



PROPOSTA METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DA DEMANDA
RESIDENCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DO DESENVOLVIMENTO
DE UMA CURVA DE CARGA HORÁRIA

Paula Borges da Silveira Bezerra

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Planejamento Energético.

Orientador: André Frossard Pereira de Lucena

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2017

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DA DEMANDA
RESIDENCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DO DESENVOLVIMENTO
DE UMA CURVA DE CARGA HORÁRIA

Paula Borges da Silveira Bezerra

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Examinada por:

Prof. André Frossard Pereira de Lucena, D.Sc.

Prof. Roberto Schaeffer, Ph.D.

Prof. Reinaldo Castro Souza, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
FEVEREIRO DE 2017

Bezerra, Paula Borges da Silveira

Proposta metodológica para avaliação da demanda residencial de energia elétrica através do desenvolvimento de uma curva de carga horária – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

XV, 160 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: André Frossard Pereira de Lucena

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 152-160.

1. Modelo de demanda 2. Residencial 3. Curva de carga.

I. Lucena, André Frossard Pereira de II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético.

III. Título.

“Não se nasce mulher, torna-se.”

Simone de Beauvoir

Às grandes mulheres da minha vida, em especial à minha avó Liege

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à minha família por tornar possível eu estar aqui hoje, pela força e pelo amor. À minha mãe Ligia pelo amor incondicional e à minha irmã Patricia pelas conversas intermináveis e por acreditar em mim sempre e me inspirar. Aos meus sobrinhos, Maria e Pedro, meus novos amores que tornam minha vida mais colorida.

Ao meu marido Fabio agradeço especialmente, por estar presente em todos os momentos e por me ajudar a encontrar minha força até de onde não sabia mais que existia. Pela calma oferecida e toda ajuda no processo do mestrado.

A todos os professores do PPE que me inspiram a cada aula. Em especial ao meu orientador André Lucena pela atenção e disponibilidade ao guiar a minha pesquisa, sanar minhas dúvidas e também minhas inseguranças.

Aos meus amigos de PPE que espero levar para a vida. Aos queridos Fabio e Murilo por tornarem às minhas manhãs mais leves e minhas idas e vindas ao fundão mais divertidas e às queridas Isabela e Cindy por mostrarem que ser neurótica é normal.

A todos os meus amigos que me ajudaram e entenderam as minhas ausências e por todo o carinho recebido. A todos que de alguma forma fizeram com que essa dissertação acontecesse.

Muito obrigada!

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DA DEMANDA
RESIDENCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DO DESENVOLVIMENTO
DE UMA CURVA DE CARGA HORÁRIA

Paula Borges da Silveira Bezerra

Fevereiro/2017

Orientador: André Frossard Pereira de Lucena

Programa: Planejamento Energético

Diante da crescente demanda por eletricidade e das novas tecnologias presentes no setor elétrico, modelos de demanda de energia elétrica se tornam cada vez mais relevantes para o planejamento energético. Nesse contexto, o gerenciamento pelo lado da demanda e as medidas referentes a este estão cada vez mais presentes na operação e no planejamento do setor. O gerenciamento da demanda (GLD) pode ser definido como medidas tomadas no lado do consumidor final a fim de garantir a operação e segurança do sistema de forma ótima. Para que medidas de GLD sejam tomadas e seus impactos conhecidos é preciso que se conheça de forma detalhada o comportamento do consumidor, não só pelo seu total demandado de energia, mas suas variações de consumo ao longo de um dia ou de um ano. Dessa forma, este trabalho desenvolve um modelo de demanda residencial que caracteriza o setor, de forma a entender seu comportamento diário e anual. O trabalho analisa um estudo de caso como forma a validar a proposta metodológica desenvolvida. No estudo de caso medidas de eficiência energética são consideradas e seus impactos avaliados no contexto do setor elétrico brasileiro ao longo de um dia ou um ano.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

PROPOSAL OF METHODOLOGY FOR EVALUATION OF DOMESTIC DEMAND
FOR POWER THROUGH THE DEVELOPMENT OF AN HOURLY LOAD CURVE

Paula Borges da Silveira Bezerra

February/2017

Advisor: André Frossard Pereira de Lucena

Department: Energy Planning

The growing electricity demand combined with the emerging power generation technologies have increased the importance of electric power demand models for the electric planning. In that way, demand side management (DSM) measures are being used more often, in order to guarantee de safety and reliability of the electrical systems. Therefore, the need for studying demand-side management measures has increased in recent years. The use of these measures requires a solid knowledge of consumer behavior with regards to both the total power demand and consumption fluctuations during the day and the year. The present work proposes a domestic power demand model to forecast not only the total power consumption, but also the demand profile during a year and during a day. This work also makes a case study in order to validate the methodology proposed. The work also evaluates how efficiency measures may impact the demand profile during the year and the daily load.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Objetivo	4
1.2	Estrutura do texto	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1	Caracterização do setor residencial	6
2.1.1	<i>Usos finais</i>	13
2.1	Gerenciamento pelo lado da demanda (GLD).....	17
3	MODELOS RESIDENCIAIS DE DEMANDA.....	22
3.1	Modelos residenciais de carga	26
3.1.1	<i>Modelagem top-down de carga</i>	28
3.1.2	<i>Modelagem bottom-up de carga</i>	32
3.2	Aplicação dos Modelos de Carga	41
4	PROPOSTA METODOLÓGICA	47
4.1	Demanda total Bottom-up	50
4.1.1	<i>Modelo</i>	52
4.2	Sazonalidade.....	65
4.2.1	<i>Modelo</i>	66
4.3	Curva de carga diária.....	77
4.3.1	<i>Modelo</i>	79
5	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA: UM ESTUDO DE CASO PARA O BRASIL	82
5.1	Premissas empregadas	83
5.1.1	<i>Premissas socioeconômicas</i>	83
5.1.2	<i>Premissas de ajuste do modelo</i>	86
5.1.3	<i>Refrigeração</i>	89
5.1.4	<i>Iluminação</i>	96
5.1.5	<i>Aquecimento de água</i>	99
5.1.6	<i>Climatização</i>	103
5.1.7	<i>Curva de carga sazonal</i>	109
5.1.8	<i>Curva de carga diária</i>	120
5.2	Resultados.....	122

5.2.1	<i>Refrigeração</i>	122
5.2.2	<i>Iluminação</i>	127
5.2.3	<i>Aquecimento de água</i>	130
5.2.4	<i>Climatização</i>	134
5.2.5	<i>Outros usos</i>	138
5.2.6	<i>Setor residencial agregado</i>	140
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	148
6.1	Propostas de trabalho futuro	150
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	152

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva típica de carga do setor elétrico brasileiro para um dia de verão	4
Figura 2 – Distribuição do consumo de energia no Brasil no ano de 2015	6
Figura 3 - Demanda de energia residencial por uso final	7
Figura 4 - Evolução do consumo dos energéticos no setor residencial	7
Figura 5 - Esquema básico de variáveis que definem o consumo energético residencial e suas interações	8
Figura 6 - Evolução do consumo de energia elétrica na rede e do número de consumidores residenciais	9
Figura 7 - Consumo de energia elétrica por pessoa de acordo com a renda per capita..	10
Figura 8 – Crescimento do número de consumidores residenciais ligados à rede	10
Figura 9 - Evolução do consumo de energia elétrica por consumidor residencial	12
Figura 10 - Consumo residencial: participação dos segmentos de uso final	14
Figura 11 - Consumo mensal de energia elétrica no setor residencial no Brasil.....	15
Figura 12 - Perfil de consumo horário de energia elétrica nas residências brasileiras...	16
Figura 13 - Níveis de ações de Gerenciamento pelo Lado da Demanda.....	19
Figura 14 - Curva anual de duração da carga	27
Figura 15 – Dados de consumo do setor elétrico de forma agregada obtidos diretamente na distribuidora.	29
Figura 16 - Picos médios de energia por dia da semana e por mês	29
Figura 17 - Curvas representativas de carga.....	31
Figura 18 - Participação do consumo de cada uso final, (a) anual.; (b) verão; (c) inverno	34
Figura 19 - Padrão de consumo de energia elétrica (a) e de gás natural (b) no inverno e verão de Hong Kong.....	35
Figura 20 - Consumo típico, por grupos de ocupação doméstica, do consumo elétrico no Reino Unido. Nota: Cenários, de acordo com a atividade exercida por cada morador: a) trabalho em período parcial pela manhã (desocupação entre 9:00 e 13:00), b) período de trabalho integral (desocupação entre 9:00 e 18:00), c) trabalho parcial 2/3 (período de desocupação entre 09:00 e 16:00), d) sem trabalho (N/A), e e) trabalho em período parcial pela tarde (período de desocupação entre 13:00 e 18:00).....	38
Figura 21 - Comportamento da demanda com tarifa única e tarifa diferenciada	39
Figura 22 - Produção de energia eólica vs. consumo de energia num dia quente em Portugal.....	43
Figura 23 - Consumo residencial em dois cenários de projeção de consumo elétrico, de acordo com a situação atual de consumo (BAU - <i>business as usual</i> em inglês) e com medidas de GLD (DSM)	44

Figura 24 - Diagrama de curva de carga inserindo mediadas de resposta de demanda dinâmica (DR)	44
Figura 25 – Distribuição da carga pela tipo de energia gerada ou pela conexão com o grid para o caso sem uso da bateria (a) e com bateria (b)	46
Figura 26 - Fluxograma do modelo proposto	49
Figura 27 - Consumo de energia elétrica de chuveiros elétricos, segundo a classificação do PBE.....	59
Figura 28 - Presença média de aparelhos nas residências brasileiras.....	63
Figura 29 - Demanda mensal de energia elétrica para o setor residencial brasileiro em 2014 e 2015	66
Figura 30 – Quantidade de refrigeradores de acordo com sua frequência de uso.	68
Figura 31 - Quantidade de refrigeradores de acordo com sua frequência de uso.....	68
Figura 32 - Brasil com e sem o uso de horário de verão (HV).....	70
Figura 33 - Alteração da demanda com a entrada do horário de verão (HV).....	71
Figura 34 - Temperatura máxima média medida para o ano de 2014	73
Figura 35 - Frequência de uso de ar condicionado de acordo com o clima	74
Figura 36 - Diagrama do conforto térmico humano	75
Figura 37 – Padrão de sazonalidade calculado e normalizado das regiões do Brasil: (a) Sudeste; (b) Sul; (c) Centro-Oeste; (d) Norte; e (e) Nordeste	76
Figura 38 - Curva de carga diária média no Brasil.....	78
Figura 39 - Distribuição da população brasileira segundo a região em 2005 e 2030.....	83
Figura 40 - Projeção da população brasileira entre 2005-2050.....	84
Figura 41 - Projeção do número de residências no Brasil e da relação habitantes/residência.....	85
Figura 42 - Taxa de eletrificação nas regiões do Brasil	86
Figura 43 - Distribuição do consumo residencial de eletricidade.	87
Figura 44 – Posse de geladeiras e freezers nas regiões brasileiras em 2005	89
Figura 45 - Acréscimo de consumo em relação a refrigeradores de uma porta	91
Figura 46 - Evolução do índice de eficiência dos refrigeradores	91
Figura 47 - Distribuição dos refrigeradores (a) e freezers (b) quanto a sua idade	92
Figura 48 - Evolução da posse de refrigeradores no Brasil	93
Figura 49 - Evolução da posse de freezers no Brasil.....	94
Figura 50 - Evolução do consumo médio de geladeiras e freezers para o cenário base. 95	
Figura 51 - Evolução do consumo médio de geladeiras e freezers para o cenário alternativo	95
Figura 52 -Evolução da posse média de lâmpadas por residência	98
Figura 53 - Distribuição dos chuveiros elétricos de acordo com sua potência.....	100

Figura 54- Percentual de residências com aquecimento de água em 2005 e 2050.....	102
Figura 55 - Participação de SAS no aquecimento de água em 2050 no cenário de base e cenário eficiente.....	103
Figura 56 - Posse de ar condicionado em 2005 nas regiões do Brasil	104
Figura 57 - Participação dos aparelhos de ar condicionado segundo sua potência	105
Figura 58 -- Evolução da posse de aparelhos de ar condicionado nas regiões do Brasil	107
Figura 59 – Temperatura média e pesos sazonais do consumo de eletricidade para Refrigeração nas regiões: (a) Sudeste; (b) Sul; (c) Centro-Oeste; (d) Norte; e (e) Nordeste.....	110
Figura 60 - Pesos sazonais do consumo de eletricidade para Refrigeração no Brasil..	111
Figura 61 - Horário do pôr do sol e pesos do consumo de eletricidade para Iluminação nas regiões: (a) Sudeste, São Paulo (SP); (b) Sul, Joinville (SC); (c) Centro-Oeste, Brasília (DF); (d) Norte, Manaus (AM); e (e) Nordeste, Recife (PE).....	112
Figura 62 - Pesos sazonais do consumo de eletricidade para Iluminação no Brasil	113
Figura 63- Horas ajustadas de uso mensal (HDH) e pesos sazonais do consumo de eletricidade para Aquecimento de água nas regiões: (a) Sudeste; (b) Sul; (c) Centro-Oeste; (d) Norte; e (e) Nordeste	114
Figura 64 - Pesos sazonais do consumo de eletricidade para Aquecimento de água no Brasil.....	115
Figura 65 – Horas calculadas de uso mensal (CDH) e pesos sazonais do consumo de eletricidade para Climatização nas regiões: (a) Sudeste; (b) Sul; (c) Centro-Oeste; (d) Norte; e (e) Nordeste	117
Figura 66 - Distribuição sazonal do uso de Climatização no Brasil.....	118
Figura 67 - Curvas sazonais do consumo de eletricidade para nas regiões: (a) Sudeste; (b) Sul; (c) Centro-Oeste; (d) Norte; e (e) Nordeste.....	119
Figura 68 - Pesos sazonais do consumo de eletricidade para Outros usos em: (a) Sudeste; (b) Sul; (c) Centro-Oeste; (d) Norte; (e) Nordeste; e (f) Brasil	120
Figura 69 - Pesos diário do consumo de eletricidade em: (a) Sudeste; (b) Sul; (c) Centro-Oeste; (d) Norte; (e) Nordeste; e (f) Brasil.....	121
Figura 70 - Consumo residencial do setor de Refrigeração (2005-2050).....	122
Figura 71 - Consumo sazonal do setor de refrigeração no Brasil em 2050.....	123
Figura 72- Participação do setor de refrigeração no consumo total residencial ao longo do ano	124
Figura 73- Consumo diário do setor de refrigeração no Brasil em 2050	125
Figura 74 - Participação do setor de refrigeração no consumo médio residencial ao longo de um dia	126
Figura 75 - Consumo residencial do setor de iluminação (2005-2050)	127
Figura 76 - Consumo sazonal do setor de iluminação no Brasil em 2050	128

Figura 77 - Participação do setor de iluminação no consumo total residencial ao longo do ano	129
Figura 78 - Consumo diário do setor de iluminação no Brasil em 2050	129
Figura 79 - Participação do setor de refrigeração no consumo médio iluminação ao longo de um dia	130
Figura 80 - Consumo residencial do setor de aquecimento de água (2005-2050)	131
Figura 81 - Consumo sazonal do setor de aquecimento de água no Brasil em 2050 ...	132
Figura 82 - Participação do setor de aquecimento de água no consumo total residencial ao longo do ano	133
Figura 83 - Consumo diário do setor de aquecimento de água no Brasil em 2050	133
Figura 84 - Participação do setor de refrigeração no consumo médio de aquecimento de água ao longo de um dia	134
Figura 85 - Consumo residencial do setor de climatização (2005-2050)	135
Figura 86 - Consumo sazonal do setor de climatização no Brasil em 2050	135
Figura 87 - Participação do setor de climatização total residencial ao longo do ano ...	136
Figura 88 - Consumo diário do setor de climatização no Brasil em 2050	137
Figura 89 - Participação do setor de refrigeração no consumo médio de climatização ao longo de um dia	137
Figura 90 - Consumo residencial do setor de outros usos (2005-2050)	138
Figura 91 - Consumo sazonal do setor de outros usos no Brasil em 2050	139
Figura 92 - Participação do setor de outros usos total residencial ao longo do ano	139
Figura 93 - Consumo diário do setor de outros usos no Brasil em 2050	140
Figura 94 - Participação do setor de outros usos no consumo médio de outros usos ao longo de um dia	140
Figura 95 - Consumo residencial total (2005-2050)	141
Figura 96 - Consumo sazonal do setor residencial total em 2050	141
Figura 97 - Consumo diário do setor residencial no Brasil em 2050	142
Figura 98 - Consumo médio diário por residência no Brasil	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Percentual de famílias com acesso a bens de consumo elétricos em 2014	13
Tabela 2 - Participação do consumo final de cada equipamento no consumo total de energia por região	15
Tabela 3 – Tipo de coeficientes utilizados pelo modelo proposto	53
Tabela 4 – Categorização utilizada para o segmento de refrigeração	56
Tabela 5 - Uso do chuveiro elétrico conforme a estação do ano	72
Tabela 6 - Consumo de energia de um ar-condicionado de acordo com a temperatura.	75
Tabela 7 - Consumo de energia elétrica na rede em 2005 de acordo com as regiões	87
Tabela 8 - Participação dos usos finais residenciais no consumo total do setor	88
Tabela 9 - Estimativa de distribuição de refrigeradores conforme seu volume	89
Tabela 10 - Índices mínimos de eficiência das classes de eficiência energética para freezers e refrigeradores	90
Tabela 11 - Volume de geladeiras e freezers nas regiões do Brasil	93
Tabela 12 - Posse média de lâmpadas nas regiões brasileiras em 2005	96
Tabela 13 - Potência representativa por tipo de lâmpada.....	96
Tabela 14 - Eficiência das lâmpadas consideradas.....	97
Tabela 15- Horas de uso para iluminação por lâmpada	97
Tabela 16- Participação das tecnologias de aquecimento de água nas residências brasileiras em 2005	100
Tabela 17 - Potência média de chuveiros elétricos de acordo com a região	101
Tabela 18 - Tempo médio de banho quente por ano em cada região	101
Tabela 19 - Índices de eficiência de acordo com o programa de etiquetagem brasileiro para modelos de ar condicionado tipo janela.....	104
Tabela 20 - Índices de eficiência de acordo com o programa de etiquetagem brasileiro para modelos de ar condicionado tipo split	105
Tabela 21- Características dos aparelhos de ar condicionado residencial.....	106
Tabela 22 - Média de horas de uso de ares condicionados ao longo do ano	106
Tabela 23 - Comparação entre o consumo total energético de todos os setores no Brasil	143
Tabela 24 - Participação dos usos finais elétricos em 2005 e 2050	144
Tabela 25 - Participação dos usos finais elétricos em janeiro de 2005 e 2050.....	145
Tabela 26 - Participação dos usos finais elétricos em julho de 2005 e 2050	145
Tabela 27 - Participação no consumo dos usos finais elétricos às 19:00 hrs sem variação anual	146

Tabela 28 - Participação no consumo dos usos finais elétricos às 19:00 hrs em janeiro	146
Tabela 29 - Participação no consumo dos usos finais elétricos às 19:00 hrs em junho	146

1 Introdução

O modelo tradicional do sistema elétrico brasileiro é caracterizado por grandes usinas de geração de despacho centralizado e longas linhas de transmissão e distribuição. Esse funcionamento tradicional pode estar caminhando para uma dinâmica mais integrada. A tecnologia promove novas oportunidades de integração entre demanda e geração, promovendo uma nova dinâmica emergente, com habilidade de utilização de geração distribuída em pequena escala e oportunidades de gerenciamento remoto de carga (IEA, 2017).

Somado ao advento das novas tecnologias de informação e comunicação, a consciência sobre o uso racional de eletricidade cresce devido à necessidade de combater o aquecimento global, evitar o esgotamento dos recursos e tornar a energia disponível para todos. Assim, novas medidas estão ganhando força através dos acordos de redução e controle de emissões de gases de efeito estufa. A geração por energias renováveis intermitentes deve aumentar sua participação e medidas de controle de demanda, como eficiência energética e medidas de controle de carga, são cada vez mais estimuladas (EIA, 2016).

. Essa entrada de novas tecnologias de geração renovável, aliada a medidas de eficiência energética, faz com que os setores de uso final sejam cada vez mais importantes e influentes na operação do sistema (ARGHIRA et al., 2012). Diante dessa nova realidade, o sistema elétrico caminha para uma nova abordagem, que irá acomodar as novas tecnologias de informação e comunicação, assim como os maiores níveis de geração por fontes intermitentes. Essa abordagem integrada otimiza o funcionamento do sistema para uma demanda crescente esperada (IPAKCHI; ALBUYEH, 2009); (ARTECONI et al., 2013).

A lógica de planejamento integrado requer uma visão do consumidor como parte ativa do sistema. Neste contexto, modelos de demanda e de sua curva de carga se tornam mais importantes (MOHSENIAN-RAD et al., 2010). Os dados de carga são cruciais para planejar redes de distribuição de energia elétrica e a capacidade de geração ótima. O conhecimento exato das cargas do consumidor doméstico é importante para o planejamento de redes de média e baixa tensão em áreas residenciais e para entender a dinâmica entre a geração intermitente e os momentos de maior consumo, garantindo a segurança do sistema diante da alta participação deste tipo de fonte (PAATERO;

LUND, 2006 e MOURA; ALMEIDA, DE, 2010). A essa lógica de planejamento, que foca em medidas para reduzir ou alterar o perfil de consumo de energia dos usuários, dá-se o nome de gerenciamento pelo lado da demanda (GLD).

Tradicionalmente, o gerenciamento pelo lado da demanda é associado a medidas tomadas a partir das distribuidoras de modo a garantir o *modus operandi* do sistema elétrico tradicional. Segundo definição de GELLINGS (1985), GLD é qualquer medida tomada pelo lado da demanda que altere a curva de carga do sistema. WARREN (2014) propõe uma definição mais ampla de GLD que inclua os atuais objetivos políticos para a redução das emissões, a segurança energética e a acessibilidade e que englobe questões de eficiência energética, resposta dinâmica da demanda e a geração e armazenamento local. Para o autor, GLD pode ser definido como qualquer medida que garanta o atendimento da demanda atual usando uma alternativa mais barata para as distribuidoras de energia e para os consumidores do que a adição de nova geração de capacidade.

Diversas podem ser as formas de transformação da curva de carga provocadas pelo GLD, como redução ou deslocamento do pico de carga (momento em que ocorre uma subida abrupta da demanda energética). As medidas adotadas englobam desde eficiência energética até o uso de tarifação inteligente sobre os horários do dia com maior demanda. Planejar o sistema pelo lado da demanda pode ser mais em conta do que construir novas plantas de geração para atendimento apenas no pico, ou instalar equipamentos de armazenamento de energia para serem usados em horários de maior consumo (GELLINGS, 1985).

A crescente participação das fontes de energia renováveis descentralizadas exige sistemas mais flexíveis e possibilidades de gerenciar o lado da demanda, de modo a corresponder ao crescente fornecimento intermitente. O uso de *smart-grids* e medidores inteligentes pode ajudar nesse planejamento (IEA, 2017).

A demanda e o nível de carga horário ou mensal dependem de diversos fatores, como fatores climáticos, econômicos e culturais, que influenciam no comportamento do consumidor. A modelagem da curva de carga torna possível entender quais as variações e tendências esperadas para a demanda elétrica ao longo de um ano ou para o planejamento de longo prazo. Planejar o sistema elétrico não apenas pelo mapeamento do consumo energético, mas também pelo mapeamento da curva de carga traz diversos aspectos positivos para a operação e distribuição do sistema. O conhecimento da demanda horária de energia elétrica permite que se realize uma previsão de contratação

de demanda, principalmente na ponta, buscando maior eficiência do sistema e garantia o suprimento seguro e confiável da rede (QUEIROZ, 2011).

Do ponto de vista da geração, a carga horária de eletricidade tem impactos na integridade do sistema e na sua confiabilidade, assim como no planejamento de expansão. A curva de potência diária requerida determina a necessidade de despacho de térmicas e da geração através de fontes de energia renováveis. Diversos modelos de demanda e do comportamento da carga têm sido desenvolvidos de forma a analisar o papel das medidas de GLD na realidade atual dos sistemas elétricos, como PINA et al. (2012), TSO; YAU (2003) e WIDÉN et al. (2010).

No Brasil, o potencial de entrada de fontes intermitentes, assim como o maior estímulo a geração distribuída e o esperado aumento da demanda de energia, fazem com que a preocupação sobre a carga do sistema elétrico também se faça presente (EPE, 2015a).

Ao olharmos a curva de carga no Sistema Interligado Nacional (SIN), percebemos que a maior variação de carga ao longo do dia ocorre para os setores residencial e comercial e outros. Assim, o uso de medidas de GLD nesses setores pode se mostrar uma boa oportunidade de redução de consumo (Figura 1).

Prever o consumo de energia em residências é um aspecto importante na gestão de energia da rede, já que o consumo no setor residencial representa uma porcentagem significativa na demanda total de eletricidade. O desenvolvimento da rede inteligente não é possível sem uma boa previsão de consumo de energia. A tendência hoje em dia é obter a previsão de consumo de energia não apenas no nível da residência, mas no nível de eletrodomésticos (ARGHIRA et al., 2012).

O setor residencial é caracterizado por um tipo de consumo heterogêneo e que apresenta inúmeras barreiras em sua modelagem. Esse setor depende tanto de variáveis socioeconômicas e climáticas como de variáveis comportamentais, que possuem uma alta complexidade de modelagem. Esse setor foi responsável por 27% do consumo total de eletricidade em 2015 e ainda apresenta um grande potencial de crescimento diante das esperadas mudanças demográficas e de crescimento do país. É esperado um aumento de aproximadamente 50% do consumo residencial de energia elétrica até 2024 (EPE, 2015a).

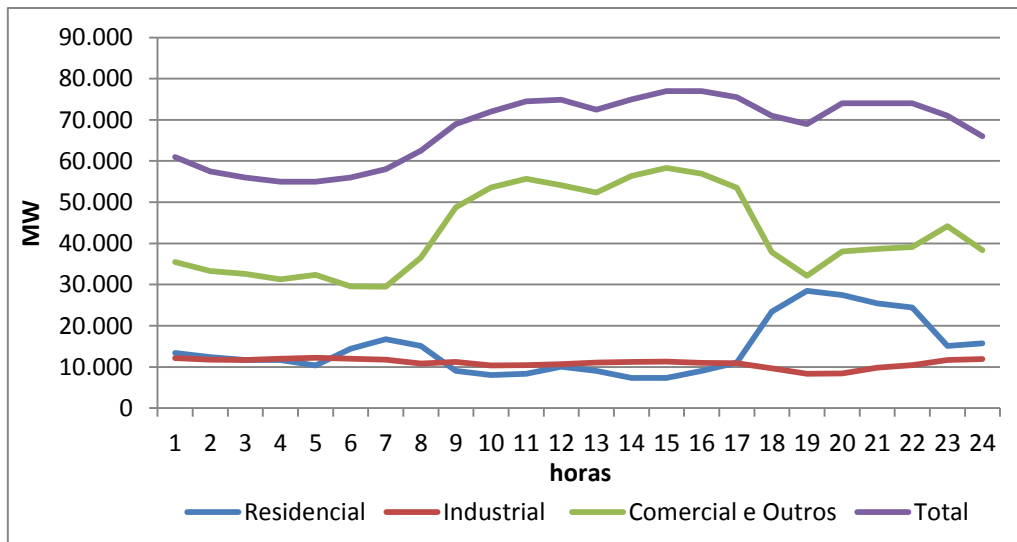


Figura 1 - Curva típica de carga do setor elétrico brasileiro para um dia de verão

Fonte: Elaboração própria com base em ELETROBRAS/PROCEL (2009), EPE (2015b), ANEEL (2012)

Assim, modelar o consumo elétrico residencial brasileiro, assim como suas variações ao longo de um ano e ao longo do dia pode ser de suma importância para a avaliação dos impactos de algumas medidas de GLD no Brasil, assim como para entender melhor o potencial da geração distribuída em algumas regiões e outras iniciativas diversas.

