.1.1.2 | P7.1.1.3 | Freq | total_tipo_sNS | total_tipo | prop_tipo1 | n_tipo_ajust | consumo |
|---|----------|-----------|------|----------------|------------|-------------|--------------|---------|
| 1 | Comb. 2P | < 199 L | 1 | 320 | 371 | 0.003125000 | 1 | C1 |
| 2 | Comb. 2P | 200-299 L | 56 | 320 | 371 | 0.175000000 | 65 | C2 |
| 3 | Comb. 2P | 300-399 L | 174 | 320 | 371 | 0.543750000 | 202 | C3 |
| 4 | Comb. 2P | 400-499 L | 81 | 320 | 371 | 0.253125000 | 94 | C4 |

Passo 1
Passo 2
Passo 3

Fonte: Elaborado pelo autor.

No passo 1 foi determinada a quantidade de refrigeradores ou congeladores do mesmo tipo e faixa de capacidade (coluna intitulada n). No passo 2 foram quantificados, para cada tipo de equipamento, os casos em que os entrevistados não souberam ou não quiseram informar a faixa de capacidade. Esses valores foram, então, distribuídos proporcionalmente para os demais casos, conforme o mesmo método apresentado no item anterior, o que resultou no número ajustado de equipamentos (n_{ajust}). No passo 3 foram determinados os consumos mensais representativos dos equipamentos (c_{esp}). No passo 4 esses consumos foram multiplicados pelos números ajustados de equipamentos, para obter o consumo mensal dos refrigeradores com mesmo tipo e faixa de capacidade. Por fim, os consumos mensais foram somados e multiplicados por doze para obter o consumo anual dos refrigeradores ou congeladores.

Os consumos mensais representativos foram obtidos a partir das médias de consumo mensal dos refrigeradores e congeladores presentes nas tabelas de consumo/eficiência energética do Inmetro (INMETRO, 2019b), conforme o tipo de equipamento e a faixa de capacidade. Em alguns casos, a tabela do Inmetro não possuía equipamentos de uma determinada faixa de capacidade. Nesses casos, multiplicou-se a média do consumo mensal por litro dos equipamentos da tabela do Inmetro, agrupados conforme o tipo de aparelho, pelo valor intermediário da faixa de capacidade que não possuía exemplares na tabela. A Tabela 12 e a Tabela 13 apresentam os consumos mensais representativos de refrigeradores e congeladores utilizados. Os valores com asterisco são aqueles obtidos através de médias de consumo por litro.

Tabela 12 – Consumos mensais representativos de refrigeradores.

| Tipo | Capacidade de armazenagem | Consumo (kWh/mês) | Tipo | Capacidade de armazenagem | Consumo (kWh/mês) |
|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Uma porta | < 199 l | 26,50 | Combinado <i>frost free</i> | < 199 l | 23,88* |
| | 200 l – 299 l | 23,48 | | 200 l – 299 l | 41,60 |
| | 300 l – 399 l | 28,23 | | 300 l – 399 l | 47,00 |
| | 400 l – 499 l | 40,50* | | 400 l – 499 l | 51,36 |
| | 500 l ou maior | 45,00* | | 500 l ou maior | 61,97 |
| Uma porta <i>frost free</i> | < 199 l | 10,60 | Frigobar | Até 199 l | 16,78 |
| | 200 l – 299 l | 25,00* | <i>Side by side</i> | 200 l – 299 l | 30,00* |
| | 300 l – 399 l | 34,18 | | 300 l – 399 l | 42,00* |
| | 400 l – 499 l | 31,50 | | 400 l – 499 l | 61,42 |
| | 500 l ou maior | 33,90 | | 500 l ou maior | 70,69 |
| Combinado | < 199 l | 22,50 | | | |
| | 200 l – 299 l | 37,75 | | | |
| | 300 l – 399 l | 47,14 | | | |
| | 400 l – 499 l | 55,12 | | | |
| | 500 l ou maior | 70,00* | | | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 13 – Consumos mensais representativos de congeladores.

| Tipo | Capacidade de armazenagem | Consumo (kWh/mês) | Tipo | Capacidade de armazenagem | Consumo (kWh/mês) |
|-------------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------|
| Vertical | < 150 l | 38,10 | Vertical <i>frost free</i> | 230 l – 309 l | 41,33 |
| | 150 l – 229 l | 43,15 | | 310 l ou maior | 79,80 |
| | 230 l – 309 l | 43,6 | Horizontal | < 150 l | 27,25 |
| | 310 l ou maior | 55,8 | | 150 l – 229 l | 35,9 |
| Vertical <i>frost free</i> | < 150 l | 33,00 | Horizontal | 230 l – 309 l | 44,34 |
| | 150 l – 229 l | 53,6 | | 310 l ou maior | 65,92* |

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.3 Estimativa do consumo de televisores e micro-ondas

A estimativa do consumo anual de televisores (C_{tv} , em kWh), apresentada na equação (8), considera a proporção de televisores por tipo e tamanho da tela ($Prop_{t,d}$), suas respectivas potências representativas ($P_{t,d}$), em kW, e o tempo de uso mensal (T), em horas, obtido pelo somatório dos tempos de uso diários multiplicados pelas suas frequências de uso mensais.

$$C_{tv} = \sum_{t,d} Prop_{t,d} \times P_{t,d} \times T \times 12 \quad (8)$$

A estimativa do consumo anual de micro-ondas (C_{mic} , em kWh) considera a proporção de micro-ondas por capacidade de armazenagem ($Prop_{cap}$), suas respectivas potências representativas (P_{cap}), em kW, e o tempo de uso mensal (T), em horas, que resulta do somatório do tempo de uso diário dos micro-ondas multiplicados pelas suas frequências de uso mensais.

$$C_{mic} = \sum_{cap} Prop_{cap} \times P_{cap} \times T \times 12 \quad (9)$$

Diferentemente dos televisores, os tempos de uso dos micro-ondas foram informados em intervalos. Assim, utilizou-se os valores apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Faixas de tempo de uso diário de micro-ondas.

| Intervalo | Valor utilizado | Intervalo | Valor utilizado | Intervalo | Valor utilizado |
|-------------|-----------------|------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Até 10 min. | 10 min. | 31-60 min. | 45 min. | Acima de 90 min. | 90 min. |
| 11-30 min. | 20 min. | 61-90 min. | 75 min. | | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para as frequências de uso mensais de micro-ondas e televisores, considerou-se valores intermediários das faixas informadas na PPH, conforme a Tabela 15. Esses valores também foram utilizados nos demais equipamentos que se basearam em equações.

Tabela 15 – Frequências de uso consideradas.

| Frequência | Intervalo | Frequência considerada | Frequência utilizada |
|------------|------------------------|------------------------|----------------------|
| Intensa | 6 a 7 vezes por semana | 6,5 vezes por semana | 26 vezes por mês |
| Grande | 4 a 5 vezes por semana | 4,5 vezes por semana | 18 vezes por mês |
| Média | 2 a 3 vezes por semana | 2,5 vezes por semana | 10 vezes por mês |
| Pequena | 1 vez por semana | 1 vez por semana | 4 vezes por mês |
| Mínima | 1 vez a cada 15 dias | 0,5 vezes por semana | 2 vezes por mês |
| Raramente | 1 vez ao mês | 0,25 vezes por semana | 1 vez por mês |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os *scripts* para determinar os consumos dos televisores e dos micro-ondas possuem a mesma lógica, apresentada na Figura 25, para o caso dos televisores.

Figura 25 – Exemplo de estimativa do consumo dos televisores pelo *script*.

| | tipo | tamanho_tela | n | soma | soma_total | prop | n_ajust | p_esp | prop_tot | tempo | consumo |
|---|------------|--------------|-----|------|------------|------------|---------|-------|----------|---------|----------|
| 1 | CRT (TUBO) | < 20" | 112 | 369 | 388 | 0.30352304 | 118 | p1 | 0.044 | 5101915 | consumo1 |
| 2 | CRT (TUBO) | 20" - 29" | 196 | 369 | 388 | 0.53116531 | 206 | p2 | 0.077 | 5101915 | consumo2 |
| 3 | CRT (TUBO) | 30" - 39" | 57 | 369 | 388 | 0.15447154 | 60 | p3 | 0.023 | 5101915 | consumo3 |
| 4 | CRT (TUBO) | 40" - 50" | 4 | 369 | 388 | 0.01084011 | 4 | p4 | 0.002 | 5101915 | consumo4 |
| 5 | PLASMA | < 20" | 15 | 479 | 483 | 0.03131524 | 15 | p5 | 0.006 | 5101915 | consumo5 |

Passo 1
Passo 2
Passo 3
Passo 4

Fonte: Elaborado pelo autor.

No passo 1 são determinadas a quantidade de televisores por tipo e tamanho de tela (coluna n). No passo 2 é realizado o ajuste proporcional dos casos em que o entrevistado não sabia o tamanho da tela. No passo 3 são determinadas as potências representativas por tipo e tamanho de tela (p_{esp}), a suas proporções ($prop_{tot}$) e o tempo de uso anual dos televisores (tempo). No passo 4 as colunas p_{esp} , $prop_{tot}$ e tempo são multiplicadas entre si, resultando na coluna intitulada consumo cujas linhas são, posteriormente, somadas, para obter o consumo anual dos televisores. No caso dos televisores marcados como de uso eventual, ou seja, que não possuíam um horário definido de utilização, considerou-se que seus tempos de uso eram proporcionais àqueles dos quais foram informados os horários. Assim, multiplicou-se o tempo total de uso obtido pelo acréscimo relativo aos televisores de uso eventual. Por exemplo, se 5% dos televisores eram de uso eventual, multiplicou-se o valor de tempo por 1,05.

As potências representativas foram obtidas a partir das médias de potência dos televisores e micro-ondas presentes nas tabelas de consumo/eficiência energética do Inmetro, conforme o tipo do equipamento e o tamanho da tela, para os televisores, e conforme a capacidade de armazenagem, no caso dos micro-ondas. Algumas faixas de tamanho de tela não possuíam exemplares nas tabelas do Inmetro. Nesses casos, multiplicou-se a média de potência por polegada dos equipamentos da tabela, agrupados conforme o tipo de aparelho, pelo valor intermediário da faixa de tamanho de tela que não possuía exemplares na tabela. A Tabela 16 apresenta as potências representativas de televisores e micro-ondas utilizadas. Os valores com asterisco são aqueles obtidos através de médias de potência por polegada.

Tabela 16 – Potências representativas de televisores e micro-ondas.

| Televisores | | | Micro-ondas | | |
|-------------|-----------------|-----------|-------------|---------------|----------|
| Tipo | Tamanho da tela | Potência | Tipo | Capacidade | Potência |
| CRT (tubo) | < 20" | 64,20 W | Tipo único | Até 20 l | 1008 W |
| | 20" - 29" | 84,36 W | | 21 l a 29 l | 1305 W |
| | 30"-39" | 133,00 W* | | 30 l ou maior | 1440 W |
| | 40" - 50" | 171,40 W* | | | |
| | acima de 50" | 190,00 W* | | | |
| LCD/LED | < 20" | 22,25 W | | | |
| | 20" - 29" | 43,32 W | | | |
| | 30"-39" | 76,43 W | | | |
| | 40" - 50" | 113,71 W | | | |
| | acima de 50" | 208,38 W | | | |
| Plasma | < 20" | 115,80 W* | | | |
| | 20" - 29" | 144,75 W* | | | |
| | 30"-39" | 202,65 W* | | | |
| | 40" - 50" | 261,58 W | | | |
| | acima de 50" | 337,34 W | | | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.4 Estimativa do consumo de máquinas de lavar roupa

A equação (10) estima o consumo anual das máquinas de lavar roupa (C_{maq} , em kWh) a partir da proporção de máquinas por tipo e capacidade de armazenagem ($Prop_{t,cap}$), do seu consumo por ciclo representativo ($C_{t,cap}$), em kWh/ciclo, e do somatório do número de ciclos das máquinas de lavar roupa multiplicados pelas frequências de uso mensais (n).

$$C_{maq} = \sum_{t,cap} Prop_{t,cap} \times C_{t,cap} \times n \times 12 \quad (10)$$

A Figura 26 ilustra o procedimento utilizado para determinar o consumo das máquinas de lavar roupa a partir do *script*.

Figura 26 – Exemplo de estimativa do consumo das máquinas de lavar roupa pelo *script*.

| | tipo | capacidade | n | total_tipo | prop | n_ajust | total | prop_tot | c_ciclo | ciclos | consumo |
|---|------------------------|---------------|-----|------------|------|---------|-------|----------|---------|--------|----------|
| 1 | Automática | 10 kg ou mais | 806 | 1318 | 0.62 | 816 | 1721 | 0.47 | c1 | 446652 | consumo1 |
| 2 | Automática | 7kg - 9kg | 421 | 1318 | 0.32 | 426 | 1721 | 0.25 | c2 | 446652 | consumo2 |
| 3 | Automática | Até 6kg | 75 | 1318 | 0.06 | 76 | 1721 | 0.04 | c3 | 446652 | consumo3 |
| 4 | Automática lava e seca | 10 kg ou mais | 207 | 336 | 0.63 | 212 | 1721 | 0.12 | c4 | 446652 | consumo4 |
| 5 | Automática lava e seca | 7kg - 9kg | 114 | 336 | 0.35 | 117 | 1721 | 0.07 | c5 | 446652 | consumo5 |

Passo 1
Passo 2
Passo 3
Passo 4

Fonte: Elaborado pelo autor.

No passo 1 são determinadas a quantidade de máquinas de lavar roupa por tipo e capacidade (coluna n). No passo 2 é realizado o ajuste proporcional dos casos que o entrevistado não sabia a capacidade de armazenagem (n_ajust), pelo mesmo processo apresentado no caso de lâmpadas. No passo 3 são determinados os consumos por ciclo representativos (c_ciclo), a proporção de máquinas de lavar por tipo e capacidade de armazenagem (prop_tot) e o número de ciclos anuais de todas as máquinas de lavar (ciclos). No passo 4 as colunas c_ciclo, prop_tot e ciclos são multiplicadas entre si, resultando na coluna intitulada consumo cujas linhas são, posteriormente, somadas, para obter o consumo anual das máquinas de lavar roupa.

Os consumos por ciclo representativos foram obtidos a partir das médias de potência das máquinas de lavar roupa presentes nas tabelas de consumo/eficiência energética do Inmetro, conforme o tipo de equipamento e a capacidade de armazenagem. Os valores utilizados são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Potências representativas de máquinas de lavar roupa.

| Tipo | Capacidade | Consumo mensal por ciclo |
|------------------------|----------------|--------------------------|
| Automática | Até 6 kg | 0,10 kWh/ciclo |
| | 7 kg - 9 kg | 0,25 kWh/ciclo |
| | 10 kg ou maior | 0,38 kWh/ciclo |
| Automática lava e seca | Até 6 kg | 0,09 kWh/ciclo |
| | 7 kg - 9 kg | 0,23 kWh/ciclo |
| | 10 kg ou maior | 0,29 kWh/ciclo |
| Semi-automática | < 20" | 0,06 kWh/ciclo |
| | 20" - 29" | 0,10 kWh/ciclo |
| | 30"-39" | 0,12 kWh/ciclo |

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.5 Estimativa do consumo de chuveiros

No caso dos chuveiros, a PPH informou, para cada mês do ano, se os chuveiros costumavam ser utilizados na temperatura máxima, intermediária ou sem aquecimento. Assim, inicialmente, foi estimado os consumos mensais considerando 100% dos chuveiros utilizados nas temperaturas máxima ou intermediária (C_{ch} , em kWh), conforme a equação (11), que considera a proporção de chuveiros por faixa de potência ($Prop_{pot}$), sua potência representativa por faixa de potência e temperatura de elevação da água ($P_{pot,temp}$), em kW, e o tempo de uso diário de todos os chuveiros (T), em horas, que resulta do somatório dos tempos de uso dos chuveiros multiplicados pelo número de banhos por dia.

$$C_{ch} = \sum_{pot} Prop_{pot} \times P_{pot,temp} \times T \times 30 \quad (11)$$

Assim como no caso dos micro-ondas, os tempos de uso dos chuveiros foram informados em intervalos. Desta forma, considerou-se os valores apresentados na Tabela 18, e, quando o entrevistado não soube informar o tempo de uso, considerou-se a faixa mais recorrente da amostra.

Tabela 18 – Faixas de tempo de uso diário de chuveiros.

| Intervalo | Valor considerado |
|---------------------|-------------------|
| Até 5 minutos | 5 minutos |
| 6 – 10 minutos | 8 minutos |
| 11 – 20 minutos | 15 minutos |
| Acima de 20 minutos | 20 minutos |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma vez estimado o consumo mensal com 100% dos chuveiros utilizados na temperatura máxima ($C_{ch_m\acute{a}x}$) e intermediária (C_{ch_int}), esses valores foram multiplicados pela proporção de pessoas que afirmaram utilizar os chuveiros na temperatura máxima ou na temperatura intermediária em cada mês ($Prop\ m\acute{a}x_m$ e $Prop\ int_m$), e, posteriormente, foram somados, para obter o consumo anual dos chuveiros (C_{ch_ano}), conforme a Equação (12).

$$C_{ch_ano} = \sum_m Prop\ m\acute{a}x_m \times C_{ch_m\acute{a}x} + Prop\ int_m \times C_{ch_int} \quad (12)$$

As potências representativas foram obtidas a partir das médias de potência dos chuveiros presentes nas tabelas de consumo/eficiência energética do Inmetro, conforme a faixa potência da PPH. Como nessas tabelas não é apresentada a potência para uma elevação de temperatura intermediária, considerou-se a metade da potência máxima, como mostra a Tabela 19.

Tabela 19 – Potências representativas de chuveiros.

| Faixa de potência (W) | Potência intermediária (W) | Potência máxima (W) |
|-----------------------|----------------------------|---------------------|
| < 4.500 | 2071 | 4142 |
| 4.501 – 6.000 | 2730 | 5460 |
| 6.001 – 7.500 | 3542 | 7084 |
| > 7.500 | 3870 | 7740 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.6 Estimativa do consumo de ventiladores

A equação (13) apresenta a equação utilizada para estimar o consumo dos ventiladores (C_{vent} , em kWh), a partir da potência representativa do equipamento (P), em kW, do tempo total de uso (T), em horas, que resulta do somatório dos tempos de uso diários multiplicados pelas suas frequências de uso mensais, e do número de meses no qual o ventilador é utilizado (n).

$$C_{vent} = P \times T \times n \quad (13)$$

A PPH não perguntou ao usuário os meses em que ele utiliza o ventilador. Assim, considerou-se o uso em todos os meses do ano nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, que são as regiões que possuem a maior parte de seu território inseridas nas duas zonas mais quentes do país: 0A e 1A, segundo classificação da ASHRAE 169. No Sul e no Sudeste, considerou-se uso apenas no período de três meses, relativo ao verão. A classificação da ASHRAE 169 foi utilizada por possuir um número menor de zonas climáticas, o que facilitou o agrupamento dos municípios da PPH. Para o tempo de uso, foram utilizados os seguintes valores da Tabela 20.

Tabela 20 – Tempo de uso diário considerado.

| Faixa de tempo | Valor usado | Faixa de tempo | Valor usado | Faixa de tempo | Valor usado |
|----------------|-------------|----------------|-------------|---------------------|-------------|
| Até 10 min. | 10 min. | 61 – 120 min. | 90 min. | 6:01 – 12 horas | 9 horas |
| 11 – 30 min. | 20 min. | 2:01 – 4 horas | 3 horas | 12:01 – 23h59 horas | 18 horas |
| 31 – 60 min. | 45 min. | 4:01 – 6 horas | 5 horas | 24 horas | 24 horas |

Fonte: Elaborado pelo autor.

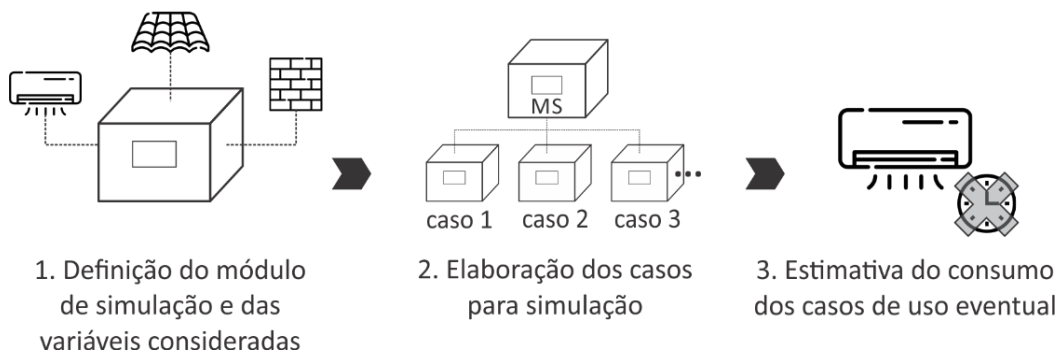
O *script*, por sua vez, utilizou um procedimento simples em que o somatório do tempo de uso mensal dos ventiladores, em horas, foi multiplicado pela potência representativa, convertida para kW. Esse valor foi, então, multiplicado por 12, para os domicílios da região Norte, Nordeste e Centro-Oeste, ou por três, para os domicílios da região Sul e Sudeste, obtendo-se, assim, o consumo anual dos ventiladores.

A potência representativa do ventilador também foi obtida a partir das médias de potência dos ventiladores presentes nas tabelas de consumo/eficiência energética do Inmetro. Como a tabela do Inmetro fornece três potências distintas dos ventiladores, relativas às velocidades mínima, intermediária e máxima, considerou-se a potência relativa à velocidade intermediária. Obteve-se, assim, uma potência representativa de 74,8 W.

3.2.7 Estimativa do consumo de ares condicionados

A estimativa do consumo de energia elétrica dos ares condicionados foi determinada a partir de simulações computacionais, realizadas pelo *software* EnergyPlus, versão 9.1, com o auxílio do *software* RStudio. A Figura 28 apresenta as etapas utilizadas, que serão explicadas nos itens 3.2.7.1 a 3.2.7.3.

Figura 28 – Etapas utilizadas para estimar o consumo de ares condicionados



Fonte: Autor, com imagens adaptadas de Flaticon (2019).

3.2.7.1 Definição do módulo de simulação e das variáveis consideradas

A PPH não informou a dimensão dos ambientes que possuíam ares condicionados. Desta forma, foi desenvolvido um “módulo de simulação”, ou seja, uma zona térmica no EnergyPlus com 3,0 m de profundidade, 3,0 m de largura, pé-direito de 2,5 m e duas paredes expostas para o exterior.

Sua área útil, de 9 m², deriva da faixa de área útil mais comum encontrada nos dormitórios dos domicílios pesquisados por Teixeira et al (2015): 8 m² a 12 m². O módulo também possui uma abertura com 1,5 m de largura e 1,2 m de altura. Mantidos os valores geométricos do módulo de simulação, foram determinadas as características físicas que seriam consideradas para defini-lo. Para cada característica escolhida, foram identificados os atributos mais recorrentes nos domicílios da PPH que possuíam ar condicionado, conforme a Tabela 21.

Tabela 21 – Características físicas escolhidas.

| Característica | Atributos utilizados nos modelos |
|-----------------------|--|
| Tipo de domicílio | Casa, apartamento térreo, apartamento intermediário ou apartamento de cobertura. |
| Orientação | Norte, nordeste, leste, sudeste, sul, sudoeste, oeste ou noroeste. |
| Tipo de cobertura | Laje de concreto, telha de amianto (fibrocimento) ou telha de barro. |
| Tipo de parede | Alvenaria com revestimento externo, alvenaria sem revestimento externo, parede de madeira ou parede de concreto. |
| Tonalidade da parede | Clara, média ou escura. |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto às características do ar condicionado, considerou-se as informações relativas à tecnologia do aparelho e seu padrão de uso, como mostra a Tabela 22.

Tabela 22 – Características escolhidas do ar condicionado e de seu padrão de uso.

| Característica | Atributos utilizados nos modelos |
|--|---|
| Tipo de ar condicionado | Janela, split comum ou split inverter. |
| Faixa de capacidade térmica | Até 7.500 Btu/h, 7.501 – 10.000 Btu/h, 10.001 – 12.000 Btu/h, 12.001 – 18.000 Btu/h, 18.000 – 24.000 Btu/h ou maior que 24.000 Btu/h. |
| Tipo de operação | Frio ou quente/frio. |
| Temperatura utilizada na hora de ligar o ar condicionado | Valor numérico. |
| Horário de uso do ar condicionado | Valor numérico. |
| Frequências de uso mensal | Intensa, grande, média, pequena, mínima ou raramente. |

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.7.2 *Elaboração dos casos para simulação*

Inicialmente, foram desenvolvidos dois arquivos base do módulo de simulação, em formato idf (extensão do EnergyPlus), que distinguem entre si pela presença ou não do objeto que simula a interação entre o piso do módulo de simulação e o solo.

O arquivo base que possuía esse objeto foi utilizado para modelar os casos classificados como casa ou apartamento térreo, e o arquivo sem o objeto, que possui a superfície do piso definida como adiabática, foi utilizado para modelar os casos de apartamento intermediário e de cobertura. O objeto utilizado para modelar a presença do solo foi o Site:GroundDomain:Slab, com o método de cálculo *Finite Difference*, conforme valores especificados no manual de simulação do *ground domain*, disponível em Eli et al. (2019). Na modelagem do piso, foram utilizados materiais com propriedades térmicas baseadas na biblioteca de componentes construtivos desenvolvida por Weber (2018), conforme a Tabela 23.

Tabela 23 – Propriedades do piso.

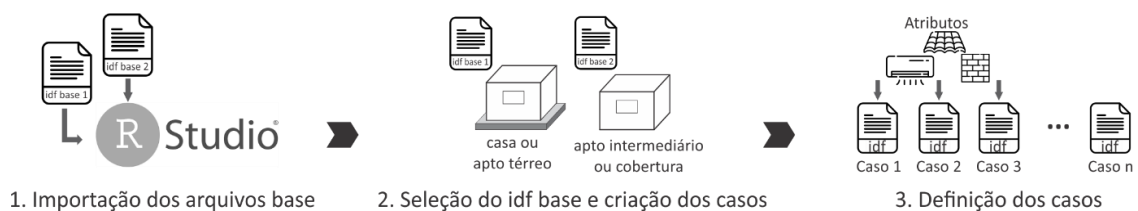
| Materiais (camadas) | Espessura | Condutividade | Densidade | Calor específico |
|---------------------|-----------|---------------|------------------------|------------------|
| Piso cerâmico | 0,0100 m | 1,05 W/mK | 2000 kg/m ³ | 920 J/kg.K |
| Concreto | 0,0500 m | 1,75 W/mK | 2200 kg/m ³ | 920 J/kg.K |
| Contrapiso | 0,0200 m | 1,15 W/mK | 2000 kg/m ³ | 1000 J/kg.K |
| Impermeabilização | 0,0001 m | 0,23 W/mK | 1000 kg/m ³ | 1000 J/kg.K |

Fonte: Elaborado pelo autor.

As duas paredes não voltadas ao exterior dos módulos de simulação foram consideradas adiabáticas, uma vez que foi definido apenas uma zona para simulação. Para a abertura, foi utilizado o objeto WindowMaterial:SimpleGlazingSystem, com um vidro simples de transmitância térmica de 5,7 W/m²K e fator solar de 0,87. Também foi considerada uma taxa de infiltração de 0,3 trocas por hora, através do objeto ZoneInfiltration:DesignFlowRate.

Após a elaboração dos arquivos base, foi desenvolvido um *scrip* no RStudio responsável por importar esses arquivos, identificar o tipo de domicílio de cada caso e utilizar o arquivo base adequado para gerar os idfs que seriam simulados. Esses idfs receberam, então, os atributos pertencentes aos domicílios a que eles representavam, como ilustra a Figura 29. Quando um domicílio possuía um atributo pouco frequente, e que não foi considerado na etapa anterior, utilizou-se o mais frequente na base de dados.

Figura 29 – Etapas utilizadas para elaborar os casos para simulação



Fonte: Autor, com imagens adaptadas de Flaticon (2019).

A Tabela 24 apresenta os materiais utilizados para modelar as paredes e as coberturas, juntamente com suas propriedades físicas, que foram definidas com base nas informações da biblioteca de componentes construtivos desenvolvida por Weber (2018).

Tabela 24 – Propriedades de coberturas e paredes.

| Elemento | Materiais | Condutividade | Densidade | Calor específico |
|---|--------------------------|---|------------------------|------------------|
| Laje de concreto $U = 3,73 \text{ W/m}^2/\text{K}$ $C_T = 220 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ | Concreto - 4,0 cm | 1,75 W/mK | 2200 kg/m ³ | 1000 J/kgK |
| | Tabela - 1,2 cm | 1,05 W/mK | 2000 kg/m ³ | 920 J/kgK |
| | Câmara de ar | Resistência térmica de 0,081 m ² K/W | | |
| | Tabela - 1,2 cm | 1,05 W/mK | 2000 kg/m ³ | 920 J/kgK |
| | Argamassa - 1,0 cm | 1,15 W/mK | 2200 kg/m ³ | 1000 J/kgK |
| Cobertura de telha de fibrocimento $U = 2,02 \text{ W/m}^2/\text{K}$ $C_T = 21 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ | Fibrocimento - 0,8 cm | 0,95 W/mK | 1900 kg/m ³ | 840 J/kgK |
| | Câmara de ar | Resistência térmica de 0,21 m ² K/W | | |
| | Forro (madeira) - 1,0 cm | 0,15 W/mK | 600 kg/m ³ | 1340 J/kgK |
| Cobertura de telha cerâmica $U = 2,02 \text{ W/m}^2/\text{K}$ $C_T = 26 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ | Cerâmica - 1,0 cm | 1,75 W/mK | 2200 kg/m ³ | 1000 J/kgK |
| | Câmara de ar | Resistência térmica de 0,21 m ² K/W | | |
| | Forro (madeira) - 1,0 cm | 0,15 W/mK | 600 kg/m ³ | 1340 J/kgK |
| Parede de alvenaria com revestimento $U = 2,46 \text{ W/m}^2/\text{K}$ $C_T = 150 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ | Argamassa ext. - 2,5 cm | 1,15 W/mK | 2000 kg/m ³ | 1000 J/kgK |
| | Tijolo - 1,3 cm | 0,09 W/mK | 1600 kg/m ³ | 920 J/kgK |
| | Câmara de ar | Resistência térmica de 0,18 m ² K/W | | |
| | Tijolo - 1,3 cm | 0,09 W/mK | 1600 kg/m ³ | 920 J/kgK |
| | Argamassa int. - 2,5 cm | 1,15 W/mK | 2000 kg/m ³ | 1000 J/kgK |
| Parede de alvenaria sem revestimento $U = 2,99 \text{ W/m}^2/\text{K}$ $C_T = 42 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ | Tijolo - 1,3 cm | 0,09 W/mK | 1600 kg/m ³ | 920 J/kgK |
| | Câmara de ar | Resistência térmica de 0,18 m ² K/W | | |
| | Tijolo - 1,3 cm | 0,09 W/mK | 1600 kg/m ³ | 920 J/kgK |
| Parede – concreto $U = 4,40 \text{ W/m}^2/\text{K}$ $C_T = 220 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ | Concreto - 10,0 cm | 1,75 W/mK | 2200 kg/m ³ | 1000 J/kgK |
| Parede – madeira $U = 3,29 \text{ W/m}^2/\text{K}$ $C_T = 16 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ | Madeira - 2,0 cm | 0,15 W/mK | 600 kg/m ³ | 1340 J/kgK |

Fonte: Adaptado de Weber (2018).

Para os valores de absorvância das paredes, utilizou-se 0,4 para as de tonalidade clara, 0,5 para as médias e 0,6 para as escuras. Como a PPH não perguntou sobre a tonalidade das coberturas, considerou-se que a sua absorvância seria de 0,5.

Quanto à orientação do modelo, considerou-se a janela do módulo alinhada à orientação da maioria das janelas do domicílio, que foi informada pela PPH, com ângulo de 45° em relação ao norte para a orientação nordeste, de 90° para a leste, de 135° para a sudeste, de 180° para a sul, de 225° para a sudoeste, de 270° para a oeste e de 215° para a noroeste.

O ar condicionado foi modelado pelo objeto HVACTemplate:Zone:PTHP (*packaged terminal heat pump*), que é recomendado pela Instrução Normativa Inmetro para a classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R) (CB3E, 2018) para estimar o desempenho de sistemas de ar condicionado em residências. A Tabela 25 apresenta as variáveis do PTHP utilizadas neste estudo. Nas demais variáveis, manteve-se os valores *default* do objeto.

Tabela 25 – Variáveis do PTHP.

| | |
|--|---|
| <i>Template Thermostat Name</i> | <i>Cooling Supply Air Flor Rate (m³/s)</i> |
| <i>Cooling Coil Gross Rated Total Capacity (W)</i> | <i>Heating Supply Air Flor Rate (m³/s)</i> |
| <i>Heating Coil Gross Rated Total Capacity (W)</i> | <i>Outdoor Air Flow Rate per Person (m³/s)</i> |
| <i>Cooling Coil Gross Rated COP(W/W)</i> | <i>System Availability Schedule Name</i> |
| <i>Heating Coil Gross Rated COP (W/W)</i> | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

A variável *Template Thermostat Name* recebe o nome do *template* que será utilizado para informar os *setpoints* de refrigeração e aquecimento do PTHP. O *template* foi criado pelo objeto HVACTemplate:Zone:Thermostat. Para o *setpoint* de refrigeração, considerou-se o valor fornecido pelo entrevistado sobre a temperatura mais utilizada na hora de ligar o ar condicionado. Quando a temperatura não foi informada, utilizou-se a média das temperaturas dos ares condicionados inseridos na mesma zona climática, conforme classificação da ASHRAE 169. Para o *setpoint* de aquecimento, considerou-se o valor de 18 °C.

As variáveis *Cooling Coil Gross Rated Total Capacity* e *Heating Coil Gross Rated Total Capacity* informam as capacidades térmicas de aquecimento e refrigeração do equipamento. Esses valores foram determinados com base nas tabelas de consumo/eficiência energética de ares condicionados do Inmetro, cujos equipamentos foram agrupados de acordo com o tipo de equipamento, o tipo de operação e a faixa de capacidade térmica. Para cada grupo, foi extraída a moda das capacidades térmicas, valor que foi, posteriormente, convertido de BTU/h para Watt. Nos casos em que não foi informada a faixa capacidade térmica do equipamento, ou o tipo de operação, considerou-se o valor mais frequente em cada região geográfica.

O *Cooling Coil Gross Rated COP* e o *Heating Coil Gross Rated COP*, que determinam a eficiência do ar condicionado, foram obtidos a partir das médias dos COPs dos equipamentos das tabelas do Inmetro, agrupados conforme a faixa de capacidade térmica, o tipo de equipamento, o tipo de operação. Porém, como o COP das tabelas do Inmetro considera a eficiência do compressor (*coil*) e do ventilador (*fan*), e, no PTHP, apenas é considerado o COP do compressor, o valor de COP foi ajustado, utilizando-se uma potência de 74,8 W para o *fan*.

O *Cooling Supply Air Flow Rate* e o *Heating Supply Air Flow Rate* informam a vazão de ar para refrigeração e aquecimento. Como esse valor não é informado nas tabelas do Inmetro, foram utilizados valores com base nos ares condicionados da marca Consul (CONSUL, 2020), que, entre as marcas pesquisadas, era a que disponibilizava os valores de vazão de ar para os três tipos de ares condicionados. A Tabela 26 apresenta as capacidades térmicas, os COPs e as vazões de ar utilizados neste estudo.

Tabela 26 – Valores de capacidade térmica e COP.

| Tipo de aparelho | Tipo de operação | Faixa de capacidade térmica | Capacidade térmica convertida | COP | Vazão de ar |
|------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------|------|------------------------|
| Janela | Frio | Até 7.500 Btu/h | 2.198 W | 3,27 | 0,12 m ³ /s |
| | | 7.501 – 10.000 Btu/h | 2.930 W | 3,23 | 0,15 m ³ /s |
| | | 10.001 – 12.000 Btu/h | 3.516 W | 3,14 | 0,18 m ³ /s |
| | | 12.001 – 18.000 Btu/h | 5.274 W | 3,00 | 0,27 m ³ /s |
| | | 18.000 – 24.000 Btu/h | 6.153 W | 2,87 | 0,31 m ³ /s |
| | | Maior que 24.000 Btu/h | 8.790 W | 2,87 | 0,45 m ³ /s |
| | Quente/ frio | Até 7.500 Btu/h | 2.198 W | 3,32 | 0,12 m ³ /s |
| | | 7.501 – 10.000 Btu/h | 2.930 W | 3,28 | 0,15 m ³ /s |
| | | 10.001 – 12.000 Btu/h | 3.516 W | 3,10 | 0,18 m ³ /s |
| | | 12.001 – 18.000 Btu/h | 5.274 W | 2,90 | 0,27 m ³ /s |
| | | 18.000 – 24.000 Btu/h | 6.153 W | 2,85 | 0,31 m ³ /s |
| | | Maior que 24.000 Btu/h | 8.790 W | 2,79 | 0,45 m ³ /s |
| Split comum | Frio | Até 7.500 Btu/h | 2.051 W | 3,36 | 0,11 m ³ /s |
| | | 7.501 – 10.000 Btu/h | 2.637 W | 3,40 | 0,14 m ³ /s |
| | | 10.001 – 12.000 Btu/h | 3.516 W | 3,29 | 0,17 m ³ /s |
| | | 12.001 – 18.000 Btu/h | 5.274 W | 3,15 | 0,29 m ³ /s |
| | | 18.000 – 24.000 Btu/h | 7.032 W | 3,06 | 0,36 m ³ /s |
| | | Maior que 24.000 Btu/h | 8.790 W | 2,90 | 0,46 m ³ /s |
| | Quente/ frio | Até 7.500 Btu/h | 2.051 W | 3,45 | 0,11 m ³ /s |
| | | 7.501 – 10.000 Btu/h | 2.637 W | 3,37 | 0,14 m ³ /s |
| | | 10.001 – 12.000 Btu/h | 3.516 W | 3,26 | 0,17 m ³ /s |
| | | 12.001 – 18.000 Btu/h | 5.274 W | 3,12 | 0,29 m ³ /s |
| | | 18.000 – 24.000 Btu/h | 7.032 W | 3,01 | 0,36 m ³ /s |
| | | Maior que 24.000 Btu/h | 8.790 W | 2,90 | 0,46 m ³ /s |
| Split inverter | Frio | Até 7.500 Btu/h | 2.051 W | 3,64 | 0,11 m ³ /s |
| | | 7.501 – 10.000 Btu/h | 2.637 W | 3,77 | 0,14 m ³ /s |
| | | 10.001 – 12.000 Btu/h | 3.516 W | 3,58 | 0,18 m ³ /s |
| | | 12.001 – 18.000 Btu/h | 5.274 W | 3,50 | 0,28 m ³ /s |
| | | 18.000 – 24.000 Btu/h | 6.446 W | 3,42 | 0,34 m ³ /s |
| | | Maior que 24.000 Btu/h | 7.911 W | 3,33 | 0,41 m ³ /s |
| | Quente/ frio | Até 7.500 Btu/h | 2.051 W | 3,64 | 0,11 m ³ /s |
| | | 7.501 – 10.000 Btu/h | 2.637 W | 3,86 | 0,14 m ³ /s |
| | | 10.001 – 12.000 Btu/h | 3.516 W | 3,69 | 0,18 m ³ /s |
| | | 12.001 – 18.000 Btu/h | 5.274 W | 3,51 | 0,28 m ³ /s |
| | | 18.000 – 24.000 Btu/h | 6.446 W | 3,39 | 0,34 m ³ /s |
| | | Maior que 24.000 Btu/h | 7.911 W | 3,22 | 0,41 m ³ /s |

Fonte: Elaborado pelo autor.

O *Outdoor Air Flow Rate per Person* determina a quantidade de ar externo fornecido ao ambiente por pessoa, valor que foi considerado zero em todos os casos. O *System Availability Schedule Name* recebe o nome da *schedule* que define o padrão de uso do ar condicionado. A *schedule* foi definida pelo objeto *Schedule:Compact* e recebeu as informações das horas de uso diárias do ar condicionado e a sua frequência de uso para os doze meses do ano. A Tabela 27 apresenta os dias da semana utilizados na *schedule* por faixa de frequência.

Tabela 27 – Dias considerados por faixas de frequência.

| Faixa de frequência | Valor considerado |
|------------------------------|--|
| Intensa | Todos os dias da semana |
| Grande | Segunda, quarta, sexta, sábado e domingo |
| Média | Segunda, quarta e sexta |
| Pequena, mínima ou raramente | Segunda |

Fonte: Elaborado pelo autor.

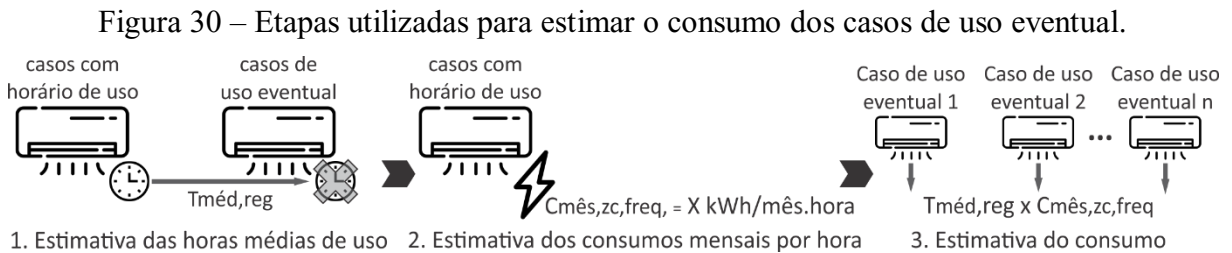
Aos idfs dos casos também foram adicionadas cargas internas relativas a pessoas e ao sistema de iluminação. Para pessoas, foi utilizado o objeto *people* considerando uma *schedule* de ocupação das 21h00 até as 8h00 acrescido do horário em que o ar condicionado era acionado. Considerou-se duas pessoas na zona, com uma atividade metabólica de 81 W por pessoa. Quanto à iluminação, utilizou-se o objeto *lights*, com um horário de uso entre 19h00 e 22h00 e entre 6h00 e 8h00, e com lâmpadas de potência igual a 5W/m².

Por fim, uma vez caracterizados cada idf, os casos foram simulados com arquivos climáticos no formato TMYx 2003-2017, disponíveis em ClimateOneBuilding (2019). Caso a cidade não possuísse arquivos climáticos nesse formato, utilizou-se o da cidade mais próxima e que estivesse inserida na mesma zona climática, conforme classificação da ASHRAE 169.

Ao total, foram simulados 2.190 casos cujos consumos de energia elétrica de aquecimento, refrigeração e do *fan* foram obtidos a partir dos *outputs Heating Coil Electric Energy (J)*, *Cooling Coil Electric Energy (J)* e *Fan Electric Energy (J)*. Como resultado da simulação, foram criados arquivos em formato .csv com os consumos de aquecimento, de refrigeração e de *fan* para os 365 dias do ano. Esses resultados foram, então, convertidos para kWh e somados para obter o consumo anual estimado para condicionamento artificial.

3.2.7.3 Estimativa de consumo dos casos de uso eventual

Os casos de uso eventual são aqueles em que o entrevistado utilizava o equipamento, porém não em um horário fixo. A Figura 30 apresenta as etapas utilizadas para estimar o consumo desses casos.



Fonte: Autor, com imagens adaptadas de Flaticon (2019).

O consumo dos casos de uso eventual foi estimado com base nos resultados dos casos simulados na etapa anterior. Primeiramente, foi atribuído um tempo médio de uso diário para cada caso de uso eventual ($T_{méd,reg}$), a partir das médias dos tempos de uso dos casos que possuíam essa informação e que estavam inseridos na mesma região.

Na segunda etapa, foi realizada uma estimativa dos consumos mensais por hora dos casos simulados a partir de um *script* em R, de onde obteve-se um consumo mensal médio por hora de uso para cada mês, zona climática e frequência de uso do ar condicionado ($C_{mês,zc,freq}$). A classificação utilizada nesta etapa também foi a da ASHRAE 169.

Os casos de uso eventual não possuem a informação do tempo de uso diário, mas possuem, para cada mês, a frequência de uso do equipamento. Assim, na terceira etapa, foram atribuídos aos casos de uso eventual, para cada mês, os valores de consumo mensal por hora obtidos na segunda etapa, conforme a frequência de uso mensal e a zona climática em que o domicílio estava inserido. Esses valores foram, então, multiplicados pelo tempo de uso médio do ar condicionado, obtendo-se, assim, os consumos mensais estimados de cada caso de uso eventual. Os consumos mensais de todos os casos foram, então, somados, para obter o consumo anual estimado dos casos de uso eventual. Por fim, a estimativa do consumo de energia elétrica para condicionamento artificial dos domicílios da PPH foi obtida pelo somatório do consumo dos casos simulados e dos casos de uso eventual.

3.3 PROJEÇÃO DA AMOSTRA

Para estimar o consumo de todos os domicílios do setor residencial, foi realizada uma projeção por estado, a partir da equação (14), em que $C_{proj,reg}$ é o consumo projetado do equipamento e agrupado por região geográfica, em TWh, C_{UF} é o consumo estimado do equipamento por unidade federativa, $PNAD_{UF}$ é o número de domicílios da unidade federativa em 2018, disponibilizado pela PNAD Contínua (IBGE, 2019d), e PPH_{UF} é o número de domicílios da base de dados da PPH para a mesma unidade federativa.

$$C_{proj,reg} = \sum_{reg} C_{UF} \times \frac{PNAD_{UF}}{PPH_{UF}} \quad (14)$$

A Tabela 28 apresenta os número de domicílios por unidade federativa.

Tabela 28 – Número de domicílios.

| Sul | | Sudeste | | Centro-Oeste | | Nordeste | | Norte | |
|---|------------|---------|------------|--------------|------------|----------|------------|-------|------------|
| UF | Domicílios | UF | Domicílios | UF | Domicílios | UF | Domicílios | UF | Domicílios |
| RS | 4.226.101 | SP | 15.909.479 | MS | 921.005 | BA | 5.021.692 | TO | 518.560 |
| SC | 2.545.546 | RJ | 6.384.981 | GO | 2.401.178 | SE | 759.679 | RO | 581.685 |
| PR | 3.970.137 | ES | 1.398.110 | MT | 1.159.021 | AL | 1.098.613 | AC | 261.564 |
| | | MG | 7.329.945 | DF | 1.014.643 | PE | 3.176.437 | AM | 1.092.428 |
| Número nacional de domicílios: 71.014.577 | | | | | | PB | 1.290.485 | PA | 2.449.710 |
| | | | | | | RN | 1.101.915 | RR | 153.740 |
| | | | | | | CE | 2.985.563 | AP | 213.953 |
| | | | | | | PI | 1.012.052 | | |
| | | | | | | MA | 2.036.355 | | |

Fonte: Adaptado de IBGE (2019d).

3.4 COMPARAÇÃO ENTRE CONSUMO ESTIMADO E REAL

A comparação entre o consumo estimado e o real foi realizada a partir da equação (15), em que $Perc_{reg}$ é o percentual de consumo projetado de cada equipamento por região ($C_{proj,reg}$) em relação ao consumo regional do setor residencial (C_{EPE}), obtido a partir do Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2019c), para o ano de 2018.

$$Perc_{reg} = \frac{C_{proj,reg}}{C_{EPE}} \times 100 \quad (15)$$

A Tabela 29 apresenta o consumo de energia elétrica nacional e por unidade federativa.

Tabela 29 – Consumo de energia elétrica do setor residencial.

| Sul | | Sudeste | | Centro-Oeste | | Nordeste | | Norte | |
|---|----------|---------|-----------|--------------|----------|----------|----------|-------|----------|
| UF | Consumo | UF | Consumo | UF | Consumo | UF | Consumo | UF | Consumo |
| RS | 8,70 TWh | SP | 39,92 TWh | MS | 1,96 TWh | BA | 7,04 TWh | TO | 0,96 TWh |
| SC | 5,74 TWh | RJ | 13,42 TWh | GO | 4,80 TWh | SE | 1,11 TWh | RO | 1,25 TWh |
| PR | 7,46 TWh | ES | 2,43 TWh | MT | 2,81 TWh | AL | 1,44 TWh | AC | 0,45 TWh |
| | | MG | 11,00 TWh | DF | 2,24 TWh | PE | 4,93 TWh | AM | 2,00 TWh |
| Consumo nacional do setor residencial: 137,60 TWh | | | | | | PB | 1,89 TWh | PA | 3,67 TWh |
| | | | | | | RN | 2,16 TWh | RR | 0,48 TWh |
| | | | | | | CE | 4,33 TWh | AP | 0,54 TWh |
| | | | | | | PI | 1,66 TWh | | |
| | | | | | | MA | 3,21 TWh | | |

Fonte: Adaptado de EPE (2019c).

3.5 ANÁLISE DOS LIMITES DE FREQUÊNCIA E TEMPO DE USO

Como a estimativa de consumo considerou valores médios para as faixas de frequência de uso de televisores, micro-ondas, máquinas de lavar roupa e ventiladores, e para as faixas de tempo de banho e de tempo de uso diário de micro-ondas e ventiladores, foram estimados os percentuais de consumo considerando os limites dessas faixas, conforme a Tabela 30, a fim de identificar a sensibilidade das proporções de consumo dos equipamentos quando utilizados os valores superiores ou inferiores das faixa de frequência e/ou tempo de uso.

Tabela 30 – Valores considerados para a análise das faixas de limite.

| Frequência de uso | | | Tempo de uso diário de ventiladores | | |
|---|----------|----------|-------------------------------------|----------|----------|
| Faixa semanal | Inferior | Superior | Faixa de tempo | Inferior | Superior |
| 6 a 7 vezes | 6 vezes | 7 vezes | Até 10 min. | 10 min. | 10 min. |
| 4 a 5 vezes | 4 vezes | 5 vezes | 11 – 30 min. | 11 min. | 30 min. |
| 2 a 3 vezes | 2 vezes | 3 vezes | 31 – 60 min. | 31 min. | 60 min. |
| Tempo de banho | | | 61 – 120 min. | 61 min. | 120 min. |
| Faixa de tempo | Inferior | Superior | 2:01 – 4 horas | 2 horas | 4 horas |
| Até 5 min. | 5 min. | 5 min. | 4:01 – 6 horas | 4 horas | 6 horas |
| 6 – 10 min. | 6 min. | 10 min. | 6:01 – 12 horas | 6 horas | 12 horas |
| 11 – 20 min. | 11 min. | 20 min. | 12:01 – 23h59 horas | 12 horas | 24 horas |
| Acima de 20 min. | 20 min. | 20 min. | 24 horas | 24 horas | 24 horas |
| Tempo de uso diário de micro-ondas | | | | | |
| Faixa de tempo | Inferior | Superior | Faixa de tempo | Inferior | Superior |
| Até 10 min. | 10 min. | 10 min. | 61-90 min. | 61 min. | 90 min. |
| 11-30 min. | 11 min. | 30 min. | Acima de 90 min. | 90 min. | 90 min. |
| 31-60 min. | 31 min. | 60 min. | | | |

Fonte: Adaptado de EPE (2019c).

3.6 ANÁLISE DO CONSUMO DO AR CONDICIONADO COM EQUAÇÕES

Também realizou-se uma estimativa de consumo dos ares condicionados a partir de equações de determinação de consumo, para comparar seu resultado com o estimado a partir de simulações computacionais. A Equação (16) descreve a estimativa de consumo anual do equipamento, onde $Prop_{tipo,cap,op}$ é a proporção de ares condicionados por tipo de aparelho, capacidade térmica e tipo de operação, $C_{tipo,cap,op}$ é o seu consumo específico por hora e T é o tempo total de uso de todos os ares condicionados, que resultou do somatório das multiplicações do tempo de uso diário de cada ar condicionado pela sua frequência de uso mensal.

$$C_{AC} = \sum_{tipo,cap,op} Prop_{tipo,cap,op} \times C_{tipo,cap,op} \times T \times 12 \quad (16)$$

O *script* para estimar o consumo de ares condicionados é semelhante ao dos televisores. Os equipamentos foram agrupados conforme o tipo de aparelho, a capacidade térmica e o tipo de operação, de onde obteve-se as suas proporções, que foram, então, multiplicadas pelo tempo anual de uso de todos os ares condicionados, em horas, e por seus consumos específicos. Por fim, esses valores foram somados a fim de obter o consumo anual.