1.1 Objetivo

Diante do exposto, esta dissertação tem por objetivo propor uma metodologia de avaliação da demanda de energia residencial no Brasil levando em consideração as variações sazonais e diárias da demanda a partir da construção de um modelo. O modelo proposto descreve o setor residencial brasileiro a partir de uma caracterização detalhada da demanda de cada uma das suas cinco regiões geográficas. O modelo ainda segmenta a demanda de acordo com os principais usos finais de energia elétrica das residências brasileiras e permite fazer projeções de demanda de curto e longo prazo, acompanhadas de curvas de carga que descrevem como a potência demandada varia ao longo de um dia, nos diferentes meses do ano.

Para a construção do modelo proposto foi utilizado o *software Microsoft Excel*. O modelo é baseado na construção da demanda energética total anual através da abordagem detalhada de variáveis pertinentes para cada uso final e variáveis socioeconômicas. A partir do total de energia calculado o consumo é segmentado de

acordo com o mês do ano e a hora do dia. Assim, é possível entender o comportamento do consumo residencial e sua característica oscilatória.

1.2 Estrutura do texto

O presente trabalho foi estruturado em 6 capítulos. O capítulo de introdução expõe a contextualização do tema e o objetivo do trabalho. Após o capítulo introdutório, o Capítulo 2 apresenta o setor residencial brasileiro, suas características e particularidades. Também neste capítulo é apresentado e definido o gerenciamento pelo lado da demanda e sua importância no setor residencial. Em seguida, o Capítulo 3 aborda os tipos de modelo residencial existentes e alguns exemplos de trabalhos que utilizam a carga como um fator adicional de variação do modelo.

O Capítulo 4 detalha a metodologia proposta, segmentado em modelo de energia total e a proposta metodológica utilizada para contruir a carga anual e a carga diária de cada um dos usos finais. No capítulo 5 será apresentado um estudo de caso para a validação do modelo proposto. Este capítulo estará explicitando as premissas utilizadas e também aos resultados encontrados no estudo de caso.

Por fim, as conclusões e algumas considerações finais e propostas de trabalho futuro estão documentadas no Capítulo 6 do presente estudo.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Caracterização do setor residencial

O setor residencial brasileiro respondeu em 2015 por aproximadamente 11% do consumo total de energia e 27% do total de energia elétrica consumida na rede. O setor industrial correspondeu ao maior consumo neste mesmo ano, conforme Figura 2 (EPE, 2016a).

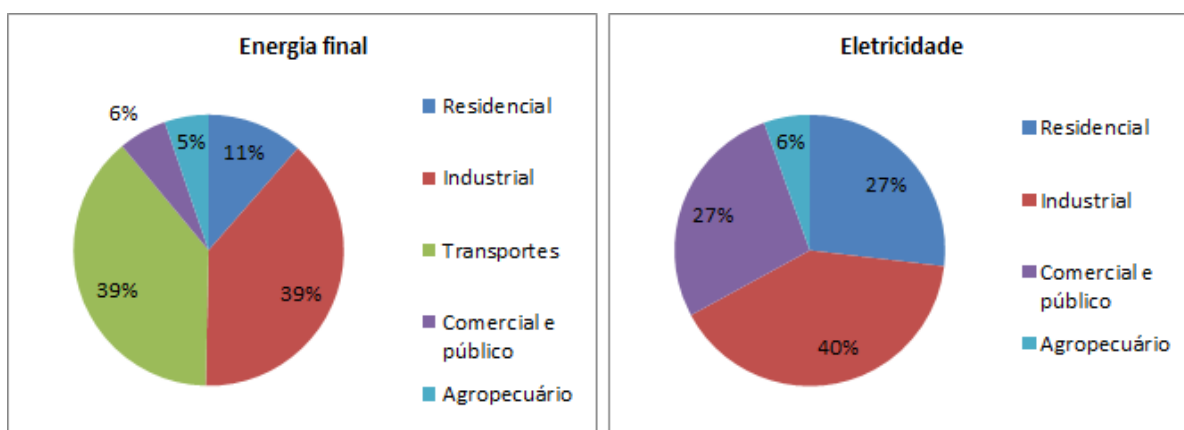


Figura 2 – Distribuição do consumo de energia no Brasil no ano de 2015

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de EPE (2016a)

O consumo energético residencial no Brasil é majoritariamente abastecido com eletricidade, que correspondeu a 45,2% do total de energia do setor em 2015. Diversas fontes energéticas podem suprir as diferentes necessidades domésticas (Figura 3). A escolha da melhor fonte energética depende não só do objetivo do consumo e das tecnologias disponíveis para esse como depende também de escolhas pessoais, como preferência por uma tecnologia e da disponibilidade tecnológica e de infraestrutura presentes na região. Para uso final no aquecimento de água, o abastecimento por gás natural depende de uma infraestrutura pré-existente de gasodutos de distribuição na região, e que a residência esteja adequada para esse fim, o chuveiro elétrico necessita apenas da eletrificação, que alcança mais brasileiro atualmente. Em 2014 praticamente todas as residências brasileiras tinham acesso à rede elétrica, enquanto apenas 4% tinham acesso a rede de distribuição de gás natural (IBGE, 2014, ABEGAS, 2017).

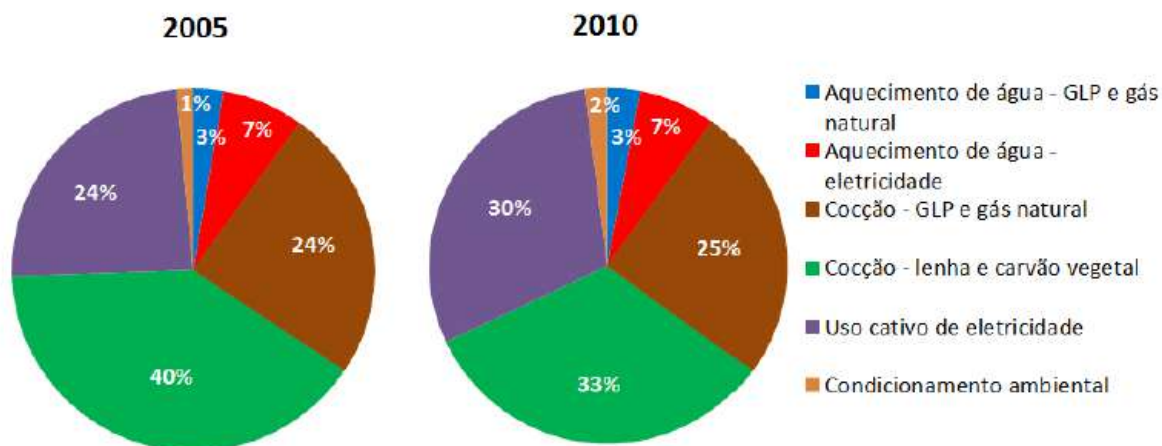


Figura 3 - Demanda de energia residencial por uso final

Fonte: EPE (2014)

Ao longo dos últimos anos, fontes como a lenha e o carvão vêm perdendo participação e o uso da eletricidade ganha cada vez mais importância como principal forma de energia utilizada nas residências, segundo EPE (2016a). Em 2005 a lenha e o carvão vegetal representavam 40%, sendo a lenha responsável por 38%, enquanto a eletricidade representava 32%. A partir de 2007, observou-se uma mudança em relação às fontes mais utilizadas, com maior espaço para o consumo elétrico. Em 2010, por exemplo, o consumo de eletricidade correspondeu a 39%, enquanto a lenha contribuiu com 31%. No ano de 2015, a eletricidade respondeu por 45,2% do consumo energético residencial, enquanto a lenha passou a ser responsável por apenas 25,4%, perdendo espaço, inclusive para o GLP, com 26,2% (Figura 4).

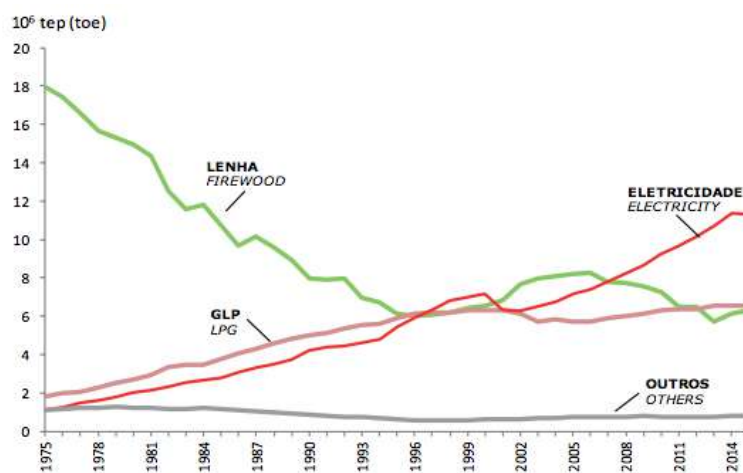


Figura 4 - Evolução do consumo dos energéticos no setor residencial

Fonte: EPE (2016a)

Caracterizar o setor residencial de consumo é uma tarefa complexa, já que se trata de um setor heterogêneo, composto de pequenas unidades distintas com padrões de consumo influenciados por fatores difíceis de mensurar, como fatores comportamentais (SCHAEFFER; et al., 2009). Em função da sua contribuição no consumo energético e de seu crescimento constante na última década, a caracterização desse setor tornou-se um desafio de grande importância. Conhecer o setor residencial torna possível realizar projeções de demanda, consumo e potencial de economia de energia, possibilitando o correto direcionamento de planos de ação dos gestores responsáveis (MORISHITA, 2011).

Diversos são os fatores que podem influenciar e explicar a demanda de energia elétrica no setor residencial. Esses fatores podem estar relacionados tanto a variáveis macroeconômicas, amplamente analisadas e modeladas, como a variáveis comportamentais, mais complexas de prever, além de outras tantas variáveis, como fatores climáticos. A Figura 5 mostra a rede de interações entre diversos fatores que influenciam o consumo doméstico. Percebe-se o quanto pode ser complexa a tarefa de caracterizar o consumo de uma residência, assim como analisar a correlação dos fatores que influenciam neste consumo (MORISHITA, 2011).

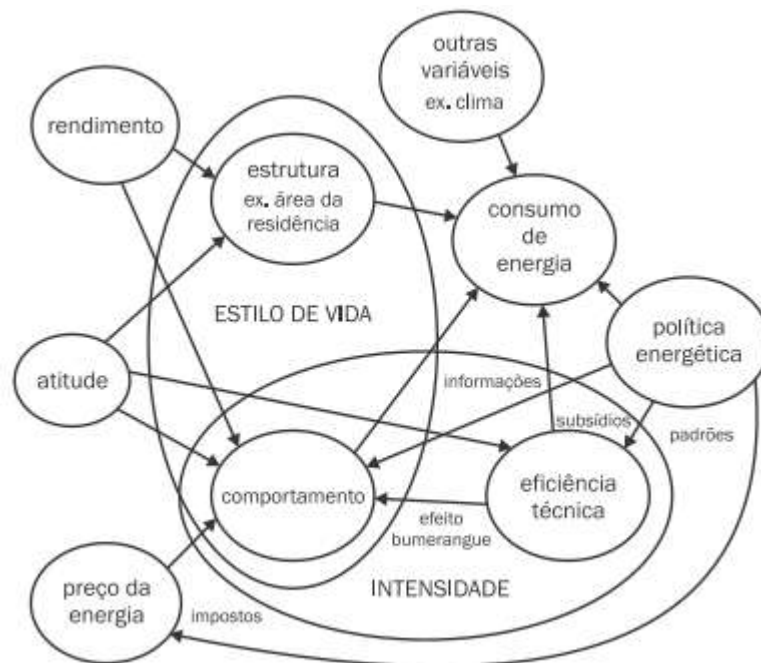


Figura 5 - Esquema básico de variáveis que definem o consumo energético residencial e suas interações

Fonte: Morishita (2011)

Entender a relação das variáveis apresentadas no esquema acima e sua evolução leva à compreensão da trajetória de crescimento do consumo de energia para uma residência. A adequada interpretação desses dados permite ainda estimar o potencial de crescimento dessa demanda e planejar um atendimento adequado a essa projeção.

A demanda por eletricidade no setor residencial vem crescendo ao longo dos anos no Brasil, com um aumento de 52% nos últimos 10 anos, passando de 86 TWh em 2006 para 131 TWh em 2015 (EPE, 2016b).

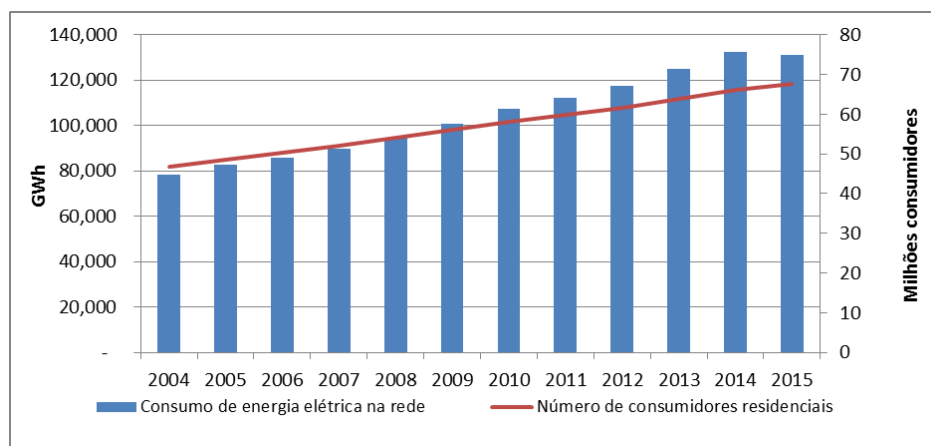


Figura 6 - Evolução do consumo de energia elétrica na rede e do número de consumidores residenciais

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de EPE (2016b)

Comparado a outros países, o Brasil ainda possui um baixo consumo de energia elétrica per capita (Figura 7). Este fato, aliado a projeções de crescimento populacional, aumento de número de domicílios e de renda da população, mostra que a demanda elétrica residencial brasileira tem enorme potencial de crescimento. A evolução desse consumo dependerá da combinação das variáveis supracitadas (EPE, 2014b).

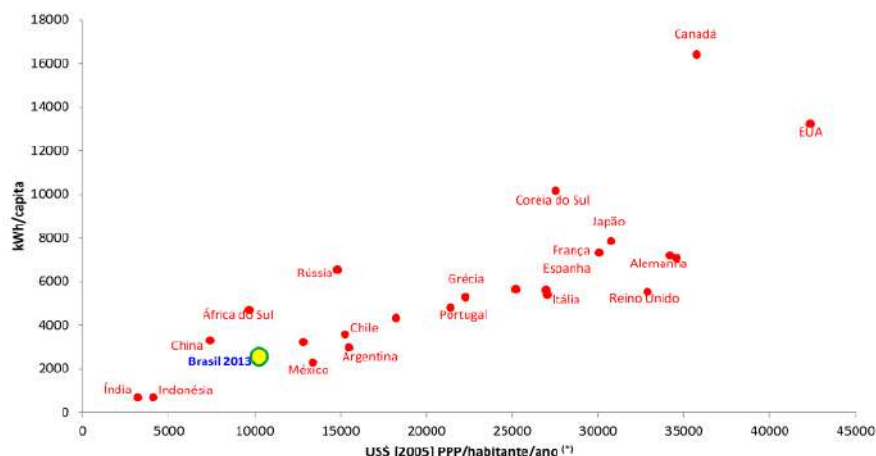


Figura 7 - Consumo de energia elétrica anual por pessoa de acordo com a renda per capita

Fonte: EPE (2014b)

Entre janeiro de 2006 e dezembro de 2015, o número de consumidores residenciais ligados à rede cresceu em torno de 39%, atingindo 67 milhões de unidades domiciliares. Em determinadas regiões do país esse crescimento superou 50%, como nas regiões Norte, 65%, e Nordeste, 62% (EPE, 2016b).

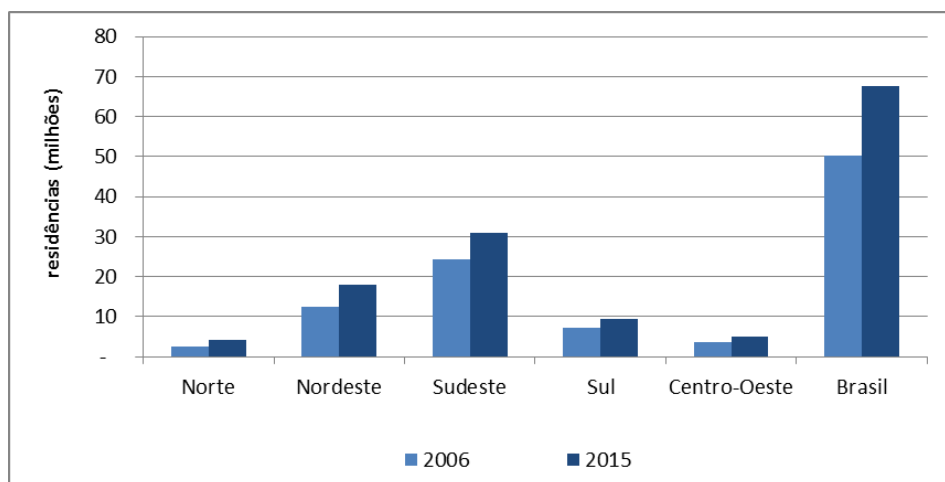


Figura 8 – Crescimento do número de consumidores residenciais ligados à rede

Fonte: Elaboração própria a partir de EPE (2016b)

O aumento do número de domicílios ligados à rede se deve ao próprio aumento populacional e de número de residências, além do aumento da taxa de eletrificação nacional, estimulado pelo programa Luz para Todos, que levou energia elétrica a mais de 3 milhões de famílias (MME, 2017). De acordo com dados do IBGE (2013), a população brasileira em 2000 era de 173 milhões de habitantes, chegando a 195 milhões na contagem de 2010, um crescimento de 13%. É esperado que ocorra um aumento populacional de 0,5% a.a. entre 2010 até 2042, quando se prevê o máximo demográfico

- aproximadamente 228 milhões de habitantes. O número de domicílios também registrou aumento no período entre 2000 e 2010. Este aumento, de aproximadamente 27%, resultou na marca de 57 milhões de domicílios no fim do período (IBGE, 2010). Destes, 98,6% tinham acesso à energia elétrica, enquanto em 2000, apenas 93,5% dos domicílios contavam com energia elétrica (PNUD, 2013).

O aumento de residências nos últimos anos apresentou taxas maiores que o aumento populacional. Pode-se presumir, portanto, que o perfil de residências brasileiras sofreu alterações ao longo do período de tempo em questão. Em 2000, uma residência tinha em média 3,8 habitantes, enquanto em 2010 esse número caiu para 3,2. A continuar esta tendência, espera-se que no Brasil existam 2,9 habitantes por domicílio em 2024, fazendo com que a taxa esperada de crescimento do número de residências continue ainda maior que taxa de aumento populacional (EPE, 2015c).

ACHAO (2009) decompõe o consumo elétrico em 3 efeitos: efeito atividade, efeito intensidade e efeito estrutura. Segundo a autora, as variações observadas no consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro decorrem principalmente do aumento no número de consumidores (efeito atividade positivo) e de alterações no consumo específico de energia elétrica nos domicílios (efeito intensidade). O efeito estrutura, definido pela mudança da participação de classes sociais e regiões no consumo total, se mostrou pouco relevante para explicar as alterações de consumo observadas no setor residencial.

Ainda na análise realizada por ACHÃO (2009), observou-se que as variações de consumo específico estão relacionadas à renda e ao acesso a crédito. As duas variáveis são extremamente relevantes para a definição do comportamento do consumo elétrico residencial. Em momentos de expansão da economia, aumento de renda e o fácil acesso a crédito, observou-se maior uso da energia elétrica nos domicílios (efeito intensidade positivo). Esse cenário cria condições para a aquisição de novos equipamentos e para o pagamento das tarifas de consumo. Por outro lado, em períodos recessivos, quando se verificaram altas taxas de inflação, queda no rendimento dos domicílios e, muitas vezes, elevações nas tarifas de energia elétrica, o uso da energia nos domicílios não era favorecido (efeito intensidade negativo).

Mais recentemente, no período entre 2005 e 2015, o consumo médio mensal por unidade residencial ligada a rede passou de uma média de 144 kWh/residência para 164 kWh/residência. Na região Norte foi observado o maior crescimento, chegando a uma

média mensal no ano de 2015 de 187 kWh/consumidor (Figura 9). Conclui-se que, neste período, o padrão de consumo residencial também teve uma modificação no seu perfil, efeito intensidade, que se combinou aos já mencionados crescimento demográfico e aumento de acesso à rede elétrica, efeito atividade (EPE, 2016b).

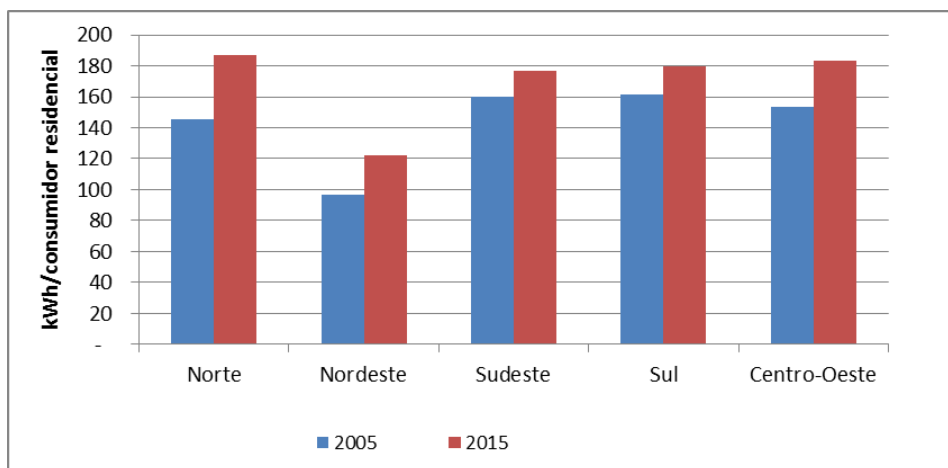


Figura 9 - Evolução do consumo de energia elétrica por consumidor residencial

Fonte: EPE (2016b)

COHEN et al. (2005) avaliou a influência da renda familiar no consumo direto de energia. A autora observou que a relação entre esses fatores era elástica, porém, até certo ponto. De acordo com sua análise, o aumento na renda familiar leva ao aumento no consumo energético, até um nível de saturação, no qual, ainda que se aumente a renda o consumo energético não irá aumentar na mesma proporção ou em uma proporção maior.

Um dos fatores relacionados à renda é a posse de equipamentos. Quanto maior a renda maior a tendência de aquisição de equipamentos elétricos, especialmente equipamentos não essenciais, como freezer e máquina de lavar roupa. Equipamentos considerados primordiais para as famílias apresentam altas taxas de participação em lares no Brasil independente da faixa de renda, como é o caso da televisão, geladeira e fogão. A presença desses equipamentos nas residências varia em menos de 9% para os diferentes níveis de renda domiciliar. Porém, outros equipamentos, considerados menos importantes, como freezer e máquina de lavar roupa, têm variações que podem chegar a 50% conforme o rendimento mensal (Tabela 1) (IBGE, 2014).

Tabela 1- Percentual de famílias com acesso a bens de consumo elétricos em 2014

Equipamento	Total	Classes de rendimento mensal domiciliar (salário mínimo)								
		Até 1	Entre 1 e 2	Entre 2 e 3	Entre 3 e 5	Entre 5 e 10	Entre 10 e 20	Mais de 20	Sem rendimento	Sem declaração
Fogão	98,8%	95,8%	98,6%	99,1%	99,6%	99,8%	99,8%	99,9%	94,9%	99,1%
Televisão	97,1%	91,5%	96,2%	97,8%	98,7%	99,1%	99,5%	99,8%	91,4%	98,0%
Geladeira	97,6%	91,1%	96,7%	98,4%	99,4%	99,7%	99,9%	99,9%	91,6%	97,9%
Freezer	16,5%	6,8%	10,4%	14,0%	18,0%	24,2%	31,9%	41,2%	7,6%	21,8%
Máquina de Lavar roupa	58,7%	24,1%	38,3%	54,2%	70,5%	85,1%	92,4%	96,4%	43,5%	75,0%

Fonte: Elaboração própria baseado em dados de IBGE (2014)

A presença dos equipamentos nas residências, contudo, não é o único fator que define o consumo energético. A forma de uso e as tecnologias utilizadas também ajudam a entender a demanda. Tais fatores não estão relacionados somente a renda. Fatores como frequência de uso, por exemplo, dependem das tarifas de energia elétrica aplicadas no momento do uso (ACHAO, 2009).

Desse modo, o aumento da renda é apenas um aspecto de muitos na evolução do consumo específico das famílias nos últimos anos. O comportamento do consumidor residencial depende de inúmeros outros fatores, o que torna sua caracterização uma tarefa complexa.

2.1.1 Usos finais

O consumo residencial de eletricidade é heterogêneo, pois pressupõe o uso energético para diferentes tipos de usos finais, para diferentes tipos de famílias. Enquanto energéticos como lenha, carvão e gás são utilizados com frequência na cocção de alimentos e aquecimento de água, a eletricidade pode ser responsável por todos os setores de consumo doméstico. A energia elétrica pode ser utilizada para diversos fins, desde iluminação até cocção, apesar de este último uso ainda ser incomum no Brasil. Em função dessa diversidade de aplicações, governadas por demandas completamente distintas entre si, a modelagem da utilização residencial de energia elétrica torna-se uma tarefa complexa.

Observando a segmentação do consumo residencial brasileiro em 2005, segundo pesquisa de hábitos de consumo realizada pelo PROCEL (2007) se percebe quatro segmentos principais de consumo: iluminação, refrigeração, aquecimento de água e climatização. A maior participação de consumo naquele ano foi proveniente do uso do chuveiro elétrico, 24%, seguido da geladeira, 22%, conforme Figura 10.