Assim como no caso de televisores, para os ares condicionados marcados como de uso eventual, considerou-se que seus tempos de uso eram proporcionais àqueles dos quais foram informados os horários. Os consumos específicos resultaram dos consumos mensais médios obtidos das tabelas do Inmetro (2019b), conforme Tabela 32, que, no *script*, foram divididos por trinta, para obter o consumo diário por hora. Deve-se salientar que, como os consumos dos ares condicionados da tabela de Inmetro são obtidos a partir de testes com altos valores de temperatura externa, as diferenças entre os consumos dos splits comuns e inverter são pequenas.

Tabela 31 – Consumo mensal por horas de uso - Inmetro.

| Tipo | Janela | | Split comum | | Split inverter | |
|-----------------------|-----------|-----------|-------------|-----------|----------------|-----------|
| | Frio | Reverso | Frio | Reverso | Frio | Reverso |
| Até 7.500 Btu/h | 15.07 kWh | 15.36 kWh | 14.20 kWh | 14.01 kWh | 13.30 kWh | 13.30 kWh |
| 7.501–10.000 Btu/h | 19.75 kWh | 20.31 kWh | 17.75 kWh | 17.62 kWh | 16.51 kWh | 15.95 kWh |
| 10.001–12.000 Btu/h | 23.89 kWh | 25.10 kWh | 23.61 kWh | 23.68 kWh | 22.10 kWh | 21.83 kWh |
| 12.001–18.000 Btu/h | 37.88 kWh | 39.77 kWh | 35.99 kWh | 35.89 kWh | 33.84 kWh | 32.75 kWh |
| 18.001–24.000 Btu/h | 47.42 kWh | 46.70 kWh | 46.59 kWh | 47.19 kWh | 43.49 kWh | 43.01 kWh |
| Acima de 24.000 Btu/h | 66.08 kWh | 66.20 kWh | 62.05 kWh | 62.42 kWh | 54.35 kWh | 53.20 kWh |

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.7 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos no processo de análise da base de dados da PPH de 2019 e as estimativas do consumo de energia elétrica dos nove equipamentos. Inicialmente, são apresentadas informações gerais sobre a base de dados, com o objetivo de demonstrar o tamanho amostral da pesquisa. Também são apresentados os dados de consumo de energia elétrica daqueles domicílios que forneceram a conta de energia elétrica para todos os meses do ano e o porquê de este estudo não ter considerado a classificação socioeconômica para análise dos resultados.

Do item 4.1 ao item 4.9, os resultados de consumo regional dos nove equipamentos são apresentados, separadamente, na seguinte ordem: lâmpadas, refrigeradores, congeladores, televisores, chuveiros, micro-ondas, máquinas de lavar roupa, ventiladores e ares condicionados. Esses consumos também são apresentados sob a forma de percentual de consumo, e seus valores são comparados com os valores apresentados no relatório da PPH realizada entre 2004 e 2006 (PROCEL, 2007), que é tratada nesse capítulo como PPH de 2005.

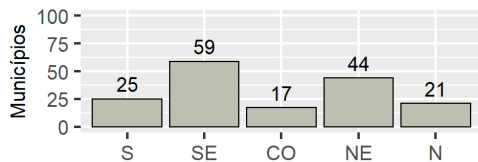
Para cada equipamento, além da análise de seu consumo, também são apresentados os resultados da posse média dos equipamentos da PPH de 2005 e da PPH de 2019, agregados por região, a fim de demonstrar variações de posse entre os estudos. Uma vez que, com exceção das lâmpadas, o relatório da PPH de 2005 não disponibilizou os resultados sobre os tipos dos equipamentos, nem sobre suas capacidades ou dimensões, essas informações são apresentadas somente para os domicílios da PPH de 2019. Além disso, devido à quantidade de informações dos nove equipamentos, o foco dessa análise é concentrado naquelas informações que foram utilizadas para estimar o consumo de energia elétrica dos equipamentos ou que possam ajudar a compreender a estrutura de consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro.

No item 4.10 são apresentadas as proporções nacionais de consumo dos nove equipamentos agregados nacionalmente, juntamente com uma comparação entre esses resultados e valores encontrados no relatório da PPH de 2005. No item 4.11 é apresentado as variações do percentual de consumo devido à mudanças de valores relativos às faixa de frequência e de tempo de uso. Por fim, no item 4.12 é realizada uma discussão sobre os resultados encontrados e as limitações do estudo, seguida da conclusão e das sugestões para trabalhos futuros, no capítulo 5.

4 RESULTADOS

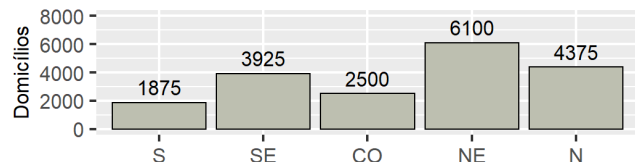
A Figura 31 e a Figura 32 apresentam o número de municípios e de domicílios da base de dados. Coletou-se informações de 165 municípios e do Distrito Federal, sendo que o Sudeste foi a região com o maior número: 59. Quanto aos domicílios, o Nordeste possuiu o maior valor (6.100), e em terceiro lugar vem o Sudeste (3.925), que é a região com maior quantidade de domicílios do país: 31 milhões, ou 44% do total nacional (IBGE, 2019d). Esse número menor de domicílios em relação ao número total pode ter levado a uma representatividade menor nesta região em relação às demais. Porém, segundo Eletrobrás (2019a), a amostra foi calculada com um modelo probabilístico que considerou nível de confiança de 95% e erro de 3% por região.

Figura 31 – Municípios por região.



Fonte: Elaborado pelo autor.

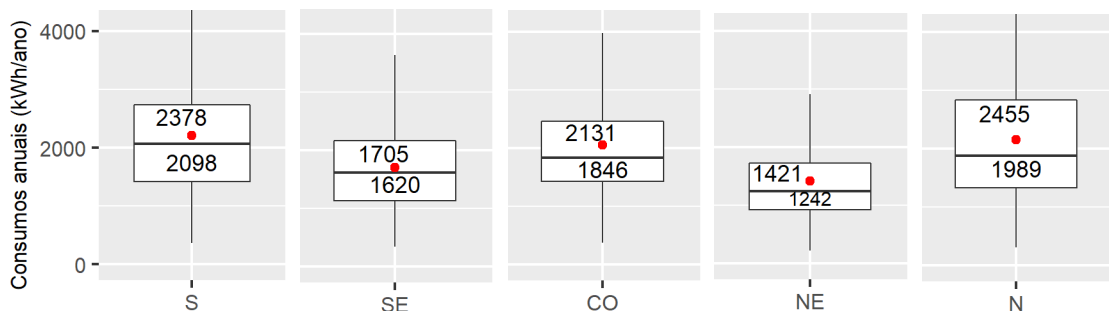
Figura 32 – Domicílios por região.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Desses 18.775 domicílios, 2.071 apresentaram o resultado da conta de energia elétrica para o ano todo. A distribuição do número de casos com conta por região ocorre da seguinte forma: o Nordeste possui 974 casos; o Norte, 406; o Sudeste, 179; o Centro-Oeste, 282; e o Sul, 230. A Figura 33 apresenta as faixas de consumo anual desses casos agregadas por região. O ponto vermelho representa a média dos consumos anuais, em kWh, e a barra preta, a mediana.

Figura 33 – Distribuição dos consumos anuais de energia elétrica por domicílio.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As maiores médias e medianas de consumo ocorreram nas regiões Norte (2.455 kWh) e Sul (2.098 kWh), respectivamente; e as menores, na região Nordeste (1.421 kWh e 1.242 kWh).

Chama a atenção a região Sudeste, que obteve as segundas menores médias e medianas de consumo: 1.705 kWh e 1.620 kWh; valores baixos, uma vez que essa região é a que possui o maior rendimento econômico per capita (IBGE, 2019f). Como apresentado anteriormente, os 18.775 domicílios foram considerados suficientes para garantir tamanho amostral com nível de confiança de 95%, e os domicílios com a conta de energia elétrica representam 11% do tamanho amostral, ou seja, longe do número apontado para garantir o nível de confiança desejado. Assim, não é possível afirmar que os consumos da Figura 33 sejam representativos do setor residencial.

Essa baixa representatividade pode ter levado a distorções significativas dos valores, como, por exemplo, o maior valor de consumo no Norte, cujas informações coletadas talvez possam ter sido de domicílios de classes socioeconômicas mais altas e com acesso ao ar condicionado. A Tabela 32 apresenta a comparação dos valores da Figura 33 com a média regional de consumo por domicílio considerando todos os domicílios brasileiros, obtida a partir da divisão do consumo regional de energia elétrica do setor residencial, apresentado no Anuário Estatístico de Energia Elétrica, pelo número de domicílios de cada região, a partir de estimativas do PNAD Contínua. Os dados consideram o ano de 2018.

Tabela 32 – Comparação das médias de consumo anual de energia elétrica.

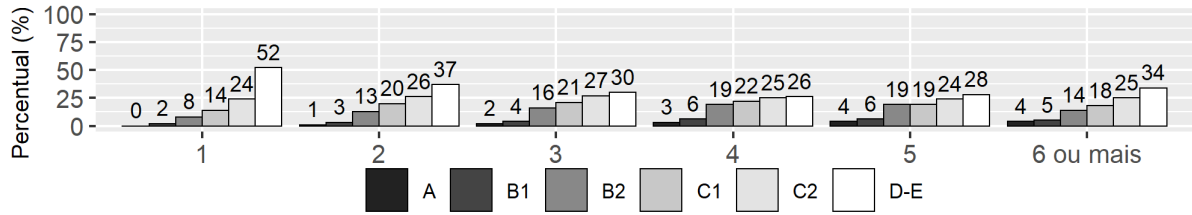
| Média | Sul | Sudeste | Centro-Oeste | Nordeste | Norte |
|---------------------|------------|----------------|---------------------|-----------------|--------------|
| Casos da PPH | 2.378 kWh | 1.705 kWh | 2.131 kWh | 1.421 kWh | 2.445 kWh |
| Todos os domicílios | 2.039 kWh | 2.152 kWh | 2.149 kWh | 1.502 kWh | 1.777 kWh |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Há diferenças significativas entre as duas médias, como no Sudeste, que obteve a segunda menor média de consumo dos casos da PPH (1.705 kWh) e a maior média de consumo quando considerados todos os domicílios da região (2.152 kWh).

Quanto às informações sobre a classificação socioeconômica utilizada na PPH, decidiu-se que elas não seriam consideradas na análise dos resultados. Percebeu-se que, pelo critério de pontuação da ABEP, quanto menor o número de residentes no domicílio, maior a chance de ele ser enquadrado em uma classe socioeconômica mais baixa, como mostra a Figura 34, que apresenta o gráfico com o percentual de domicílios por número de residentes habituais e classes socioeconômicas. A maioria dos domicílios da base de dados com um residente habitual foi enquadrada na classe D-E (52%), valor que foi reduzindo conforme se aumentava o número de residentes, com exceção dos domicílios com seis ou mais. Ou seja, para o critério de avaliação, domicílios de um morador tendem a ser de classe mais baixa.

Figura 34 – Percentual de domicílios por classe socioeconômica e número de residentes.



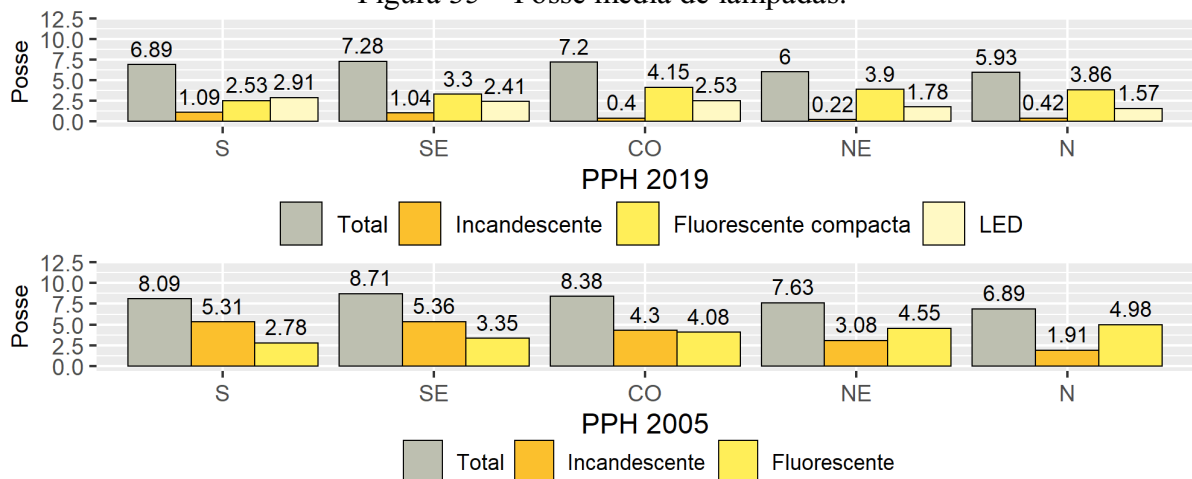
Fonte: Elaborado pelo autor.

Como apresentado no item 2.2, há uma redução do número de moradores por domicílio no Brasil, o que acarretaria a redução da classe socioeconômica desses casos, se utilizado o critério da ABEP. Utilizar a quantidade de equipamentos como um critério de classificação socioeconômica talvez não seja o mais adequado para classificar os domicílios brasileiros. Os próximos itens tratarão da análise de dados da PPH e das estimativas de consumo.

4.1 LÂMPADAS

As lâmpadas, como é de se esperar, são os equipamentos com a maior posse média entre os nove analisados. Os dados da PPH de 2019, no entanto, apontam para uma redução em relação à PPH de 2005, como mostra a Figura 35. A posse média total caiu em todas as regiões analisadas, ficando entre 6,00 unidades na região Nordeste (NE) e 7,28 unidades na região Sudeste (SE).

Figura 35 – Posse média de lâmpadas.

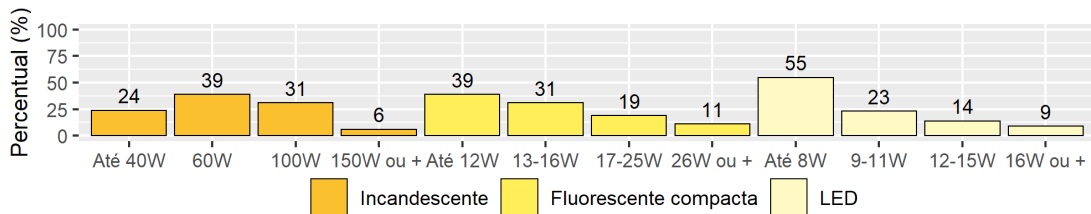


Fonte: Elaborado pelo autor.

A redução da posse de lâmpadas na PPH de 2019 pode estar relacionada à diminuição do número de residentes nos domicílios brasileiros, fator que pode ter incentivado a redução do número de cômodos como dormitórios, e, conseqüentemente, a redução da posse de lâmpadas.

Houve também a redução da posse média de lâmpadas incandescentes e a popularização das lâmpadas LED, cuja posse média variou de 1,57 no Norte a 2,91 no Sul. Essa mudança tem um impacto significativo na potência dos sistemas de iluminação, uma vez que as lâmpadas LED têm potências menores, como mostra a Figura 36, que apresenta o percentual de lâmpadas nos domicílios da PPH de 2019 por tecnologia e faixa de potência, considerando apenas os casos em que o entrevistado informou a potência das lâmpadas.

Figura 36 – Percentual de lâmpadas por faixa de potência – PPH 2019.

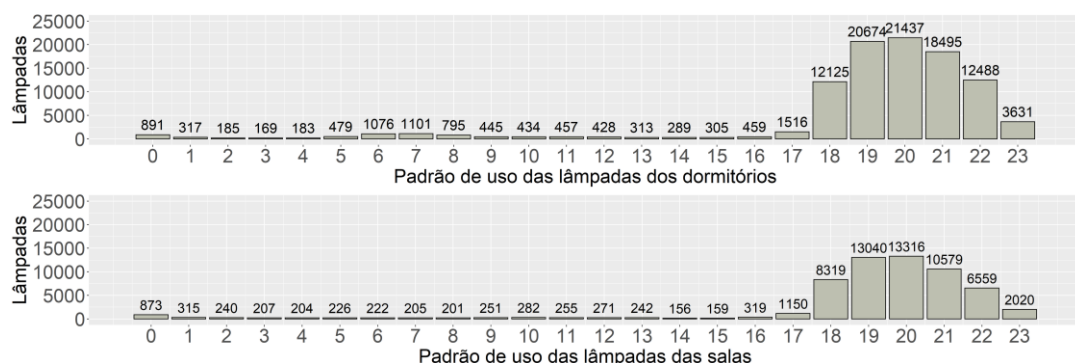


Fonte: Elaborado pelo autor.

Pela Figura 36, é possível perceber que mais da metade das lâmpadas LED possui potência de até 8 Watts (55%), seguido da faixa de 9 a 11 W (23%), valores de potência bastante inferiores aos mais comuns para lâmpadas incandescentes: 60 W (39%) e 100 W (31%).

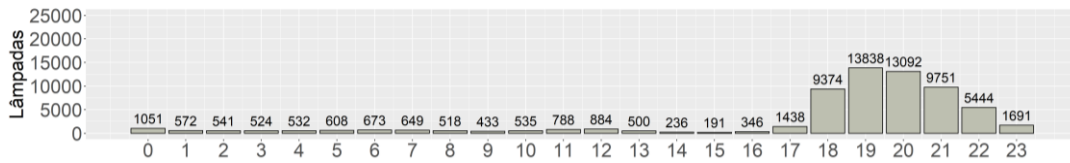
Outro fator que impacta o consumo das lâmpadas é o tempo de uso. O tempo de uso diário das lâmpadas de todos os dormitórios da PPH de 2019 foi de 2,69 horas, em média; das salas, foi de 3,44 horas; das cozinhas, foi de 3,62 horas. A Figura 37 e a Figura 38 apresentam os horários de utilização das lâmpadas nesses ambientes.

Figura 37 – Padrão nacional de uso das lâmpadas dos dormitórios e das salas – PPH 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 38 – Padrão nacional de uso das lâmpadas das cozinhas – PPH 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

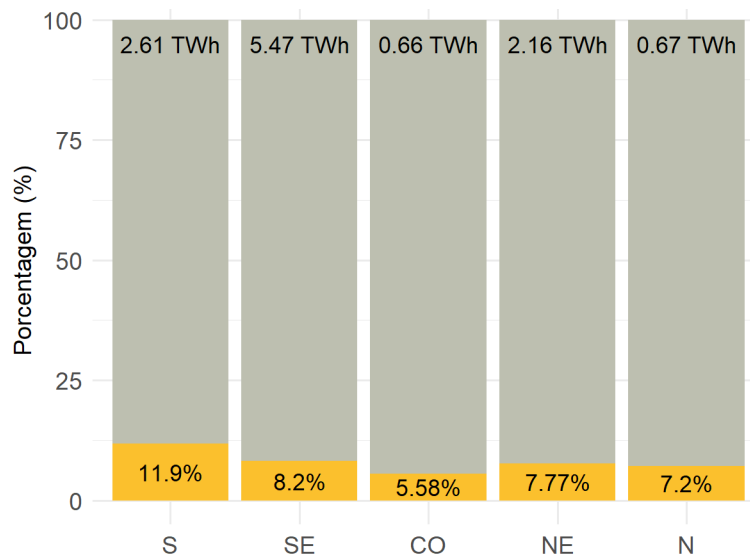
Houve um crescimento acentuado de lâmpadas acesas às seis horas da tarde, com pico de uso entre sete e oito horas da noite. Em alguns períodos ao longo do dia, também houve aumento de lâmpadas acionadas: nos dormitórios, por volta das sete horas (1.101 casos), provavelmente devido ao horário em que muitos residentes acordam, e nas cozinhas, por volta do meio-dia (884 casos), no horário de almoço para muitas famílias.

Quanto ao consumo de energia elétrica, a Figura 39 apresenta o gráfico com a estimativa dos percentuais anuais de consumo das lâmpadas por região. A Figura também apresenta uma tabela com a comparação entre os percentuais estimados neste estudo e os percentuais obtidos no relatório da PPH de 2005, cujos resultados foram disponibilizados de forma arredondada, sem casas após a vírgula. O valor de consumo apresentado no topo do gráfico é referente à estimativa de consumo das lâmpadas para cada região. Os maiores percentuais de consumo ocorreram no Sul (11,9%) e no Sudeste (8,2%). O consumo, no entanto, foi superior no Sudeste (5,47 TWh), devido ao maior número de domicílios nessa região.

Figura 39 – Percentual de consumo anual estimado das lâmpadas por região.

| Região | PPH (2005) | Estimado (2019) |
|--------------|------------|-----------------|
| Sul | 8% | 11,90% |
| Sudeste | 19% | 8,20% |
| Centro-Oeste | 12% | 5,58% |
| Nordeste | 11% | 7,77% |
| Norte | 14% | 7,20% |

■ lâmpadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Há diferenças significativas entre as estimativas apresentadas neste estudo e as do relatório da PPH. Enquanto que as proporções de consumo das lâmpadas neste estudo variaram de 5,58% na região Centro-Oeste a 11,90% na região Sul, no relatório da PPH, a diferença chegou a 11%, entre as regiões Sul (8%) e Sudeste (19,00%). Além disso, com exceção da região Sul, as proporções de consumo estimadas na PPH de 2005 foram superiores às proporções deste estudo.

Essas diferenças podem ser explicadas pela redução das potências dos sistemas de iluminação e a redução da posse média de lâmpadas incandescentes nos domicílios da PPH de 2019, que, conseqüentemente, reduzem o consumo das lâmpadas. Na PPH de 2019, os domicílios das regiões Sul e Sudeste possuíram as maiores posses médias de lâmpadas incandescentes, o que explica os maiores percentuais de consumo nessas regiões.

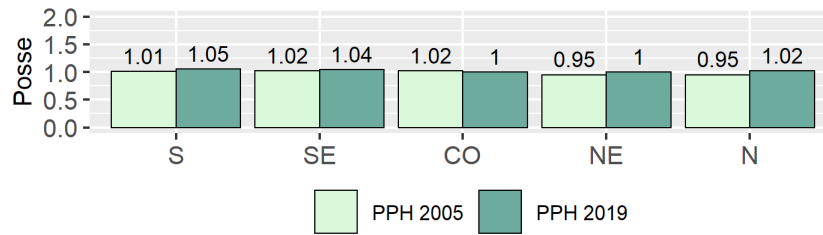
No entanto, chama a atenção o baixo percentual de consumo da região Sul apresentado no relatório da PPH de 2005 (8%). O Sul obteve, naquela PPH, a segunda maior posse média de lâmpadas incandescentes (5,31), atrás apenas do Sudeste (5,36), conforme apresentado anteriormente, na Figura 35, o que deveria acarretar o aumento do percentual de consumo para iluminação naquela região. Como o relatório da PPH não disponibilizou o método utilizado para o cálculo do consumo de lâmpadas, é difícil explicar o porquê de o valor estimado ter dado tão baixo no Sul.

Além disso, também chama a atenção o percentual de consumo apresentado para a região Sudeste (19%). O Sudeste possui a maior posse média de lâmpadas incandescentes da PPH de 2005 (5,36), o que explicaria um alto percentual de consumo nessa região. No entanto, esse valor é bastante superior aos das demais regiões e chega a ser semelhante ao percentual de consumo de outros equipamentos que normalmente são apontados na literatura como grandes consumidores de energia elétrica, como os refrigeradores, cujos dados serão apresentados no próximo item.

4.2 REFRIGERADORES

A posse média dos refrigeradores é bastante homogênea entre as regiões e pouco variou entre as PPHs, como mostra a Figura 40, ficando em torno de 1,00 nos domicílios da PPH de 2005 e de 1,02 nos domicílios da PPH de 2019.

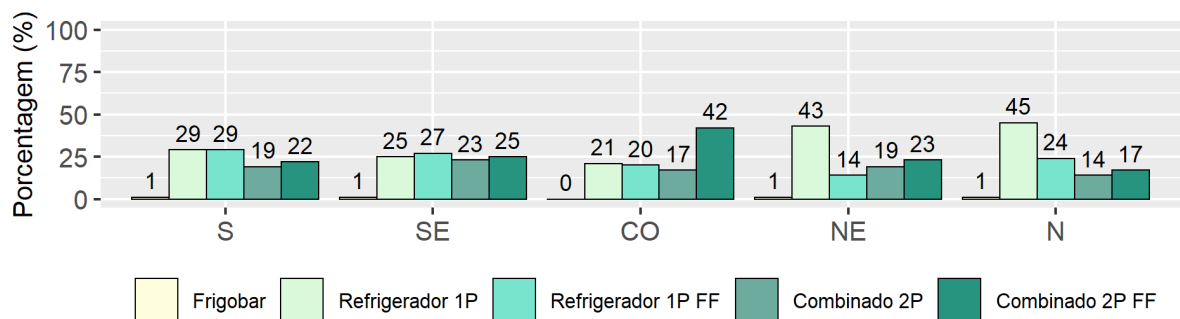
Figura 40 – Posse média de refrigeradores.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O percentual de refrigeradores por tipo é apresentado, para cada região, na Figura 41. Os domicílios das regiões Sul e Sudeste possuem valores bem distribuídos entre quatro tipos: refrigeradores de uma porta comuns, refrigeradores de uma porta *frost free*, combinados comuns e combinados *frost free*. Os domicílios da região Centro-Oeste, por sua vez, possuem percentual elevado de combinados *frost free*, já nos domicílios das regiões Nordeste e Norte predomina a posse de refrigeradores de uma porta comuns (43% e 45%, respectivamente). Os frigobares representam uma pequena parte dos casos analisados: menos de 2% em todas as regiões, e os refrigeradores do tipo *side by side* obtiveram percentual ainda menor, inferior a 0,5%, e, por isso, não foram apresentados na Figura 41.

Figura 41 – Percentual de refrigeradores por tipo – PPH 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A distribuição dos refrigeradores por tipo e faixa de capacidade de armazenagem é apresentada na Tabela 33, para cada região. As células verdes são as duas faixas de capacidades de armazenagem mais comuns entre os tipos de refrigeradores. A maioria dos refrigeradores de uma porta possui capacidade de armazenagem de 200 a 399 litros, faixa que aumenta em refrigeradores combinados: de 300 a 499 litros. A tabela também apresenta os percentuais dos casos em que o entrevistado não soube ou não quis responder a capacidade de armazenagem de seu refrigerador (NS/NR). Ao total, 18% dos refrigeradores da base de dados não possuíam as informações sobre suas capacidades de armazenagem.