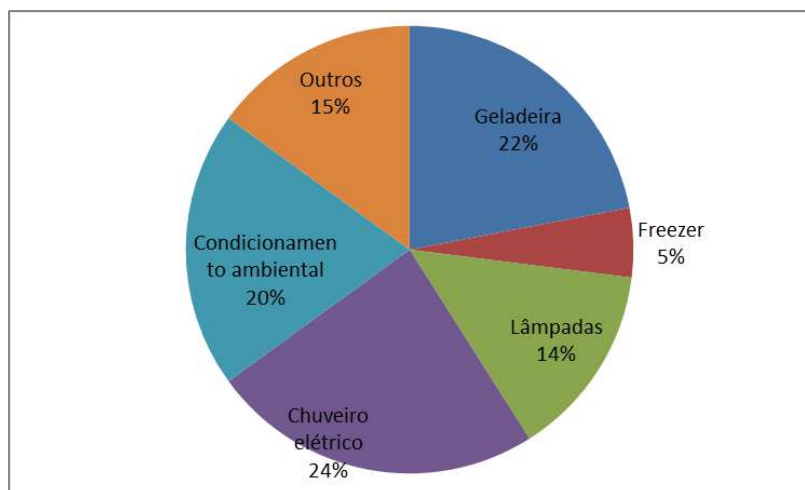


Figura 10 - Consumo residencial: participação dos segmentos de uso final

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de PROCEL (2007)

Esse padrão de participação sofre inúmeras variações entre cada uma das regiões do Brasil. O consumo de eletricidade depende não só de fatores socioeconômicos e demográficos, mas também de fatores culturais e climáticos. Sendo o Brasil um país com dimensões geográficas continentais, existe uma grande variação de consumo entre as regiões. A participação do consumo nas regiões brasileiras está mostrada na Tabela 2. Enquanto nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste, o chuveiro elétrico representa o aparelho que mais consome energia elétrica individualmente, no Norte ele representa somente 2% do consumo total.

Tabela 2 - Participação do consumo final de cada equipamento no consumo total de energia por região

Região - >						
Equipamento	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	Norte	Nordeste	Brasil
Geladeira	22%	16%	24%	25%	29%	22%
Freezer	5%	7%	4%	4%	5%	5%
Lâmpadas	19%	8%	12%	14%	11%	14%
Chuveiro elétrico	26%	25%	28%	2%	9%	24%
Condicionamento ambiental	11%	32%	18%	40%	27%	20%
TV	10%	7%	7%	9%	11%	9%
Som	3%	3%	3%	3%	5%	3%
Ferro	3%	2%	3%	3%	3%	3%
Lava-roupa	1%	-	1%	-		

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de PROCEL (2007)

Não se pode afirmar que o padrão de consumo apresentado acima é uniforme ao longo do ano (Figura 11). No Brasil, em geral, os meses de janeiro e fevereiro, são os responsáveis por um maior consumo. Os meses de junho e julho, no entanto, apresentam os menores valores de demanda elétrica (EPE, 2016b).

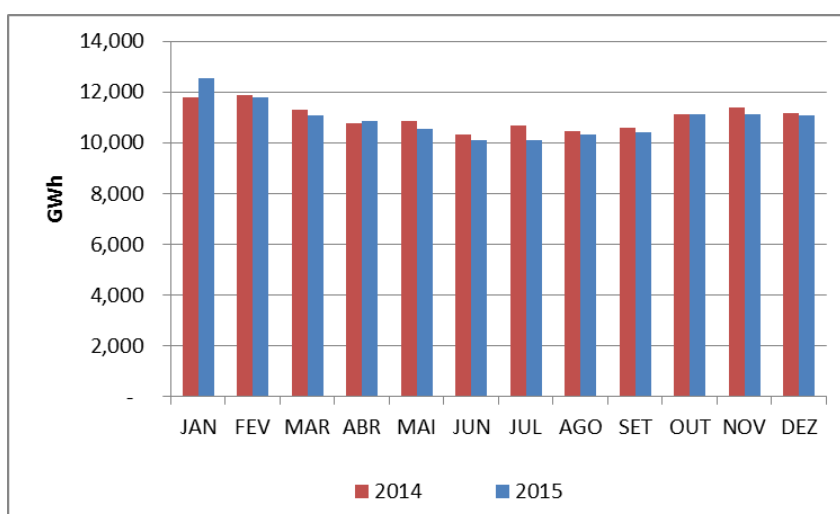


Figura 11 - Consumo mensal de energia elétrica no setor residencial no Brasil

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de EPE (2016b)

Cada tipo de uso final tem um comportamento que depende de inúmeras variáveis. O padrão de utilização de determinados aparelhos é similar durante anos sucessivos, variando de acordo com a temperatura média externa ou as horas de luz natural diária, caracterizando um comportamento sazonal. Cada região e localização terá um padrão de sazonalidade diferente. Os padrões de sazonalidade podem apresentar

variações muito acentuadas ao longo dos anos, ou pouco acentuadas, dependendo das características locais (PAATERO; LUND, 2006).

A maior parte das variações de consumo ao longo de um ano irão depender do comportamento do consumidor que está diretamente relacionado a fatores sazonais, como é o caso das lâmpadas e equipamentos de ar-condicionado. Existem alguns aparelhos, contudo, em que não se observam mudanças de utilização relacionadas ao fator sazonal e sim com mudanças de consumo por conta apenas da mudança no funcionamento da máquina, como seria o caso de geladeiras. Em geral, essas variações têm um peso menor nas flutuações do consumo durante o ano. Ainda existem tipos de consumo final que não apresentam qualquer padrão de sazonalidade, como o uso de televisores.

Além das variações de demanda ao longo de um ano, o comportamento de consumo diário também varia significativamente ao longo do dia. O consumo típico de uma residência brasileira pode ser observado na Figura 12. A distribuição por tipo de uso final mostra que aparelhos como lâmpadas e televisão, tendem a ser ligados depois das 17 horas, enquanto o uso de aparelhos de ar-condicionado costuma se iniciar após às 19:00 e tende a permanecer ligado até o amanhecer. Os chuveiros têm dois momentos principais de uso, sendo sua maior utilização realizada no horário noturno, com pico às 18 horas.

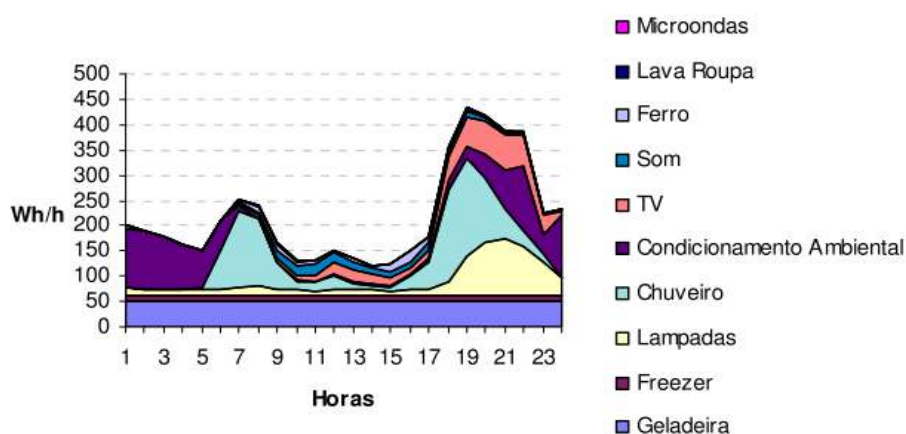


Figura 12 - Perfil de consumo horário de energia elétrica nas residências brasileiras

Fonte: PROCEL (2007)

Esse padrão de utilização horário depende principalmente de fatores comportamentais. Dependem de horário de ocupação das residências, além de hábitos gerais individuais, como por exemplo, o momento em que o último ocupante do

domicílio vai dormir (YAO; STEEMERS, 2005). Os valores apresentados acima correspondem a uma curva média residencial brasileira.

Entender o consumo residencial é uma tarefa que exige inúmeras análises e dados, visto que são muitos fatores que influenciam nesse comportamento. A utilização de modelos residenciais é uma das formas encontradas a fim de caracterizar melhor esse segmento de demanda.

A partir do conhecimento detalhado da curva de carga dos diversos tipos de uso final de consumo residencial é possível entender como aplicações de GLD e de estratégias de deslocamento de carga influenciam no setor energético como um todo. Para este tipo de análise e para simular os efeitos de algumas medidas ou possíveis mudanças de comportamento a construção de modelos que incorporam questões da demanda residencial de forma mais realística, incluindo os efeitos da sazonalidade e variações horárias (WIDÉN; WÄCKELGÅRD, 2010).

2.1 Gerenciamento pelo lado da demanda (GLD)

A forma clássica de operação dos sistemas energéticos é unidirecional e orientada de cima para baixo, da geração para o consumo. Um grande número de plantas de geração alimenta o sistema e tentam manter o balanço ótimo entre oferta e demanda a todo o momento. Esse balanceamento é um aspecto crucial para operar um sistema de energia elétrica (PALENSKY; DIETRICH, 2011). O desenvolvimento de novas tecnologias, que permitem a maior participação de geração distribuída e dos *smart-grids*, exige que a lógica clássica de operação se modifique, não mais orientada de cima para baixo, mas também integrada com a visão do sistema pelo lado do consumidor (MOHSENIAN-RAD et al., 2010).

O gerenciamento pelo lado da demanda (GLD) é definido por GELLINGS (1985) como o planejamento e execução de medidas destinadas a influenciar o uso de eletricidade dos consumidores finais de forma a produzir desejáveis modificações no padrão da curva de carga de uma distribuidora.

Modificar o padrão da curva de carga pode ser uma estratégia de grande valia diante do aumento esperado na demanda energética. Vale lembrar que a preocupação em relação ao abastecimento de energia vai além da capacidade que o sistema elétrico tem de suprir a demanda, e está também relacionada s restrições que o grid pode ter para

suprir uma alta demanda num curto intervalo de tempo (PALENSKY; DIETRICH, 2011).

Do ponto de vista do sistema, a o principal objetivo do GLD é de gerenciar, ou reduzir o consumo de energia elétrica nos momentos críticos para o sistema. Esses momentos críticos podem estar relacionados a restrições técnicas, como em situações interrupção da geração e/ou aumento abrupto do consumo, ou restrições financeiras, quando o preço de geração está demasiadamente alto (DOE, 2006).

De uma forma geral, GLD engloba ações tomadas ao nível da demanda que alteram a curva de carga normal de um consumidor individual. Ao alterar o padrão de consumo de diversos consumidores individuais, as medidas alteram o padrão de consumo diário de um sistema elétrico como um todo, ajudando a manter um equilíbrio em todas as etapas da cadeia da eletricidade. O grande desafio dessa forma de planejamento é assegurar que essas medidas sejam coerentes com o desejo do consumidor. Em outras palavras, as medidas tomadas não devem gerar desconforto ao consumidor final (PALENSKY; DIETRICH, 2011).

As estratégias de GLD podem envolver medidas simples como aumento de eficiência energética nos equipamentos finais, até medidas mais complexas como sistemas de controle e comunicação que permitem um gerenciamento remoto da curva de carga conforme a necessidade do distribuidor (ARTECONI et al., 2013).

As estratégias de GLD podem reduzir o consumo de energia de um sistema, ou somente alterar o padrão da curva de carga, modificando o perfil de consumo de energia de forma adequar os picos de consumo à capacidade de suprimento do sistema (mesmo que isso não signifique uma redução da quantidade total de energia consumida). Obviamente, as estratégias podem também conciliar os dois objetivos citados (SWISHER et al., 1997). PALENSKY; DIETRICH (2011) categoriza essas medidas de acordo com o tempo de duração e o impacto destas: (Figura 13)

- Eficiência energética e conservação de energia (EE)
- Tempo-de-uso (*Time-of-use* em inglês, TOU)
- Resposta da demanda (*Demand response* em inglês, DR)
- Reserva Girante (*Spinning reserve* em inglês, SR)

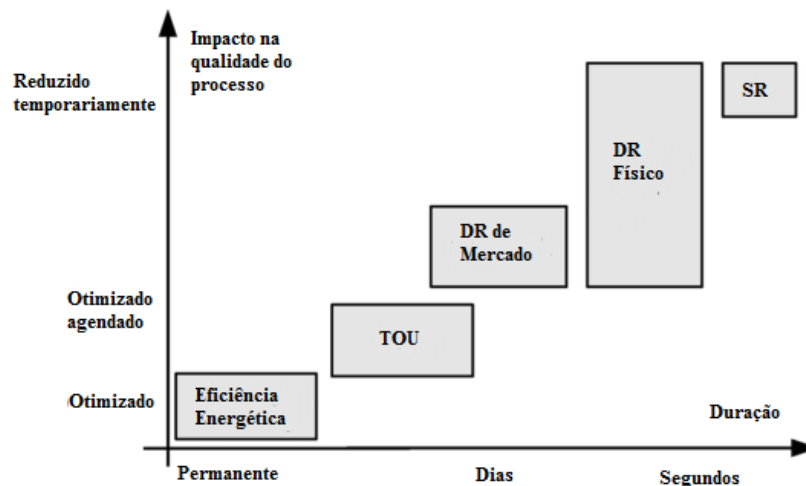


Figura 13 - Níveis de ações de Gerenciamento pelo Lado da Demanda

Fonte: PALENSKY; DIETRICH (2011) adaptado

O nível mais baixo de GLD está relacionado a medidas de eficiência energética. Essas medidas resultam em impactos imediatos e permanentes para o consumo de energia total do sistema o que pode levar, inclusive, a redução das emissões do sistema de geração. Na categoria estariam as medidas de conservação de energia, como conscientização para a redução, ou troca de combustível, ambas são medidas relacionadas à redução da área abaixo da curva de carga.

Ações de TOU tarifam o consumidor de acordo com uso do sistema. A tarifa é mais alta nos momentos onde o consumo costuma ser maior e onde se tem o menor consumo diário se tem a menor tarifa. Essa medida necessita de tempo para ser aplicada e modificada, pois está relacionada a um preço estabelecido em contrato de acordo com níveis de consumo pré-estabelecidos.

Os modelos de DR se apoiam no fato de que ao longo das 24 horas do dia a demanda elétrica, ou carga, varia. Em geral, no período da madrugada é onde se tem o menor consumo, quando as residências e comércio estão inativos. Em geral, a maior carga, o pico, ocorre no início da noite. Esse efeito se torna ainda mais acentuado nas noites do verão (DOE, 2006). Medidas de DR são feitas com base nesse conceito e são usualmente categorizadas em dois tipos: de acordo com o funcionamento do mercado (*Market DR*) e de acordo com as restrições físicas (*Physical DR*). O primeiro tipo diz respeito a medidas de acordo com a lógica do mercado - quando a demanda está alta, o preço aumenta e, quando a procura por energia é baixa, o preço é baixo. No *Market DR*, diferentemente do TOU, as tarifas são dinâmicas, em tempo real, de acordo com o

consumo. No entanto, o sinal do mercado precisa de certo tempo para a resposta. Dessa forma, são medidas que levam mais tempo que as medidas de restrição física. Estas estão relacionadas a sinais que o sistema dá em situações de baixa de geração abrupta, como queda de produção em eólicas, ou congestionamento em linhas de transmissão.

Por último, medidas SR são controles primários e secundários que alteram a frequência do sistema como forma de controlar o consumo de energia em um determinado momento. Funciona como uma “fonte reserva” que pode suprir de maneira rápida o sistema (PALENSKY; DIETRICH, 2011).

Comparando os diferentes níveis de ação das medidas de GLD é possível dizer que políticas referentes à eficiência energética são as mais desejadas. Essa categoria de medidas é a que permite que o consumo de energia seja evitado e, evitando, também as emissões. Dessa forma, o primeiro objetivo dos planejadores deveria ser o de garantir a execução de políticas que impulsionem a eficiência energética. Isso significa entender e superar as barreiras existentes para a entrada de tecnologias eficientes, como barreiras tecnológicas, econômicas e de mercado (PALENSKY; DIETRICH, 2011).

De forma a garantir que as medidas de GLD sejam feitas sem perda de utilidade e qualidade do serviço para os consumidores, ou com aumento de custos, é necessário que haja uma visão integrada do gerenciamento do sistema elétrico, incluindo também medidas coerentes pelo lado da oferta (EPE; ADENE, 2005).

Estratégias de GLD são de grande interesse para companhias distribuidoras pelo mundo, já que elas podem ajudar a operação dos sistemas elétricos. Muitos governos estão atualmente estudando políticas para promover sua aplicação, focando em opções que incluam promover planos de eficiência energética, mudanças comportamentais no nível do consumidor ou resposta dinâmica da demanda (PINA et al., 2012).

Hoje o GLD pode ser definido de forma mais ampla, incorporando outras questões do sistema não só relacionadas ao nível operacional. WARREN (2014) define o GLD da seguinte maneira: O gerenciamento pelo lado da demanda se refere a tecnologias, ações e programas tomados no lado da demanda de energia que procuram gerir ou diminuir o consumo de energia, de modo a reduzir as despesas totais do sistema energético ou contribuir para a realização de objetivos políticos como a redução das emissões ou o equilíbrio entre a oferta e a procura.

Essa nova definição relaciona, especialmente, as medidas de GLD tomadas de forma a garantir que políticas de objetivos diversos sejam incorporadas no sistema. Essa visão incorpora outros objetivos que não só mais a otimização e operação do sistema elétrico (WARREN, 2014).

3 Modelos residenciais de demanda

O planejamento do setor elétrico tem como objetivo garantir a continuidade do abastecimento energético de forma eficiente, com o menor custo, menor risco e menores impactos socioeconômicos e ambientais. Planejar o sistema envolve conhecer a capacidade atual e prever a infraestrutura necessária para garantir que as demandas atual e futura sejam atendidas (EPE; ADENE, 2005). Para estimar o consumo futuro de energia no setor residencial é necessário o desenvolvimento de modelos de demanda. Os modelos podem se basear em diversas abordagens - alguns enxergam a demanda como uma variável agregada, enquanto outros procuram detalhar a origem e especificidades das necessidades que geram o consumo de energia (PAATERO; LUND, 2006).

De modo geral, modelos de consumo de energia do setor residencial podem ser agrupados segundo duas abordagens distintas, *top-down* e *bottom-up*. Estas metodologias diferem entre si pela hierarquia de caracterização do setor. Modelos *top-down* partem de um total de energia consumida pelo setor residencial para caracterizá-lo, enquanto os modelos *bottom-up* partem do consumo individualizado por uso final ou unidade residencial para extrapolar os resultados para uma região ou país e obter o consumo total (SWAN; UGURSAL, 2009 e MAÇAIRA, 2015).

A modelagem *top-down* foi desenvolvida para identificar o consumo agregado do setor residencial. Essa abordagem enxerga a demanda energética como um todo e não distingue entre as tecnologias utilizadas e o comportamento de uso individual ou de pequenos agrupamentos familiares. Dessa forma, assume os consumidores como um grupo homogêneo geral, ou seja, um consumidor representativo. Os dados de entrada utilizados nestes modelos, em geral, estão relacionados ao acompanhamento de variáveis macroeconômicas, climáticas, demográficas e suas taxas de crescimento. Observa-se a evolução do consumo de maneira abrangente, a nível regional, e sem diferenciação temporal específica, comumente anual (SWAN; UGURSAL, 2009).

Estes modelos são adequados para a avaliação de impactos de políticas macroeconômicas, fiscais e de regulação, porém, são fracos em suas representações detalhadas de tecnologias e combustíveis utilizados. Estes modelos simulam o comportamento dinâmico de inúmeras variáveis, permitindo uma avaliação intersetorial do consumo (PANDEY, 2002).

A grande vantagem da modelagem top-down está relacionada ao tipo de dados de entrada necessários à modelagem e a sua simplicidade. Por ser baseada em dados agregados, que são largamente disponíveis, a abordagem *top-down* requer menor esforço de coleta de dados. Segundo SWAN; UGURSAL (2009) esse tipo de abordagem se baseia na dependência de valores históricos de consumo de energia para o setor residencial o que fornece certa inércia ao modelo. Modelos *top-down* determinam o efeito sobre o consumo de energia devido a mudanças ou transições de longo prazo no setor residencial e operam em uma estrutura de equilíbrio que balanceia o consumo histórico de energia com variáveis que explicam o seu comportamento. Como o setor residencial raramente sofre mudanças bruscas de paradigma (por exemplo, choques de eletrificação e energia), um modelo ponderado fornece boa capacidade de previsão para pequenos desvios do *status quo*.

No entanto, essa abordagem baseada em um comportamento histórico apresenta inconveniente como a falta de capacidade inerente para modelar avanços e discontinuidades de comportamento e na tecnologia e a falta de detalhamentos relativos ao consumo de energia dos usos finais individuais reduz a capacidade de o modelo identificar áreas-chave para melhorias visando a redução do consumo de energia.

Um tipo de modelagem top-down amplamente utilizadas são os modelos econométricos. Estes trabalham com relações endógenas de preço e elasticidade da demanda para estimar o comportamento futuro da demanda. Ou seja, fazem uso de relações empíricas entre o consumo energético e as diferentes variáveis de nível macro que podem explicar esse consumo de energia e assim, estimar a demanda futura atrelada a premissas de comportamento das variáveis utilizadas. ZARNIKAU (2003) utiliza essa abordagem a fim de analisar qual função paramétrica melhor representa o consumo doméstico de energia a partir das variáveis selecionadas, preço da eletricidade e do gás natural, renda da família e HDD¹.

Outros tipos de modelos top-down são os que utilizam preditores estocásticos, baseados na abordagem das séries temporais, conforme em ARGHIRA et al. (2012) e ROKEN; BADRI (2006).

Outros tipos de modelos top-down que podem ser citados são os modelos de insumo-produto ou modelos de dinâmica de sistemas. Além disso, uma mistura desses tipos de

¹ HDD, sigla em inglês *Heating Degree Days*, é um indicador do clima e da necessidade do uso de aquecimento artificial para o ambiente.

modelagem podem ser aplicadas para atingir o objetivo desejado (PANDEY, 2002 e MATTOS, DE et al., 2008).

A abordagem *bottom-up* refina as possibilidades de avaliação do modelo. Foi desenvolvida para ser utilizada na avaliação dos impactos de entrada ou melhoria de uma determinada tecnologia, ou de uma política energética. O objetivo principal de uma análise *bottom-up* é criar uma descrição quantitativa da estrutura tecnológica utilizada, como a eficiência de conversão da energia e a sua forma de uso. Começa pela estimativa do serviço energético demandado, como conforto térmico, e a partir daí pode-se descrever cenários futuros utilizando diferentes combinações de tecnologias ou fontes de energia que possam suprir esse serviço. Esse tipo de análise se faz possível dado sua metodologia desagregada e detalhada de consumo (MURATORI et al., 2013).

Variáveis usualmente utilizadas na abordagem *bottom-up* incluem características específicas dos domicílios e dos equipamentos existentes nestes, assim como fatores comportamentais dos ocupantes das residências e condições climáticas específicas, em termos geográficos e temporais. Esse nível de detalhamento representa uma grande vantagem para o modelo, apesar de significar também a sua grande limitação. O uso de informações tão detalhadas, em particular relacionadas a hábitos de consumo individual de classes de residência introduz uma maior complexidade ao sistema, que precisa de mais dados de entrada e maior diversidade de informação que na modelagem *top-down*. Além disso, o tratamento de muitos dados requer um grande esforço computacional (MURATORI et al., 2013).

Para conhecer a energia demandada em diferentes grupos de domicílios, WIDÉN; WÄCKELGÅRD (2010) segmenta os inúmeros dados de consumo residencial em três fatores principais: (a) o conjunto de aparelhos presentes em um domicílio; (b) a demanda de eletricidade que cada um desses aparelhos precisa para funcionar, ou seja, tecnologia utilizada, e (c) hábitos de consumo dos moradores em relação a cada um dos tipos de aparelhos. Dentre estas, a mais complexa e imprevisível é a determinação do padrão de uso dos equipamentos, item (c), já que depende de fatores comportamentais que são difíceis de modelar. Em particular, existe uma necessidade de modelos para um tratamento eficiente, mais realístico dos fatores comportamentais, já que estes levam a flutuações e mudanças com o tempo. O desafio desse tipo de abordagem é manter a estrutura o mais simples possível, enquanto garante resultados de saída suficientemente precisos.

A metodologia *bottom-up* também pode ser capaz de identificar algumas limitações e barreiras de mercado acerca de uma nova tecnologia disponível e assim sugerir políticas que possam transpor essas barreiras e ajudar a implantar tecnologias potenciais identificadas. Algumas dessas barreiras podem estar relacionadas à relação custo-benefício do consumidor, à disponibilidade de investimento inicial ou ainda a restrições culturais e de viabilidade técnica. Sendo assim, modelos *bottom-up* são capazes de oferecer análise sobre cenários alternativos de consumo (SWISHER et al., 1997).

Cenários de demanda são baseados em dados quantitativos e qualitativos que identificam alternativas para as tecnologias utilizadas para cada tipo de uso e avaliam seu desempenho e custos. A análise de cenários é uma forma de comparar alternativas de combinação de opções tecnológicas que provem o mesmo nível de serviço energético. Este serviço deve ser alcançado independente da opção tecnológica, de acordo com um cenário base de comparação e outras fontes de energia (Williams et al., 1987 *apud* SWISHER et al., 1997).

É essencial que se defina um cenário base ou de referência como um padrão para a análise, a fim de comparar as opções fornecidas e identificar melhorias em relação ao padrão adotado. Além disso, uma perspectiva *bottom-up* pode revelar a saturação da demanda de algum produto energo-intensivo ou mudanças no padrão de comportamento. Tais mudanças influenciam a composição e a quantidade de serviço energético pertencente a certo nível de atividade econômica ou uso final (Williams et al., 1987 *apud* SWISHER et al., 1997).

Modelos de demanda podem também explorar informações sobre o comportamento temporal do consumo, em termos de suas variações anuais ou até mesmo horária. Alguns modelos propõe usar a curva de carga do setor residencial como mais uma das variáveis importantes para a caracterização deste. Modelos de carga fornecem interessantes possibilidades onde a curva de carga é levada em consideração no planejamento do sistema, particularmente no que se refere a avaliação das diversas opções de gerenciamento pelo lado da demanda, GLD (CAPASSO et al., 1994).

3.1 Modelos residenciais de carga

O uso da carga como um grau de liberdade adicional do modelo não é totalmente novo, modelos como o de CAPASSO et al. (1994) e WALKER; POKOSKI (1985) foram construídos em um momento em que a lógica de operação do sistema ainda estava principalmente voltada para a geração e sua capacidade.

Hoje a infraestrutura global de comunicação e os sistemas automatizados de controle fazem que se torne mais fácil acrescentar uma certa inteligência ao sistema e aumentar a geração distribuída. Além disso, o perfil tradicional de geração também se transformou, com o maior uso de fontes intermitentes. Diante desse cenário, a capacidade da geração deixa de ser o único ponto de preocupação no planejamento do setor elétrico, que tem se voltado para uma abordagem mais integrada do sistema. Nesta abordagem, são levados em conta, fatores como a capacidade do grid e sua operacionalização. Além disso, medidas tomadas pelo lado da demanda também se tornam cada vez mais relevantes. Para a adoção dessa nova abordagem é preciso o conhecimento detalhado da demanda, não só pelo seu consumo total, como também pela compreensão do comportamento temporal desse consumo. Portanto, o desenvolvimento de modelos que incorporem a curva de carga do sistema se tornam cada vez mais comuns e necessários (PALENSKY; DIETRICH, 2011).

Tal qual ocorre com modelos baseados na demanda total anual, em que um número maior de variáveis observadas (maior complexidade) leva a modelos mais precisos, o nível de detalhamento da curva de carga está relacionado aos cenários que se deseja observar a partir daquele modelo. Enquanto dados agregados mostram o comportamento geral do consumo, dados mais detalhados podem retratar a participação de cada uso da eletricidade na curva de carga do consumo. Essa visão mais detalhada suporta a análise de uma gama de outras medidas que podem ser tomadas no planejamento do suprimento de energia elétrica.