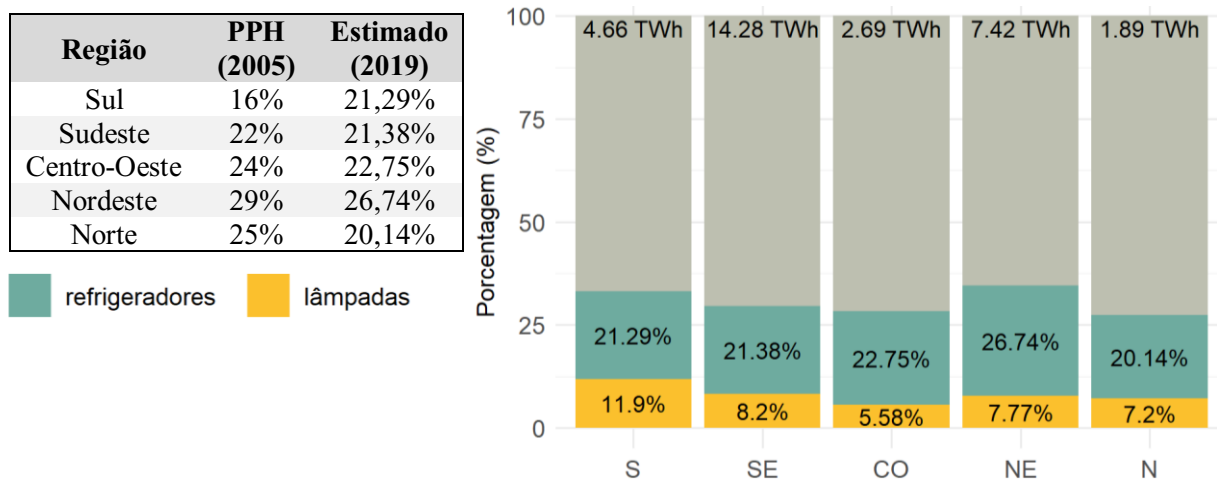
Tabela 33 – Percentual de refrigeradores por tipo e capacidade – PPH 2019.

| Tipo | Capacidade de armazenagem | Sul | Sudeste | Centro-Oeste | Nordeste | Norte |
|--|----------------------------------|------------|----------------|---------------------|-----------------|--------------|
| Refrigerador uma porta | < 199 l | 7% | 3% | 4% | 3% | 4% |
| | 200 l – 299 l | 56% | 51% | 53% | 55% | 63% |
| | 300 l – 399 l | 20% | 22% | 26% | 21% | 17% |
| | 400 l – 499 l | 2% | 2% | 1% | 1% | 1% |
| | 500 l ou maior | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | NS/NR | 15% | 22% | 16% | 20% | 15% |
| Refrigerador uma porta <i>frost free</i> | < 199 l | 1% | 1% | 2% | 1% | 1% |
| | 200 l – 299 l | 21% | 25% | 13% | 28% | 20% |
| | 300 l – 399 l | 33% | 45% | 44% | 49% | 54% |
| | 400 l – 499 l | 15% | 10% | 15% | 4% | 12% |
| | 500 l ou maior | 5% | 1% | 0% | 0% | 1% |
| | NS/NR | 25% | 19% | 25% | 19% | 11% |
| Combinado | < 199 l | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% |
| | 200 l – 299 l | 15% | 7% | 8% | 12% | 13% |
| | 300 l – 399 l | 47% | 56% | 70% | 49% | 59% |
| | 400 l – 499 l | 22% | 16% | 18% | 11% | 14% |
| | 500 l ou maior | 2% | 1% | 0% | 1% | 1% |
| | NS/NR | 14% | 20% | 5% | 27% | 13% |
| Combinado <i>frost free</i> | < 199 l | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | 200 l – 299 l | 3% | 4% | 3% | 6% | 4% |
| | 300 l – 399 l | 20% | 36% | 49% | 37% | 48% |
| | 400 l – 499 l | 38% | 32% | 38% | 37% | 35% |
| | 500 l ou maior | 19% | 5% | 2% | 1% | 3% |
| | NS/NR | 20% | 23% | 8% | 19% | 9% |
| Frigobar | Até 199 l | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| <i>Side by side</i> | < 199 l | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | 200 l – 299 l | 0% | 0% | 0% | 67% | 50% |
| | 300 l – 399 l | 0% | 9% | 60% | 0% | 50% |
| | 400 l – 499 l | 0% | 27% | 0% | 0% | 0% |
| | 500 l ou maior | 0% | 27% | 0% | 0% | 0% |
| | NS/NR | 100% | 36% | 40% | 33% | 0% |

Fonte: Elaborado pelo autor.

O percentual de consumo anual dos refrigeradores variou pouco em quatro das cinco regiões, como mostra a Figura 42. O Nordeste, porém, apresenta percentual significativamente superior aos demais, de 26,4%. Como apresentado na Tabela 32, o Nordeste possui a menor média de consumo por domicílio tanto nos casos da PPH como na média dos dados do Anuário Estatístico. Assim, é de esperar que o percentual de consumo dos refrigeradores, cuja posse é semelhante entre as regiões, possua valor maior em residências com médias de consumo menores. A tabela de comparação entre os resultados deste estudo e do relatório da PPH de 2005 demonstra que, em ambos os estudos, o Nordeste obteve o maior valor: 26,74% e 29%.

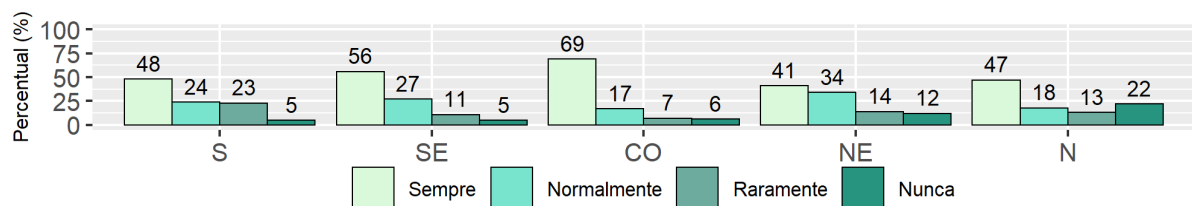
Figura 42 – Percentual de consumo anual estimado dos refrigeradores por região.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Deve-se salientar que a estimativa de consumo dos refrigeradores não considerou o aspecto do clima, fator que pode influenciar o consumo de energia elétrica assim como o uso do termostato dos refrigeradores. Uma das perguntas sobre o uso eficiente da energia elétrica da PPH de 2019 era se o usuário regulava o termostato do refrigerador conforme a estação. Percebe-se, pela Figura 43, que há variações significativas entre as regiões, sendo que o Norte possui o maior percentual de refrigeradores cujo termostato nunca é regulado (22%).

Figura 43 – Ajuste do termostato por estação do ano – PPH 2019.

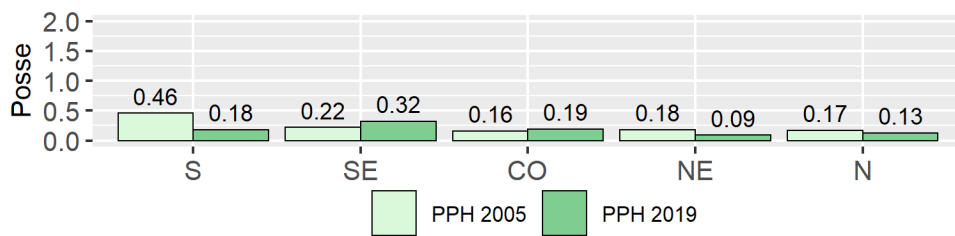


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 CONGELADORES (*FREEZERS*)

Diferentemente dos refrigeradores, a posse média dos congeladores caiu em três das cinco regiões: na Sul, de 0,46 para 0,18; na Nordeste, de 0,18 para 0,09; e na Norte, de 0,17 para 0,13. Essa queda pode ser explicada pela mudança de comportamento da população, que há décadas atrás, devido a fatores como a inflação, tendia a estocar mais os alimentos. Porém, em contrapartida a essas regiões, o Sudeste obteve alta significativa, de 0,22 para 0,32, conforme apresentado na Figura 44.

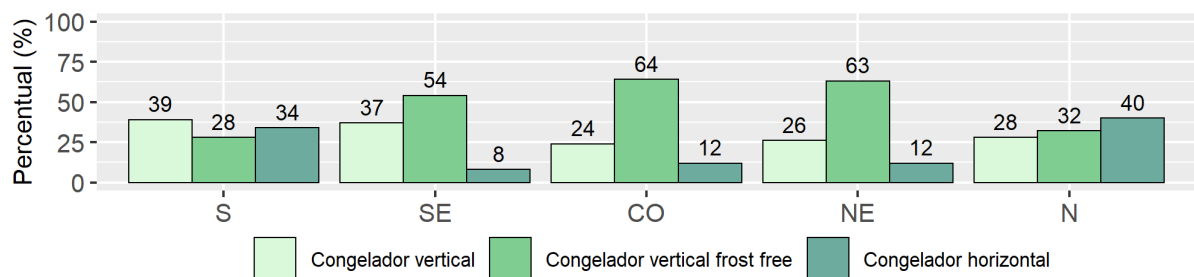
Figura 44 – Posse média de congeladores.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Sobre o percentual de congeladores por tipo, apresentado na Figura 45, os congeladores verticais (comuns e *frost free*) são os mais frequentes em todas as regiões, mas há percentuais significativos de congeladores horizontais nas regiões Sul (32%) e Norte (40%).

Figura 45 – Percentual de congeladores por tipo – PPH 2019.

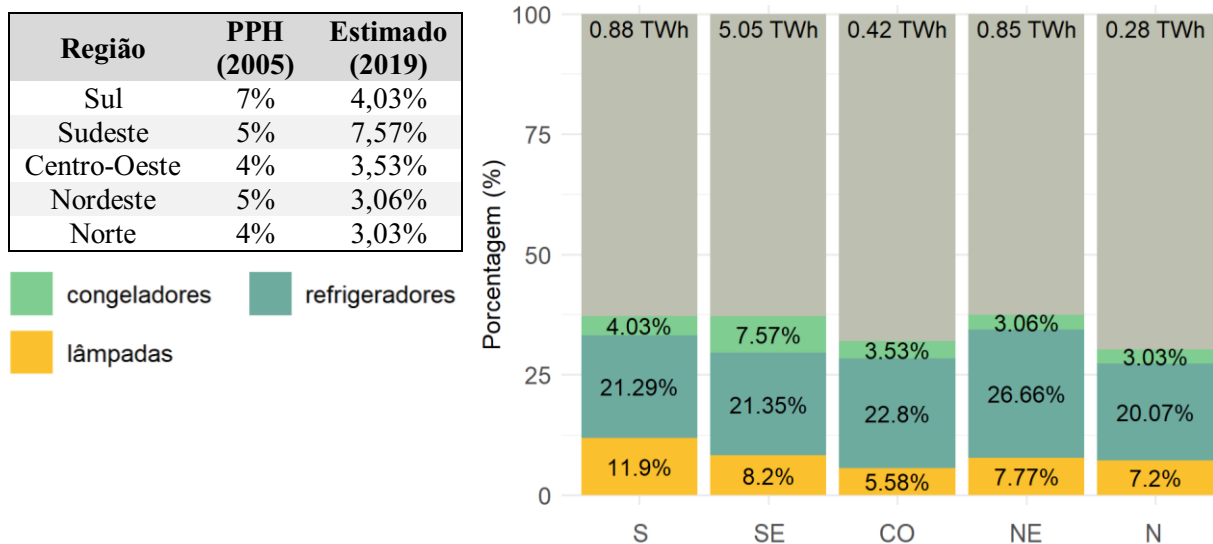


Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto à capacidade de armazenagem, houve grande número de casos em que essa característica não foi informada (30% dos congeladores foram marcados como NS/NR). Dos casos que apresentaram a capacidade de armazenagem, 56% possuíam capacidade de 150 a 229 litros, 22% eram de 230 a 309 litros, 18% eram menores do que 150 litros e 4% possuíam capacidade de 310 litros ou maior.

Os percentuais de consumo anuais dos congeladores são significativamente inferiores aos dos refrigeradores, como mostra a Figura 46. A região Sudeste, que possui a maior posse média de congeladores (0,32) se destaca com o maior percentual de consumo: 7,57%. As maiores diferenças entre os percentuais deste estudo e do relatório da PPH de 2005 ocorreram nas regiões Sul e Sudeste. No Sul, onde houve a maior queda da posse média entre os domicílios das PPHs (de 0,46 para 0,18), o percentual de consumo caiu de 7,00% para 4,03%. No Sudeste, onde a posse média aumentou de 0,22 para 0,32, o percentual também aumentou de 5% para 7,57%. Assim como em refrigeradores, as diferenças climáticas entre as regiões, que não foram consideradas neste estudo, podem produzir percentuais de consumo distintos entre as regiões.

Figura 46 – Percentual de consumo anual estimado dos congeladores.

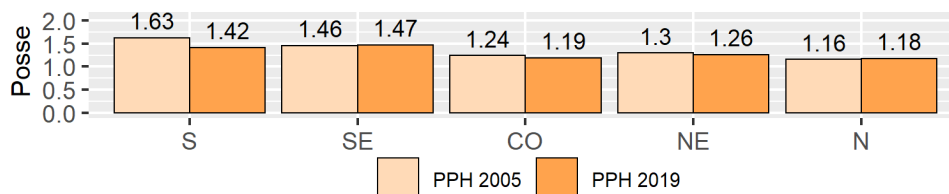


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 TELEVISORES

A posse média de televisores caiu nos domicílios pesquisados na região Sul, Centro-Oeste e Nordeste, e ficou praticamente inalterada no Sudeste e Norte, com mostra a Figura 47.

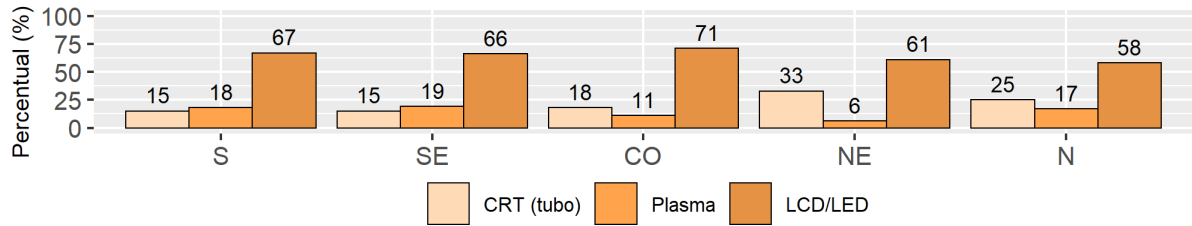
Figura 47 – Posse média de televisores.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto ao tipo de tela, percebe-se que um terço dos televisores do Nordeste e um quarto dos televisores do Norte é de tubo. No entanto, para todas as regiões, os televisores com tela LCD/LED são os mais populares, com percentuais de 58% no Norte a 71% no Centro-Oeste. A Figura 48 apresenta os percentuais de televisores por tipo de tela e região.

Figura 48 – Percentual de televisores por tipo de tela – PPH 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto ao tamanho da tela, com exceção da região Sudeste, mais de 70% dos televisores de tubo possui telas de até 29”, como mostra a Tabela 34, que apresenta destacado em laranja as duas faixas de tamanho de tela mais comuns por tipo de tela e região. Os televisores de LCD/LED e plasma, por sua vez, tendem a ter telas maiores, na faixa de 30 a 50”. A única exceção ocorreu na região Norte para os televisores de plasma, em que a segunda faixa mais frequente foi de 20” a 29” (27% dos casos).

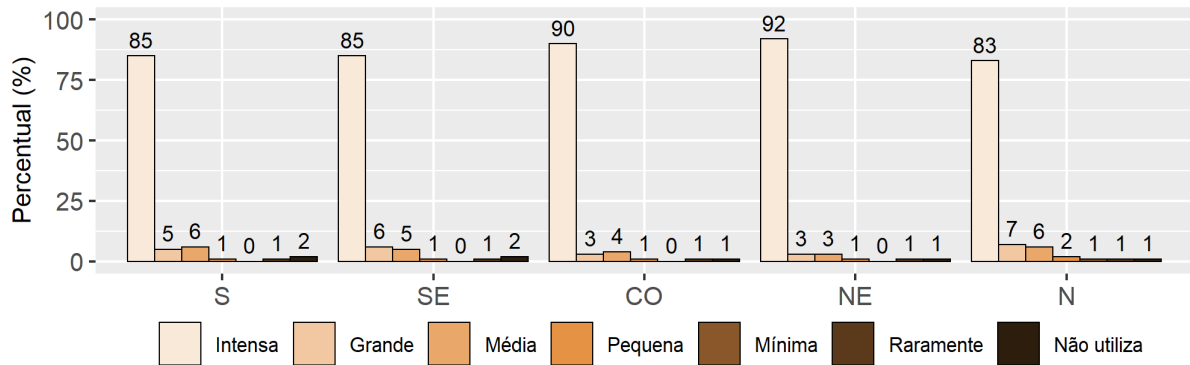
Tabela 34 – Percentual de televisores por tipo e tamanho de tela – PPH 2019.

| Tipo | Tamanho da tela | Sul | Sudeste | Centro-Oeste | Nordeste | Norte |
|------------|-----------------|-----|---------|--------------|----------|-------|
| CRT (tubo) | < 20” | 29% | 18% | 29% | 46% | 36% |
| | 20” – 29” | 51% | 48% | 45% | 44% | 44% |
| | 30” – 39” | 15% | 20% | 22% | 7% | 14% |
| | 40” – 50” | 1% | 3% | 1% | 1% | 2% |
| | Acima de 50” | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | NS/NR | 5% | 11% | 3% | 2% | 4% |
| Plasma | < 20” | 3% | 2% | 5% | 3% | 6% |
| | 20” – 29” | 16% | 19% | 17% | 22% | 27% |
| | 30” – 39” | 55% | 47% | 46% | 46% | 44% |
| | 40” – 50” | 22% | 27% | 24% | 27% | 20% |
| | Acima de 50” | 2% | 2% | 4% | 0% | 1% |
| | NS/NR | 1% | 4% | 4% | 2% | 2% |
| LCD/LED | < 20” | 1% | 1% | 1% | 3% | 2% |
| | 20” – 29” | 6% | 8% | 11% | 13% | 10% |
| | 30” – 39” | 51% | 37% | 52% | 52% | 51% |
| | 40” – 50” | 36% | 43% | 31% | 28% | 32% |
| | Acima de 50” | 5% | 9% | 4% | 2% | 3% |
| | NS/NR | 1% | 3% | 1% | 2% | 2% |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Sobre a frequência e uso dos televisores (Figura 49), predomina o uso intenso: em todas as regiões, mais de 80% dos televisores costumam ser utilizados de seis a sete vezes por semana, o que indica que mesmo com o advento e a popularização de novos equipamentos, como *smartphones* e *tablets*, o brasileiro não deixou de usar o televisor.

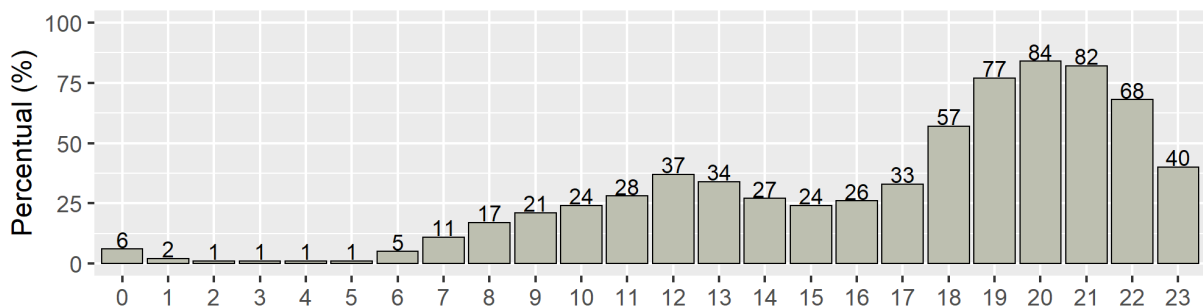
Figura 49 – Percentual de televisores por frequência de uso – PPH 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O tempo médio de uso diário desses televisores foi de 7,07 horas. No entanto, houve grande número de casos em que o uso dos televisores foi marcado como eventual (43% dos televisores da base de dados). O histograma da Figura 50 apresenta o percentual de televisores ligados ao longo do dia, considerando apenas os que possuíam a informação de horas de uso. Percebe-se que há dois picos de uso dos televisores, um por volta do meio-dia, em que 37% dos televisores costumam estar ligados, e outro por volta das oito horas da noite (84% dos televisores ligados). Por volta das oito da noite também foi o horário com a maior quantidade de lâmpadas acesas nas salas e nos dormitórios, como apresentado anteriormente, no item 4.1.

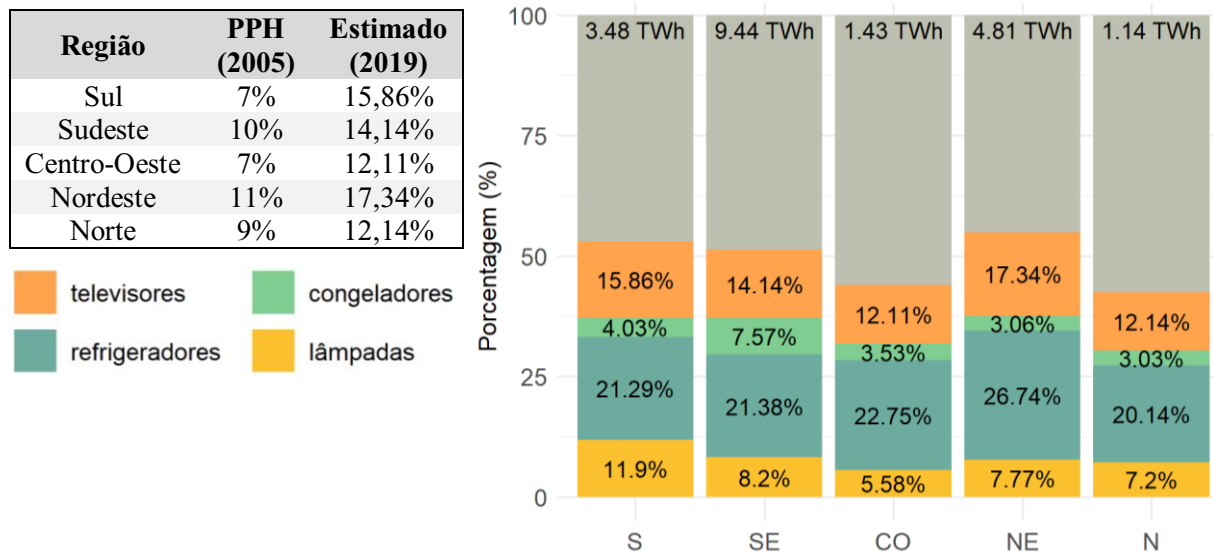
Figura 50 – Horário de uso de todos os televisores – PPH 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A posse média ainda alta de televisores nos domicílios brasileiros e a quantidade elevada de televisores utilizados de forma intensa fizeram com que esse equipamento possuísse elevado percentual de consumo, variando de 12,11% no Centro-Oeste a 17,34% no Nordeste, superando, inclusive, os percentuais de consumo das lâmpadas, como mostra a Figura 51. Comparados os percentuais de consumo deste estudo e os do relatório da PPH de 2005, percebe-se que os percentuais deste estudo foram maiores em todas as regiões.

Figura 51 – Percentual de consumo anual estimado dos televisores.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 35 mostra as potências representativas, conforme apresentado no item 3.2.3, das duas faixas de tamanho de tela mais comuns para os três tipos de televisores. As potências representativas das faixas de televisores de tubo (64,20 W e 84,60 W) são próximas apenas da faixa de 30 a 39 polegadas dos televisores LCD/LED (76,43 W) e bastante inferiores às demais apresentadas. Este foi, possivelmente, um dos fatores para o aumento da proporção de consumo, uma vez que os televisores de tubo são, hoje, menos frequentes do que na década passada. Porém, deve-se salientar que o relatório da PPH de 2005 não apresentou as potências utilizadas para estimar o consumo dos televisores, o que prejudica a confirmação dessa hipótese.

Tabela 35 – Potências representativas dos televisores.

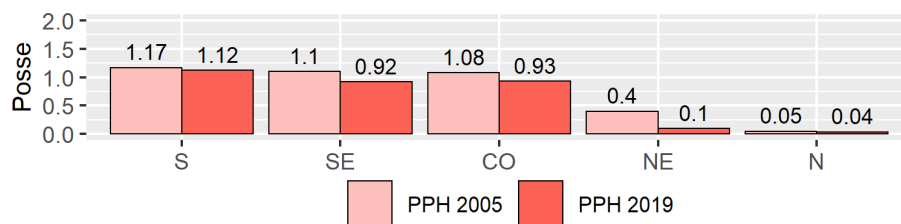
| Tamanho da tela | CRT (tubo) | Tamanho da tela | LCD/LED | Plasma |
|-----------------|------------|-----------------|----------|----------|
| < 20" | 64,20 W | 30" - 39" | 76,43 W | 202,65 W |
| 20" - 29" | 84,36 W | 40" - 50" | 113,71 W | 261,58 W |

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5 CHUVEIROS

Os resultados dos domicílios pesquisados na PPH de 2005 e na PPH de 2019 demonstram que nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste é comum a posse de chuveiros elétricos, como mostra a Figura 52. Nas regiões Nordeste e Norte, a posse média é significativamente menor. A região Nordeste se destaca por ter apresentado redução significativa da posse média: de 0,4, na PPH de 2005, para 0,1, na PPH de 2019.

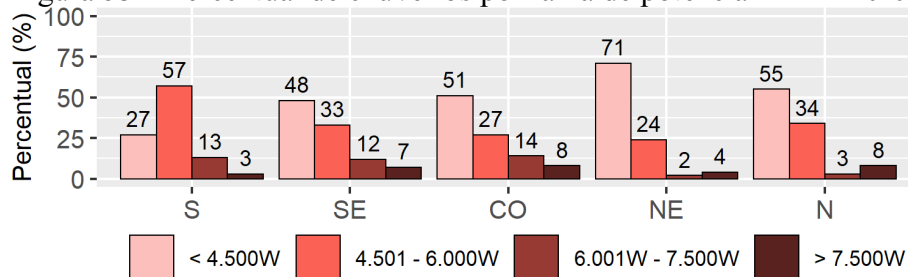
Figura 52 – Posse média de chuveiros elétricos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

De todos os chuveiros elétricos pesquisados na PPH de 2019, metade (50,25%) não possuía a informação sobre a faixa de potência máxima do equipamento. A distribuição das faixas de potência máxima dos chuveiros que possuíam essa informação é apresentada na Figura 53. A região Sul foi a única em que a faixa de potência mais comum foi a de 4.501 W a 6.000W, para 57% dos casos. Nas outras regiões, a faixa mais comum foi de até 4.500W.

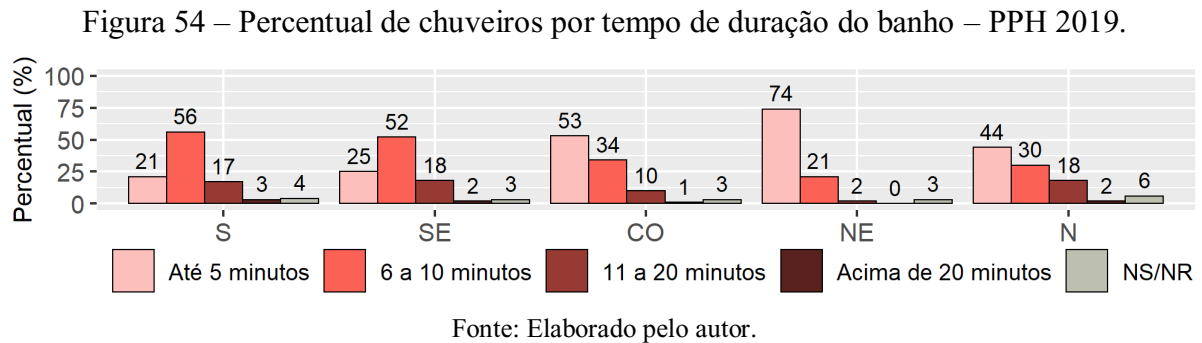
Figura 53 – Percentual de chuveiros por faixa de potência – PPH 2019.



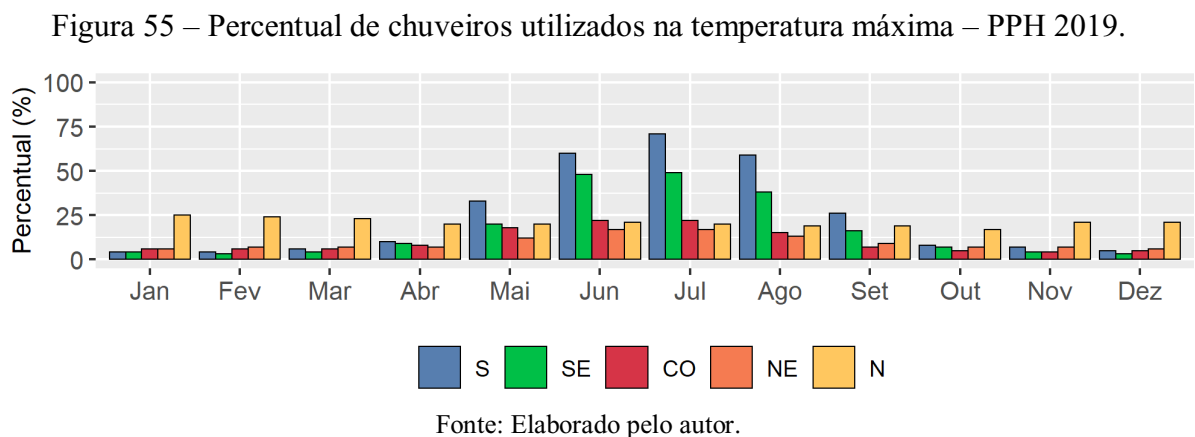
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em média, os chuveiros elétricos da PPH de 2019 costumam ser utilizados 3,77 vezes por dia no Sul, 4,02 vezes no Sudeste, 4,08 vezes no Centro-Oeste, 3,90 vezes no Nordeste e 3,05 vezes no Norte. Em relação ao número de moradores, nacionalmente, os domicílios de um morador obtiveram média de 1,89 banho por dia; os de dois, 3,10 banhos; os de três, 4,12 banhos; os de quatro, 4,79 banhos; e os de cinco, 5,33 banhos.

Quanto ao tempo do banho, em todas as regiões, mais de 70% dos chuveiros elétricos possuíam tempo de até dez minutos. Dentro desse período, predominou a faixa de banho de seis a dez minutos nas regiões Sul e Sudeste e de até cinco minutos nas regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte. A Figura 54 apresenta a distribuição dos percentuais de tempo de banho conforme a região.



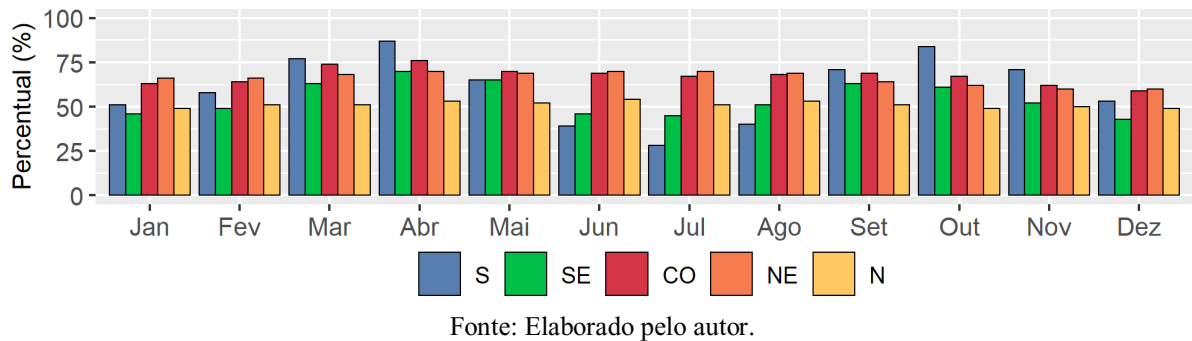
A Figura 55 apresenta, para cada região, os percentuais mensais de chuveiros utilizados na temperatura máxima em relação aos utilizados nas temperaturas intermediária e completamente fria. Percebe-se que no Sul, que possui clima mais frio, o gráfico apresenta o comportamento de uma distribuição normal cujo pico ocorre em julho, no inverno, com 71% dos chuveiros utilizando a temperatura máxima. No Sudeste, a amplitude desta distribuição é menor, com pico de 49% também em julho. No Centro-Oeste e no Nordeste, há uma redução maior da amplitude, e, no Norte, há pouca diferença entre os percentuais mensais.



Deve-se salientar que esses valores são apenas para chuveiros elétricos. As proporções de chuveiros elétricos utilizados na temperatura máxima no Norte representa a minoria dos chuveiros dessa região, relativos à posse de 0,04, apresentada anteriormente, na Figura 52.

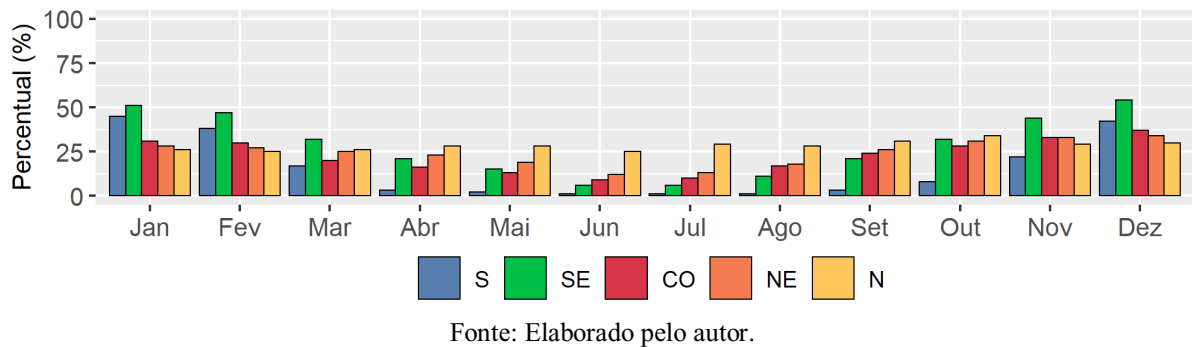
Os percentuais mensais para a temperatura intermediária são apresentados na Figura 56. As maiores variações ocorreram na região Sul, com picos em abril (87%) e em setembro (84%). O menor percentual para essa região foi em Julho (28%), quando a maioria dos chuveiros costuma ser utilizada na temperatura máxima, como apresentado no gráfico anterior.

Figura 56 – Percentual de chuveiros utilizados na temperatura intermediária – PPH 2019.



A Figura 57 apresenta os percentuais mensais para os chuveiros utilizados sem elevação de temperatura (completamente fria). Os maiores percentuais ocorreram nas regiões Sul e Sudeste, nos meses de dezembro (42% e 53%) e janeiro (45% e 51%), período de início do verão. Percebe-se, pelo gráfico da Figura 57 e pelos outros dois apresentados anteriormente, que o Norte parece ser a região menos suscetível a variações de temperatura do chuveiro.

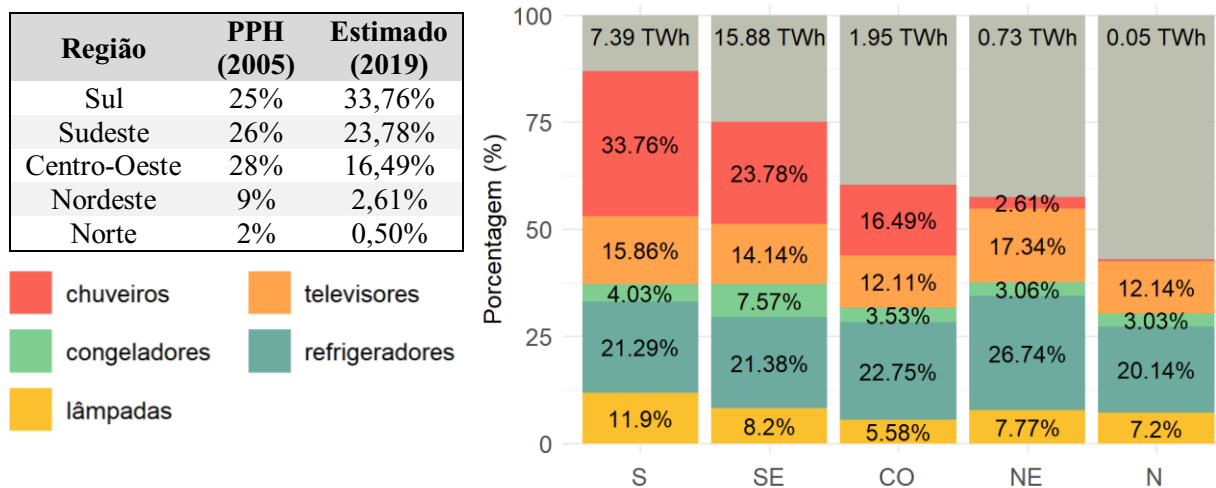
Figura 57 – Percentual de chuveiros utilizados na temperatura fria – PPH 2019.



Expostos os dados dos chuveiros elétricos, é possível concluir que a região Sul reúne as características necessárias para apresentar o maior percentual de consumo para este equipamento: possui a maior posse de chuveiros elétricos, o maior percentual de chuveiros com potência máxima superior a 4.500W, além de apresentar os menores percentuais de chuveiros utilizados sem elevação da temperatura, excetuando-se os meses de dezembro a fevereiro.

Essa conclusão é corroborada pela estimativa do percentual de consumo anual dos chuveiros elétricos, apresentada na Figura 58. O Sul obteve o maior percentual (33,76%), cerca de 10% superior ao do Sudeste (23,78%). No Norte e no Nordeste, a proporção de consumo dos chuveiros elétricos foi inferior, inclusive, à dos congeladores. As estimativas do relatório da PPH de 2005 também apresentaram percentual de consumo maior nas regiões Sul (25%) e Sudeste (26%) e uma redução significativa no Nordeste (9%) e no Norte (2%). A proporção de consumo de 9% na região Nordeste pode estar associada à posse média mais elevada de chuveiros elétricos identificada na PPH daquele ano, de 0,4.

Figura 58 – Percentual de consumo anual estimado dos chuveiros elétricos.

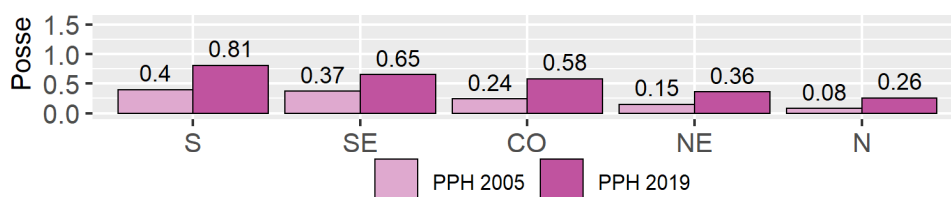


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.6 MICRO-ONDAS

A posse média de micro-ondas obteve aumento significativo entre as PPHs, para todas as regiões, como mostra a Figura 59. O Sul continua com a maior posse (0,81), seguido das regiões Sudeste (0,65), Centro-Oeste (0,58), Nordeste (0,36%) e Norte (0,26%). Essa ordem de posse decrescente entre as regiões foi a mesma para os domicílios da PPH de 2005.

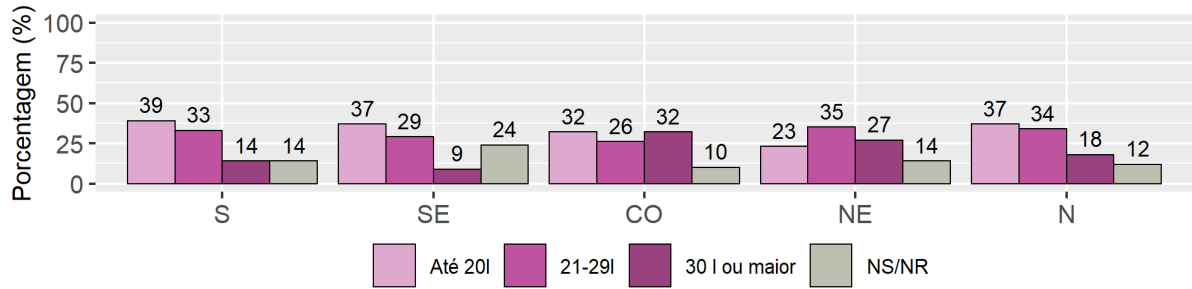
Figura 59 – Posse média de micro-ondas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Sobre a capacidade de armazenagem, houve percentuais significativos de casos em que essa informação não foi apresentada: de 10% dos casos na região Centro-Oeste a 24% na região Sudeste. Os percentuais de faixas de capacidade dos micro-ondas são apresentados na Figura 60.

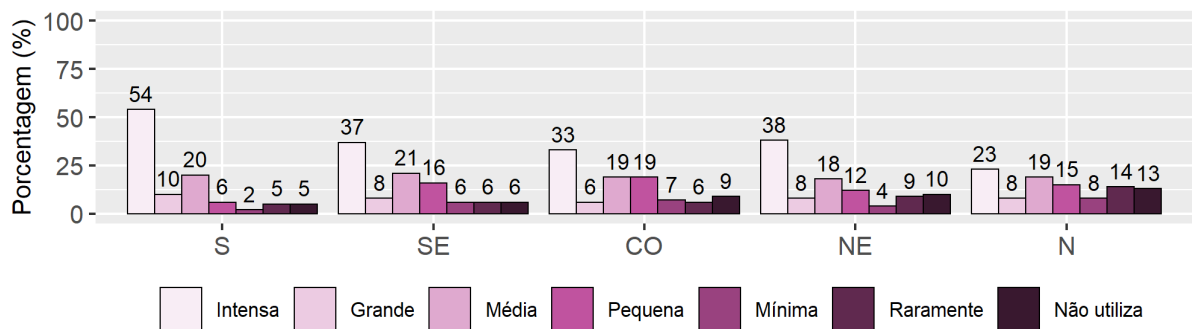
Figura 60 – Percentual de micro-ondas por capacidade de armazenagem – PPH 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto à frequência de uso dos micro-ondas, a mais comum foi a intensa (uso de seis a sete vezes por semana), com 54% dos casos no Sul, 37% no Sudeste, 38% no Nordeste, 33% no Centro-Oeste e 23% no Norte. A segunda frequência mais comum foi a média (uso de duas a três vezes por semana), como mostra a Figura 61.

Figura 61 – Percentual de micro-ondas por frequência de uso – PPH 2019.

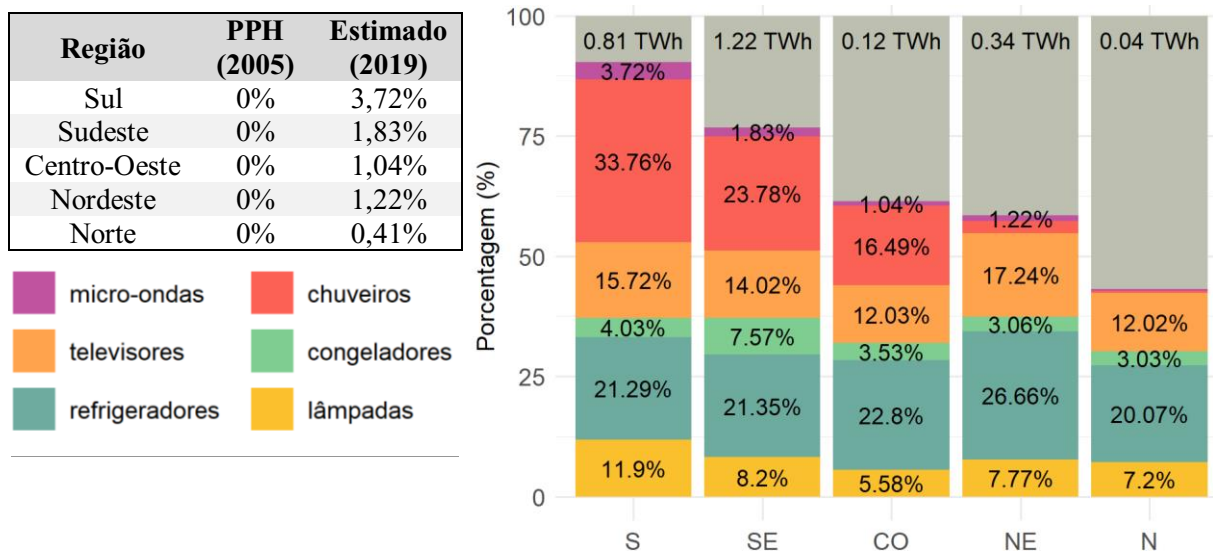


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o tempo de uso diário dos micro-ondas, predominou a faixa de até dez minutos, representando 54% dos casos no Sul, 50% no Sudeste, 84% no Centro-Oeste, 76% no Nordeste e 71% no Norte. Os domicílios do Sul e do Sudeste também possuíram percentual significativo de casos em que o uso diário do micro-ondas ficou entre 11 e 30 minutos (26% e 27%, respectivamente).

O percentual de consumo anual estimado dos micro-ondas (Figura 62) são os menores até aqui, variando de 0,41% no Norte a 3,72% no Sul. Os micro-ondas, embora tenham potência específica alta, que variou entre 1.008W e 1.440W, conforme apresentado na Tabela 16 do método, possuem tempo de utilização diária baixo, o que reduziu o seu consumo anual. No relatório da PPH de 2005, a proporção de consumo dos micro-ondas foi ainda menor, não chegando a 1% do consumo em nenhuma região. É possível que o aumento da posse de micro-ondas entre as PPHs seja a razão pela qual a sua proporção de consumo tenha aumentado.

Figura 62 – Percentual de consumo anual estimado dos micro-ondas.

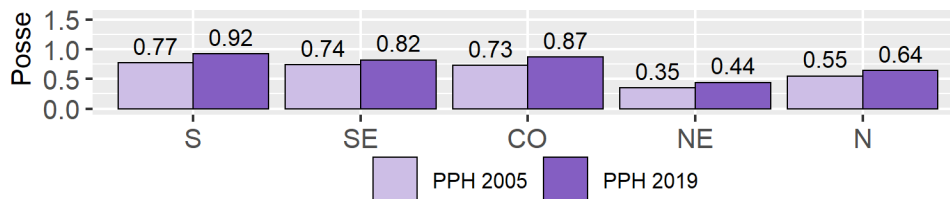


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.7 MÁQUINAS DE LAVAR ROUPA

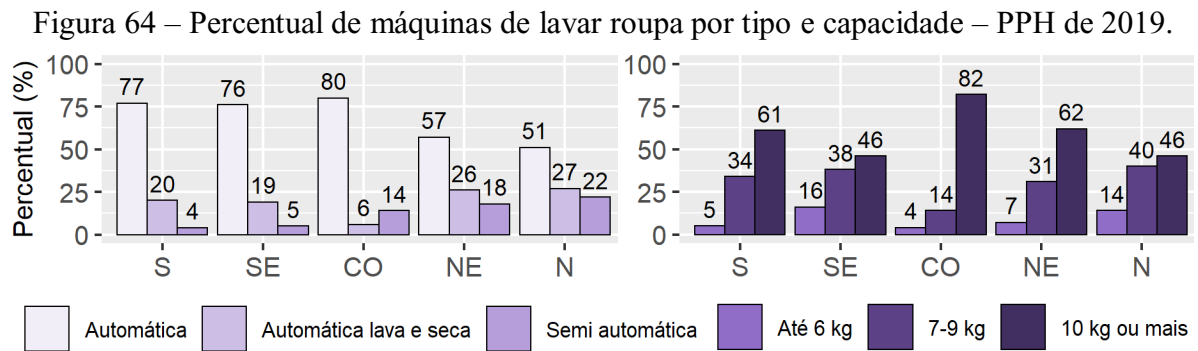
A Figura 63 apresenta a posse média de máquinas de lavar roupa. Assim como no caso dos micro-ondas, a posse média das máquinas de lavar aumentou em todas as regiões.

Figura 63 – Posse média de máquinas de lavar roupa.



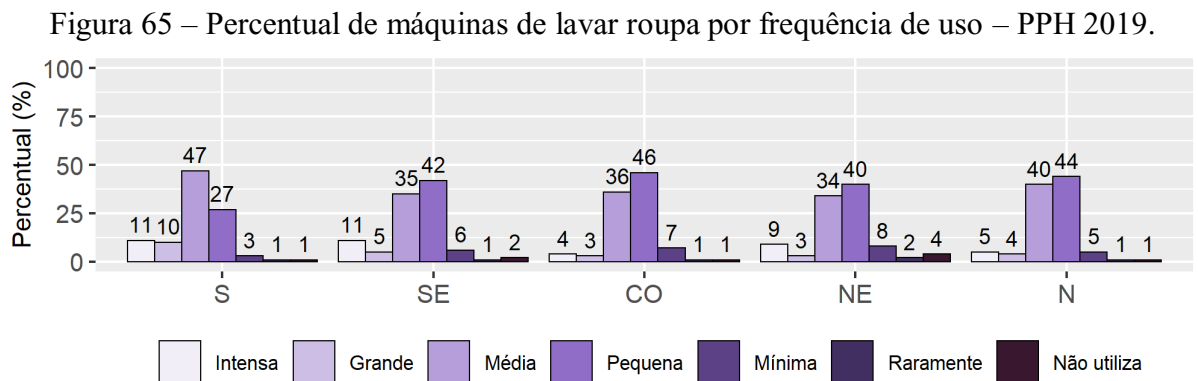
Fonte: Elaborado pelo autor.

As máquinas de lavar roupa do tipo automática são as mais comuns entre os domicílios da PPH de 2019, para todas as regiões. A Figura 64, no gráfico da esquerda, apresenta esses resultados. O gráfico da direita, por sua vez, contém os percentuais de máquinas de lavar roupa por faixa de capacidade de armazenagem, desconsiderando-se aqueles casos em que o entrevistado não soube ou não quis informá-la, o que correspondeu a 2,1% do total. Percebe-se que a maioria das máquinas de lavar roupa possui capacidade armazenagem igual ou superior a 7 kg.



Fonte: Elaborado pelo autor.

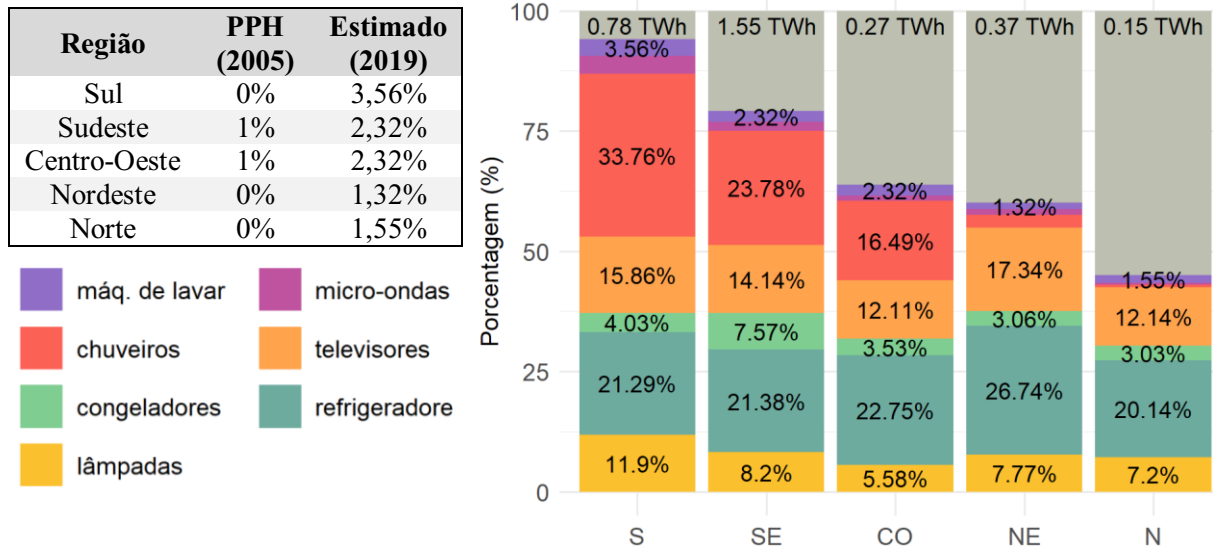
Quanto à frequência de uso, apresentada na Figura 65, a maioria das máquinas de lavar roupa costumava ser utilizada de uma a três vezes por semana, se consideradas as duas frequências de uso mais comuns, pequena e média. O número médio de lavagens realizadas em cada dia em que a máquina de lavar roupas era utilizada foi de 1,99 no Sul, 2,08 no Sudeste, 2,26 no Centro-Oeste, 1,87 no Nordeste e 2,27 no Norte, ou seja, em torno de duas lavagens para todas as regiões.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As máquinas de lavar, assim como os micro-ondas, apresentaram percentual de consumo anual baixo, obtendo seu maior valor na região Sul (3,56%). O relatório da PPH de 2005 estimou um percentual ainda menor, de 1% nas regiões Sudeste e Centro-Oeste e de zero nas demais regiões, como mostra a Figura 66.