BALACHANDRA; CHANDRU (1999) partilha a curva de carga em quatro partes: base, cíclica (intermediária), pico diário, e picos sazonais de curva. Os picos de consumo representam uma pequena parte do consumo anual, em termos de duração, porém, em termos da potência demandada, quase dobram a necessidade do sistema. Assim, o planejamento do sistema elétrico deve ser desenvolvido de forma a garantir o suprimento todos os níveis de carga (Figura 14).

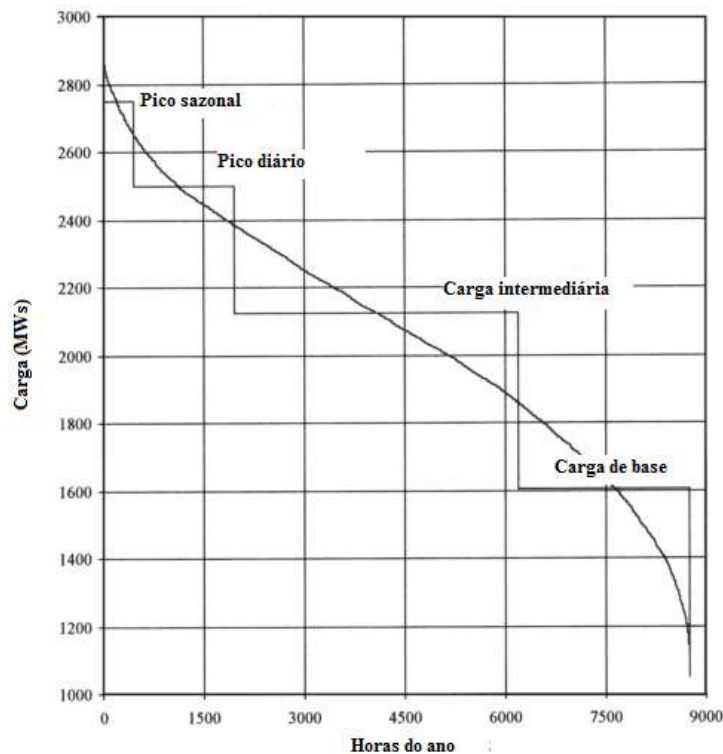


Figura 14 - Curva anual de duração da carga

Fonte: BALACHANDRA; CHANDRU (1999) adaptado

Os modelos podem representar a curva de carga a partir de dados agregados de consumo, como utilizado em MAÇAIRA et al. (2014), ou ainda construir uma curva final a partir da síntese de dados de carga de diferentes usos finais, conforme CAPASSO et al. (1994)

A curva agregada de consumo pode ser observada através de dados das distribuidoras ou operadores do sistema, que possuem informações sobre a demanda total por região. Estes dados, porém, não contêm muita informação sobre a natureza do comportamento do consumo por tipologia de uso final. A flutuação do consumo elétrico de um setor de uso final permanece desconhecida, tal como a divisão do consumo entre diferentes tipos de equipamentos (PAATERO; LUND, 2006).

Construir a curva de carga dos usos finais residenciais por um processo de síntese é uma tarefa altamente complexa, visto que o comportamento de consumo residencial é ligado a fatores extremamente subjetivos e dificilmente definidos com um certo grau de precisão. São variáveis relacionadas ao estilo de vida e a fatores psicológicos (CAPASSO et al., 1994).

A seguir serão descritos alguns modelos, *top-down* e *bottom-up* utilizados a fim de estimar e simular a curva de carga do sistema ou por setor específico.

3.1.1 Modelagem *top-down* de carga

A modelagem da curva de carga a partir de uma abordagem *top-down* não é uma prática comumente utilizada para setores de consumo específicos, como o residencial, porém pode ser muito útil para o planejamento do sistema. Para o planejamento do suprimento de energia elétrica de um país, não é suficiente conhecer a demanda anual de energia e conseguir estimar, mesmo que de forma precisa, a sua evolução para os anos seguintes. É imprescindível ao planejador compreender outros dados de suma importância, como por exemplo: (a) dias e/ou horas de ocorrência de picos de demanda, (b) variações sazonais nos níveis de demanda, (c) informações de variações não sazonais nos níveis de demanda devido a fatores como nível de atividade agrícola ou industrial (BALACHANDRA; CHANDRU, 1999).

Modelos de abordagem *top-down* utilizados para estimar a curva de carga são obtidos a partir de dados de consumo anual, total ou num determinado setor, fornecidos de forma agregada (Figura 15). A partir da análise agrupada é possível entender a participação de um determinado setor no comportamento da carga.

Apesar de usar dados facilmente obtidos, este tipo de abordagem não descreve a composição dessa demanda. Não é possível, através de um modelo *top-down*, conhecer a participação do chuveiro elétrico na demanda residencial ou de equipamentos específicos no consumo industrial. Ainda que seja possível prever o efeito de uma maior penetração de determinado uso de forma empírica, em geral, a compreensão sobre o papel de cada uso final no comportamento da carga se restringe a uma estimativa qualitativa.

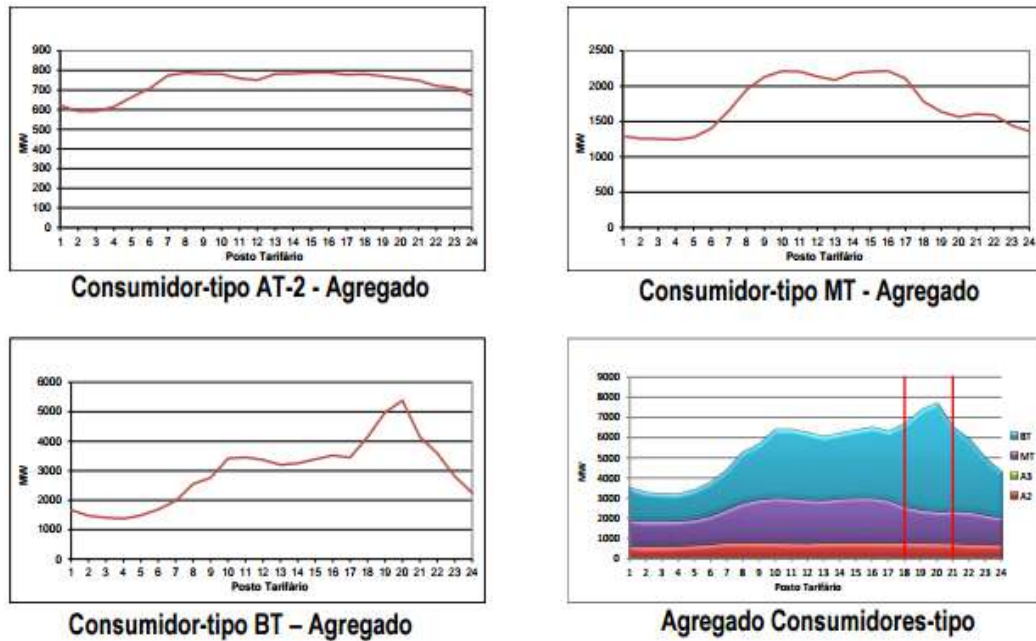


Figura 15 – Dados de consumo do setor elétrico de forma agregada obtidos diretamente na distribuidora.

Fonte: ANNEL (2015)

A partir dos dados de carga fornecidos pelas distribuidoras é possível entender padrões representativos de consumo, especialmente padrões relacionados a sazonalidade do sistema. (OLIVEIRA et al., 2014) avalia o comportamento do perfil de carga horária do sistema elétrico brasileiro e de suas regiões. O modelo é desenvolvido a partir de dados diários de consumo total ao longo do dia entre os anos de 2009 e 2014. A partir das análises realizadas, é possível caracterizar o comportamento sazonal da carga, assim, como os momentos dos picos de energia e como estes variam ao longo dos dias da semana e dos meses no Brasil (Figura 16).



Figura 16 - Picos médios de energia por dia da semana e por mês

Fonte: OLIVEIRA et al. (2014)

O trabalho, contudo, não segmenta o consumo pelos seus usos finais, o que pode se configurar uma limitação, dependendo da finalidade da análise. A dinâmica abordada permite que o planejador do sistema consiga estimar o comportamento da carga como um todo e evitar falhas no abastecimento. Entretanto, seria muito difícil utilizar este trabalho para estimar o impacto de uma medida ou política energética na demanda.

O trabalho de BALACHANDRA; CHANDRU (1999) é um exemplo de modelo *top-down* utilizado para estimar as participações de alguns usos finais na determinação do perfil de carga diário. O autor propõe uma metodologia que descreve o comportamento da carga de um sistema através de curvas representativas de consumo. As curvas de carga representativas (RLCs, do inglês, *Representative Load Curves*) são construídas a partir do agrupamento e da normalização de curvas diárias de carga do sistema, que representam padrões similares de demanda. A partir dessas curvas, o autor consegue destacar as influências de algumas categorias de consumidores e usos finais importantes na determinação do perfil de demanda por hora.

Através dessa abordagem, é possível resumir um total de 365 curvas diárias, com 8760 pontos, em poucos grupos de 24 pontos cada. Nove perfis anuais de demanda foram estabelecidos a partir do tratamento estatístico das curvas de carga obtidas no período de um ano, conforme Figura 17 (BALACHANDRA; CHANDRU, 1999).

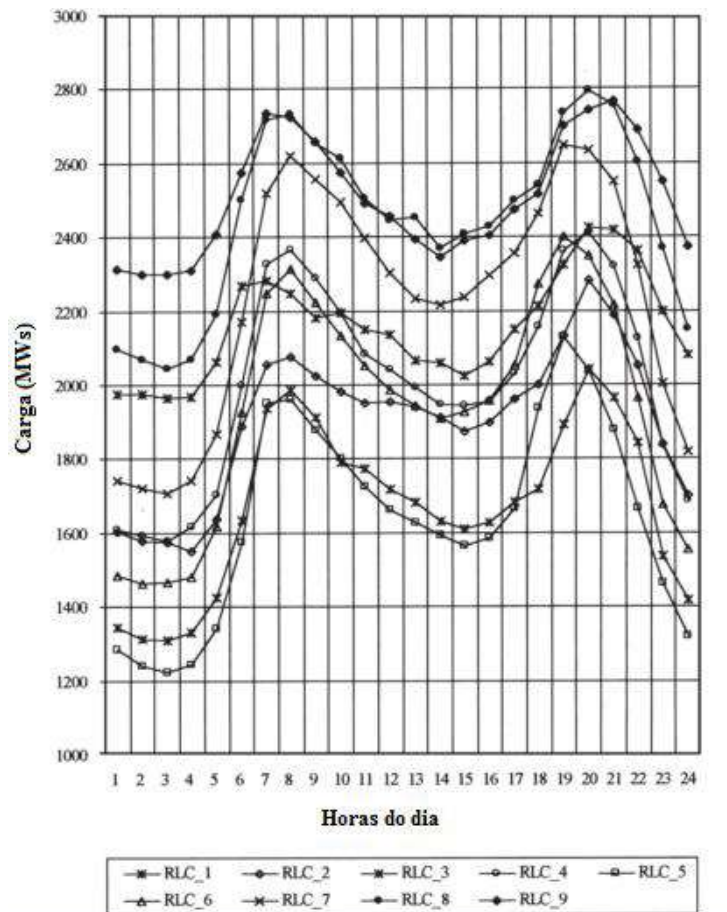


Figura 17 - Curvas representativas de carga

Fonte: BALACHANDRA; CHANDRU (1999) adaptado

Analisando os resultados agregados o autor consegue estimar o papel de certos grupos de consumo no comportamento anual da curva. É possível observar os grupos de maior demanda e menor demanda ao longo do ano e identificar significativas diferenças no consumo médio e nas variações ao longo de um dia dos nove grupos de carga. A partir disso, o autor consegue explicar o comportamento dos setores ao longo do ano, comparando com fatores como estações do ano, por exemplo, o aumento do consumo dos meses de verão se deve ao maior consumo do setor residencial e comercial com ar condicionado. Cruzando as informações das RLCs com o nível de consumo (base, intermediário, pico e média - Figura 14). É possível observar como cada um desses fatores pode ser o responsável por influenciar o consumo do grupo em cada momento do ano, e como os grupos realmente correspondem a situações diferentes de demanda.

JARDINI et al. (2000) utiliza dados agregados de consumo para os diferentes setores de demanda elétrica. O trabalho parte de dados de pesquisa de campo, obtidos através de campanha de medição, para modelar uma curva padrão de carga para o

Estado de São Paulo, nos setores residencial, comercial e industrial. Os dados obtidos a partir da medição do consumo individual ao longo do dia foram tratados de forma estatística e posteriormente agrupados de acordo com seu grupo de consumo, baixa, média ou alta tensão. As medições foram realizadas por 15 dias, com intervalos de aproximadamente 15 minutos entre os pontos, totalizando 96 dados para uma curva diária. Para melhor caracterização, o setor residencial foi dividido de acordo com níveis de eletricidade consumidos mensalmente, num total de 10 grupos. Os dados de curvas representativas do setor residencial de baixa tensão podem ser utilizados como base para estudos mais aprofundados de demanda por equipamento e para análises qualitativas detalhadas do setor.

Esse tipo de abordagem torna possível enxergar os efeitos individuais de cada setor de consumo ou uso final e sua relação para a demanda total, ainda que isso esteja sendo feito apenas de forma qualitativa. A limitação deste modelo, assim como os anteriores, é não detalhar os consumos específicos em seus usos finais, não sendo possível quantificar o impacto de políticas mais específicas na área residencial, por exemplo.

Outra forma de abordagem *top-down* da modelagem de carga é a partir do uso de redes neurais artificiais. FALCÃO e HENRIQUES (2001) aplicou redes neurais artificiais e lógica *Fuzzy* para gerar curvas padrão de consumo para diferentes classes de consumo. O modelo foi desenvolvido a partir de curvas típicas obtidas por companhias do setor energético e seus respectivos consumos de energia mensal. Os dados são organizados por tipo de consumidor (residencial, comercial, etc.), localização, estação do ano, dia da semana, consumo mensal de energia e necessidade de ajuste em tempo real.

3.1.2 Modelagem *bottom-up* de carga

A abordagem *bottom-up*, por outro lado, utiliza uma abordagem desagregada para obter a curva padrão de um setor. Para modelar a carga residencial a partir da modelagem *bottom-up* é necessário o conhecimento sobre o padrão temporal de consumo de um determinado uso final, ou de um determinado aparelho residencial. Este tipo de abordagem se preocupa em entender o comportamento do consumo e suas variações ao longo do ano e do dia para poder identificar os possíveis impactos que essa carga pode levar à operação do sistema e também ao planejamento futuro.

Em geral, a modelagem *bottom-up* é precedida por uma pesquisa comportamental residencial. Algumas dessas pesquisas fornecem informações detalhadas sobre o consumo de energia do setor residencial, como equipamentos utilizados e hábitos de consumo da família. Em outros casos, porém, modelo *bottom-up* baseia-se apenas em dados socioeconômicos que não se relacionam aos hábitos de uso de energia de um domicílio. Entre estes dados socioeconômicos, podem-se citar número de moradores por residência e posse de equipamentos por domicílio. Modelos baseados em dados socioeconômicos estimam o perfil de carga residencial com base em ferramentas estatísticas para apoiar os dados disponíveis. Isso não representa necessariamente uma limitação do modelo, pois um modelo baseado em uma grande gama de dados retirados de uma extensa pesquisa de campo se torna complexo e de difícil reprodução.

TSO; YAU (2003) analisaram o padrão de consumo residencial em Hong Kong através de uma pesquisa completa realizada no ano 2000 com mais de 1500 consumidores residenciais. Para isso, utilizaram além de questionários comportamentais, um diário de consumo de equipamentos relacionados aos principais usos energéticos identificados: climatização, aquecimento de água, iluminação, cocção e lavagem e secagem de roupa. Para avaliar a sazonalidade da carga, a pesquisa foi feita em dois momentos distintos, no verão e no inverno. O questionário de consumo apresentava informações como o tipo de residências, características demográficas de cada residência, posse de equipamentos e informações relacionadas ao uso de cada equipamento, assim como hábitos de consumo dos moradores. Os diários de consumo dos aparelhos foram feitos com base em medições a cada 30 minutos nos equipamentos ao longo de uma semana, em cada uma das estações escolhidas.

Para chegar a um comportamento padrão de consumo, os autores avaliaram e trataram estatisticamente os dados obtidos. A partir dessa pesquisa e da caracterização do consumo residencial foi possível avaliar o impacto da temperatura média com o consumo de energia. No verão a eletricidade responde por 73,6% do consumo total de energia. O maior responsável é o uso de aparelhos de ar condicionado, mais usado no verão (Figura 18). No inverno, o gás natural passa ser responsável por 38,3% do consumo total, no verão correspondia apenas a 10,8% do total. Esse fator é explicado pelo maior uso de gás para aquecimento de água de banho, o que impulsiona a demanda desse energético no período mais frio.

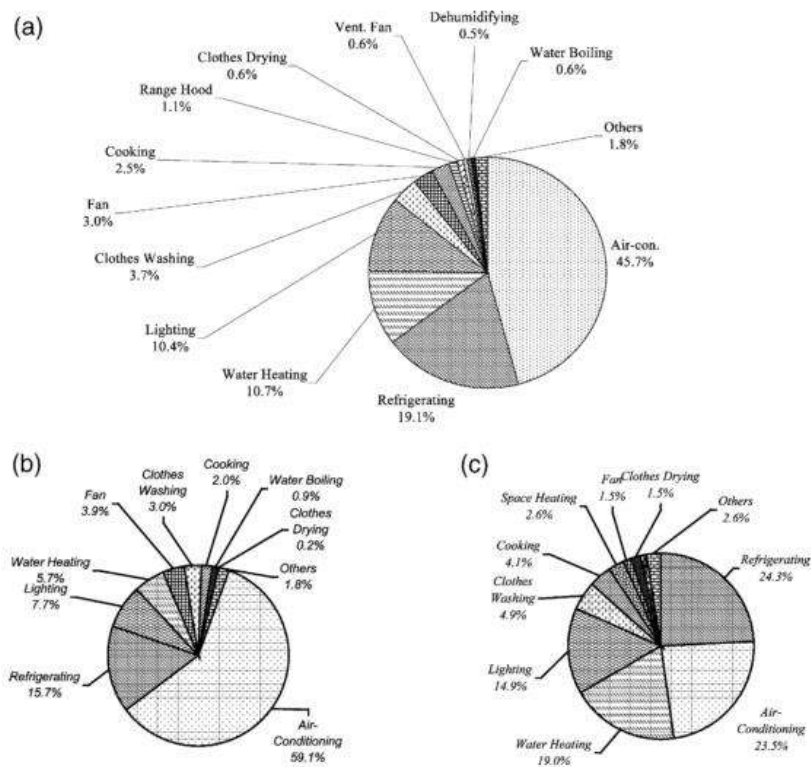


Figura 18 - Participação do consumo de cada uso final, (a) anual.; (b) verão; (c) inverno

Fonte: TSO; YAU (2003)

A partir do modelo estatístico criado, os autores estabeleceram correlações entre o comportamento do consumo energético de uma residência e algumas das características dessa residência. Constatou-se, por exemplo, que durante o verão, os fatores críticos para determinação do perfil de consumo de uma residência são o tipo da casa, as características da casa e a posse de equipamentos. Já durante o inverno, o comportamento do consumo está muito mais relacionado ao número de residentes de um domicílio. Foi averiguado também que, no verão, a posse de aparelhos de ar-condicionado, secadores de roupas, exaustores e ventiladores está relacionado a um aumento do consumo de aproximadamente 42, 15, 10 e 8 kW, respectivamente. Já no inverno, os aparelhos que influenciaram o aumento de consumo foram aquecedores de água elétricos e exaustores, com um aumento de 47 e 10 kW.

A partir dessas informações é possível para o governo identificar o possível impacto de algumas medidas voltadas para a economia de energia. Ao analisar as curvas de consumo energético do inverno e do verão, o estudo sugere que a atual tendência em eletrificar serviços como aquecimento de água e fornos não resultará na necessidade de

aumentar a infraestrutura de suprimento existente. Esta conclusão deriva da análise dos gráficos apresentados abaixo (Figura 19).

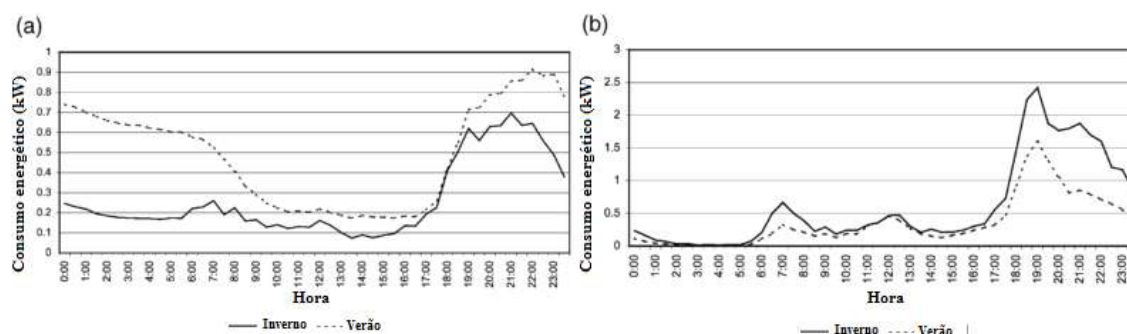


Figura 19 - Padrão de consumo de energia elétrica (a) e de gás natural (b) no inverno e verão de Hong Kong

Fonte: TSO; YAU (2003) adaptado

Como se pode observar, a curva de consumo do gás durante o inverno somada ao consumo de eletricidade não supera, nos horários de pico, o consumo de eletricidade do verão. Isso significa que a infraestrutura de suprimento de eletricidade existente é capaz de fornecer toda a energia necessária ao sistema. Em outras palavras, significa dizer que a eletrificação do aquecimento de água e fornos aumentaria o índice de utilização da infraestrutura existente, diminuindo sua ociosidade durante o inverno.

A partir também do uso de entrevistas comportamentais, CAPASSO et al. (1994) utiliza uma abordagem de síntese para construir a curva de carga residencial da Itália. O objetivo do autor é entender os impactos de políticas energéticas e de GLD no setor residencial através da análise da carga residencial. A seguinte abordagem foi empregada: i) procedimento de síntese envolvendo dois níveis básicos agregados, união da contribuição feita pelos equipamentos individuais para o padrão de consumo da residência e união de vários padrões de residências relevantes, para que assim se chega a forma da curva de demanda da área como um todo; ii) introdução de funções probabilísticas “comportamentais” e “de engenharia” para que fossem reproduzidos os fatores psicológicos que afetam o consumo residencial; iii) adoção do processo de extração por Montecarlo aplicado a média de comportamento e características representadas pelas funções mencionadas, para que se leve em consideração a alta variabilidade aleatória presente na demanda.

O modelo proposto foi usado para simular a área residencial onde uma pesquisa e o monitoramento da carga foi feito para cada residência individualmente e simultaneamente. Por causa da natureza altamente flexível do modelo derivado de sua

abordagem *bottom-up* e de sua estrutura, mudanças sucessivas podem ser feitas nas funções comportamentais e de engenharia, a fim de reproduzir as variações nos usos finais que podem ser causadas por inovações tecnológicas ou mudanças socioeconômicas. Em seu estudo, o autor ressalva, entretanto, que o modelo construído não correlaciona a carga com efeitos climáticos e efeitos de diferenciação horária de tarifas.

PAATERO; LUND (2006) propõe um modelo que não necessite de muitos dados para estimar um panorama geral do consumo. O propósito do autor é demonstrar um modelo de dados de carga do consumidor de fácil utilização capaz de representar o consumo de eletricidade de forma aceitável.

Nesse trabalho, a necessidade de dados detalhados de consumo é contornada pelo uso de dados representativos de amostras e médias estatísticas. A natureza aleatória do consumo é gerada pelo uso de um processo estocástico e de funções de distribuição probabilísticas para gerar o consumo. Os dados de posse e padrões diários de uso são determinados de uma forma similar ao modelo de Capasso. Como resultado, o trabalho mostra que um dado detalhado e realista pode ser alcançado usando informações gerais sobre os equipamentos existentes e estatísticas sobre os consumidores. A perda de precisão é compensada pela redução do volume de dados requeridos (PAATERO; LUND, 2006).

Conceitos de “disponibilidade” e de função probabilística de “tendência” de um indivíduo usar os equipamentos em um determinado momento foram desenvolvidos por outros autores, como em WALKER; POKOSKI (1985). Essas funções são usadas para conduzir modelos físicos de vários equipamentos e esses são incorporados em um modelo “combinado” que é usado para estimar a carga em base horária do dia. YAO; STEEMERS (2005) também partem de uma entrevista de comportamento para modelar o consumo energético residencial no Reino Unido a partir desse conceito de disponibilidade agregado a uma análise de probabilidade de uso.

O objetivo dos autores é prever a carga horária ao longo de um dia típico para dar suporte ao planejamento e desenho de sistemas locais de energias renováveis. Os autores usam diversas pesquisas feitas ao longo do tempo com consumidores domésticos, para identificar os dados demográficos dos domicílios, a posse dos equipamentos e o consumo médio anual de cada um dos equipamentos. A pesquisa comportamental não detalha a demanda horária de energia, assim foi preciso uma abordagem estatística para modelar o consumo horário nas residências.

Para os autores, o perfil de consumo de eletricidade depende de inúmeros fatores, como clima, composição familiar, renda, hábitos pessoais, fatores culturais, entre outros. A proposta dos autores divide essas variáveis em duas influências principais: comportamental e física.

O comportamento tem pouca relação com fatores climáticos e está altamente relacionado às questões humanas no domicílio, como a frequência de uso, relacionado a uma decisão pessoal feita, em base horária, diária ou semanal. Já os fatores físicos estão altamente relacionados ao clima e ao tipo de construção, ao *design* da residência. Estes estão relacionados a decisões menos flexíveis, apesar de também ter influência das preferências de cada consumidor.

As seguintes variáveis foram consideradas para a modelagem e previsão do consumo horário de energia elétrica no Reino Unido: Pessoas/domicílio, padrão de ocupação da casa, e o consumo individual dos equipamentos residenciais.

O padrão de ocupação da casa está relacionado, principalmente com o período de ocupação da casa, que pode ser definido pela quantidade de pessoas em casa, horário que a primeira pessoa acorda até o horário que a última pessoa dorme e o período da casa que não há ninguém. Para modelar o padrão de consumo, considerou-se que todos os aparelhos eletrodomésticos seriam utilizados no dia. Variações sazonais não foram consideradas.

Para cada um dos cenários, foi modelado um perfil de carga, através de um gerador de número aleatório, de acordo com cada equipamento e seu consumo médio diário. Os dados agregados de cada equipamento geraram um perfil de consumo diário para a carga do aparelho para cada cenário estabelecido, gerando o chamado perfil específico. Outra operação computacional repete essa mesma abordagem, para cada cenário e perfil de consumo típico de um equipamento usado na residência pode ser gerado agregando refletindo a situação geral da média de uma residência (Figura 20).