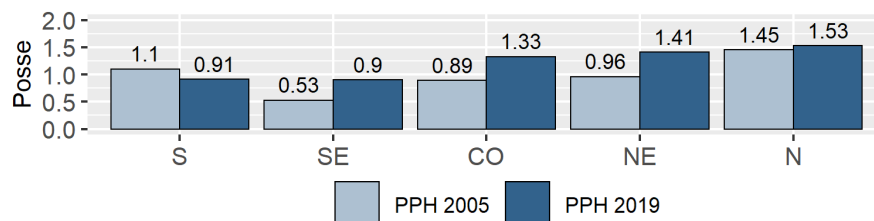
Figura 66 – Percentual de consumo anual estimado das máquinas de lavar roupa.



4.8 VENTILADORES

A posse média de ventiladores entre as PPHs de 2005 e de 2019 aumentou em quatro das cinco regiões pesquisadas, conforme Figura 67, obtendo os maiores valores no Centro-Oeste (1,33), Nordeste (1,41) e Norte (1,53). O Sul, em contrapartida às demais regiões, apresentou queda de 1,1 para 0,91.

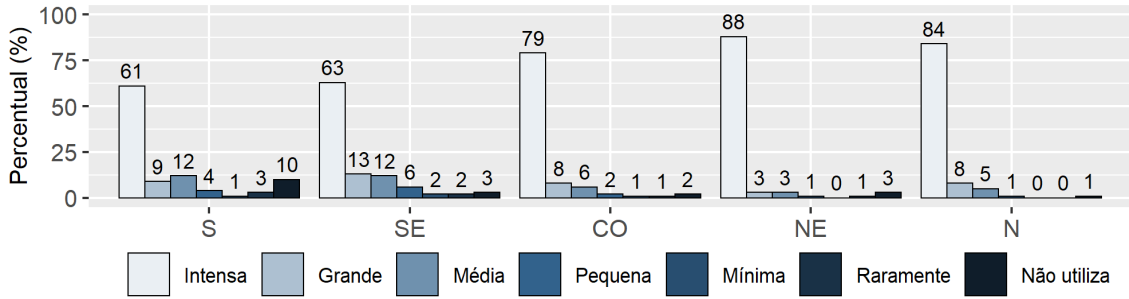
Figura 67 – Posse média de ventiladores.



A frequência de uso dos ventiladores, por sua vez, tende a ser intensa em todas as regiões (Figura 68). Esse percentual, porém, é maior em regiões mais quentes, na seguinte

ordem: Sul (61%), Sudeste (63%), Centro-Oeste (79%), Norte (84%) e Nordeste (88%). A Sul é a região com o maior percentual de ventiladores que não são utilizados (10%). Deve-se salientar que a frequência de uso foi obtida de forma geral, sem especificar as estações do ano.

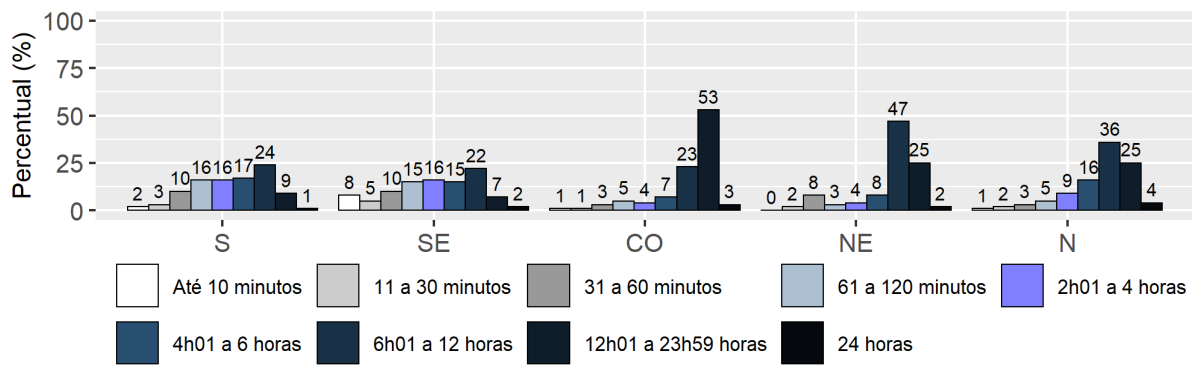
Figura 68 – Percentual de ventiladores por frequência de uso – PPH 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O tempo de uso diário também tende a ser maior no Centro-Oeste, no Nordeste e no Norte, como apresentado na Figura 69. No Centro-Oeste, 79% dos ventiladores costumam ficar ligados por seis horas ou mais, no Nordeste, esse percentual é de 74%, e, no Norte, é de 65%.

Figura 69 – Percentual de ventiladores por tempo de uso diário – PPH 2019.

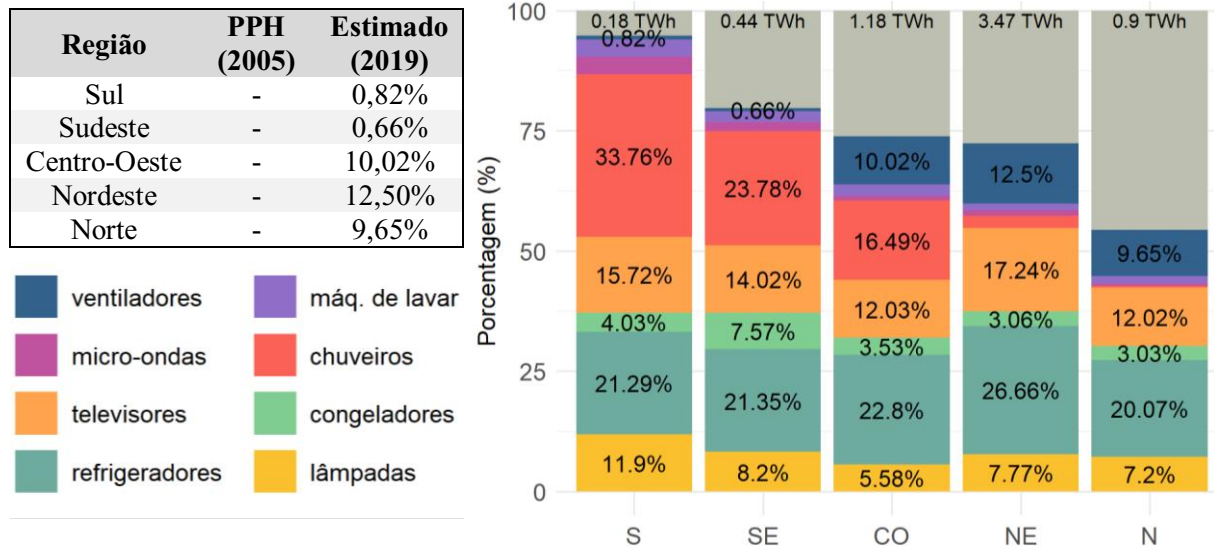


Fonte: Elaborado pelo autor.

A combinação de maior posse, maior frequência de uso e maior tempo de uso diário, juntamente com a consideração de uso não sazonal do ventilador, fizeram com que o percentual de consumo anual dos ventiladores nas regiões Centro-Oeste (10,02%), Nordeste (12,50%) e Norte (9,65 %) fosse maior, como mostra a Figura 70. No Nordeste e no Norte, os ventiladores chegaram à terceira maior proporção de consumo entre os equipamentos analisados até aqui, atrás apenas de refrigeradores e televisores, o que demonstra a importância desse equipamento no consumo de energia elétrica dessas regiões. Além disso, os percentuais dos ventiladores

também reduziram a diferença das proporções de consumo estimadas entre as regiões, que havia se acentuado com a inserção dos valores relativos aos chuveiros elétricos. O relatório da PPH de 2005 não apresentou o percentual de consumo dos ventiladores.

Figura 70 – Percentual de consumo anual estimado dos ventiladores.

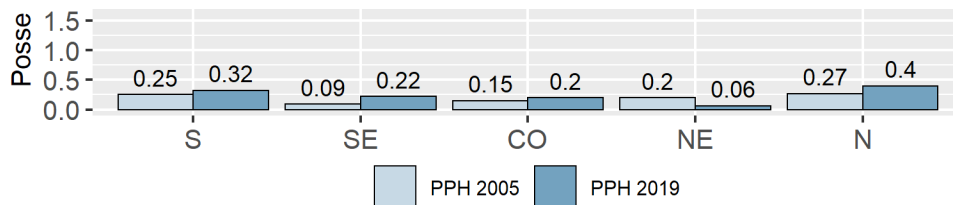


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.9 ARES CONDICIONADOS

A posse média de ares condicionados dos domicílios de ambas as PPHs (Figura 71) obteve o maior valor na região Norte, cuja posse aumentou de 0,27 para 0,4. Também houve aumento da posse média nas regiões Sul (de 0,25 para 0,32), Sudeste (de 0,09 para 0,22) e Centro-Oeste (de 0,15 para 0,2). A Nordeste foi a única região que apresentou queda, de 0,2 para 0,06.

Figura 71 – Posse média de ares condicionados.

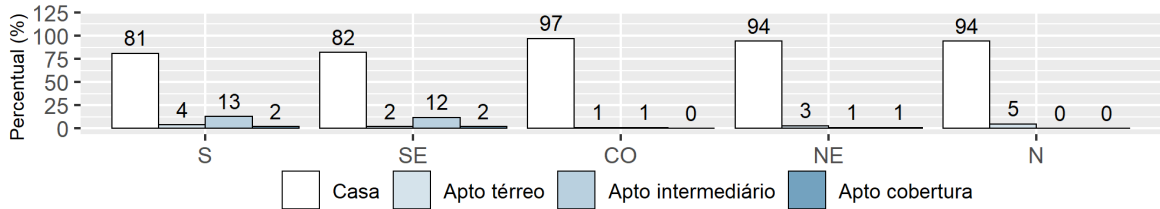


Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao total, 3.133 domicílios da PPH de 2019 possuem ar condicionado, sendo que 428 pertencem à região Sul, 706 à Sudeste, 398 à Centro-Oeste, 325 à Nordeste e 1.276 à Norte.

A maioria desses domicílios são casas, com percentuais que variam de 81% no Sul a 97% no Centro-Oeste, como mostra a Figura 72.

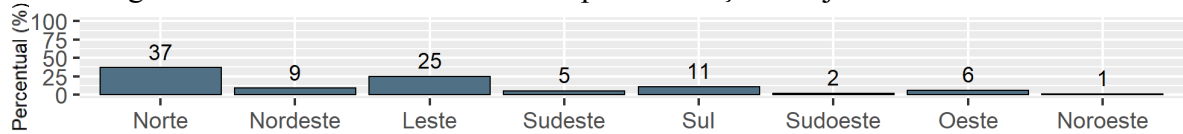
Figura 72 – Percentual de domicílios por tipo – PPH 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto à orientação da maioria das janelas desses domicílios, apresentada na Figura 73, a maioria possui orientação norte (37%) ou leste (25%). Cerca de 6% dos domicílios com ar condicionado não possuem essa informação.

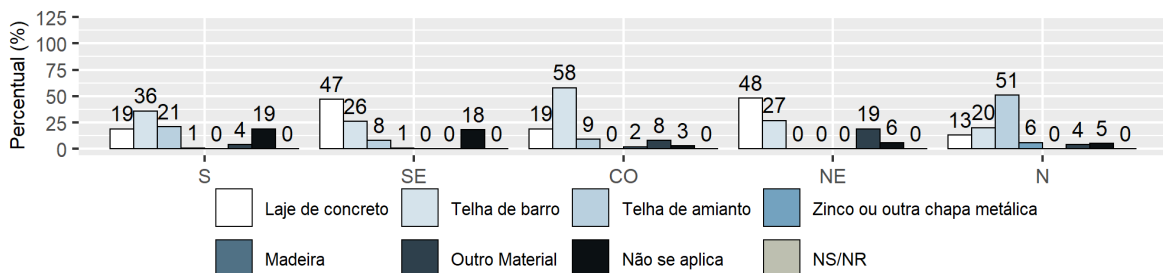
Figura 73 – Percentual de domicílios por orientação das janelas – PPH 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 74 apresenta os percentuais de domicílios que possuíam ar condicionado por tipo de cobertura. As coberturas mais comuns foram as de laje de concreto, telha de barro ou telha de amianto, que juntas chegaram a percentuais de 76% no Sul, 81% no Sudeste, 90% no Centro-Oeste, 75% no Nordeste e 84% no Norte. Os percentuais da coluna “não se aplica” são para os domicílios dos quais a PPH não coletou informações sobre o tipo de cobertura, como apartamentos do último andar, ou que não possuíam cobertura, como apartamentos térreos.

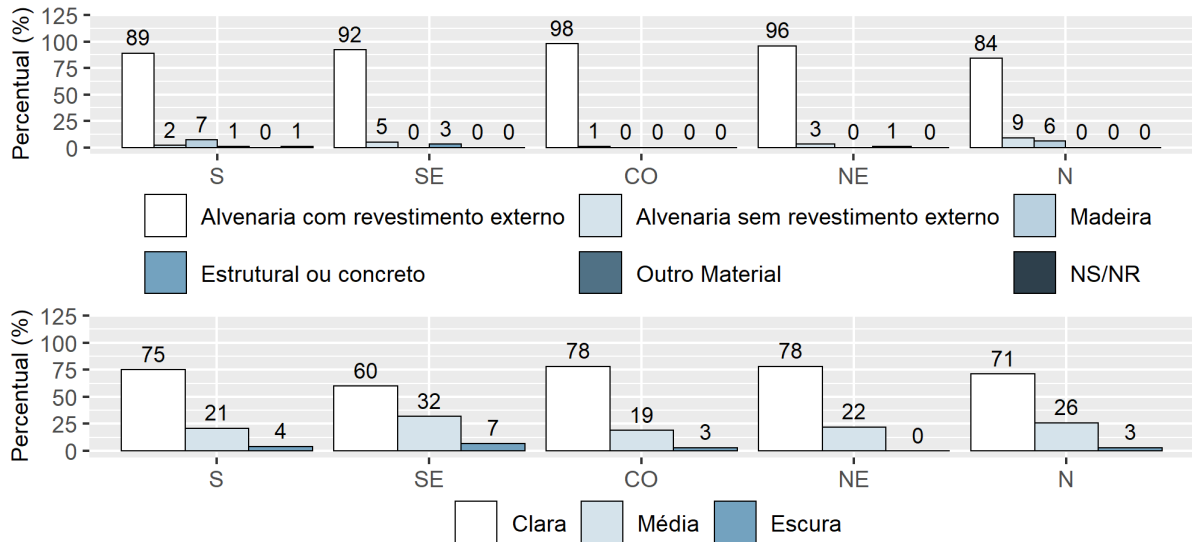
Figura 74 – Percentual de domicílios por tipo de cobertura – PPH 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesses domicílios, também predominam paredes de alvenaria com revestimento externo em todas as regiões, como mostra o primeiro gráfico da Figura 75, sendo que a tonalidade clara foi a mais comum para as paredes externas, com percentuais que variaram de 60% no Sudeste a 78% no Centro-Oeste e Nordeste, conforme segundo gráfico da Figura 75.

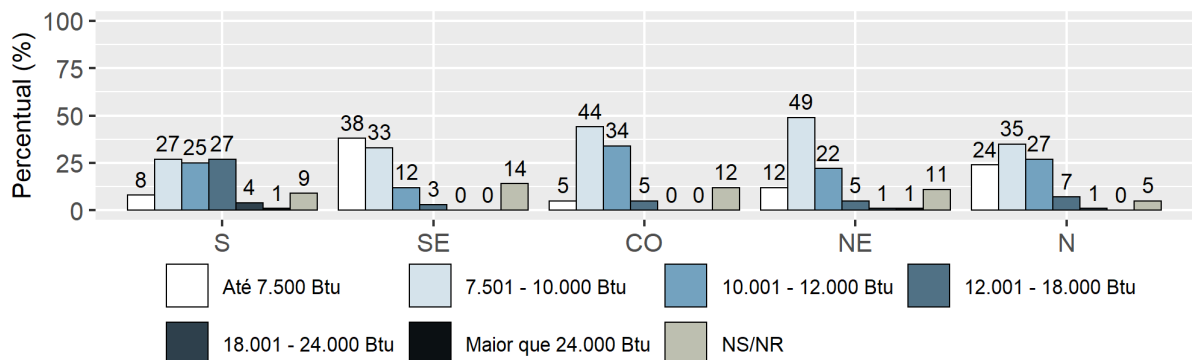
Figura 75 – Percentual de domicílios por tipo e tonalidade de paredes externas – PPH 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Sobre os ares condicionados, há variações significativas entre as regiões no que diz respeito a suas capacidades térmicas, como mostra a Figura 76. No entanto, com exceção da região Sul, que obteve percentual alto de equipamentos com capacidade térmica de 12.001 a 18.000 Btu (27%), a maioria dos ares condicionados da PPH de 2019 possui capacidade térmica de até 12.000 Btu. Houve também percentuais significativos de casos em que o entrevistado não soube ou não quis informar esse dado: de 5% no Norte a 14% no Sudeste.

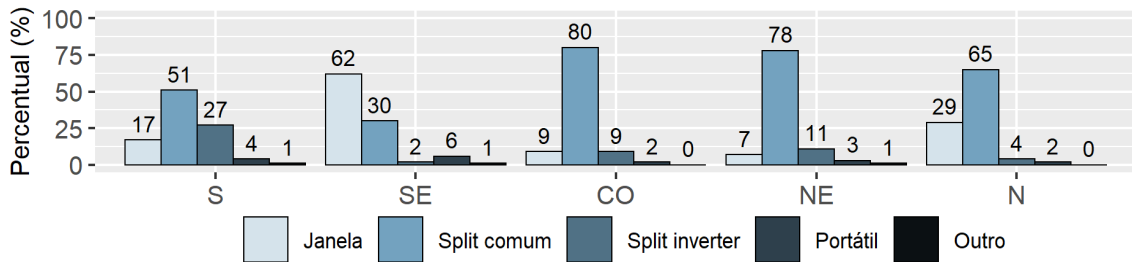
Figura 76 – Percentual de ares condicionados por capacidade térmica – PPH 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto ao tipo de ar condicionado (Figura 77), houve a predominância da tecnologia split nas regiões Sul (78%), Centro-Oeste (89%), Nordeste (89%) e Norte (69%). A única região que apresentou maioria de equipamentos do tipo janela foi a Sudeste, com 62%.

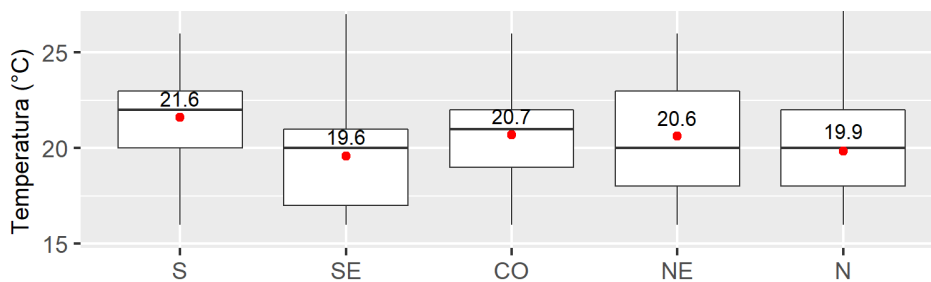
Figura 77 – Percentual de ares condicionados por tipo – PPH 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Sobre o tipo de operação, a região Sul é a única que possui a maioria dos ares condicionados com ciclo reverso (operando para aquecimento e refrigeração), com percentual de 67%. Nas demais regiões, mais de 80% dos equipamentos trabalham apenas a refrigeração. A temperatura mais utilizada na hora de ligar o ar condicionado, por sua vez, foi informada para 70% dos equipamentos. Como mostra a Figura 78, a média das temperaturas utilizadas variou até 2,0 °C entre as regiões. A região Sul destacou-se com uma média mais alta, de 21,6 °C.

Figura 78 – Média da temperatura mais utilizada ao ligar o ar condicionado – PPH 2019.

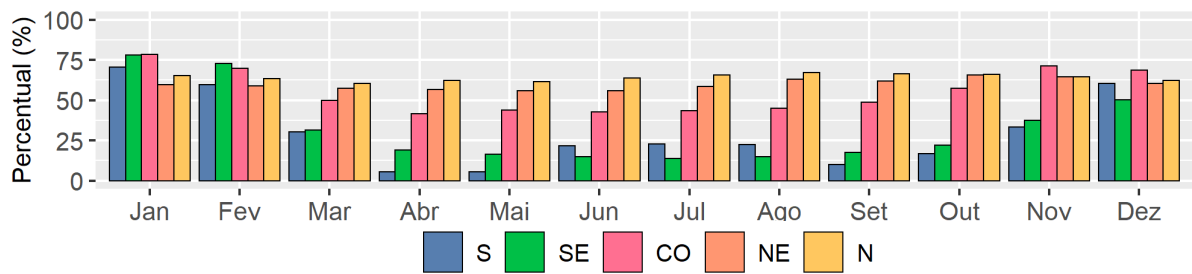


Fonte: Elaborado pelo autor.

Essas médias e medianas indicam a preferência por temperaturas mais baixas, independentemente da região, fator que preocupa, uma vez que utilizar a temperatura de *setpoint* em valores baixos faz que o ar condicionado consuma mais energia elétrica para manter a temperatura desejada. Esses valores também divergem dos considerados na literatura. Por exemplo, no método de simulação para análise do desempenho térmico de edificações do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), o *setpoint* de refrigeração utilizado é de 24 °C.

Quanto à frequência de uso dos ares condicionados, há diferenças maiores entre as regiões. A Figura 79 apresenta o percentual de ares condicionados utilizados de forma intensa (de seis a sete vezes por semana). A região Sul apresenta maiores percentuais nos meses de dezembro (60%) a fevereiro (59%), valor que reduz gradualmente até chegar aos meses de junho, julho e agosto, no inverno, em que volta a aumentar para cerca de 22%, provavelmente para o aquecimento dos ambientes. A região Sudeste possui comportamento semelhante, com maiores percentuais de uso intenso nos meses de dezembro (50%) a fevereiro (73%), porém sem aumentar nos meses do inverno. Na região Centro-Oeste, o aspecto de uso sazonal é reduzido, sendo que, para todos os meses do ano, pelo menos 42% dos ares condicionados costumam ser utilizados de forma intensa. Nas regiões Nordeste e Norte houve pouca variação ao longo do ano, sendo que mais da metade dos ares condicionados costuma ser utilizada de forma intensa em todos os meses.

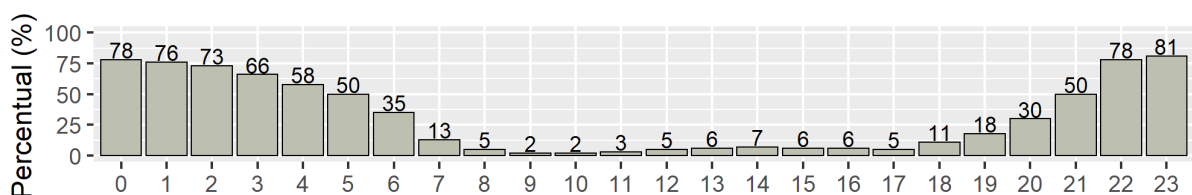
Figura 79 – Percentual de ares condicionados utilizados de forma intensa – PPH 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O tempo de uso diário do ar condicionado foi, em média, de 8,2 horas no Sul, 7,4 horas no Sudeste, 8,3 horas no Centro-Oeste, 7,6 horas no Nordeste e 7,3 horas no Norte. No horários de uso, predominou o uso noturno do equipamento, como mostra o gráfico da Figura 80, o que permite dizer que a maior parte dos equipamentos dos quais foi informado o horário de uso devem estar localizados nos dormitórios. Houve também um percentual elevado de ares condicionados marcados como de uso eventual (38% do total).