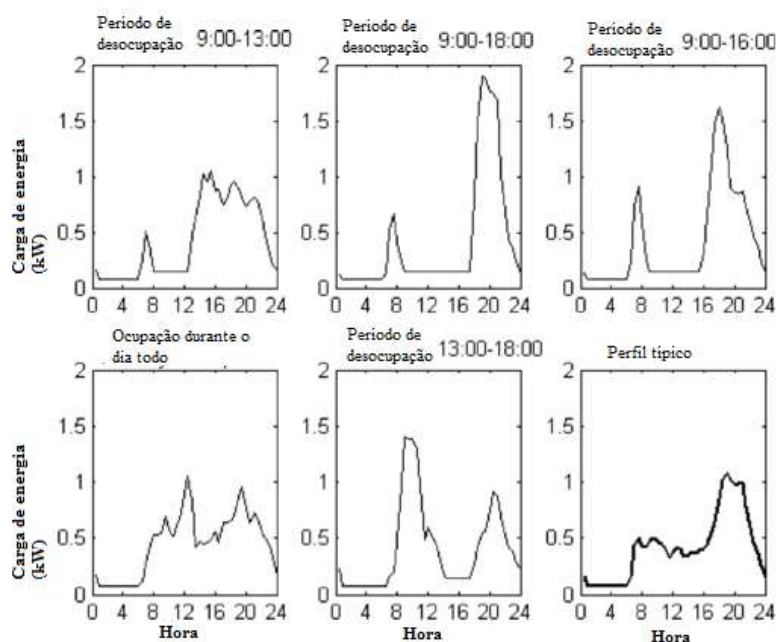


Figura 20 - Consumo típico, por grupos de ocupação doméstica, do consumo elétrico no Reino Unido. Nota: Cenários, de acordo com a atividade exercida por cada morador: a) trabalho em período parcial pela manhã (desocupação entre 9:00 e 13:00), b) período de trabalho integral (desocupação entre 9:00 e 18:00), c) trabalho parcial 2/3 (período de desocupação entre 09:00 e 16:00), d) sem trabalho (N/A), e e) trabalho em período parcial pela tarde (período de desocupação entre 13:00 e 18:00).

Fonte: YAO; STEEMERS (2005) adaptado

Os dados agregados obtidos foram comparados a dados fornecidos por distribuidoras de energia. O modelo apresentou boa correlação estatística. O objetivo do trabalho é posteriormente cruzar os dados simulados com padrão de geração de fontes renováveis de energia, de forma a entender os momentos críticos para um futuro mais renovável.

GOTTWALT et al. (2011) também partem de uma abordagem que considera o nível de ocupação das residências como forma de modelar o consumo de carga de cada aparelho residencial. A partir de pesquisas de hábitos de uso residencial e de posse de equipamentos os autores constroem o consumo anual de energia por equipamento e propõem uma distribuição sazonal, diária e horária para esse consumo. Esses dados são cruzados com o modelo de ocupação humana na casa ao longo do dia para chegar a melhor curva que representa o consumo residencial.

Diferentemente da abordagem utilizada por YAO; STEEMERS (2005) os autores incorporam a distribuição sazonal a sua análise. Além disso, os padrões de

ocupação utilizados são simplificados, de forma a facilitar a obtenção desses dados. O modelo gera a curva de carga para o caso existente de tarifas únicas adotadas no setor residencial. O objetivo dos autores é simular as variações nos perfis de consumo de um domicílio diante do uso de equipamentos inteligentes e tarifas diferenciadas por horário. Os equipamentos inteligentes são sensíveis a sinais de alta de preços, e desligam ou reduzem o consumo de energia por um tempo. Como nem todos os aparelhos podem funcionar dessa forma, o modelo em questão inclui equipamentos para os quais esta lógica mais faz sentido, como por exemplo, refrigeradores. Para estes tipos de aparelho, o consumo pode ser reduzido sem que o equipamento deixe de cumprir sua função - no caso do refrigerador, manter os alimentos resfriados.

O uso de tarifas diferenciadas faz com que os equipamentos inteligentes utilizados no modelo mudem o perfil de consumo de uma residência. Ainda que tenha havido uma redução do pico, é importante observar que um novo momento de alta demanda ocorreu, o que é uma importante informação para o operador do sistema. Para o consumidor, entretanto, esse sistema pode não ser atrativo, visto que a economia gerada na conta de luz não é atrativa o suficiente para fazer com que se comprem equipamentos inteligentes (Figura 21). Os autores sugerem que o governo proponha incentivos para tornar essas medidas, que têm potencial benefício para o sistema elétrico, atraentes para os consumidores finais.

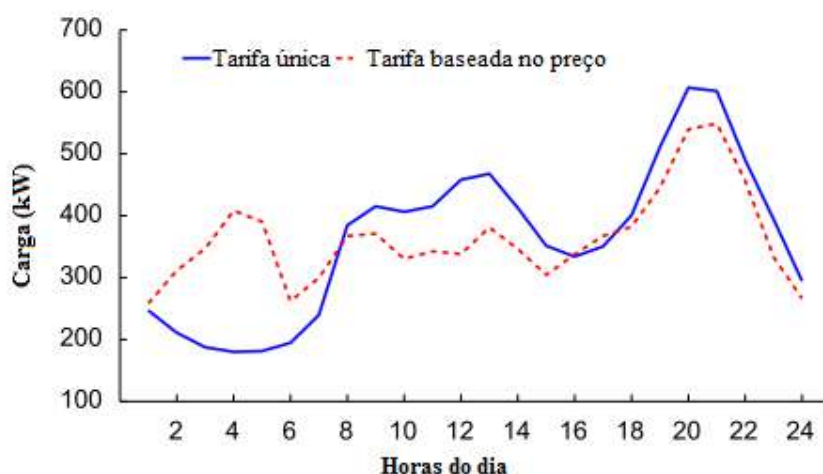


Figura 21 - Comportamento da demanda com tarifa única e tarifa diferenciada

Fonte: GOTTWALT et al. (2011) adaptado

Outra abordagem utilizada no desenvolvimento de modelos de curva de carga é o uso de dados de tempo-de-uso, conforme utilizado em WIDÉN et al. (2009). Dados de

tempo de uso são dados empíricos sobre a sequência de atividades que ocorrem num domicílio e são usualmente utilizados por outras áreas da ciência, não para análises energéticas. Estes dados são coletados, em geral, com diários temporais, onde os membros das residências descrevem a sequência de suas atividades diárias. Devido a seu nível de detalhamento sobre o comportamento de um morador, essa abordagem tem grande potencial de contribuir com modelos de demanda horária de energia residencial.

A partir de dados de atividade doméstica, foi definido e caracterizado o tempo-de-uso de todas as atividades de consumo de energia. As informações sobre os equipamentos existentes e a média de consumo de cada um deles foram obtidas a partir de parâmetros de produtos disponíveis no mercado. As atividades domésticas foram divididas em cinco perfis de consumo de energia, de acordo com o modo de funcionamento e uso dos aparelhos relacionados. Alguns aparelhos consomem energia de forma constante enquanto estão ligados, como televisão. Já outros têm ciclos de consumo, mesmo estando ligados continuamente, como ar-condicionado. A partir da definição das categorias de consumo existentes para cada atividade, e diante da posse média de equipamentos domésticos e dos dados de tempo-de-uso, o consumo de cada atividade pode ser agregado, levando ao resultado de consumo total para uma residência.

A validação feita revela que o modelo para eletricidade residencial reproduz o padrão horário da carga com precisão e com a preservação de importantes características qualitativas. Os resultados do modelo aplicado a dados pesquisados na Suécia também correspondem ao perfil agregado de utilização de eletricidade e água quente medido no país. Assim, o autor sugere que modelar a energia a partir do tempo de uso pode ser uma alternativa, ou complemento, para estimar a demanda energética das residências.

Apesar de pouco utilizados no setor energético, os dados de tempo-de-uso provaram ser uma boa forma de modelar o componente comportamental do uso doméstico de energia. Desse modo, podem ser o complemento ou até mesmo uma alternativa às pesquisas comportamentais de utilização de energia. O trabalho WIDÉN et al. (2009) mostrou ser possível construir modelos de demanda energética baseados em dados comportamentais já existentes, obtidos de pesquisas que inicialmente tinham outro fim.

3.2 Aplicação dos Modelos de Carga

A informação sobre o consumo de energia e sua variação no tempo é importante não só para o setor de geração, como também para toda a cadeia de suprimento de eletricidade, como transmissão e distribuição. Para (REDDY; SUMITHRA, 1997) o gerenciamento do sistema elétrico envolve não só o gerenciamento do suprimento, mas também o gerenciamento do não suprimento, administrando as falhas do sistema como um todo, sem prejudicar o consumidor final. Ainda que exista capacidade de geração suficiente para suprir a demanda, a energia só chegará ao consumidor final caso os meios para tal funcionem adequadamente. A fim de obter um melhor planejamento para o suprimento e o não suprimento de eletricidade, as distribuidoras precisam antever os níveis de demanda e suas volatilidades ao longo das horas do dia e ao longo dos dias do ano.

A maior parte dos modelos integrados atuais não caracterizam de forma adequada ações que ocorrem do lado da demanda do consumo. Por exemplo, medidas de resposta de demanda, como mudança de preço horário, são usualmente vistas como um recurso de despacho que serve para atender a demanda apenas, ao invés de um recurso que reduz o uso do sistema por um tempo, servindo como uma espécie de recurso extra para o sistema (DOE, 2006).

Segundo o relatório do DOE (2006) iniciativas de planejamento energético integrado devem revisar e caracterizar ações de GLD, além das medidas de eficiência, a fim de melhorar os modelos existentes e incorporar diferentes tipos de GLD como uma opção de recurso disponível para o sistema. No geral, apenas os impactos de curto-prazo são analisados, DOE (2006) acredita que mais esforços devem ser feitos para caracterizar os impactos de longo prazo de ações de GLD e seus benefícios potenciais. Reduzir o pico de consumo do sistema pode evitar ou adiar a necessidade de construção de nova capacidade de infraestrutura de geração, transmissão ou distribuição, resultando em menores custos de investimento para o setor elétrico. Modelos de curva de carga são importantes para entender melhor a integração demanda e geração e possíveis impactos de medidas de GDL no sistema elétrico.

PAATERO; LUND (2006) utilizam o modelo de carga proposto por eles para testar algumas medidas de GLD na Finlândia, local do estudo. Três casos de GLD foram analisados. O primeiro dos casos demonstrou que uma redução significativa no pico de consumo diário através de medidas de gerenciamento remoto dinâmico de

aparelhos de refrigeração. A carga dos equipamentos de refrigeração pode ser parcialmente deslocada fora das horas de pico sem causar qualquer inconveniente ao cliente. A redução do consumo no pico pode ser melhorada ainda mais se os freezers estiverem disponíveis para uma refrigeração extra algumas horas antes do período do pico, usando assim, sua capacidade térmica como um armazenamento. Isso permitiria levar o pico para antes do horário de ponta atual. Os outros casos estudados levam a melhorias ao sistema, porém com perda de serviço ao consumidor.

TSO; YAU (2003) em seu trabalho mostram, através de seu modelo de carga diária, o quanto a eletrificação de aparelhos de aquecimento de água e cocção impactam no consumo elétrico. Para as horas de pico eles concluem que essa substituição não leva a qualquer vantagem, porém, para os momentos fora do pico é uma forma de efficientizar o sistema. O consumo para esse fim, fora do pico, pode ser suprido pela energia residual gerada pelo sistema, fazendo com que se aproveite mais a energia gerada e tenha menos perda.

MOURA; ALMEIDA, DE, (2010) mostram como medidas de GLD podem ser utilizadas para ajudar a maior entrada de fontes intermitentes de geração no sistema.

Num cenário de alta penetração de renováveis provenientes de vento e outras fontes intermitentes, é fundamental que o sistema elétrico tenha meios apropriados para compensar os efeitos da variabilidade e aleatoriedade da disponibilidade energética vindas de plantas eólicas. Tradicionalmente, essa preocupação levou a promoção de estudos sobre os recursos eólicos, seu comportamento diário de geração e a identificação de soluções baseadas em geração *back-up* (hidro- reversíveis) ou tecnologias de armazenamento. Conhecendo o perfil de geração e o perfil de demanda é possível o direcionamento de políticas de GLD a longo prazo e a curto prazo. O uso de tecnologias de GLD é uma opção que deve ser considerada em um planejamento do sistema, diante da sua possibilidade custo-efetiva de ajustar o consumo em resposta às variações da produção eólica (MOURA; ALMEIDA, DE, 2010).

MOURA; ALMEIDA, DE, (2010) cruza as informações de geração eólica com o perfil de carga das residências e percebe-se que estas têm um comportamento oposto ao longo de um dia (Figura 22).

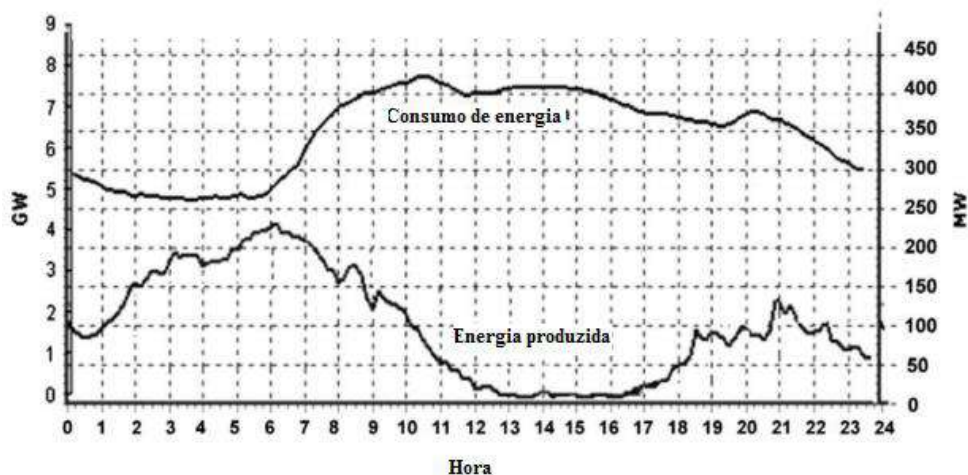


Figura 22 - Produção de energia eólica vs. consumo de energia num dia quente em Portugal

Fonte: MOURA; ALMEIDA, DE, (2010) adaptado

Porém, MOURA; ALMEIDA, DE, (2010) mostra que medidas de GLD, como eficiência energética de controle dinâmico da carga podem ajudar o sistema. No exemplo utilizado, no qual existe um aumento de eficiência anual de 1% em equipamentos elétricos, uma redução de 13% no pico de carga foi obtida, fornecendo uma suavização da curva de carga. Esse resultado está de acordo com o desejado, que considera o momento da maior carga do dia o mais perigoso para o abastecimento intermitente de energias renováveis.

Além disso, tal impacto proveniente das medidas de GLD impostas foi obtido com um custo médio de 0,023 €/kWh, que é menor que o custo de produção de qualquer fonte renovável. Ou seja, além de ajudar a operacionalizar o sistema, medidas de GLD ainda podem ser mais baratas do que o custo de geração para suprir o sistema caso não existissem essas medidas. Adicionalmente, o controle de 5% do pico de carga (em torno de 490 MW) com tecnologias de controle dinâmico de carga (DR), também possibilita uma suavização da curva nesse período. Com as medidas de eficiência agregadas às medidas de DR, seria possível atingir uma redução da carga máxima de 17,4% em 2020 (Figura 23 e Figura 24).

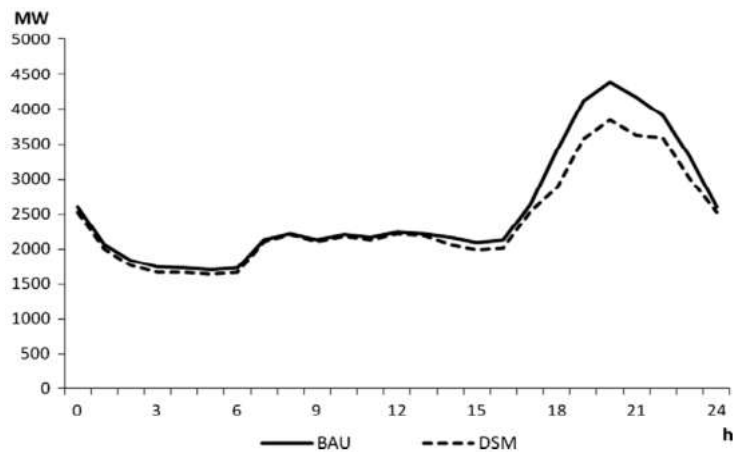


Figura 23 - Consumo residencial em dois cenários de projeção de consumo elétrico, de acordo com a situação atual de consumo (BAU - *business as usual* em inglês) e com medidas de GLD (DSM)

Fonte: MOURA; ALMEIDA, DE, (2010)

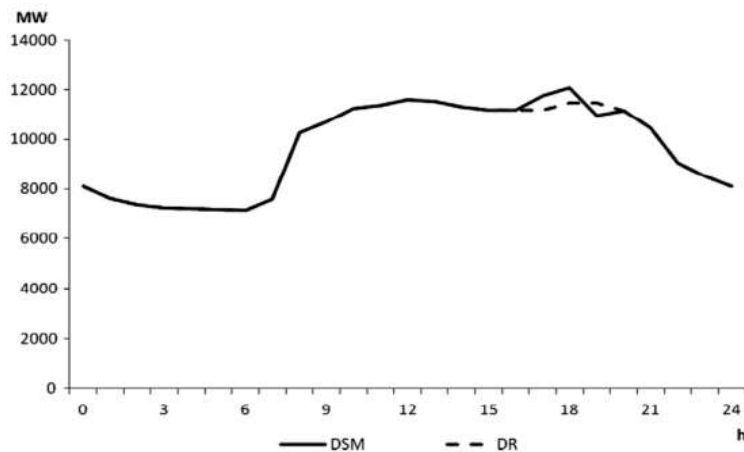


Figura 24 - Diagrama de curva de carga inserindo mediadas de resposta de demanda dinâmica (DR)

Fonte: MOURA; ALMEIDA, DE, (2010)

Ainda que, de forma geral, qualquer redução de consumo vai contribuir para reduzir os problemas de intermitência que causam preocupação quanto a segurança do sistema. Isso porque com uma energia total menor demandada, o total de capacidade instalada em energias renováveis para atendimento do objetivo mínimo de renováveis no sistema será menor. Com as medidas aplicadas, é possível reduzir as necessidades de energia intermitente em 11,24%, com custos menores (MOURA; ALMEIDA, DE, 2010).

WIDÉN et al. (2010) também avaliam o cruzamento de dados entre a geração renovável, fotovoltaica distribuída e a curva de carga residencial. Os autores concluem

que quanto mais detalhado o modelo de demanda, mais é possível entender os impactos dessa geração para o sistema. Através de modelos de carga foi possível prever quando e quanto os sistemas distribuídos precisam exportar energia para o grid ou importar. Esse resultado é um importante fator para os operadores do sistema.

PINA et al. (2012), avaliam como medidas de GLD impactam na penetração de renováveis nos sistemas elétricos. A geração elétrica é modelada com o TIMES, um programa que otimiza o investimento e operação em plantas eólicas e hidrelétricas até 2020 baseado em cenários de crescimento de demanda, desenvolvimento de tecnologias de GLD no setor doméstico e promoção de mudanças comportamentais para a eliminação da utilização de energia *stand-by*. Os resultados mostram que estratégias de GLD podem levar a um adiamento significativo do investimento em nova capacidade de geração e melhorar a operação da já existente capacidade instalada.

A importância de olhar o sistema de forma integrada é demonstrada neste trabalho. Esse resultado, avaliado de forma integrada leva a duas constatações que podem ser bilateralmente opostos considerando os interesses ambientais relacionados às emissões da geração elétrica. A necessidade menor de energia faz com que a necessidade de construir novas plantas de geração sejam adiadas, porém, no caso específico do estudo, Ilha de Açores, Portugal, isso significa que o sistema continuará sendo majoritariamente fóssil. A adição de capacidade de geração será feita pela entrada maior de plantas renováveis, se esta maior geração não for necessária, o mix de geração continuará sendo abastecido por térmicas a diesel poluentes (PINA et al., 2012).

Além de impactos para a geração dos sistemas, medidas de GLD podem levar a impactos positivos nos sistemas de transmissão e distribuição (T&D). Os impactos potenciais de medidas pelo lado da demanda nos sistemas de T&D são: adiamento de construção de nova capacidade, otimização da capacidade e minimização das perdas. YAU et al. (1990) observam como algumas medidas de GLD levam a alguns impactos positivos na transmissão e distribuição. Para o cenário analisado, no qual quatro medidas de GLD seriam tomadas em conjunto, a redução de energia no pico foi em torno de 10% anualmente. Essa situação levou a uma liberação de 9% da capacidade da subestação. As perdas de distribuição também foram reduzidas significativamente, em cerca de 20%.

Conhecer o comportamento da carga residencial também auxilia no dimensionamento de Net-Zero-energy-buildings² (NetZEB, prédios com consumo zero de energia), conforme demonstrado em SALOM et al. (2011) e SALOM et al. (2014). A partir de dados de demanda e suas variações ao longo do ano e o dia é possível entender a relação desse tipo de edificação com o sistema elétrico. O cruzamento de dados de carga com dados de geração local permitem estimar a energia total importada e exportada do grid e o impacto nesse total com o uso de baterias. É possível ver que a cada mês o comportamento do sistema muda (Figura 25). No meio do ano a necessidade de importação do grid é menor, até inexistente caso se use bateria. Já nos meses de dezembro e janeiro, menos energia é exportada do grid e também, mais energia é demandada do sistema.

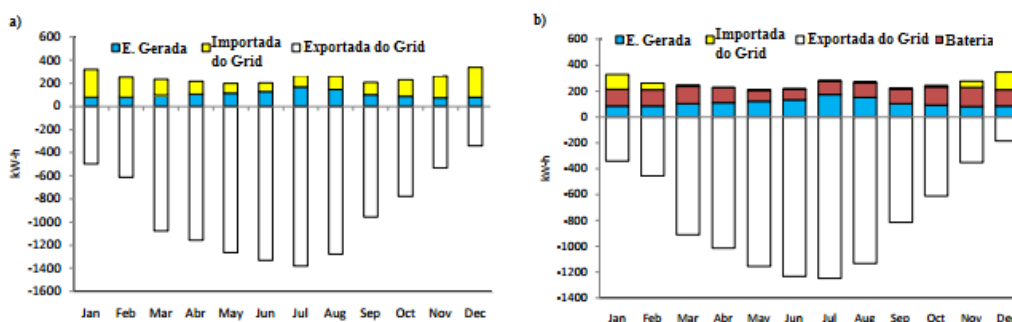


Figura 25 – Distribuição da carga pela tipo de energia gerada ou pela conexão com o grid para o caso sem uso da bateria (a) e com bateria (b)

Fonte: SALOM et al. (2011) adaptado

Não só aspectos técnicos podem ser otimizados e planejados pela observação da curva de carga, a análise da curva de carga auxilia em decisões de investimentos futuros, tarifas, cálculos de perdas, entre outros, o que propicia uma alocação ótima dos recursos no planejamento de operação e expansão do sistema (QUEIROZ, 2011).

O planejamento do setor elétrico tem como objetivo garantir a continuidade do abastecimento energético de forma eficiente, com o menor custo, menor risco e menores impactos socioeconômicos e ambientais. Planejar o sistema envolve conhecer a capacidade atual e prever a infraestrutura necessária para garantir que as demandas atual e futura sejam atendidas de forma ótima em todos os momentos da carga (EPE; ADENE, 2005).

² Net- Zero Energy Building (Net ZEB) podem ser sucintamente descritos como um edifício ligado ao grid que gera tanta energia quanto usa ao longo de um ano (SALOM et al., 2011).

4 Proposta metodológica

Diversas são as formas e modelos existentes para estimar o consumo residencial de energia e suas variações sazonais e horárias. O modelo proposto pretende, de forma simplificada, incorporar as questões de variação da demanda ao longo de um ano e de um dia de forma a estimar um perfil de demanda diária e mensal de energia elétrica residencial individualizada para cada uso final.

Cada uso final de energia tem uma lógica de consumo diferente, o modelo proposto procura incorporar essas diferenças através de metodologias de cálculos ajustadas de acordo com o tipo de consumo. A proposta é entender o quanto cada um dos usos finais de eletricidade contribui para o total demandado e o quanto essa participação pode variar de acordo com a época do ano e do horário do dia.

O consumo anual de energia é estimado a partir de uma metodologia *bottom-up* detalhada para os diferentes usos finais. A partir de variáveis como posse de equipamentos, eficiência e frequência de uso é possível estimar a demanda energética anual. Essa demanda é então segmentada de acordo com sua sazonalidade de uso. A sazonalidade para cada uso é obtida através de pesos que são calculados de acordo com a lógica do consumo final e que distribuem a demanda anual de acordo suas variações ao longo dos meses.

O consumo mensal é distribuído de acordo com um consumo horário, partindo do pressuposto que todos os dias do mês têm um comportamento igual. Esse pressuposto foi tomado de modo a simplificar a modelagem proposta, sendo a simplificação um dos objetivos do trabalho apresentado. Porém, é importante salientar que este pressuposto encontra algumas distorções, visto que o comportamento real sofre variações conforme cada uso final dependendo do dia da semana, feriado ou final de semana (OLIVEIRA et al., 2014). O consumo horo-sazonal, dessa forma é constante. Assume-se um comportamento padrão diário independente do dia, ou estação do ano.

Sendo assim, o consumo horário é obtido a partir do uso de pesos de consumo diário. Os pesos fornecem informações sobre em que momento do dia existe uma tendência maior de se usar um determinado aparelho doméstico.

O modelo pode avaliar cenários diferentes, permitindo que duas situações futuras de consumo sejam estimadas e comparadas. A segregação entre a carga anual e diária permite entender quais medidas simuladas em cenários propostos têm um maior

potencial para a redução da energia total anual e quais medidas impactam mais o consumo no horário de pico do sistema.

A Figura 26, abaixo, ilustra as etapas do processo de modelagem, desde a definição de premissas e parâmetros, até os resultados finais de consumo para um dia representativo de cada mês do ano.

Na seção 4.1 a metodologia *bottom-up* utilizada para calcular o consumo de energia residencial anual é descrita. A seção seguinte, 4.2, descreve o modelo de acordo com a metodologia de sazonalidade utilizada. Por fim, na seção 4.3 a proposta de construção da curva diária de consumo a partir dos consumos calculados nas seções anteriores é descrita.