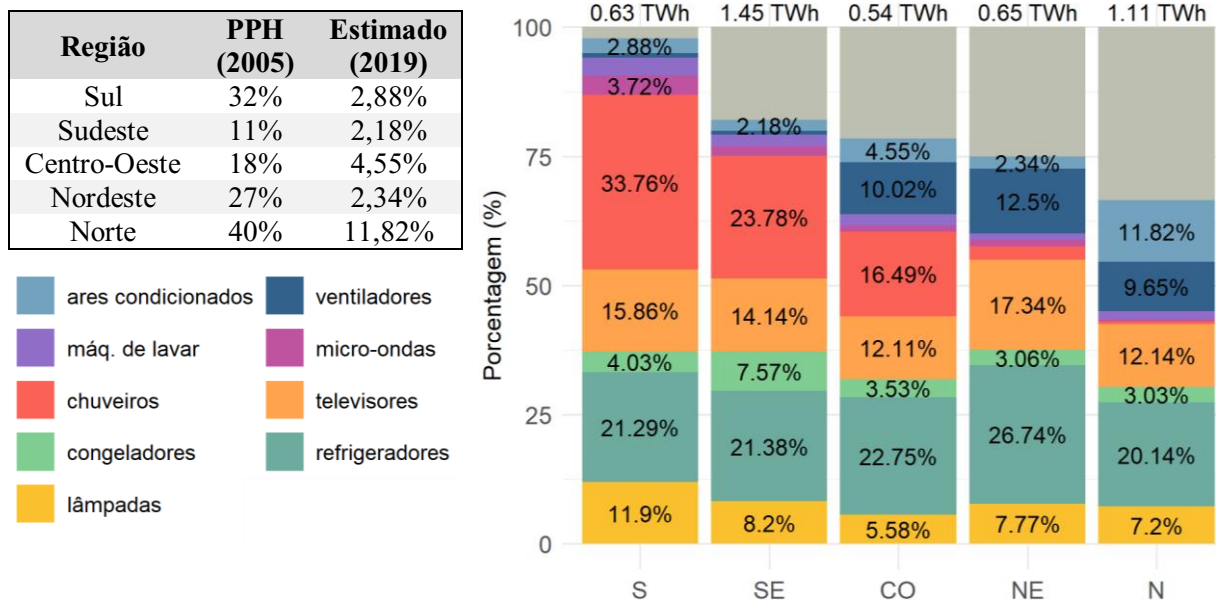
Figura 80 – Horários de uso de todos os ares condicionados da base de dados – PPH 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

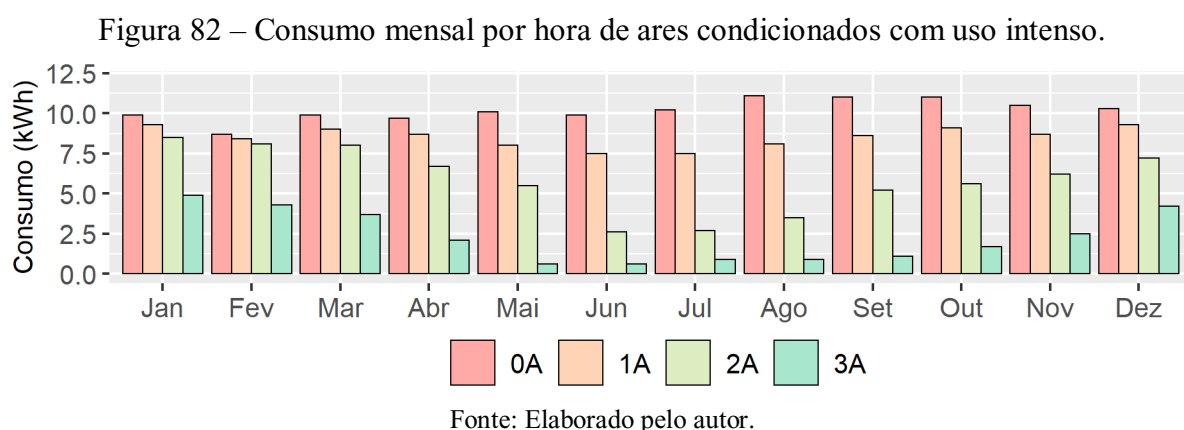
O percentual de consumo anual estimado dos ares condicionados é apresentado na Figura 81. A região Norte obteve o maior percentual (11,82%), valor significativamente superior às demais regiões. O Sul, embora possua a segunda maior posse média (0,32), apresentou percentual baixo, de 2,88%. Chama atenção os percentuais apresentados pelo relatório da PPH de 2005, que são bastante superiores aos estimados nesse estudo. Segundo o relatório da PPH de 2005, cerca de um terço da energia elétrica consumida anualmente no setor residencial da região Sul seria destinada ao condicionamento artificial dos ambientes (32%), valor que superou, inclusive, o percentual de consumo de refrigeradores e chuveiros elétricos apresentados no relatório (16% e 25%, respectivamente).

Figura 81 – Percentual de consumo anual estimado dos ares condicionados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

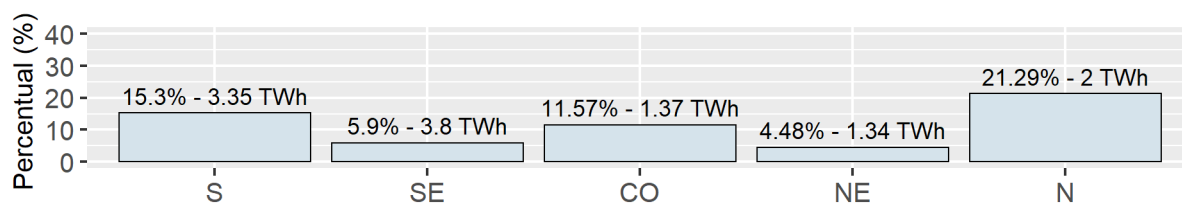
A Figura 82 apresenta as médias dos consumos mensais por hora de uso dos ares condicionados utilizados de forma intensa, agrupados conforme a zona climática a que pertencem. Há grandes diferenças entre os resultados: os ares condicionados de domicílios pertencentes à zona 0A possuíram consumo mensal por hora de 8,7 kWh em fevereiro a 11,1 kWh em agosto; os da zona 1A variaram de 7,5 kWh em Julho a 9,3 kWh em janeiro; os da zona 2A variaram entre 2,6 kWh em junho a 8,5 kWh em dezembro; e, por fim, os da zona 3A apresentaram variações de 0,6 kWh em junho a 4,9 kWh em janeiro.



A região Sul possui quase a totalidade de seu território inserida nas zonas climáticas 2A e 3A; já a região Norte está quase inteiramente inserida nas zonas climáticas 0A e 1A. Desta forma, e tendo como base os resultados da Figura 82, mesmo que a posse de ares condicionados seja alta em ambas as regiões (0,32 no Sul e 0,40 no Norte), o clima mais quente no Norte, aliado à maior frequência de uso do ar condicionado nessa região, faz com que o consumo dos ares condicionados da região Norte seja significativamente superior ao da região Sul.

Os consumos da Figura 82, porém, são inferiores aos consumos mensais por hora dos ares condicionados presentes nas tabelas de consumo/eficiência energética do Inmetro. A Figura 83 apresenta a estimativa dos percentuais de consumo anuais de ares condicionados com base nos valores de consumo mensais desses equipamentos, conforme descrito no item 3.6. Percebe-se que os percentuais são superiores aos obtidos a partir de simulação computacional.

Figura 83 – Percentual de consumo considerando os valores do Inmetro.

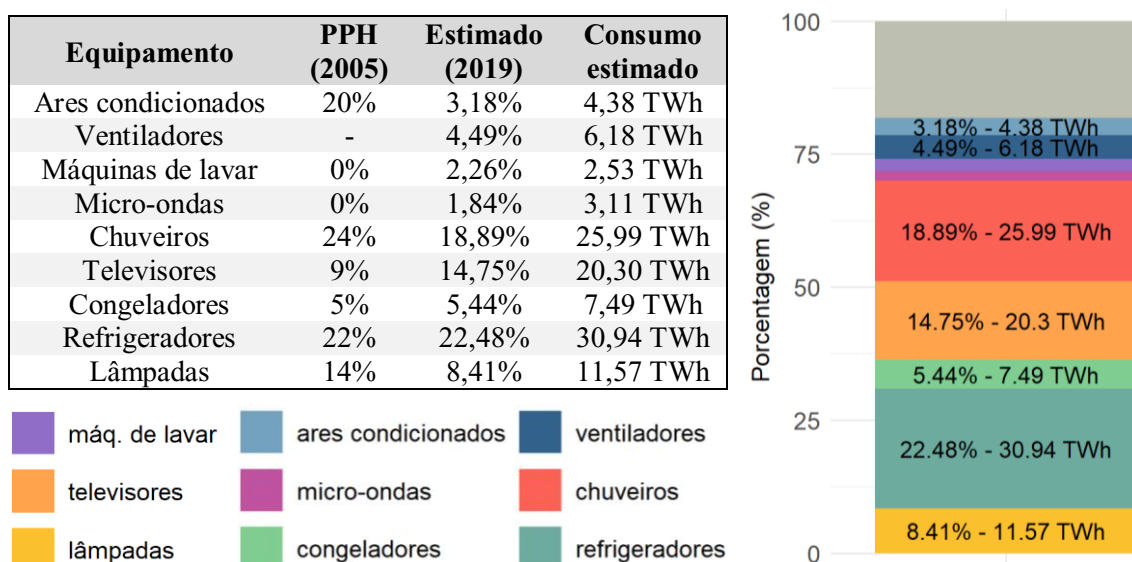


Os consumos mensais dos ares condicionados das tabelas do Inmetro não variam conforme a região geográfica, e, conforme o Requisito de Avaliação da Conformidade para Condicionadores de Ar (INMETRO, 2011), são estimados a partir de testes de calorímetro com valor alto de temperatura externa (35 °C), considerando uma temperatura interna de 26,7 °C, o que pode explicar o consumo alto dos equipamentos da tabela. No entanto, até mesmo esses percentuais são inferiores aos apresentados no relatório da PPH de 2005.

4.10 ESTIMATIVA DOS CONSUMOS NACIONAIS

Agregados os consumos de todas as regiões geográficas, para cada equipamento, obtém-se o gráfico da Figura 84. Nacionalmente, o maior percentual de consumo estimado foi o dos refrigeradores (22,48%), o segundo foi o dos chuveiros (18,89%) e o terceiro foi o dos televisores (14,75%). Esses três equipamentos foram responsáveis por mais da metade do percentual de consumo no setor residencial (56,12%), representando consumo anual estimado de 77,23 TWh. Os demais equipamentos apresentaram percentuais abaixo de 10%: lâmpadas (8,41%), congeladores (5,44%), ventiladores (4,49%), ares condicionados (3,18%), máquinas de lavar roupa (2,26%) e micro-ondas (1,84%). Juntos, os consumos estimados dos nove equipamentos representaram 81,74% do consumo de energia do setor residencial.

Figura 84 – Percentual de consumo anual estimado dos nove equipamentos (nacional).



Fonte: Elaborado pelo autor.

A área cinza na Figura 84, ou os 18,26% de consumo restantes, corresponde àquela quantidade de energia elétrica não atingida pelos nove equipamentos. O setor residencial é bastante variado em termos de tipos de equipamentos elétricos, sendo que alguns não considerados neste estudo têm uma posse média significativa e, por isso, poderiam obter participação significativa nos percentuais de consumo. Por exemplo, segundo o relatório da PPH de 2019 (ELETROBRÁS, 2019c), a posse média nacional de liquidificadores foi de 0,85, a de ferros elétricos foi de 0,44, a de DVDs e similares foi de 0,37, a de sanduicheiras foi de 0,32, a de *notebooks* foi de 0,29 e a de computadores foi de 0,18.

Quanto à comparação entre os valores estimados nesse estudo e os do relatório da PPH de 2005, para alguns equipamentos, os percentuais foram semelhantes, como no caso de refrigeradores (22,48% e 22%, respectivamente) e congeladores (5,44% e 5%). Para outros, os valores do relatório foram significativamente diferentes aos deste estudo, mas podem ser explicados devido a variações tecnológicas, como no caso das lâmpadas (14% e 8,41%), cuja presença de lâmpadas incandescentes caiu entre as PPHs; e dos televisores (9% e 14,65%), cuja inserção de tecnologias mais recentes (LCD/LED e plasma) pode ter contribuído para o aumento da potência desses equipamentos, uma vez que essas novas tecnologias tendem a possuir telas maiores. No caso dos chuveiros, que apresentaram percentuais de 24% no relatório da PPH de 2005 e de 18,89% neste estudo, a queda na posse média em todas as regiões pode ter contribuído para a redução do percentual.

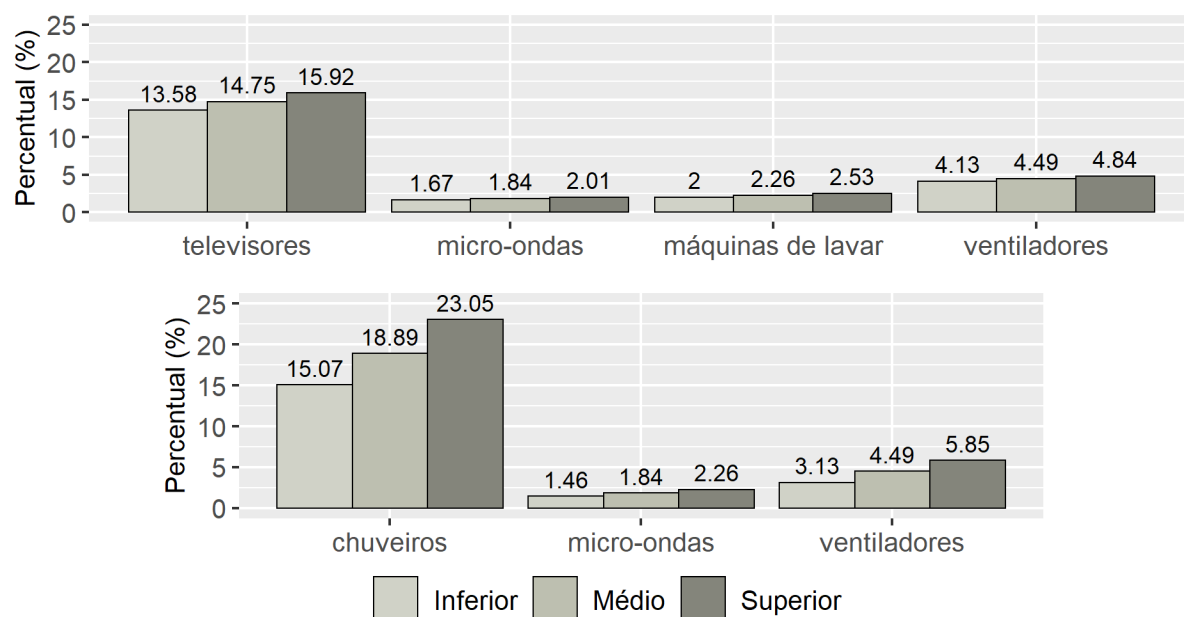
Chama a atenção, no entanto, o percentual de consumo de ares condicionados apresentado no relatório da PPH de 2005 (20%), que é bastante superior ao estimado neste estudo (3,18%), diferença que fica ainda maior se considerar o fato de que a posse média de ares condicionados na PPH de 2005 é inferior à da PPH de 2019 em quatro das cinco regiões. Se 20% do consumo do setor residencial fosse destinado a ares condicionados, isso representaria um consumo anual de 27,52 TWh em 2018, já que o setor residencial consumiu 137,60 TWh naquele ano. O consumo total de energia elétrica do setor residencial na região Sul em 2018 foi de 21,90 TWh, o que demonstra que o percentual do relatório da PPH de 2005 está bastante elevado. Além disso, quando estimado o consumo de ares condicionados a partir dos valores das tabelas de consumo/eficiência energética do Inmetro, conforme item 3.6, o percentual nacional de consumo obtido foi de 8,62%, que também é bastante inferior aos 20% apresentados no relatório da PPH. Porém, deve-se salientar que o método de estimativa de consumo desenvolvido neste estudo possui limitações, principalmente no que diz respeito à estimativa de ares condicionados. Essas limitações serão apresentadas no item 5.1.

Já os micro-ondas e as máquinas de lavar roupa apresentaram percentual de consumo igual a zero no relatório da PPH, enquanto que, neste estudo, obteve-se percentual de consumo maior, embora pequeno: 1,84% e 2,26%, respectivamente. O percentual de consumo de ventiladores não foi apresentado no relatório da PPH de 2005, e, neste estudo, eles apresentaram valor significativo, de 4,49%.

4.11 ANÁLISE DOS LIMITES DE FREQUÊNCIA E TEMPO DE USO

Para estimar o consumo anual de energia elétrica dos equipamentos, foram utilizados valores médios das faixas de frequência de uso de televisores, micro-ondas, máquinas de lavar roupa e ventiladores. O mesmo ocorreu com as faixas de tempo de banho em chuveiros elétricos e de tempo de uso diário de micro-ondas e de ventiladores. A Figura 85 apresenta as estimativas dos percentuais de consumo nacionais desses equipamentos quando utilizados os limites inferiores e superiores das faixas de frequência (gráfico superior) e de tempo de uso (gráfico inferior). Os gráficos também apresentam uma coluna intitulada médio, que se refere aos percentuais de consumo com valores médios, que foram considerados até aqui.

Figura 85 – Percentuais de consumo com modificação da frequência ou tempo de uso.

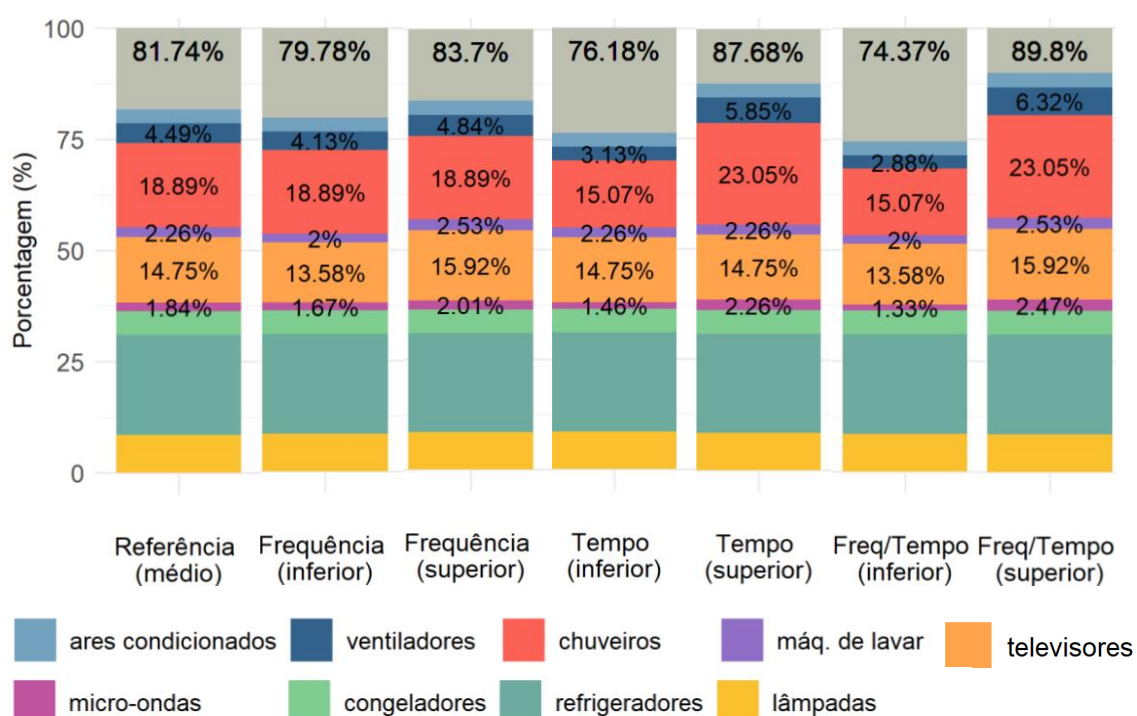


Fonte: Elaborado pelo autor.

Percebe-se que o percentual de consumo é mais sensível às variações de faixa de tempo do que as de faixa de frequência de uso. No caso da frequência de uso, a diferença entre utilizar os limites inferiores e superiores foi de, no máximo, 2,34%, para os televisores, enquanto que no tempo de uso a variação chegou a 7,98%, para os chuveiros. Outra comparação pode ser realizada com os ventiladores e os micro-ondas, que possuíam ambas as informações. A variação do percentual de consumo entre os limites de frequência de uso dos ventiladores foi de 0,71%, enquanto que para o tempo de uso foi de 2,72%. Já para os micro-ondas, a variação foi de 0,34% entre os limites de frequência de uso e de 0,80% entre os limites de tempo de uso.

A Figura 86 apresenta os percentuais de consumo nacionais quando utilizados os limites inferiores ou superiores de frequência e de tempo de uso, tanto isoladamente como combinados. Na primeira coluna, intitulada Referência, são apresentados os percentuais de consumo anuais com os valores médios de frequência e de tempo de uso; nas quatro colunas posteriores são apresentados os percentuais estimados considerando o uso dos limites de frequência ou de tempo de uso isoladamente; e, nas duas últimas colunas, são apresentados os percentuais considerando ambos os limites de frequência e de tempo de uso.

Figura 86 – Percentuais de consumo com a modificação da frequência e/ou tempo de uso.



Fonte: Elaborado pelo autor.

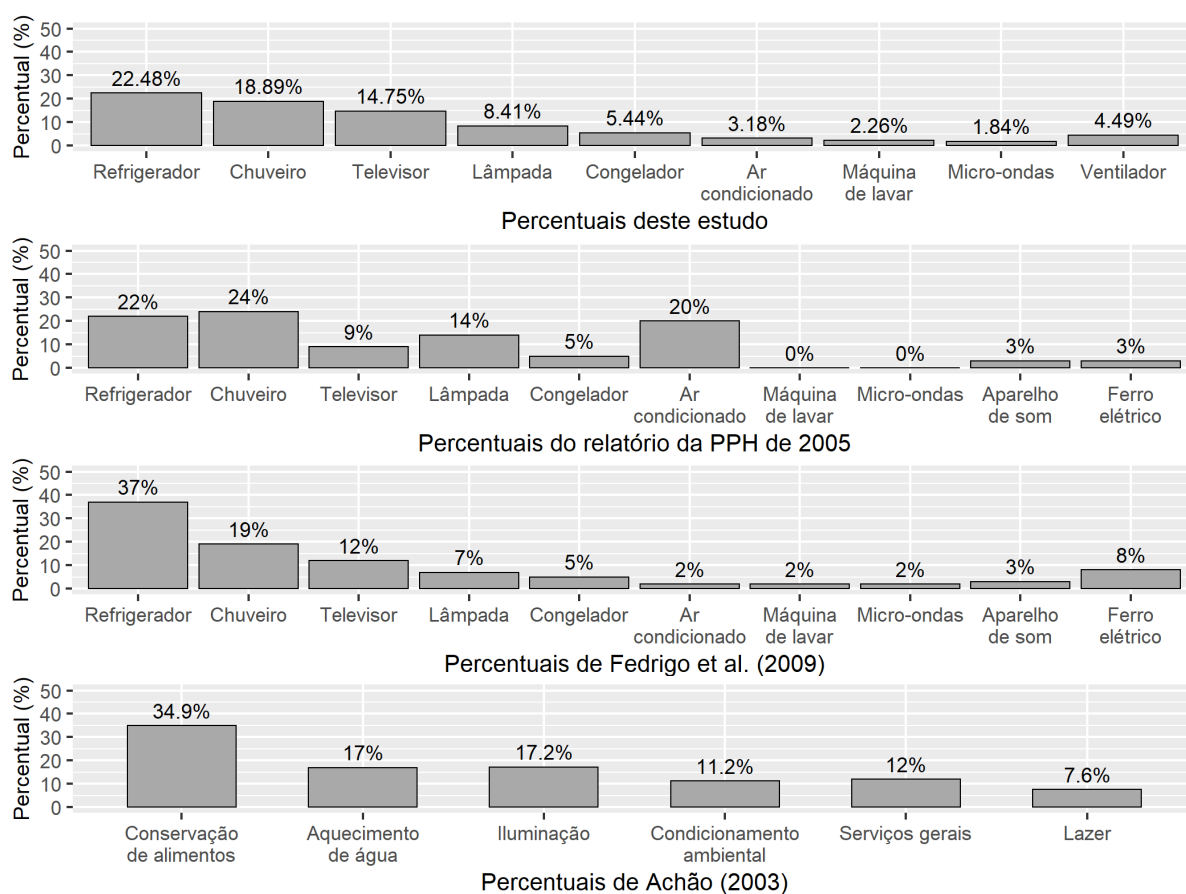
Os valores apresentados demonstram que pode haver diferenças de até 8,06% no percentual anual de consumo estimado dos nove equipamentos em relação ao percentual de referência, variando de 74,37% do consumo nacional, se considerados os limites inferiores de frequência e de tempo de uso, a 89,80%, se considerados os limites superiores.

4.12 DISCUSSÃO ACERCA DOS RESULTADOS E DO MÉTODO *BOTTOM-UP*

Estimar o consumo de energia elétrica do setor residencial é uma tarefa complexa. Há diversos tipos de uso finais no setor, diversos modelos de equipamentos elétricos, que possuem diferentes consumos de energia elétrica e que cuja posse varia entre os domicílios. Além disso, há o comportamento de uso desses equipamentos, que não é único, podendo variar significativamente entre regiões geográficas, como demonstrado neste estudo para equipamentos como chuveiros elétricos e ares condicionados. Assim, modelos que visam a estimar o consumo de energia elétrica do setor residencial são uma aproximação da realidade.

Este estudo, no entanto, apresentou resultados compatíveis com valores encontrados na literatura. A Figura 87 apresenta os percentuais de consumo obtidos neste estudo, no relatório da PPH de 2005 e nos estudos de Fedrigo et al. (2009) e de Achão (2003). No caso do estudo de Achão (2003), os percentuais foram apresentados sob a forma de usos finais e a partir de dados do setor residencial anteriores à PPH de 2005.

Figura 87 – Percentuais de consumo nacionais deste estudo e encontrados na literatura.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os estudos convergem ao apontar os refrigeradores e os chuveiros como grandes consumidores de energia elétrica. Para o caso do estudo de Achão (2003), os refrigeradores estão embutidos no item conservação de alimentos; e os chuveiros, em aquecimento de água. No estudo de Achão (2003), a iluminação obteve o segundo percentual mais elevado (17,2%), o que pode ser explicado pelo maior número de lâmpadas incandescentes na época que foi realizada a estimativa. O método de Achão (2003) estimou o consumo de lâmpadas considerando-as todas incandescentes, com potência de 60W.

No caso de ares condicionados, fica perceptível o quão destoante é o percentual de consumo apresentado no relatório da PPH de 2005 (20%). No presente estudo, o percentual de consumo de ares condicionados foi de 3,18%; no de Fedrigo et al. (2009), foi de 2%. No estudo de Achão (2003), o percentual para condicionamento ambiental foi de 11,2%, mas considerou também o consumo dos ventiladores. O relatório da PPH não disponibilizou o método utilizado para estimar o consumo dos ares condicionados, mas, caso tenha-se utilizado multiplicações da potência elétrica consumida presente nas tabelas do Inmetro pelos tempos de uso dos ares condicionados, isso poderia explicar o consumo elevado. O ar condicionado com controle de temperatura não refrigera ou aquece a todo o momento, e sim conforme a necessidade, baseado na temperatura do ambiente e de *setpoint*. Assim, multiplicar a potência pelo tempo seria assumir sua operação durante todo o período, o que aumentaria o consumo. Caso tenham sido usados os consumos específicos das tabelas do Inmetro, 20% ainda seria um percentual elevado.

No caso de televisores, o percentual de consumo deste estudo foi superior aos demais (14,75%), embora esteja próximo ao estimado por Fedrigo et al. (2009) (12%). O percentual dos congeladores ficou bastante próximo entre os estudos, em torno de 5%, e o dos micro-ondas e das máquinas de lavar obtiveram percentuais abaixo de 3%.

No entanto, um comportamento atípico que ocorreu nas estimativas regionais deste estudo foi a aparência de “escada” dos percentuais agregados dos nove equipamentos entre as regiões. No Sul, os nove equipamentos representaram um percentual de 97,82% do consumo total de energia elétrica do setor residencial; no Sudeste, representaram 82,06%; no Centro-Oeste, 78,39%; no Nordeste, 74,90%; e, no Norte, 66,44%. Esse percentual agregado mais baixo à medida em que se considera regiões com climas mais quentes está relacionado, entre outros fatores, com a redução do consumo dos chuveiros elétricos, cujo percentual no Sul foi de 33,76%, no Sudeste foi de 23,78%, no Centro-Oeste foi de 22,75%, no Nordeste foi de 26,74% e no Norte foi de 0,50%.