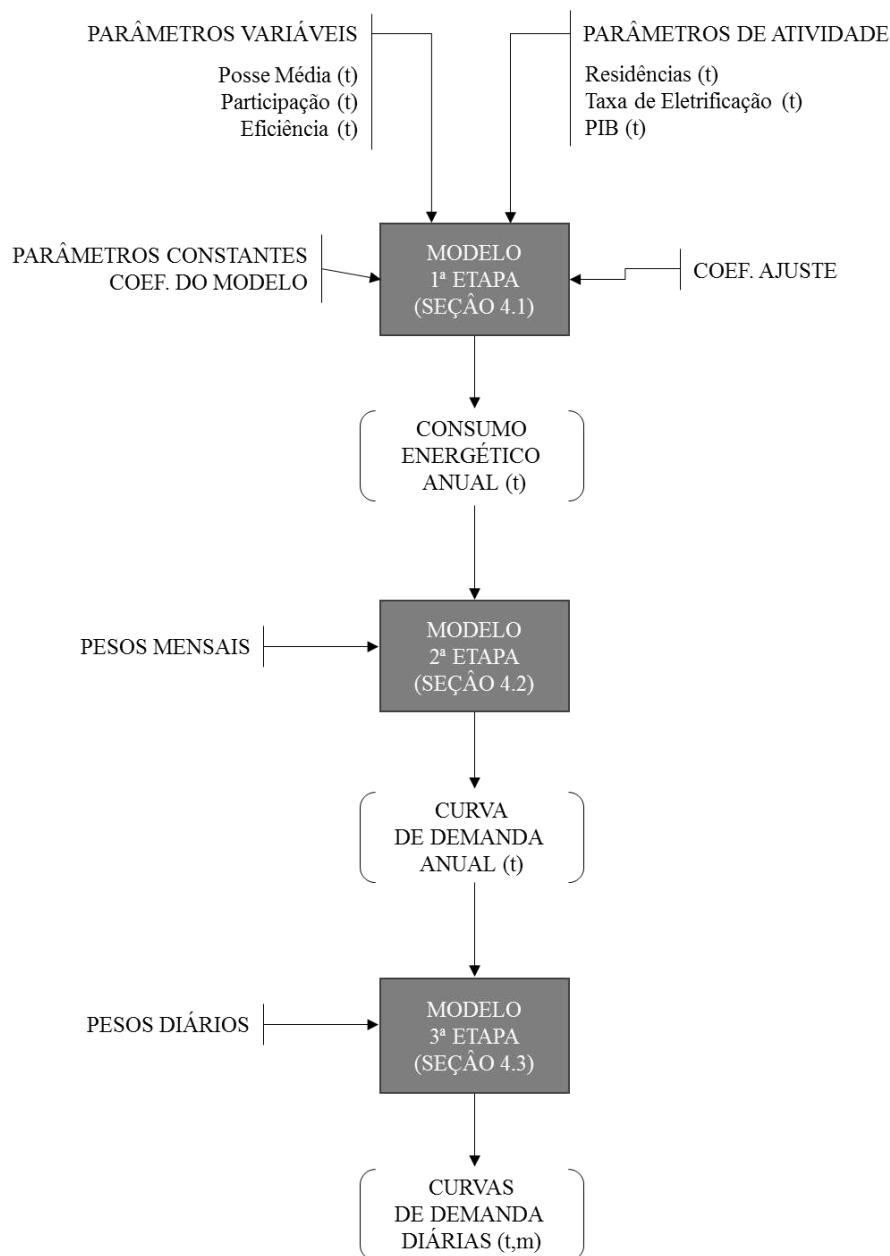


Figura 26 - Fluxograma do modelo proposto

A fim de obter um modelo simplificado, as residências não foram distribuídas segundo sua renda mensal, tipo de construção ou localização, se está em área rural ou urbana. Esse nível de detalhamento foi escolhido para evitar a complexidade da obtenção de dados de entrada para o modelo, apesar de ser uma limitação do modelo, visto que esses fatores estão intimamente relacionados ao comportamento residencial de consumo.

4.1 Demanda total Bottom-up

No presente trabalho, é proposto um modelo de demanda de eletricidade baseado na metodologia *bottom-up* para o cálculo de consumo anual de energia elétrica. A demanda elétrica é estimada a partir de cinco categorias de usos finais: (1) Refrigeração; (2) Iluminação; (3) Aquecimento de Água; (4) Climatização; e (5) Outros Usos Diversos.

Para cada uso final, a partir dos dados de posse de aparelhos, de informações sobre a tecnologia utilizada e de hábitos de consumo das famílias, estima-se o Consumo Energético Médio (CEM) em uma residência em um determinado ano t , conforme a seguinte equação:

$$CEM_{Res-u}(t) = \sum_{j,k} Posse\ Média_j(t) * Participação_{j,k}(t) * Potência\ de\ Serviço_j(t) * Frequência\ de\ Uso_j(t) * Eficiência\ Energética_{j,k}(t) \quad Eq. (1E)$$

Onde: u = uso final; j =equipamentos associados ao uso final; k =tipo de equipamento; t =ano

Cada um dos parâmetros utilizados no modelo é definido a seguir:

1. **Posse Média.** Este parâmetro descreve o número médio de equipamentos existentes em cada domicílio associados a um determinado uso final u .
2. **Participação.** Determina como o número total de equipamentos é distribuído em diferentes tipos de tecnologias consideradas pelo modelo. Cada tecnologia considerada possui características distintas em relação ao consumo final energético.
3. **Potência de Serviço.** É a potência necessária para a realização da tarefa a que se propõe aquele uso final. No caso de uma geladeira, por exemplo, é a carga térmica de refrigeração. Em geral, este parâmetro diz respeito ao equipamento e não a categoria do equipamento.
4. **Frequência de Uso.** A frequência de uso define os momentos e a duração da utilização dos aparelhos. Ao ser multiplicada pela *Potência de Serviço*, define a energia consumida no ano para cumprir um determinado serviço.
5. **Eficiência.** É o fator que descreve como um determinado tipo de equipamento converte a energia elétrica na forma de energia necessária ao serviço. É o coeficiente de desempenho do aparelho.

O modelo incorporou também as diferenças regionais de modo a representar a diferente participação de cada uma das regiões abordadas. A desagregação em regiões

geográficas, e não por estados, ocorre pela maior disponibilidade de dados agrupados dessa maneira. Essa abordagem permite ao modelo ser mais fiel aos hábitos de cada uma das diferentes regiões oficiais do país: Sudeste, Sul, Centro-Oeste, Norte e Nordeste.

Para cada região, o consumo energético médio em cada residência é definido como:

$$CEM_{Res.i}(t) = \sum_u CEM_{Res.u}(t) \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde: i = regiões; u = uso final; t =ano;

Desse modo, temos que a seguinte equação determina o consumo energético no Brasil:

$$CE_{Brasil}(t) = \sum_i Residências_i(t) * CEM_{Res.i}(t) \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde: i = regiões; t =ano;

(entende-se por residência as residências com acesso a energia elétrica)

Substituindo-se o CEM na equação acima, tem-se:

$$CE_{Brasil}(t) = \sum_{i,j,k} Residências_i(t) * Posse Média_{i,j}(t) * Participação_{i,j,k}(t) * Potência de Serviço_{i,j}(t) * Frequência de Uso_{i,j}(t) * Eficiência Energética_{j,k}(t) \quad \text{Eq. (4)}$$

Essa abordagem permite comparar as participações de cada um dos usos finais na evolução da demanda de energia elétrica. Permite ainda analisar impactos referentes a mudanças nas variáveis do modelo no consumo de energia elétrica como um todo.

Como mostra a equação, os parâmetros avaliados podem sofrer alteração com o passar do tempo. À medida que novas tecnologias entram no mercado, ou à medida que a população adquire novos hábitos e um novo padrão de vida, a quantidade de equipamentos adquiridos pelas famílias se altera, assim como o uso associado. Ao comprar novos equipamentos, as famílias diminuem a participação de tecnologias defasadas e abrem espaço para produtos mais novos e eficientes com outros padrões de consumo.

Estimar como essa evolução ocorre, não é uma tarefa simples e envolve inúmeras incertezas. Por isso a importância de um modelo. Ele permite que se trabalhe com cenários possíveis de evolução, possibilitando comparações entre as diferentes perspectivas de crescimento da demanda em longo prazo.

4.1.1 Modelo

De forma geral, as variáveis foram divididas conforme sua utilização na construção do modelo. Dois tipos de variáveis foram consideradas, parâmetros e coeficientes, conforme descrito a seguir:

- Parâmetros do modelo são aquelas variáveis que podem ser ajustáveis no tempo e dependem apenas das premissas que serão utilizadas para serem definidas. Os parâmetros podem ter variação ao longo do tempo de análise do modelo e dos cenários escolhidos.
- Os coeficientes utilizados são as variáveis que foram obtidas através de relações fixas ou empíricas utilizadas, como relações calculadas para ajustar o modelo ou para estimar o consumo energético com base em alguma equação.

No modelo apresentado três tipos de parâmetros e dois tipos de coeficientes foram definidos: (a) parâmetros variáveis; (b) parâmetros constantes; (c) parâmetros de atividade; (d) coeficientes de ajuste; e (e) coeficientes do modelo.

Os parâmetros variáveis são aqueles que, segundo metodologia adotada, podem sofrer variação ao longo do tempo e conforme os cenários adotados. Em geral, estes são a posse, participação das tecnologias consideradas e a eficiência dos equipamentos.

Para fim de simplificação dos cálculos do modelo, alguns parâmetros são mantidos constantes ao longo dos cenários avaliados e da projeção realizada, esses parâmetros são os que chamamos de parâmetros constantes. Em cada uso final serão definidos estes parâmetros. Um exemplo é a potência requerida nos equipamentos utilizados nas famílias. Pode-se presumir que esta não muda ao longo do tempo, já que está relacionada a um hábito de serviço energético recebido que se manteria constante no tempo.

Os coeficientes de ajuste são obtidos a partir da metodologia de ajuste proposta do modelo. Estes coeficientes estão relacionados a hábitos comportamentais das famílias, como à forma de uso da tecnologia, ou a frequência de uso desta, tempo de

banho por exemplo. Os coeficientes de ajuste foram selecionados para ajustar o modelo aos dados de referência no ano base. A seleção de coeficientes baseou-se na confiabilidade dos dados disponíveis na literatura. As variáveis escolhidas como coeficientes de ajuste são àquelas que foram consideradas de maior incerteza.

Os coeficientes de modelo são definidos a partir de relações fixas consideradas para o cálculo do valor final do consumo. Em alguns casos de uso final, como na climatização, o consumo de energia de ar-condicionado é calculado com base em uma relação empírica de temperaturas. Essas variáveis de suporte de cálculo do modelo são definidas como os coeficientes de modelo. Estes não variam em função do tempo ou cenário adotado.

Todas as variáveis são definidas de acordo com a metodologia específica utilizada para estimar o consumo energético de cada tipo de uso final considerado no modelo. Para cada uso final, serão definidos quais serão os parâmetros e coeficientes considerados.

Outro grupo de variáveis inseridas no modelo são as variáveis de atividade, que incluem parâmetros demográficos e macroeconômicos relativos ao cálculo de energia total demandada nas regiões e no Brasil em determinado ano. Essas variáveis serão denominadas aqui de parâmetros de atividade. Esses parâmetros evoluem ao longo do tempo, porém não sofrem alteração relativa aos cenários. Um resumo desses coeficientes está exibido na Tabela 3.

Tabela 3 – Tipo de coeficientes utilizados pelo modelo proposto

Características	Parâmetros Variáveis	Parâmetros Constantes	Coeficientes de Ajuste	Coeficientes de Modelo	Parâmetros de Atividade
Variação temporal	Sim	Não	Sim/Não	Não	Sim
Variação entre os cenários	Sim	Não	Sim/Não	Não	Não
Exemplo	Posse; Eficiência	Potência	Tempo de uso	-	População; PIB

A metodologia descrita acima é uma generalização do modelo adotado. Porém, o cálculo utilizado para cada um dos usos finais contemplados possui algumas especificidades. A seguir foram descritos cada um dos usos finais e os ajustes necessários para a construção do modelo.

4.1.1.1 Refrigeração

O refrigerador e freezer são máquinas térmicas utilizadas para retirar calor de um ambiente. O consumo energético de um refrigerador está relacionado com a carga térmica de refrigeração e com a capacidade que a máquina tem em transformar a energia elétrica em energia térmica (CARDOSO; NOGUEIRA, 2008).

Pode-se adaptar a fórmula geral de consumo energético apresentada acima para o caso da refrigeração da seguinte forma:

$$CE_{Refrigeração}(t) = \sum_{i,j,k} Residências_i(t) * Posse Média_{i,j}(t) * Participação_{i,j,k}(t) * Volume_{i,j,k} * Eficiência Energética_{j,k}(t) \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde:

i varia de 1 a 5 para cada uma das regiões brasileiras.

$j = 2$, uma vez que refrigerador e freezer são os equipamentos associados ao uso final refrigeração

k varia de 1 a 6, representando cada categoria de refrigerador considerada no modelo: (1) geladeira pequena convencional; (2) geladeira pequena eficiente; (3) geladeira grande convencional; (4) geladeira grande eficiente; (5) *freezer* convencional; e (6) *freezer* eficiente

Posse Média representa a média do número total de equipamentos j (refrigerador ou freezer) em uma região i .

Participação representa o percentual médio de cada categoria k de refrigeração em uma região i .

Volume é volume médio de cada categoria k de refrigerador ou freezer em uma região i . Essa variável foi considerada um coeficiente de ajuste do modelo.

Eficiência Energética representa o consumo por volume médio utilizado, em kWh/litro.ano de acordo com cada tipo k de refrigerador considerado.

Para compreender os cálculos e adaptações realizadas, é necessário compreender o consumo energético unitário de um refrigerador ($CEU_{Ref.}$). Este é dado conforme a equação abaixo:

$$CEU_{Ref.} = Potência de Serviço * Eficiência \quad \text{Eq. (6)}$$

Onde:

- Potência de Serviço é a carga térmica
- Eficiência é o fator que representa a capacidade do aparelho de transformar a energia elétrica em energia térmica

Tendo em vista que a carga térmica é proporcional ao volume do ambiente que se deseja refrigerar, é possível substituir a potência de serviço pelo consumo padrão (C_p). E nesse caso, a medida de eficiência adotada é o índice de eficiência energética (IE), adotado pelo Programa Brasileiro de etiquetagem (PBE)³.

O IE é dado pela razão do consumo do produto em questão (C) e o consumo padrão (C_p) calculado (INMETRO, 2016a).

$$IE = \frac{C}{C_p} \quad \text{Eq. (7)}$$

Este índice avalia o quanto uma tecnologia evoluiu em relação a um consumo padrão para uma mesma categoria de consumo.

O consumo padrão é definido como o consumo de energia esperado para um refrigerador em função de seu volume ajustado⁴. O consumo padrão foi estimado pelo Procel como uma função linear do volume ajustado, a partir de regressão linear baseada em curvas de consumo de energia plotadas para os equipamentos existentes no mercado no momento do estudo (CARDOSO; NOGUEIRA, 2008), conforme equação a seguir:

$$C_p = a * AV + b \quad \text{Eq. (8)}$$

Para cada categoria considerada pelo Procel um coeficiente angular e linear foi estipulado (MOCARZEL e TABOSA, 2003).

Enquanto a carga térmica representa a potência térmica de serviço do refrigerador, o consumo padrão já representa a potência consumida da rede elétrica em

³ O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) fornece informações sobre o desempenho dos produtos, em relação a sua eficiência energética. Foi criado em 1993 com o propósito de ajudar os consumidores a tomarem decisões de compra mais conscientes, a partir da etiquetagem dos níveis de consumo de cada equipamento, conforme categorias de desempenho. A partir da Lei 10.925 de 17 de outubro de 2001, a Lei de Eficiência Energética, o programa deixa de ser voluntário e toma caráter compulsório (INMETRO, 2016b)

⁴ Volume ajustado (AV) é determinado considerando-se o volume interno do refrigerador. Onde o volume do compartimento congelador, evaporador ou se sua seção é multiplicado em relação a um fator obtido em relação às temperaturas nominais de classificação de cada compartimento e seção.

função do volume do refrigerador. No entanto, é necessário lembrar que este consumo padrão se refere a um valor calculado no passado e que não corresponde ao consumo dos refrigeradores modernos disponíveis atualmente no mercado. Por isso, faz-se necessária a utilização do índice de eficiência energética (IE).

Temos então que a energia elétrica consumida por um refrigerador é proporcional ao volume do refrigerador e ao índice de eficiência.

De modo a simplificar o modelo sugerido, os cálculos de eficiência e consumo padrão considerados pelo INMETRO (2016a) foram sumarizados em um coeficiente variável (eficiência) que representa o consumo por volume médio utilizado, kWh/litro.ano. Para cada tipo de refrigerador considerado no modelo, assume-se um consumo base. Essa metodologia permite que os níveis de eficiência sejam modificados para diferentes cenários de forma simplificada.

No modelo proposto, os demais coeficientes variáveis são a posse e a participação de cada categoria de refrigerador. A definição de categorias de refrigeradores também é um ponto importante a ser discutido. Os refrigeradores foram primeiramente divididos entre *Freezers* e Geladeira. As geladeiras foram categorizadas, então, em relação a dois tamanhos distintos e dois níveis de eficiência. O freezer foi dividido somente em duas categorias: eficiente e convencional. A categorização final utilizada pelo modelo segue conforme Tabela 4 a seguir:

Tabela 4 – Categorização utilizada para o segmento de refrigeração

Equipamento	Tamanho	Eficiência
Geladeira	Pequeno	Eficiente
		Convencional
	Grande	Eficiente
		Convencional
Freezer	Eficiente	
	Convencional	

A participação de cada modelo pode variar para os diferentes cenários vislumbrados, o que implica numa tendência de troca em relação à eficiência das geladeiras e seu tamanho.

O volume foi o coeficiente de ajuste utilizada para fazer os resultados do modelo corresponderem aos dados de referência para o consumo de energia em cada região no ano-base. Foram ao todo três variáveis de ajuste: (1) volume da geladeira pequena; (2) volume da geladeira grande; e (3) volume do *freezer*.

4.1.1.2 Iluminação

A energia elétrica consumida para a iluminação nada mais é que a energia consumida pelas lâmpadas nas residências. As lâmpadas convertem energia elétrica em energia luminosa e/ou térmica, fornecendo luz artificial para um ambiente. A energia luminosa é a energia útil de interesse para atender a necessidade de iluminação de um local.

Diferentes tecnologias de lâmpadas apresentam diferentes eficiências na conversão de energia elétrica para energia luminosa. Segundo a regulação vigente no Brasil sobre lâmpadas comerciais, o indicador de eficiência energética a ser utilizado é definido como a razão entre o fluxo luminoso, medido em lúmen (lm), e a potência elétrica consumida, medida em watt (W) (MME, 2010). Logo, no caso da iluminação, a fórmula geral de consumo energético apresentada anteriormente fica da seguinte forma:

$$CE_{Iluminação}(t) = \sum_{i,j,k} Residências_i(t) * Posse Média_{i,j}(t) * Participação_{i,j,k}(t) * Potência de Serviço_{i,j} * Frequência de Uso_{i,j} * Eficiência Energética_{j,k}(t) \quad \text{Eq. (9)}$$

Onde:

i varia de 1 a 5 para cada uma das regiões brasileiras.

j = 1, uma vez que lâmpada é o único equipamento associado ao uso final iluminação

k varia de 1 a 4, representando cada categoria de lâmpada considerada no modelo: (1) lâmpada fluorescente tubular (FT); (2) lâmpada fluorescente compacta (FC); (3) incandescente; e (4) LED (em inglês, *light emitter diode*). Outras tecnologias não foram consideradas, já que representam um percentual pequeno do mercado brasileiro.

Posse Média representa a média do número total de equipamentos *j* (lâmpada) em uma região *i*.

Participação representa o percentual médio de cada categoria *k* de lâmpada em uma região *i*.

Potência de Serviço é a potência luminosa média (em lumens – lm) associada a uma única lâmpada em uma região *i*.

Frequência de Uso representa o tempo médio de uso de lâmpadas por ano em uma residência na região *i*. Este foi considerado o coeficiente de ajuste do modelo.

Eficiência Energética é a taxa de conversão de energia luminosa (em lumens) para energia elétrica consumida (em Watts) para cada categoria *k* de lâmpada.

Como demonstrado pela equação, é preciso conhecer o padrão de consumo atual médio. Ou seja, quantas lâmpadas existem nas residências, quantas horas as lâmpadas são ligadas por dia, quais tecnologias são utilizadas e qual a luminosidade oferecida por essas tecnologias utilizadas. A luminosidade é calculada de acordo com a potência padrão média (em lumens) utilizada pelas lâmpadas nas residências no ano base.

Diversas são as opções tecnológicas oferecidas pelo mercado para alcançar esse serviço energético médio por residência. Os modelos se diferenciam pelo fluxo luminoso que oferecem e a eficiência da conversão de energia elétrica em energia luminosa. A participação de cada tecnologia e sua variação ao longo do tempo será o que determinará o consumo energético final.

4.1.1.3 Aquecimento de água

O aquecimento de água para banho pode ser feito através do uso de diferentes fontes de energia, sendo a eletricidade a de maior participação no Brasil (Figura 3). Segundo a Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso (PPH) (PROCEL, 2007), do ano 2005, das residências que aquecem água com eletricidade, 99,6% utilizam chuveiros elétricos, enquanto o uso do boiler elétrico é marginal. Assim, para o modelo Brasileiro, por simplificação, o consumo de energia elétrica é representado apenas pelo chuveiro elétrico.

O chuveiro elétrico é um equipamento que tem uma resistência elétrica interna, alimentada por um condutor. Esses equipamentos são dimensionados para serem capazes de aquecer a temperatura de uma vazão específica de água durante sua passagem pela resistência elétrica existente (PRADO; GONÇALVES, 1998).

A temperatura de saída da água depende de hábitos comportamentais e da própria capacidade que o sistema de aquecimento utilizado possui. A potência do chuveiro é proporcional a sua resistência, chuveiros com maior capacidade de aquecimento possuem maiores resistências internas e maiores potências. Alguns aparelhos existentes permitem que o usuário mude a posição da chave de resistência do chuveiro elétrico em duas ou mais posições, permitindo que se altere a temperatura da

água de saída através de uma mudança no tamanho da resistência interna (PRADO; GONÇALVES, 1998).

Os equipamentos vendidos no Brasil são especificados pelo Procel/Inmetro de acordo com sua potência, capacidade de elevação da temperatura da água e a vazão de água aquecida. As categorias de consumo de energia estão somente correlacionadas a potência dos chuveiros, e todos os equipamentos possuem eficiência superior à 95% (Selo Procel chuv.)

CLASSES DE POTENCIA	POTENCIA (W)	UTILIZAÇÃO
A	$P \leq 2.400$	PREFERENCIALMENTE, REGIÃO DE CLIMAS MAIS QUENTES, COMO A REGIÃO NORTE
B	$2.400 > P \leq 3.500$	
C	$3.500 > P \leq 4.600$	
D	$4.600 > P \leq 5.700$	PREFERENCIALMENTE, REGIÃO DE CLIMAS MÉDIOS A QUENTES, COMO AS REGIÕES NORDESTE E CENTRO-OESTE
E	$5.700 > P \leq 6.800$	
F	$6.800 > P \leq 7.900$	PREFERENCIALMENTE, REGIÃO DE CLIMAS MAIS FRIOS, COMO AS REGIÕES SUL E SUDESTE
G	$P > 7.900$	

Figura 27 - Consumo de energia elétrica de chuveiros elétricos, segundo a classificação do PBE.

Fonte:INMETRO (2016a)

Assim, a equação básica de consumo de energia teve de ser adaptada da seguinte maneira:

$$\begin{aligned}
 CE_{Aquec. \text{ Água}}(t) &= \sum_{i,j,k} Residências_i(t) * Posse \text{ Média}_{i,j}(t) * Participação_{i,j,k}(t) \\
 &\quad * Potência \text{ de Serviço}_{i,j}(t) * Frequência \text{ de Uso}_{i,j} \\
 &\quad * Eficiência \text{ Energética}_{j,k}
 \end{aligned}
 \tag{Eq.10}$$

Onde:

i varia de 1 a 5 para cada uma das regiões brasileiras.

$j = 1$, uma vez que corresponde ao aquecimento, ou não, de água

k varia de 1 a 4, representando cada tecnologia de aquecimento considerada no modelo: (1) Chuveiro elétrico; (2) Gás natural; (3) GLP; e (4) Sistemas de Aquecimento Solar (SAS)

Posse Média representa a parcela de residências que aquecem água em uma região i .

Participação representa o percentual médio de cada tecnologia k de aquecimento em uma região i .

Potência de Serviço é a potência média do chuveiro em Watts em uma região i . Neste caso, este será um parâmetro variável (em função do tempo e do cenário).

Frequência de Uso é calculada para cada habitante, a relação habitante/residência oferece o tempo de uso médio diário para cada residência com aquecimento elétrico em uma região i . O tempo de banho médio foi considerado o coeficiente de ajuste do modelo. Isso por conta da dificuldade em estimar o tempo médio de banhos quentes para cada região do Brasil.

Eficiência Energética é a taxa de conversão de energia térmica para energia elétrica consumida.

Os cenários futuros são focados, portanto, nas substituições das fontes utilizadas no setor residencial para este fim. Por isso, foram incluídas neste modelo até mesmo as tecnologias não elétricas para aquecimento de água. Desse modo, é possível entender a participação de cada fonte e simular cenários possíveis de substituições de fontes.

4.1.1.4 Climatização

No setor residencial, sistemas de ar condicionado representam, no âmbito do consumo de energia, os principais equipamentos para fins de climatização. Sua função é o ajuste da temperatura e umidade do ambiente interno a fim de obter conforto térmico (NOGUEIRA, 2013).

O funcionamento de um sistema de ar-condicionado se baseia na transferência de calor do ambiente para um ambiente externo através de um ciclo de refrigeração termodinâmico, por compressão ou por absorção. Em ambientes menores, como é o caso do setor residencial, o ciclo de refrigeração por compressão é o mais utilizado, por sua simplicidade de operação e controle e seu menor valor de investimento. Esse ciclo utiliza a energia mecânica, proveniente de um motor elétrico, para realizar a transferência de calor, obtendo o efeito de resfriamento desejado (BATEMAN, 1999 *apud* NOGUEIRA, 2013).

Par a climatização, a equação básica de consumo de energia foi adaptada da seguinte maneira:

$$\begin{aligned}
 CE_{\text{Climatização}}(t) &= \sum_{i,j,k} \text{Residências}_i(t) * \text{Posse Média}_{i,j}(t) * \text{Participação}_{i,j,k}(t) \\
 &* \text{Potência Nominal}_{j,i} * 0,7 * \text{Frequência de Uso}_{j,i} \\
 &* \frac{T_{amb_i} - 10}{25} / \text{Eficiência Energética}_{j,k}
 \end{aligned}
 \tag{Eq.(11)}$$

Onde:

i varia de 1 a 5 para cada uma das regiões brasileiras.

$j = 1$, uma vez que o ar condicionado é o único considerado para climatização

k varia de 1 a 4, representando os tipos de aparelhos classificadas, de acordo com a tecnologia (janela ou *split*) e também conforme sua eficiência.

Posse Média é o número médio de aparelhos de ar-condicionado em uma região i .

Participação é o percentual médio de cada tecnologia k de ar-condicionado em uma região i .

Potência Nominal é a capacidade nominal média (em kW) de um aparelho em uma região i . A potência nominal é multiplicada por um índice referente a operação de 70%.

Tamb é a temperatura ambiente externa média (em °C) em uma região i .

Frequência de Uso é o tempo de uso do aparelho (em horas/ano). O tempo de uso será utilizado como coeficiente de ajuste do modelo (CARDOSO, HORTA, 2012).