Outro fator importante foi a não consideração do clima nas estimativas de consumo de refrigeradores e congeladores. Os resultados do estudo de Cardoso (2012), apresentados no item 2.2, demonstraram que o consumo unitário dos modelos de refrigeradores de uma porta apresentaram diferenças de 55% entre as regiões Sul e Norte. O consumo unitário desses modelos aumentou entre as regiões na seguinte ordem: Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e Norte. Isso indica que, se considerado o clima na estimativa de consumo de refrigeradores e congeladores, a partir de metodologia que ainda precisa ser desenvolvida, o formato de “escada” das proporções de consumo regionais apresentadas na Figura 81 poderia ser atenuado.

Quanto à utilização do método *bottom-up*, demonstrou-se que é possível estimar o consumo de energia elétrica de oito dos nove equipamentos apenas com a base de dados da PPH e com os valores das tabelas do Inmetro. A exceção foi os ares condicionados, que necessitaram de informações de outras fontes para modelar o módulo de referência. Porém, essas informações estavam disponíveis na literatura e não foi uma tarefa complexa encontrá-las. Assim, uma das principais desvantagens desse método em relação ao *top-down*, de que necessitaria de muitos dados técnicos vindos de diferentes fontes, foi superada.

Outra desvantagem apontada, da necessidade de se ter de definir padrões de uso representativos, que muitas vezes não correspondem à variabilidade de usos encontradas na realidade, foi resolvida ao se considerar o tempo de uso agregado dos equipamentos, somando-se cada tempo de uso multiplicado pela sua respectiva frequência de uso. Desta forma, o tempo de uso individual de cada equipamento foi considerado. Quanto ao padrão de uso do ar condicionado, a linguagem de programação R permitiu que se modelasse cada caso individualmente, sem a necessidade de se elaborar padrões de uso representativos.

Assim, obteve-se um método *bottom-up* capaz de estimar os usos finais de energia elétrica do setor residencial brasileiro em escala nacional e regional, que considera as informações mais recentes sobre o setor residencial do país e que não necessita da elaboração de generalizações de uso dos equipamentos, excetuando aqueles casos marcados como de uso eventual, cujas informações de padrão e tempo de uso não foram coletadas pela PPH.

Ademais, o método desenvolvido pode servir como uma ferramenta para testar medidas de eficiência energética. Por ser um método *bottom-up* que estima o consumo dos usos finais a partir de características dos domicílios, é possível modificar essas características, como, por exemplo, reduzir a potência dos equipamentos ou aumentar a temperatura de *setpoint* de refrigeração de ares condicionados, para identificar qual o impacto de cada medida no consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro.

5 CONCLUSÕES

Analisar a estrutura do consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro é uma tarefa importante para entender os rumos do consumo energético nesse setor, principalmente em um contexto de preocupações com o aumento do consumo de energia elétrica mundial e seus efeitos sobre o clima. Além disso, a elaboração de estimativas de usos finais de energia elétrica no setor residencial brasileiro pode fornecer informações importantes para auxiliar o planejamento energético nacional.

Neste estudo objetivou-se aplicar o método *bottom-up* para estimar o consumo anual de energia elétrica de usos finais no setor residencial brasileiro, com base nas informações divulgadas pela Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos (PPH), elaborada em 2019. Foram escolhidos nove equipamentos para estimativa de seus consumos: lâmpadas, refrigeradores, congeladores, televisores, chuveiros, micro-ondas, máquinas de lavar roupa, ares condicionados e ventiladores.

Demonstrou-se que o uso da base de dados da PPH e das informações de potência e de consumo específico das tabelas de consumo/eficiência energética do Inmetro fornecem informações suficientes para a estimativa do consumo de oito dos equipamentos analisados, excetuando-se o ar condicionado, que necessitou de informações de vazão de ar obtidas no site de um fabricante, além daquelas características físicas relacionadas à elaboração do módulo de referência do ambiente para as simulações. Embora haja limitações no método e nos dados divulgados pela PPH, as estimativas de percentuais de consumo nacionais são compatíveis às apresentadas por outros estudos, o que demonstra que os percentuais de consumo obtidos podem estar próximos aos valores reais.

Exposta a visão geral do estudo, é possível descrever as seguintes conclusões sobre os resultados obtidos:

Identificou-se o aumento da posse média de micro-ondas e de máquinas de lavar em todas as regiões, se comparados com os valores da PPH de 2005. A posse média de ventiladores aumentou em quatro regiões, com exceção da Sul; para ares condicionados, a única região que não obteve aumento foi a Nordeste. Já a posse média de lâmpadas caiu em todas as regiões, e a de chuveiros elétricos caiu em quatro regiões e manteve praticamente o mesmo valor na Norte. A posse média de congeladores caiu em três regiões, obtendo aumento na Centro-Oeste e Sudeste. A posse média de televisores caiu em três regiões e se manteve praticamente inalterada nas regiões Sudeste e Norte. A posse média de refrigeradores se manteve estável entre as PPHs.

É perceptível a popularização de lâmpadas LED nos domicílios da PPH de 2019, enquanto que as lâmpadas incandescentes foram menos frequentes do que as LED e fluorescentes compactas em todas as regiões. Outra tecnologia que está ficando obsoleta é a de televisores de tubo, que obteve maior percentual no Nordeste, onde um terço dos televisores ainda é desta tecnologia. Para ares condicionados, há o predomínio da tecnologia split, com exceção da região Sudeste, onde 62% ainda é de janela.

Sobre os consumos, demonstrou-se que cinco dos equipamentos analisados representaram 70% do consumo nacional do setor residencial: refrigeradores (22,48%), chuveiros (18,89%), televisores (14,75%), lâmpadas (8,41%) e congeladores (5,44%). Entre as regiões, o percentual de consumo dos chuveiros apresentou a maior variação, de 0,50% no Norte a 33,76% no Sul, seguidos dos ventiladores (de 0,82% no Sul a 12,50% no Nordeste) e ares condicionados (de 2,88% no Sul a 11,82% no Norte). Essas variações evidenciam o papel do clima no consumo desses equipamentos: a região Sul, que possui o clima mais frio, apresentou o maior percentual de consumo para chuveiros (33,76%); as regiões Norte e Nordeste, com climas quentes, apresentaram os maiores percentuais de consumo de ventiladores (12,50%) e ares condicionados (11,82%), respectivamente.

Os resultados significativos de percentual de consumo dos ventiladores nas regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte demonstram a importância do consumo desse equipamento nessas três regiões. O relatório da PPH de 2005, no entanto, não apresentou os percentuais de consumo de ventiladores. Além disso, o percentual de consumo nacional de ares condicionados apresentado no relatório (20%) destoa do percentual estimado neste estudo (3,18%), diferença que aumenta se for considerado o fato de que a posse média de ares condicionados na PPH de 2005 é inferior à da PPH de 2019 em quatro das cinco regiões.

Apesar dos ares condicionados, a comparação entre os percentuais de consumo nacionais estimados neste estudo e os apresentados no relatório da PPH de 2005 demonstraram convergências, como no caso de refrigeradores e congeladores, que obtiveram percentuais semelhantes, e para máquinas de lavar roupa e micro-ondas, que obtiveram os menores percentuais de consumo em ambos os estudos.

Para chuveiros elétricos, o percentual de consumo nacional do relatório é superior ao estimado neste estudo, o que pode ter resultado da redução da posse média entre as PPHs. Para lâmpadas, o percentual de consumo do relatório da PPH também foi superior ao apresentado neste estudo, o que pode ser explicado pela redução da posse média de lâmpadas e pela inserção da tecnologia LED.

Já o percentual de consumo nacional de televisores estimado neste estudo foi superior ao apresentado no relatório da PPH, o que pode ser explicado pelo uso de potências mais elevadas com a popularização de novas tecnologias (LCD/LED e plasma).

O aumento do consumo de televisores leva a uma conclusão importante: nem sempre o avanço tecnológico leva à redução do consumo. Os televisores de tecnologia LCD/LED são mais eficientes do que os de tubo, considerando-se o mesmo tamanho de tela, porém os televisores LCD/LED tendem a ser maiores que os de tubo, e, por isso, consomem mais energia elétrica. Assim, o avanço das tecnologias, que incentiva a popularização de alguns equipamentos e a obsolescência de outros, além das possíveis variações de posse dos equipamentos e de seus padrões de uso, torna necessária a realização constante de estudos como este.

5.1 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

A primeira limitação é do próprio modelo, que necessitou simplificar algumas informações para obter as estimativas. O uso de valores médios de potência, consumo específico, COP, tempo e frequência de uso e de modas de capacidade térmica foram as simplificações utilizadas. Deve-se salientar, no entanto, que os consumos específicos, as potências específicas, as capacidades térmicas e os COPs foram definidos conforme as características coletadas pela PPH, gerando valores que variaram de acordo o tipo de aparelho e suas características físicas.

Outra limitação do modelo está na utilização de equações de determinação de consumo para refrigeradores e congeladores que não consideraram o clima local. Os modelos desenvolvidos por Cardoso (2012) são baseados apenas em refrigeradores de uma porta, anteriores ao ano de 2009 e que não variaram quanto às tecnologias comum ou *frost free*, o que impossibilita a sua adequação ao método apresentado.

Para os ares condicionados, o método evoluiu em relação ao uso de equações, pois utilizou simulações computacionais baseadas no EnergyPlus, que considera arquivos climáticos próprios das cidades brasileiras. Porém, o módulo de simulação utilizado é uma simplificação do que acontece na realidade, uma vez que as informações coletadas dos domicílios da PPH não possibilitam modelar os ambientes de forma precisa, nem seu padrão de uso. Assim, no idf, as paredes internas foram consideradas adiabáticas, não houve os efeitos de trocas de calor entre os ambientes e não foi utilizada a ventilação natural, apenas uma taxa fixa de infiltração. Essas simplificações impediram o acúmulo de calor nas paredes adiabáticas e atenuaram as trocas de

calor com a zona, o que pode ter reduzido o seu consumo. Outras simplificações dizem respeito ao uso de uma área útil única, uma vez que a PPH não perguntou sobre a área dos ambientes, e ao uso de três valores pré-definidos de absorvância para representar os espectros de cores com tonalidades clara, média e escura.

Quanto ao modelo que simula o sistema de ar condicionado, que se baseia em temperaturas de *setpoint* para sua operação, foram consideradas médias das temperaturas utilizadas na hora de ligar o equipamento para estimar a temperatura de *setpoint* daqueles casos que não apresentaram essa informação. Esses casos, que correspondem a 30% dos equipamentos, são para aqueles equipamentos que não possuem o controlador de temperatura, somente o controle mecânico que aciona refrigeração e/ou aquecimento. Desta forma, o PTHP pode não ser o objeto mais adequado para estimar o consumo de energia elétrica desses tipos de equipamentos. Os resultados, no entanto, permitem demonstrar que há grandes variações de consumo entre as regiões geográficas, que o Norte possui percentual de consumo bastante superior ao Sul, e que, diferentemente do que foi apresentado no relatório da PPH de 2005, a região Sul apresentou percentual de consumo baixo, devido ao clima mais ameno.

Para ventiladores, o critério de uso sazonal no Sudeste pode ter reduzido o percentual de consumo em estados com climas mais quentes, como o Rio de Janeiro, cujo ventilador talvez seja utilizado em um número maior de meses. O ideal seria o questionário da PPH ter apresentado uma pergunta relativa a quais meses os ventiladores costumavam ser utilizados.

Além das limitações do modelo, há aquelas relacionadas às informações externas à PPH. Os equipamentos das tabelas do Inmetro, embora sejam os equipamentos cadastrados no PBE e que são vendidos no mercado, não são apresentados conforme sua popularidade de venda. Assim, ao estabelecer as médias de consumo específico e de potência, cada modelo é tratado com o mesmo grau de importância, independente de ele ser ou não mais popular. Como consequência, as potências e consumos específicos utilizados neste estudo podem ser diferentes do que seriam se fossem considerados os modelos de equipamentos elétricos mais populares.

Por fim, há limitações relacionadas aos dados apresentados na PPH. Para televisores e ares condicionados, a classificação de uso eventual fez com que não se coletassem informações sobre o tempo de uso desses equipamentos. O consumo dos casos de uso eventual foi, então, estimado considerando os tempos de uso dos casos que possuíam essa informação, o que pode não refletir o consumo real desses equipamentos. Porém esta é uma aproximação melhor do que não considerá-los na estimativa, uma vez que os entrevistados afirmaram que utilizavam esses equipamentos, através da pergunta sobre suas frequências de uso.

Para as lâmpadas, também há a classificação de uso eventual, mas esta informação está vinculada aos ambientes banheiro e dormitório. Nesses casos, não é possível identificar quais banheiros e dormitórios de uso eventual possui lâmpadas que não são utilizadas em um horário fixo e quais simplesmente não costumam ser ocupados, como, por exemplo, quartos de visita.

As maiores limitações dos dados da PPH, porém, dizem respeito àquelas informações em que o entrevistado não soube ou não quis informá-la (NS/NR). Ao total, 69% lâmpadas não possuíam a sua faixa de potência informada, 18% dos refrigeradores, 30% dos congeladores e 16% dos micro-ondas não possuíam a informação sobre a capacidade de armazenagem, 3% dos televisores não possuíam a faixa de tamanho de tela, 50% dos chuveiros não possuíam a faixa de potência máxima e 9% dos ares condicionados não possuíam a faixa de capacidade térmica.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

1. Neste estudo não foram considerados os efeitos do clima no consumo de refrigeradores e congeladores. Sugere-se, assim, que os próximos trabalhos adequem a equação de determinação de consumo desses equipamentos às características climáticas locais.
2. O modelo proposto considera os valores atuais de posse de equipamentos elétricos. No entanto, a variação de posse média entre as PPHs demonstrou a popularização de alguns equipamentos ou tecnologias e a obsolescência de outros. Sugere-se, então, a elaboração de projeções que visem demonstrar as possíveis variações da estrutura de consumo energético do setor residencial caso as tendências de popularização e obsolescência dos equipamentos ou tecnologias continuassem nos próximos anos.
3. Os resultados demonstraram que os usuários da PPH tendem a ligar o ar condicionado a temperaturas baixas, cuja média variou de 19,6 °C no Sudeste a 21,6 °C no Sul. Um trabalho importante seria estimar o quanto poderia ser economizado de energia elétrica caso fossem utilizadas temperaturas mais altas.
4. As Tabelas de consumo/eficiência energética do Inmetro fornecem as informações dos equipamentos e de suas classes de eficiência energética. Assim, sugere-se que trabalhos futuros estimem o consumo nacional considerando todos os equipamentos como de classe A, seguido de outra estimativa considerando-os todos de classe B e assim por diante, de modo a identificar a energia elétrica possível de ser economizada com a escolha de equipamentos elétricos mais eficientes (classe A), em relação às demais classes.

REFERÊNCIAS

- ACHÃO, C. C. L. **Análise da Estrutura de Consumo de Energia Elétrica pelo Setor Residencial Brasileiro**. Dissertação de Mestrado. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE. **Climatic Data for Building Design Standards. ASHRAE 169 – 2013**. Atlanta, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE PESQUISA - ABEP. **Alterações na aplicação do Critério Brasil, válidas a partir de 01/01/2015**. 2015. Disponível em: <<http://www.abep.org/criterio-brasil>> Acesso em: 30 jul. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE PESQUISA - ABEP. **A ABEP - Critério Brasil**. 2019. Disponível em: <<http://www.abep.org/criterio-brasil>> Acesso em: 30 jul. 2019.
- BALLARINI, I.; CORGNATI, S. P.; CORRADO, V. Use of reference buildings to assess the energy saving potentials of the residential building stock: The experience of TABULA project. **Energy Policy**. v. 68, p. 273–284, 2014.
- BRANDÃO, D, Q. Tipificação e aspectos morfológicos de arranjos espaciais de apartamentos no âmbito da análise do produto imobiliário brasileiro. **Ambiente Construído**, v. 3, p. 35-53, 2003.
- BOOTH, A. T.; CHOUDHARY, R.; SPIEGELHALTER, D. J. Handling uncertainty in housing stock models. **Building and Environment**, v. 48, p. 35–47, 2012.
- BUTTITTA, G.; TURNER, W., J. N.; NEU, O.; FINN, D. P. Clustering of household occupancy profiles for archetype building models. **Energy Procedia**. V. 111, p. 161-170, 2017.
- CARDOSO, R. B. **Estudo dos impactos energéticos dos Programas Brasileiros de Etiquetagem Energética: Estudo de caso em refrigeradores de uma porta, condicionadores de ar e motores elétricos**. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2012.
- CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – CB3E. **Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. 2018.
- CLIMATEONEBUILDING. Repository of free climate data for building performance simulation. Disponível em: <<http://climate.onebuilding.org>>. Acesso em: 25 de Fevereiro de 2020.
- CHENG, V.; STEEMERS, K. Modelling domestic energy consumption at district scale: A tool to support national and local energy policies. **Environmental Modelling & Software**. v. 26, p. 1186-1198, 2011.

CONSUL. Ar condicionado. 2020. Disponível em: <<https://loja.consul.com.br/eletrodomesticos/ar-condicionado?/>>. Acesso em: 25 de Fevereiro de 2020.

ELETROBRÁS. **Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial 2019**: Resumo executivo. 2019a. Disponível em: <<https://eletrobras.com/pt/Paginas/PPH-2019.aspx>> Acesso em: 25 de Fevereiro de 2019.

ELETROBRÁS. **Questionário**. 2019b. Disponível em: <<https://eletrobras.com/pt/Paginas/PPH-2019.aspx>>. Acesso em: 25 de Fevereiro de 2019.

ELETROBRÁS. **Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial 2019**. 2019c. Disponível em: <<https://eletrobras.com/pt/Paginas/PPH-2019.aspx>> Acesso em: 25 de Fevereiro de 2019.

ELETROBRÁS. **Questionário (PDF)**. 2019d. Disponível em: <<https://eletrobras.com/pt/Paginas/PPH-2019.aspx>> Acesso em: 25 de Fevereiro de 2019.

ELI, L. G; KRELLING, A. F.; MENDES, L. S.; SILVA, R. M.; MAZZAFERRO, L.; MELO A. P.; LAMBERTS, R. **Manual de Simulação Computacional de Edifícios com o Uso do Objeto Ground Domain no Programa EnergyPlus - Versão 9.0.1**. Florianópolis, Brasil. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. 2019. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/node/742>> Acesso em: 16 mar. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica**. 2015. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/resenha-mensal-do-mercado-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 15 jul. 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Atlas da Eficiência Energética Brasil 2019**. 2019a. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil-2019>>. Acesso em: 15 jul. 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015**: ano base 2014. 2019b. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 15 jul. 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2019**: ano base 2018. 2019c. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 15 jul. 2019.

ENERGYPLUS. **EnergyPlus**. 2019. Disponível em: <<https://energyplus.net>> Acesso em: 28 jul. 2019.

ENTE NAZIONALE ITALIANO DI UNIFICAZIONE - UNI. UNI/TS11300-1. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale. 2008.

EUROPEAN UNION. **Directive 2012/27/EU of the european parliment and of the council of 25 October 2012 on energy efficiency**. 2012. Disponível em: <<https://eur->

lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:en:PDF> Acesso em: 02 de Maio de 2019.

FEDRIGO, M. S; GONÇALVEZ, G.; LUCAS, P. F.; GHISI, E. **Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro**. Relatório de iniciação científica. Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC, 2009.

FELS, M. F. prism: An Introduction. **Energy & Buildings**. v. 9, p. 5-18, 2086.

FLATICON. Flaticon. 2019. Disponível em: <<https://www.flaticon.com>> Acesso em: 12 de Março de 2020.

GONZALES-MAHECHA, R. E.; LUCENA, A. F. P., GARAFFA, R.; MIRANDA, R. F. C.; CHÁVEZ-RODRIGUEZ, M.; CRUZ, T.; BEZERRA, P.; RATHMANN, R. Greenhouse gas mitigation potential and abatement costs in the Brazilian residential sector. **Energy & Buildings**. v. 184, p. 19-33, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua - PNAD Contínua**. 2019a. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/9173-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios-continua-trimestral.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 12 de Julho de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Reformulação das Pesquisas Domiciliares Amostrais do IBGE**. 2019b. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/metodos-e-classificacoes/outros-documentos/21089-reformulacao-das-pesquisas-domiciliares-amostrais-do-ibge.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 12 de Julho de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua: Notas técnicas**. 2019c. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101650>>. Acesso em: 12 de Julho de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Tabelas: Características gerais dos domicílios**. 2019d. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/condicoes-de-vida-desigualdade-e-pobreza/17270-pnad-continua.html?=&t=resultados>>. Acesso em: 12 de Julho de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2018**. 2019e. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 18 de Junho de 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Síntese de Indicadores Sociais - SIS**. 2019f. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9221-sintese-de-indicadores-sociais.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 23 de Junho de 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Requisitos de Avaliação da Conformidade para Condicionadores de Ar**. Rio de Janeiro, 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Para que serve o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)**. 2012. Disponível em: <<https://www2.inmetro.gov.br/pbe/cartilha.php>>. Acesso em: 02 de Setembro de 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE**. 2019. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/imprensa/releases/PBE.asp>>. Acesso em: 02 de Setembro de 2019a.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Tabelas de consumo/eficiência energética**. 2019b. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>>. Acesso em: 02 de Setembro de 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Registro de Objeto**. 2019c. Disponível em: <<http://registro.inmetro.gov.br/consulta>>. Acesso em: 02 de Setembro de 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **World Energy Outlook**. Paris: International Energy Agency, 2018a. 661 p.

KAVGIC, M.; MAVROGIANNI, A.; MUMOVIC, D.; SUMMERFIELD, A.; STEVANOVIC, Z.; DJUROVIC-PETROVIC, M. A Review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector. **Building and Environment**. v. 45, p. 1683-1697, 2010.

LI X.; YAO, R.; YU, W.; MENG, X.; LIU, M.; SHORT, A.; LI, B. Low carbon heating and cooling of residential buildings in cities in the hot summer and cold winter zone - A bottom-up engineering stock modeling approach. **Journal of Cleaner Production**. v. 220, p. 271-288, 2019.

MATA, E.; KALAGASIDIS, A. S.; JOHNSON, F. Energy usage and technical potential for energy saving measures in the Swedish residential building stock. **Energy Policy**. v. 55 404–414, 2013.

MATA, E.; KALAGASIDIS, A. S.; JOHNSON, F. Building-stock aggregation through archetype buildings: France, Germany, Spain and the UK. **Building and Environment**. v. 81 270–282, 2014.

MATHWORKS. **Simulation and Model-Based Design**. Disponível em: <https://www.mathworks.com/products/simulink.html?s_tid=hp_products_simulink> Acesso em: 30 de Julho de 2019

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e diretrizes gerais**. 2011. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/planejamento-e-desenvolvimento-energetico/publicacoes>>. Acesso em: 02 de Maio de 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Plano Nacional de Energia 2030**. 2007. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/planejamento-e-desenvolvimento-energetico/publicacoes>>. Acesso em: 02 de Maio de 2019.

MURATORI, M; ROBERTS, C. R.; SIOSHANSI, R.; MARANO, V.; RIZZONI, G. A highly resolved modeling technique to simulate residential power demand. **Applied Energy**. V. 107, p. 465-473, 2013.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – PROCEL. **Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso**: Ano base 2005. 2007. Disponível em: <<http://www.procel.gov.br/main.asp?View={4A5E324F-A3B0-482A-B1CD-F75A2A150480}>>. Acesso em: 04 de Setembro de 2019.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – PROCEL. **O Programa**. 2019a. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={921E566A-536B-4582-AEAF-7D6CD1DF1AFD}>>. Acesso em: 04 de Setembro de 2019.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – PROCEL. **Selo Procel**. 2019b. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={88A19AD9-04C6-43FC-BA2E-99B27EF54632}>>. Acesso em: 04 de Setembro de 2019.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – Procel. **Pesquisas de Posse e Hábitos de Consumo de Energia (PPHs)**. 2019. Disponível em: <<http://www.procel.gov.br/main.asp?View={4A5E324F-A3B0-482A-B1CD-F75A2A150480}>>. Acesso em: 30 de Julho de 2019.

RStudio. **Rstudio**. 2019. Disponível em: <<https://rstudio.com/>>

SWAN, L. G.; URGUSAL, V. I. Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, p. 1819-1835, 2009.

SWAN, L. G.; URGUSAL, V. I.; BEAUSOLEIL-MORRISON, I. Occupant related household energy consumption in Canada: Estimation using a bottom-up neural-network technique. **Energy and Buildings**. v. 43, p. 326-337, 2011.

SOTO, A. M.; JENTSCH, M. F. Comparison of prediction models for determining energy demand in the residential sector of a country. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 38-55, 2016.

STREICHER, K. N.; PANDEY, P; PARRA, D.; BURER, M. C.; SCHNEIDER, S.; PATEL, M. K. Analysis of space heating demand in the Swiss residential building stock: Element-based bottom-up model of archetype buildings. **Energy & Buildings**, v. 184, p. 300-322, 2019.

SUMMERFIELD A. J.; LOWE, R. J.; ORESZCZYN, T. Two models for benchmarking UK domestic delivered energy. **Building Research & Information**, v. 38, p. 12–24, 2010.

TEIXEIRA, C. A.; INVIDIATA, A.; SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; FORRATI, M.; LAMBERTS, R. **Levantamento das características de edifícios residenciais brasileiros**.

2015. Disponível em: <[http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Relatorio_Tipologias Residenciais.pdf](http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Relatorio_Tipologias_Residenciais.pdf)> . Acesso em: 15 jul. 2019.

UNITED NATIONS DEVELOPING PROGRAM - UNDP. **Delivering Sustainable Energy in a Changing Climate Strategy**: Note on Sustainable Energy 2017-2021. 2016. Disponível em: <<http://www.un-expo.org/>>. Acesso em: 15 jul. 2019.

UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS - UN DESA. **Energy Statistics Pocketbook 2019**. New York: United Nations, 2019. 78 p.

ZHANG Q. Residential energy consumption in China and its comparison with Japan, Canada, and USA. **Energy and Buildings**, v. 36, p. 1217–1225, 2004.

WANG, D; LANDOLT, J.; MAVROMATIDIS, G.; OREHOUNING, K.; CARMELIET, J. CESAR: A bottom-up building stock modelling tool for Switzerland to address sustainable energy transformation strategies. **Energy and Buildings**, v. 169, p. 9–26, 2018.

WEBER, F. S. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC, 2018.