Eficiência Energética é definida como o coeficiente de eficiência energética (COP) – a razão entre a capacidade de refrigeração e a potência elétrica consumida para operar o motor (MOCARZEL e TABOSA, 2003). O coeficiente de eficiência energética (COP) é conforme abaixo:

$$COP = \frac{\text{Capacidade de refrigeração (W)}}{\text{Energia elétrica requerida(W)}} \quad \text{Eq.(12)}$$

A equação de consumo energético da climatização é baseada em uma metodologia de cálculo proposta por NOGUEIRA et al. (2015). A proposta oferece uma maneira simplificada e aproximada de calcular o consumo de energia de uma determinada região. Os índices propostos pelo autor consideram temperaturas externas diferentes das observadas nos testes padrão (35°C) e um índice referente a operação em 70% da capacidade nominal do aparelho. Estes índices foram os considerados como coeficientes do modelo para o caso de refrigeração, e não variam ao longo do tempo ou em função do cenário avaliado. A capacidade de refrigeração de cada equipamento de ar-condicionado pode ser calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$CE_{Ar_{i,t}} = \frac{0,7 * Pot_{.i} * t_{.op.i} * \frac{Tamb_i - 10}{25}}{COP_{i,t}} \quad \text{Eq.(13)}$$

Sendo:

CE = Consumo energético (kWh)

Pot = Capacidade nominal do aparelho (kW)

T_{amb} = Temperatura externa real (° C)

COP = Coeficiente de eficiência energética

A variação do consumo do aparelho depende de fatores culturais e de variação na temperatura média da região, o que não é o objetivo do modelo proposto. Assim, os índices de temperatura média do ambiente permanecem constantes ao longo da análise proposta.

A capacidade de refrigeração utilizada por aparelho depende do tamanho do ambiente a ser refrigerado e do grau de insolação que este recebe. Porém, questões relacionadas ao tipo de construção dos domicílios não são levadas em consideração no modelo proposto. A potência nominal média adotada também é considerada como parâmetro constante, assumindo que está relacionada ao conforto térmico desejado pelo usuário, que será congelado de acordo com as premissas estabelecidas no ano base.

Já o coeficiente de eficiência energética deve sofrer variações ao longo do tempo. Outros coeficientes variáveis estão relacionados à posse e também a participação de cada tecnologia utilizada. A seleção de tecnologias para os aparelhos de ar-condicionado foi baseada no mercado brasileiro. Os ares-condicionados residenciais, usualmente, podem ter dois tipos de configuração: janela ou *split*. No aparelho de janela, todos os componentes do sistema de refrigeração estão no mesmo conjunto. Já no aparelho *split*, mais novo no mercado, o condensador e compressor são instalados externamente do ambiente de saída do ar refrigerado, imprimindo mais eficiência ao sistema e diminuindo os barulhos no motor no ambiente.

4.1.1.5 Outros usos

Esta categoria refere-se ao uso de equipamentos diversos existentes em um domicílio, como televisores, ferros de passar roupa, máquinas de lavar, micro-ondas, computadores, rádios, entre outros. Apesar de estarem presentes em muitas casas – o ferro elétrico, por exemplo, está em 93% dos domicílios (Figura 28) – estes equipamentos não respondem individualmente por um grande consumo de eletricidade (Tabela 2), embora vistos em conjunto, representam um grande consumo de energia.

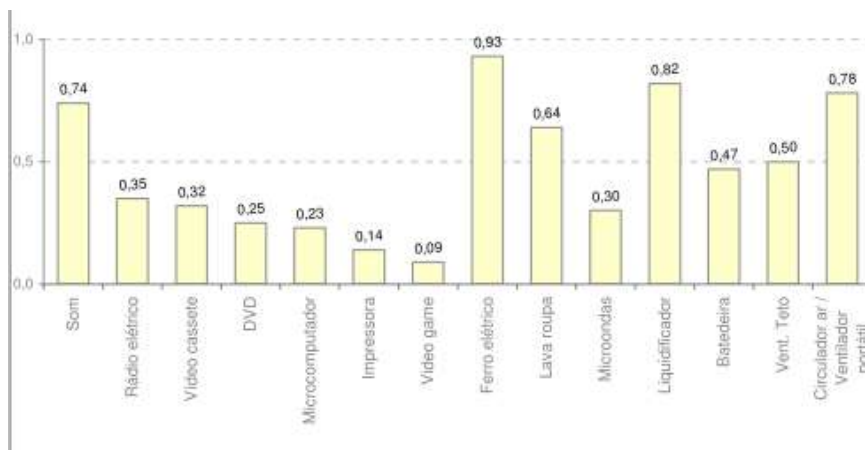


Figura 28 - Presença média de aparelhos nas residências brasileiras

Fonte: PROCEL (2007)

Salienta-se também que existe pouca informação individualizada em relação aos equipamentos presentes nesta categoria, dado sua grande variedade. Além disso, estudos anteriores têm considerado este uso de forma agregada. Nesse sentido, esta breve caracterização focou apenas nos equipamentos que estão considerados no estudo da PROCEL (2007) e naqueles dos quais se possa obter alguma informação de pesquisas como a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, realizada por IBGE (2014).

Os televisores também foram incorporados na categoria de outros usos, apesar de ser o eletrodoméstico de maior posse das famílias brasileiras (PROCEL, 2007). Essa simplificação não permite que se observem de forma individualizada efeitos dos equipamentos mais robustos que estão entrando no mercado, além do que não especifica efeitos do consumo de aparelhos como televisores e outros no modo *stand-by*. Todos esses efeitos são observados conforme uma metodologia agregada para os diversos aparelhos encontrados nos domicílios, ainda que estes sejam populares nas residências brasileiras. Ressalta-se que os usos finais escolhidos correspondem ao maior consumo individual do aparelho nas residências, e não necessariamente sua maior presença.

Diante da necessidade de abordar o consumo de diferentes equipamentos de forma agregada, foi necessária uma estratégia diferente para estimar os parâmetros de consumo desse grupo. Foi utilizada uma abordagem *top-down*, atrelada a evolução de fatores macroeconômicos, nesse caso o PIB per capita.

Alguns trabalhos mostram o quanto o consumo de energia elétrica pode ser sensível às variações de renda da população. SCHMIDT; LIMA (2004) resumizam

alguns destes resultados, mostrando que a elasticidade-renda de consumo residencial de energia elétrica oscila entre 0,2 e 0,5 no curto prazo, e entre 1,0 a 1,3 no longo prazo.

Para o ano base, o consumo médio por residência para essa categoria foi estimado de acordo com a participação total desse segmento no total consumido por esse setor.

$$CE_{outros\ usos_i,por\ residência} = \frac{Consumo\ total_i * \% \text{ consumo outros usos}_i}{Residências_i} \quad \text{Eq.(14)}$$

A partir do valor do ano base, estimou-se que a evolução do consumo ao longo do tempo estaria relacionada a um coeficiente de elasticidade-renda considerado. Assim, a evolução do consumo residencial de outros usos está atrelada à taxa de crescimento do PIB *per capita*. Conforme a seguir:

$$CE_{outros\ usos_i}(t) = \sum_i Residências_i(t) * PIBpercapita(t) * CE_{outros\ usos_i,por\ residência}(t-1) * Elasticidade - Renda(t) \quad \text{Eq.(15)}$$

Onde:

i varia de 1 a 5 para cada uma das regiões brasileiras.

t representa o ano para o qual se calcula o consumo.

PIB representa a taxa de crescimento do PIB entre o *t-1* e o ano *t*.

Elasticidade-Renda é o fator que relaciona o crescimento do PIB com o crescimento de consumo de energia elétrica.

As considerações utilizadas para o índice de elasticidade escolhido estão descritas na secção de premissas adotadas.

4.1.1.6 Ajuste do modelo

A partir do modelo *bottom-up*, obtém-se as equações para projeção da linha de base e dos cenários alternativos, assim como os parâmetros utilizados na modelagem.

A modelagem *bottom-up* do setor residencial, conforme mencionado na seção anterior, necessita de alguns parâmetros detalhados sobre o uso e posse dos equipamentos. A obtenção precisa dessas variáveis não é uma tarefa simples. Dessa forma, muitas vezes é necessário que se estime alguns parâmetros de acordo com alguma informação que se disponha e que possa ser utilizada como base. Quanto mais

desagregado for modelo *bottom-up*, mais flexível será o modelo, porém maior será o esforço para obtenção de dados fidedignos e maior será a dificuldade em construção do modelo. Assim, algumas simplificações são necessárias a fim de viabilizar a construção de uma modelagem simples e eficaz.

Dessa forma, a premissa adotada para calibrar o modelo é que a demanda de energia calculada através da abordagem *bottom-up* seja idêntica à demanda de energia calculada através de uma abordagem *top-down*.

Para cada uso final, partindo de uma estrutura *top-down*, estimou-se o consumo total de energia elétrica anual por região. No Brasil, os dados de consumo residencial na rede de eletricidade são divulgados, em base mensal, pela EPE (2016b). Os dados são discriminados de acordo com a região geográfica, ou subsistema elétrico. Partindo de um total consumido em cada região no ano-base e de dados da participação de cada uso final na demanda anual obtidos na literatura, o consumo energético para o ano base é calculado conforme equação:

$$C.E.topdown_{u,i} = Energia\ elétrica\ consumida_i * participação\ (\%)_{u,i} \quad Eq.(16)$$

Onde: i=região; u= uso-final

Uma vez estimados os modelos *top-down*, procedeu-se a calibragem do modelo *bottom-up*. A variável utilizada nessa calibragem é o coeficiente de ajuste, especificado anteriormente para cada caso de uso final. Encontra-se um valor para cada coeficiente de forma a alcançar a igualdade abaixo:

$$C.E.topdown_{k,i} = C.E.bottomup_{k,i} \quad Eq.(17)$$

Para tal, os valores foram convergidos através do uso de um complemento do *excel*, chamado *solver*. Essa ferramenta permite que o coeficiente de ajuste assumira o melhor valor para cada situação de consumo, de forma a zerar, ou minimizar, a diferença entre as abordagens *bottom-up* e *top-down* sugeridas.

4.2 Sazonalidade

O consumo de energia elétrica não é uniforme ao longo de um ano. Numa base anual, as variações de demanda elétrica estão mais relacionadas a variações externas, como variações climáticas, do que a fatores comportamentais (YAO; STEEMERS, 2005).

Variáveis como a temperatura média do dia e o horário do pôr do sol usualmente respondem a padrões similares ao longo dos anos, ou seja, apresentam um comportamento sazonal⁵ (PAATERO; LUND, 2006).

Observando os dados do consumo de energia elétrica no Brasil para os anos de 2014 e 2015 é possível observar o comportamento mensal da demanda de eletricidade. Percebe-se que existe uma tendência de variação ao longo de um ano, caracterizando uma sazonalidade no consumo de energia elétrica no setor residencial (Figura 29).

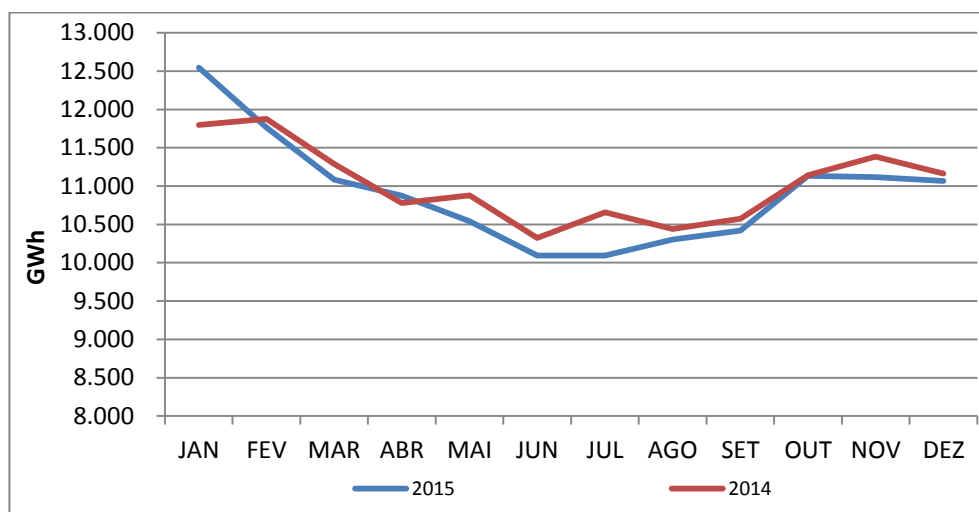


Figura 29 - Demanda mensal de energia elétrica para o setor residencial brasileiro em 2014 e 2015

Fonte: EPE (2016b)

O modelo pretende propor uma análise de consumo energético baseado na sua curva de carga e nas variações que esta pode sofrer ao longo do ano e ao longo de um dia. As metodologias para avaliar os efeitos sazonais da demanda de eletricidade são descritas a seguir.

4.2.1 Modelo

O modelo propõe que a energia total anual de cada uso final seja distribuída ao longo dos meses de acordo com um peso mensal. Esse peso é baseado nas premissas construídas para cada uma das situações de consumo. O somatório dos pesos (ω) para cada uso final (u), deve ser igual a 1, a fim de que o total de energia anual seja respeitado.

⁵ No caso de ocorrência de mudanças climáticas esse padrão pode se alterar FRANK (2005). O modelo permite que novas curvas possam ser propostas para este caso.

$$\sum_{m=1}^{12} \omega_{u,m} = 1 \quad \text{Eq.(18)}$$

De forma geral, o consumo de energia elétrica em um determinado mês m para cada uso final u , é igual ao total anual calculado multiplicado pelo peso da variável mensal ($\omega_{u,m}$). A variação anual vai depender de cada tipo de serviço considerado nas residências.

$$CE_{mensal_{u,m}} = \sum CE_{total_u} * \omega_{u,m} \quad \text{Eq.(19)}$$

A variação anual vai depender de cada tipo de serviço considerado nas residências. Deve-se considerar, por exemplo, que o uso de aparelhos de ar-condicionado é mais intenso no verão, quando as temperaturas são mais altas, assim, como podemos estimar que o comportamento oposto acontece para o uso de aquecimento de água. Assim, o peso calculado depende de qual uso final é considerado.

Além disso, cada região terá um fator sazonal diferente, relacionado às suas condições ambientais, que possuem grande diversidade entre si. O uso de pesos para cada caso é uma forma de entender e estimar a variação ao longo do ano do uso de energia de cada setor em cada uma das regiões.

A seguir, são descritas as variáveis relevantes para o comportamento sazonal de cada uso final que impactam o cálculo do $\omega_{u,m}$. O cálculo desses pesos vai depender das premissas a serem utilizadas, e é feito por um modelo de apoio. As premissas utilizadas no modelo serão apresentadas no capítulo seguinte.

4.2.1.1 Refrigeração

De modo geral, é possível considerar que equipamentos utilizados para refrigeração permanecem ligados permanentemente durante o dia e ao longo do ano. No caso de geladeiras, aparelhos com uso eventual são insignificantes comparados aos de uso permanente (Figura 30). Para os freezers, ainda que a parcela de equipamentos utilizados de forma eventual seja maior, essa parcela ainda é significativamente menor que a parcela do uso permanente (Figura 31).

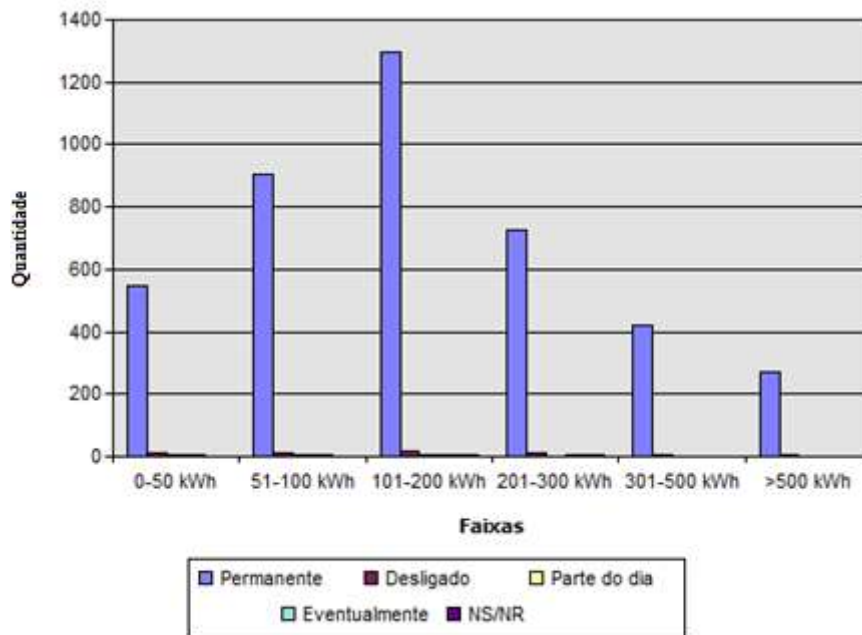


Figura 30 – Quantidade de refrigeradores de acordo com sua frequência de uso.

Fonte: PROCEL (2007)

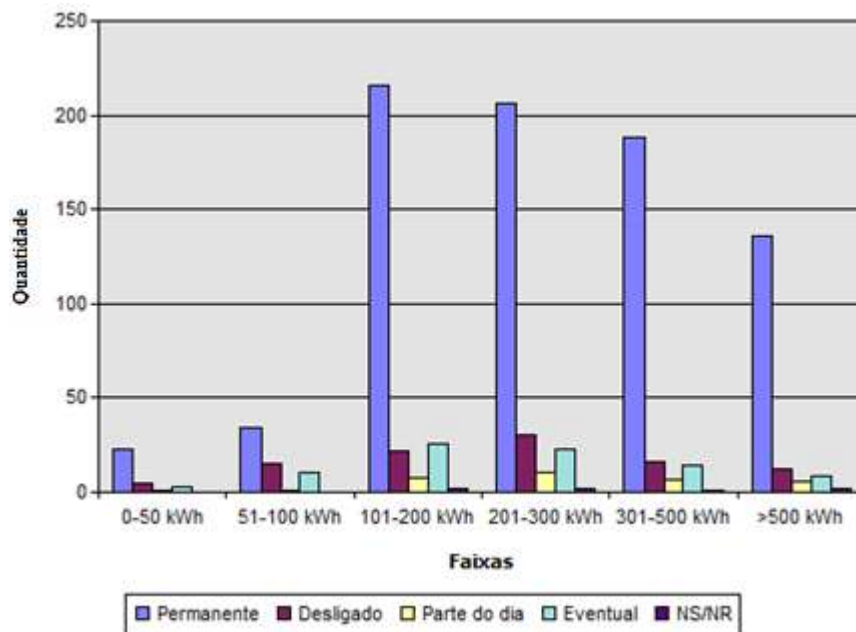


Figura 31 - Quantidade de refrigeradores de acordo com sua frequência de uso

Fonte: PROCEL (2007)

Assim, percebe-se que a sazonalidade de demanda energética de refrigeradores não está associada à variação de uso ao longo de um ano. Porém, um fator que influencia no consumo de energia dos refrigeradores é a temperatura ambiente, quanto maior a temperatura, maior será o consumo energético. Portanto a sazonalidade da

refrigeração pode estar relacionada com a variação do consumo da máquina térmica utilizada e não com a mudança na frequência de uso.

CARDOSO (2008) calculou o quanto a variação da temperatura pode mudar o padrão de consumo energético para refrigeração. A influência da temperatura ambiente no consumo de freezers e refrigeradores é da ordem de 5% para cada grau *Celsius* de variação⁶. Devido a seu comportamento sazonal, a temperatura, pode ser considerada como uma variável relevante para o padrão de sazonalidade no consumo energético da refrigeração residencial.

4.2.1.2 Iluminação

Diferentemente de aparelhos como o ar-condicionado, que fica ocioso ao longo de determinadas épocas do ano, o uso de lâmpadas, em geral, acontece de forma permanente durante os meses. Porém, apesar de utilizadas cotidianamente, a intensidade do uso pode variar significativamente conforme a época do ano (YAO; STEEMERS, 2005).

O uso da iluminação artificial depende de fatores comportamentais, de características domésticas e de fatores naturais, como o nível de luminosidade recebida pela residência ao longo de um dia. A luminosidade recebida está relacionada com a quantidade de luz natural incidente, ou seja, as horas de Sol, o nível de nebulosidade presente em um dia e também o posicionamento da residência e suas características de construção.

Fatores de luminosidade relacionados às questões naturais tem um comportamento sazonal muito bem definido. A duração do dia muda de acordo com as regiões e período do ano, podendo chegar de zero até 24 horas de luz. Quanto maior a latitude, maior será essa variação ao longo do ano. No Brasil, uma grande parte do território está localizada próxima à linha do Equador, onde não se observam grandes variações na duração do dia ao longo dos meses do ano. Porém, sendo um país de grande extensão territorial, localidades mais ao Sul apresentam significativas diferenças de horas de Sol no ano. Porto Alegre, a cerca de 30° Sul, recebe luz natural por aproximadamente 10 horas por dia em junho, enquanto em dezembro esse valor é de

⁶ Ensaio feito a partir da mudança de consumo energético de um refrigerador em relação à temperatura padrão de testes realizados pelo Inmetro, 32°C.

cerca de 13 horas, já Macapá tem um valor de 12 horas constante do longo do ano. (ANEEL, 2005).

Quanto mais tempo de disponibilidade de luz natural, menor a necessidade do uso da iluminação artificial do ambiente. A relação entre essas duas variáveis pode ser observada com uma análise dos efeitos da implantação do horário de verão (HV)⁷ (Figura 32).



Figura 32 - Brasil com e sem o uso de horário de verão (HV)

Fonte: ONS, (2015)

Observa-se que o fato de o dia ter sua duração solar defasada em 1 hora com o horário de verão faz com que a curva de demanda do sistema mude seu perfil. Com a redução do consumo no fim do dia sendo explicada pelo deslocamento da entrada da carga de iluminação pública e residencial, adiado em uma hora. Em contrapartida, a carga aumenta um pouco no princípio do dia, uma vez que há pouca luminosidade por um tempo maior da manhã (Figura 33) (ONS, 2015).

⁷ O horário de verão adianta em uma hora os relógios nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste fazendo com que o pôr do sol aconteça uma hora depois do “horário natural”. Em 2014/2015 ao todo 126 dias contaram com o horário de verão, desde o mês de outubro (EPE-HV).

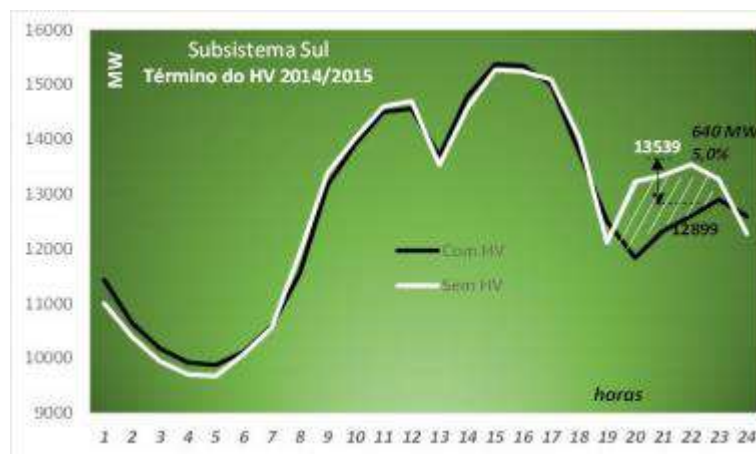


Figura 33 - Alteração da demanda com a entrada do horário de verão (HV)

Fonte: (ONS, 2015)

Percebe-se que o impacto sobre a curva de demanda tem uma escala menor na manhã. Ainda que amanheça mais tarde durante a vigência do horário de verão, como a maior parte das pessoas ainda estão dormindo nesse horário, esse efeito acaba sendo minimizado. No fim do dia, após às 18:00, o consumo residencial para iluminação atinge seu máximo, por isso, o adiamento do pôr do sol acaba causando um impacto maior no sistema.

Assim, mais do que observar o total de horas de luz no dia, o horário que o Sol se põe pode ser um indicativo de como o uso da iluminação residencial varia ao longo dos meses do ano e em cada região. Cada uma das regiões brasileiras apresenta padrões distintos de iluminação por apresentarem características geográficas distintas.

4.2.1.3 Aquecimento de água

O consumo de energia para o aquecimento de água pode ser descrito conforme a equação apresentada em CRUZ, (2016):

$$Q = Cp * \rho * V * (Th - Tamb) \quad \text{Eq.(20)}$$

Sendo:

C_p : calor específico da água, igual à 4.200 (J/kg)/°C;

ρ : densidade igual á 1 kg/L;

V : demanda de água quente (L/dia);

T_h : temperatura de água quente (°C);

T_{amb} : temperatura de água fria (temperatura do ar do local).

É possível perceber que a quantidade de calor demandada é dependente da temperatura de água fria, T_{amb} . Quanto maior a temperatura da água para aquecimento, menor é a quantidade de energia necessária para levar essa água à temperatura almejada para banho. A temperatura ideal para banho, em geral, varia entre 35°C e 50°C (GHISI, 2005).

Além de a temperatura ambiente influenciar a troca de calor, conforme equação acima, essa temperatura também influencia na decisão de aquecer ou não a água (Tabela 5). Em situações de temperaturas muito altas algumas pessoas podem decidir não usar o serviço de aquecimento, ou usar o chuveiro numa posição com um menor consumo.

A potência utilizada pelo chuveiro elétrico está relacionada à sua resistência interna. Usualmente, existe uma possibilidade de o usuário mudar a posição da chave de resistência do chuveiro elétrico em duas ou mais posições que alteram a temperatura da água de saída através de uma mudança no tamanho da resistência interna (PRADO; GONÇALVES, 1998). Com a mudança da resistência, o chuveiro passa a empregar uma potência diferente para o aquecimento, e assim reduz, ou aumenta, o consumo energético da residência. De forma simplificada, podemos assumir que três tipos de posição são possíveis: inverno (uso total da resistência), verão (resistência menor) e desligado (água não aquecida).

A Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso (Procel, 2007) mostra a variação do uso do chuveiro dependendo do período do ano. À época da pesquisa, apenas 31,2% dos chuveiros elétricos tinham a chave na posição inverno, sendo que 70,4% ficam ligados nessa posição durante o período mais frio, de inverno.

Tabela 5 - Uso do chuveiro elétrico conforme a estação do ano

Classe de consumo (kWh)		Posição em que se encontra a chave do chuveiro				Total de chuveiros	Posição em que fica a chave do chuveiro no inverno				Total de chuveiros
		Verão	Inverno	Desligada	NS/NR		Verão	Inverno	Desligada	NS/NR	
		Casos	%	Casos	%		Casos	%	Casos	%	
0 a 200	Casos	1187	685	301	31	2204	449	1546	177	32	2204
	%	53,9%	31,1%	13,7%	1,4%	100,0%	20,4%	70,1%	8,0%	1,5%	100,0%
201 a 300	Casos	400	252	96	16	764	142	559	45	18	764
	%	52,4%	33,0%	12,6%	2,1%	100,0%	18,6%	73,2%	5,9%	2,4%	100,0%
> 300	Casos	417	246	125	39	827	150	565	70	42	827
	%	50,4%	29,7%	15,1%	4,7%	100,0%	18,1%	68,3%	8,5%	5,1%	100,0%
Total	Casos	2004	1183	522	86	3795	741	2670	292	92	3795
	%	52,8%	31,2%	13,8%	2,3%	100,0%	19,5%	70,4%	7,7%	2,4%	100,0%

Fonte: PROCEL (2007)

Além da temperatura, outro fator influencia na tomada de decisão sobre o uso do chuveiro elétrico, a umidade relativa do ar. A combinação de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade dos ventos resulta na sensação térmica, ou seja, temperatura percebida por uma pessoa. De acordo com essa sensação de calor percebida a decisão de

ligar ou não o chuveiro pode ser afetada, mostrando que a umidade também pode ser levada em consideração para entender o comportamento de uso do chuveiro (MORISHITA, 2011).

Assim, temperatura ambiente, assim como a temperatura percebida, podem se mostrar então um bom parâmetro para compreender a sazonalidade do uso de energia para o aquecimento global. Seja pelo lado da mudança do modo de operação do sistema, seja pelo modo da quantidade de uso ao longo dos meses.

4.2.1.4 Climatização

É possível assumir que o uso de equipamentos de ar-condicionado para fins de refrigeração do ambiente responde pelas maiores alterações ao longo do ano. Aparelhos de ar-condicionado são grandes consumidores de energia. Além de apresentarem alto consumo energético, costumam ser utilizados por longos períodos de tempo, quando necessários.

A temperatura média ao longo do ano varia não só de acordo com a época do ano, mas também de acordo com o local. Cidades mais ao norte tendem a ter menores variações sazonais de temperatura, enquanto em cidades mais ao Sul a oscilação observada é maior (Figura 34).

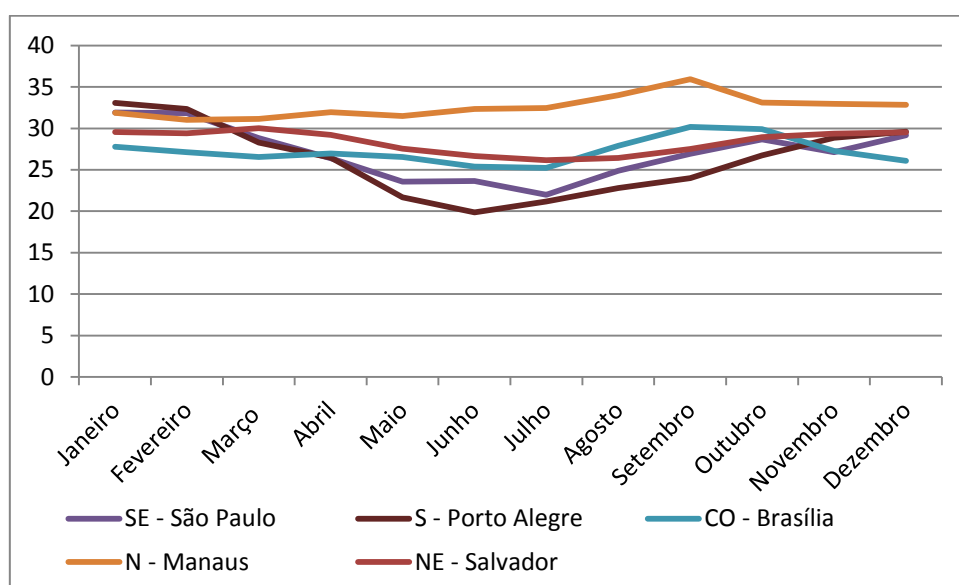


Figura 34 - Temperatura máxima média medida para o ano de 2014

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de INMET (2016)

Segundo (HONG; LIN, 2013) a temperatura de 28°C pode ser considerada a temperatura limite, a partir da qual existe uma sensação térmica de desconforto percebida, gerando a necessidade de utilizar o ar-condicionado.

A partir dessa consideração e conforme as oscilações demonstradas na Figura 34 pode-se inferir que existam períodos do ano em que a necessidade de uso de ar-condicionado é menor, visto que as temperaturas são mais baixas.

Tomando como base a Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso, é possível perceber essa diferenciação de uso de acordo com o clima. Os dados apontaram que, enquanto no clima ameno, 2,8% fazem uso médio do equipamento (1 a 3 vezes por semana) e 5,2% uso regular (1 a 3 vezes por mês), em condição de clima quente, 41,8% mencionaram fazer uso grande (> 4 vezes por semana) e 23,1% uso médio (1 a 3 vezes por semana). Em condição de clima frio, 81,6% declararam não fazer uso do equipamento (Figura 35).

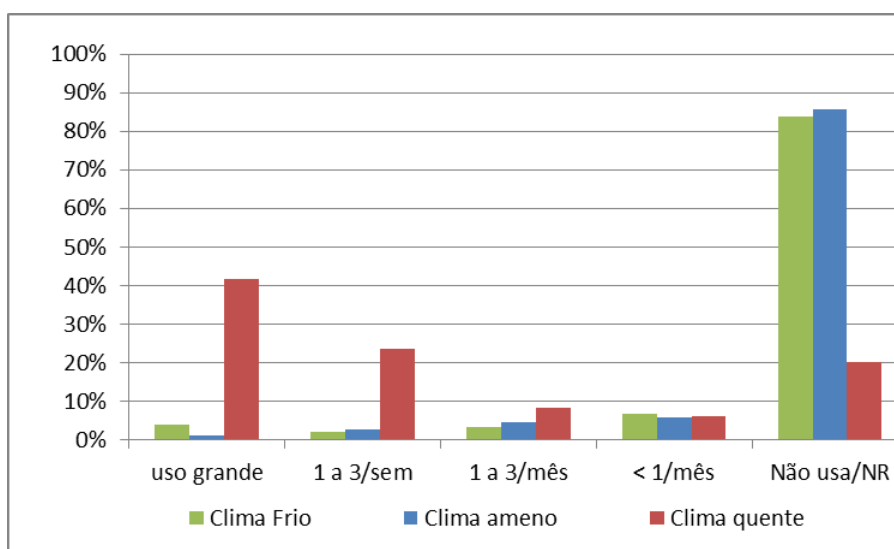


Figura 35 - Frequência de uso de ar condicionado de acordo com o clima

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de PROCEL (2007)

Além disso, a troca de calor necessária para resfriar o ambiente será maior quanto maior for a temperatura externa, assim como na refrigeração e conforme a equação do modelo para a climatização. CARDOSO et al. (2012) mostram a importância da temperatura externa no consumo de energia para alimentar aparelhos de ar-condicionado no Brasil. Os autores comparam o consumo médio de um ar-condicionado de acordo com a temperatura padrão de testes e a temperatura média da

região. É possível perceber as variações de consumo de acordo com a temperatura (Tabela 6).

Tabela 6 - Consumo de energia de um ar-condicionado de acordo com a temperatura

Região	Horas de uso (h/ano)	Carta térmica para temperatura padrão (35°C) (kWh/ano)	Temperatura média anual (°C)	Carta térmica para temperatura média anual (kWh/ano)
Sudeste	695	1807	32	1.154
Sul	695	1807	27	65
Centro-Oeste	695	1807	34	1.589
Norte	1.669	4339	27,5	418
Nordeste	1.669	4339	28,5	941

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de CARDOSO et al. (2012)

Os resultados indicam a relevância da temperatura externa nas trocas de calor e no funcionamento da máquina térmica, mostrando que, ao longo do ano, conforme muda a temperatura, muda também a carga térmica necessária.

Mais do que a temperatura, o comportamento acerca da necessidade de climatização depende de outros fatores climáticos como umidade, insolação, velocidade dos ventos e existência de nuvens (LAM et al., 2008).

É possível observar no diagrama de conforto humano criado por INMET (2017) o quanto para as temperaturas mais extremas a velocidade do vento e umidade influenciam na percepção de conforto térmico (Figura 36).

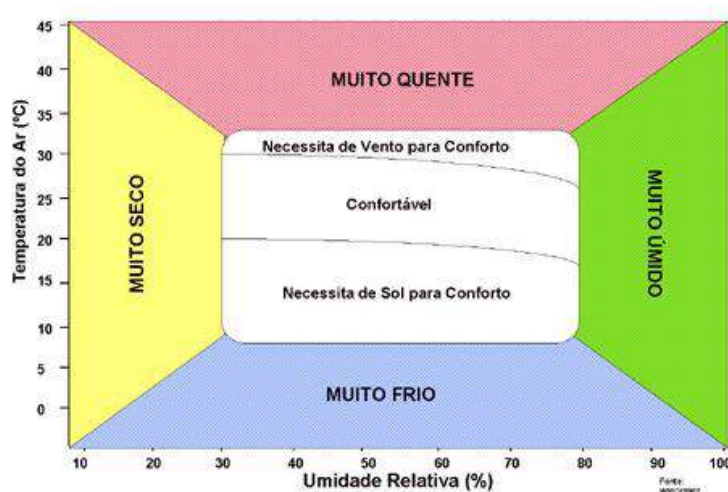


Figura 36 - Diagrama do conforto térmico humano

Fonte: INMET (2017)

Assim, vários são os fatores que podem influenciar o comportamento sazonal do uso de energia para climatização. As premissas utilizadas irão definir quais variáveis serão relevantes para o cálculo do fator de sazonalidade no modelo.

4.2.1.5 Outros usos e ajuste do modelo

O cálculo do peso mensal no consumo de cada um dos usos finais pode ser proposto de inúmeras formas. O modelo deve ser capaz de ajustar essas propostas de modelagem para um cenário real conhecido. Conforme o comportamento de consumo mensal divulgado pela EPE (2016b) é possível observar o comportamento do consumo elétrico no setor residencial ao longo dos meses do ano, a partir de 2004.

Foi identificado o fator sazonal para cada região brasileira considerada. Através do método de médias móveis ponderadas, aplicado à série temporal disponível, os índices de sazonalidade foram encontrados. Esses índices foram normalizados de forma a padronizar suas variações. O resultado é mostrado na Figura 37.

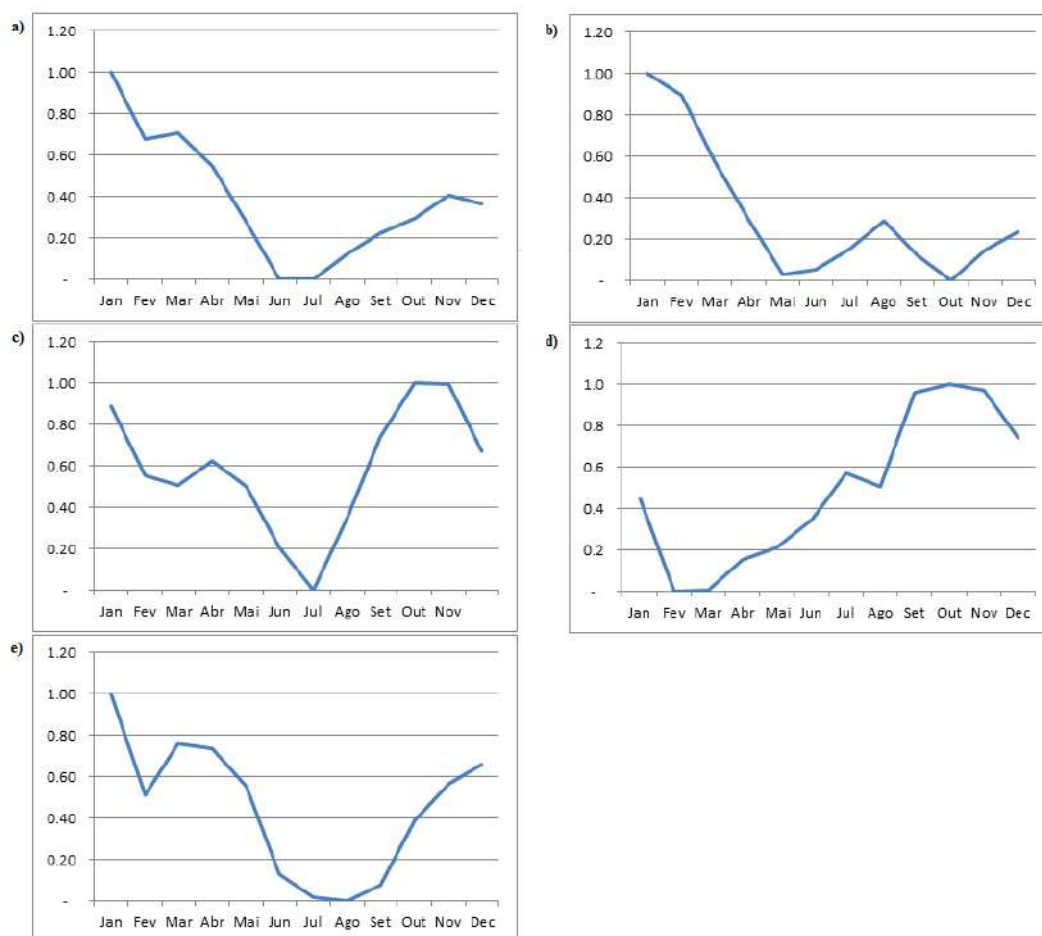


Figura 37 – Padrão de sazonalidade calculado e normalizado das regiões do Brasil: (a) Sudeste; (b) Sul; (c) Centro-Oeste; (d) Norte; e (e) Nordeste

A partir dos índices de sazonalidade do consumo elétrico total de cada uma das regiões, é possível realizar um ajuste para garantir que o modelo proposto represente de forma adequada o comportamento sazonal de cada uma dessas regiões.

O ajuste é feito tomando como base a carga de “Outros Usos Diversos”. A partir da soma das variações propostas para os usos finais individualizados, calcula-se como deveria ser o comportamento mensal de “Outros Usos Diversos” para obter o menor erro entre a curva normalizada da série histórica e a curva estimada pelo modelo. A soma dos pesos de outros usos deve ser igual a um.

Como mencionado anteriormente, a categoria “Outros Usos Diversos” é heterogênea, agregando diversos usos distintos que não guardam semelhanças entre si. No entanto, exatamente por agregarem categorias tão distintas, espera-se que os diferentes tipos de consumo se compensem durante o ano, de modo que não existam diferenças significativas ao longo dos meses do ano. Pode-se citar como exemplo três dos principais usos agregados dentro dessa categoria: televisão, som e ferro de passar. Não existem indicações claras de que estes usos sofram mudanças relevantes de consumo ao longo de um ano. Os aparelhos de ventilação podem ser os únicos a explicar certos efeitos sazonais observados, visto que o seu comportamento de uso segue um padrão climático, assim como no caso dos ar-condicionados. Os ventiladores estão dentro da categoria outros usos utilizada no estudo.

4.3 Curva de carga diária

Ao longo de um dia o comportamento de consumo de energia elétrica de uma residência varia significativamente. A Pesquisa de Posse e Hábitos de Consumo (PROCEL, 2007) mostra como o padrão de uso de eletricidade ao longo do dia se modifica (Figura 38).

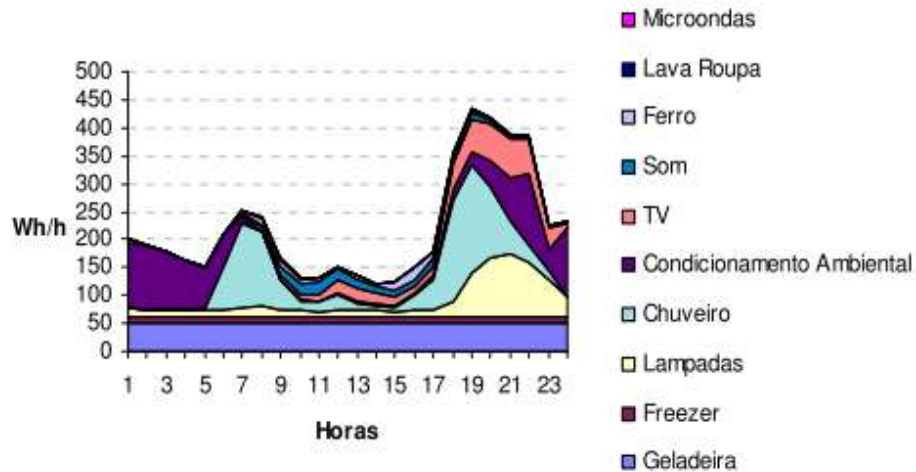


Figura 38 - Curva de carga diária média no Brasil

Fonte: PROCEL (2007)

A variação diária do consumo está mais relacionada com questões comportamentais do que com padrões climáticos (YAO; STEEMERS, 2005). Caso se faça necessário a utilização de algum equipamento elétrico, a curva de carga diária descreve em qual o momento do dia, em média, um usuário residencial tende a utilizar determinado serviço.

CAPASSO et al. (1994) propõe um modelo que relaciona a variação do consumo diário com dois fatores principais: equipamentos e moradores. Cada equipamento tem um perfil de consumo, que está relacionado com as necessidades individuais de cada morador da residência. Os dados agregados destes fatores comportamentais associado a cada tipo de equipamento levam ao perfil de consumo da residência. Segundo o autor, e conforme metodologia utilizada por PAATERO; LUND (2006) e YAO; STEEMERS (2005) a variação horária destes fatores resulta de uma combinação dos níveis de disponibilidade e atividade do consumidor. Como disponibilidade se define o período de tempo que pelo menos um ocupante está em casa e como atividade a possibilidade de que este membro queira usar um dos equipamentos existentes na residência.

No modelo proposto pelo presente trabalho, foi empregada uma metodologia para inserir as variações diárias nas estimativas futuras de consumo de energia elétrica. Dessa forma, é possível perceber as horas do dia em que a utilização de cada tipo de equipamento se faz necessário, ou seja, a tendência horária de uso. O modelo será descrito de forma geral e será posteriormente individualizado em seus usos finais.

4.3.1 Modelo

Similarmente a proposta do modelo para a distribuição mensal do consumo, o modelo propõe a distribuição diária do consumo de energia elétrica pelo uso de pesos. O consumo em cada hora está relacionado a um peso correspondente àquela hora do dia (h). O somatório dos pesos (ω) para cada uso final (u), deve ser igual a 1, a fim de que o total de energia diária e mensal seja respeitada.

$$\sum_{h=1}^{24} \omega_{uh} = 1 \quad \text{Eq.(21)}$$

O modelo não diferencia dias úteis de trabalho e finais de semana e feriados, o comportamento é padronizado para um dia típico de trabalho. Conforme mencionado, este pressuposto foi assumido de forma a simplificar o modelo proposto, na prática o consumo pode ser variável conforme o dia da semana considerado (OLIVEIRA et al., 2014). Sendo assim, o consumo de energia elétrica em um determinado mês m para cada uso final u é distribuído igualmente ao longo dos dias do mês. A demanda horária é obtida a partir do consumo diário e como este se distribui conforme o peso da variável horária ($\omega_{u,h}$). Os pesos vão se diferenciar para cada tipo de serviço desejado nas residências.

$$CE_{\text{horário}_u}(h) = \sum \frac{CE_{\text{mensal}_u}}{\text{dias mês}} * \omega_u(h) \quad \text{Eq.(22)}$$

O consumo associado a cada uso final varia ao longo do dia e sua forma de variação pode depender de vários fatores. Existem aparelhos que serão usados apenas quando existem pessoas em casa em estado ativo, acordado, como lâmpadas ou ferro de passar roupa. Existem outros que podem ser utilizados em momentos em que ninguém está presente em casa, ou todos estão dormindo, como refrigeradores ou ar-condicionados. A seguir, são descritos os fatores relevantes para o comportamento da demanda relativa a cada uso final.

4.3.1.1 Refrigeração

Refrigeradores não dependem necessariamente do fator disponibilidade para estarem consumindo energia. São equipamentos que costumam ficar ligados ininterruptamente ao longo do dia, já que a conservação de alimentos depende de manter

o refrigerador a baixas temperaturas constantemente. Essa função de conservação dos alimentos não depende de ter alguém em casa ou não.

Estes equipamentos funcionam de forma cíclica e são acionados automaticamente através do controle de temperatura dos termostatos. A frequência desses ciclos de carga pode variar durante o dia, dependendo do quanto às geladeiras são abertas e fechadas no dia (WIDÉN; WÄCKELGÅRD, 2010). CAPASSO et al. (1994) considera o efeito atividade no consumo total e na carga do equipamento ao longo do dia, propondo a seguinte equação para o consumo de energia do refrigerador:

Esse efeito da atividade muitas vezes é desprezado, e de forma geral, considera-se o consumo ao longo do dia constante, conforme aplicado em PAATERO; LUND, (2006), WIDÉN; WÄCKELGÅRD (2010) e GOTTWALT et al. (2011).

4.3.1.2 Iluminação

O uso da iluminação artificial depende de fatores comportamentais e de características domésticas, como o número de habitantes de uma residência, as horas que as pessoas passam em suas casas, as atividades executadas no lar e nível de conforto luminoso aceito pelos moradores. Além disso, o tipo de construção pode influenciar a quantidade de luminosidade artificial necessária para uma residência (YAO; STEEMERS, 2005).

O uso residencial de eletricidade é impactado principalmente pelo período em que os moradores permanecem em suas residências realizando alguma atividade. De noite, além de não existir o recurso da luz natural, o consumo para iluminação tende a ser mais alto por conta do número de moradores presentes na residência ao mesmo tempo e realizando atividades diversas. Nos horários da madrugada, em geral, o uso é menor, já que, ainda que existam pessoas nas residências, estas estão em seu horário usual do sono. Observando a carga típica residencial no Brasil, Figura 38, é possível observar que o maior uso da iluminação ocorre no horário noturno, antes da meia-noite.

4.3.1.3 Aquecimento de água

A variação do consumo de energia para o aquecimento de água ao longo de um dia pode ser demonstrada em TSO; YAU (2003). No Brasil, Figura 38 apresentada anteriormente, podemos ver que existem dois momentos em que o consumo para chuveiro elétrico se mostra maior. No fim do dia e pelo início da manhã.

Esse tipo de uso de energia depende também de fatores de disponibilidade e atividade. O consumo depende de alguém estar disponível para realizar a atividade de banho, por exemplo. Além disso, o consumo de uma residência para banho é diretamente relacionado ao número de pessoas na residência (CRUZ, 2016).

No caso, de sistemas que armazenem água quente, e não sejam de consumo imediato, pode ser que esta lógica seja um pouco diferente. Ou seja, o consumo energético vem antes da atividade. Não é o caso do Brasil, onde a maior parte do consumo é de chuveiro elétrico, que aquece no momento do uso.

4.3.1.4 Climatização

A variação da carga diária da climatização está relacionada ao fator de disponibilidade, e não completamente relacionado ao fator atividade. O usuário de ar condicionado não realiza atividade diretamente relacionada ao uso de aparelhos de climatização, e, assim como na refrigeração, os moradores da residência não precisam estar acordados para o consumo de elétrico de este uso ocorrer.

Ao verificar-se o padrão de consumo diário de uma residência no Brasil, Figura 38, percebe-se que o horário de maior uso de aparelhos de condicionamento ambiental é de noite e de madrugada. A relação de número de habitantes por residência aqui sofre uma relação menor que no caso do aquecimento de água, por exemplo, visto que mais de uma pessoa pode fazer uso do serviço de climatização simultaneamente.

Assim, como no caso mostrado para a sazonalidade, o fator de mudança de temperatura ao longo do dia e os ciclos de acionamento da máquina térmica, podem fazer com que o consumo diário da climatização varie. Grande parte dos estudos não considera essas pequenas variações para modelar o consumo diário de ar-condicionados (TSO; YAU, 2003).

5 Aplicação da metodologia proposta: um estudo de caso para o Brasil

A fim de consolidar a metodologia proposta no presente trabalho, foi elaborado um estudo em que o modelo é utilizado para comparar dois cenários de projeção para demanda de energia elétrica no Brasil. O estudo de caso tomou como base a Pesquisa de Posse e Hábitos de Consumo de Energia (PPH) realizada no Brasil em 2005 pelo Procel e foram realizadas projeções de consumo para cada cinco anos entre a data inicial (2005) e 2050. Vale ressaltar que não se pode dizer que estes dados representam fielmente o Brasil de hoje, dez anos após a pesquisa. Dessa forma, estes dados foram utilizados apenas de forma a garantir a consistência do modelo desenvolvido. A partir da obtenção de novos dados é possível que o estudo de caso seja atualizado.

Dois cenários foram construídos: cenários de base e cenário alternativo. O cenário de base considera a tendência atual de substituição de tecnologias e do perfil de consumo das famílias brasileiras. Não se incorporam mudanças de hábitos significativas. Já o cenário alternativo, chamado também de eficiente, propõe a evolução da eficiência de equipamentos disponíveis e maior inserção dessas novas tecnologias nas residências brasileiras.

A proposta é compreender como a introdução de tecnologias mais eficientes pode impactar o comportamento futuro do consumo de energia elétrica no Brasil e das regiões, em termos sazonais e de consumo horário. O estudo de caso baseado no modelo desenvolvido permite compreender o potencial de redução de consumo energético de cada uma das medidas propostas. Além disso, o modelo permite ainda avaliar quais destas medidas mais impactam o consumo no horário de pico de consumo do setor residencial.

A seguir serão apresentadas as premissas básicas consideradas para a construção do ano base do modelo. O ano base escolhido para o modelo foi o ano de 2005, ano de realização da PPH nas residências brasileiras. Esta pesquisa forneceu dados detalhados sobre o consumo residencial de energia e os hábitos das famílias brasileiras (PROCEL, 2007), inclusive categorizados de acordo com o uso final de energia elétrica, o que é fundamental para modelo *bottom-up* proposto.

Em seguida, são apresentados os resultados obtidos pela aplicação do modelo proposto.

5.1 Premissas empregadas

5.1.1 Premissas socioeconômicas

Conforme detalhado na metodologia, para o cálculo da energia total em um determinado ano é necessário que se conheçam algumas variáveis demográficas brasileiras, como população, habitantes/residência e número de residências.

Os dados populacionais foram retirados do relatório IBGE (2013), que projeta a população total brasileira até 2060 e a população segmentada por Estado e região até 2030. Como o horizonte de estudo se estende até 2050, foi necessário ajustar a população por região para o período de 2030-2050. Ao observar as projeções realizadas pelo IBGE até 2030, percebe-se que a distribuição demográfica regional apresentou poucas alterações ao longo do tempo de análise. Em 2005, 42% da população brasileira se encontrava na região Sudeste, em 2030 esse número permaneceria em torno de 42% (Figura 59).

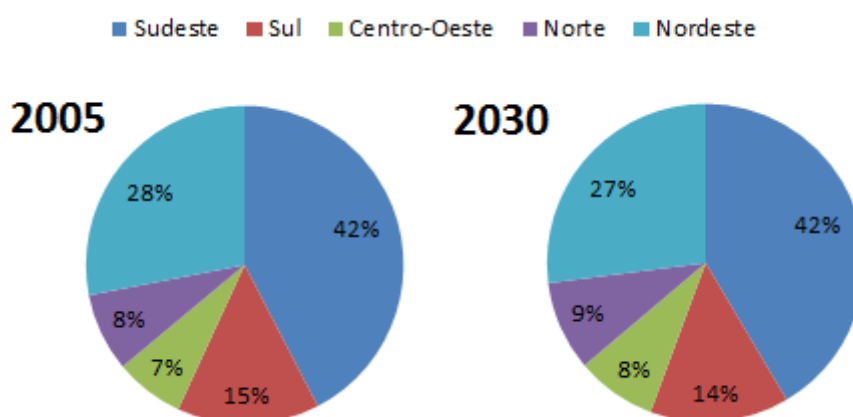


Figura 39 - Distribuição da população brasileira segundo a região em 2005 e 2030

Fonte: IBGE (2013)

Partindo do pressuposto de que a participação das regiões na demografia brasileira permanece constante ao longo do período de 2030-2050, estimou-se a população em cada uma das macrorregiões até 2050, conforme apresentado na Figura 40.

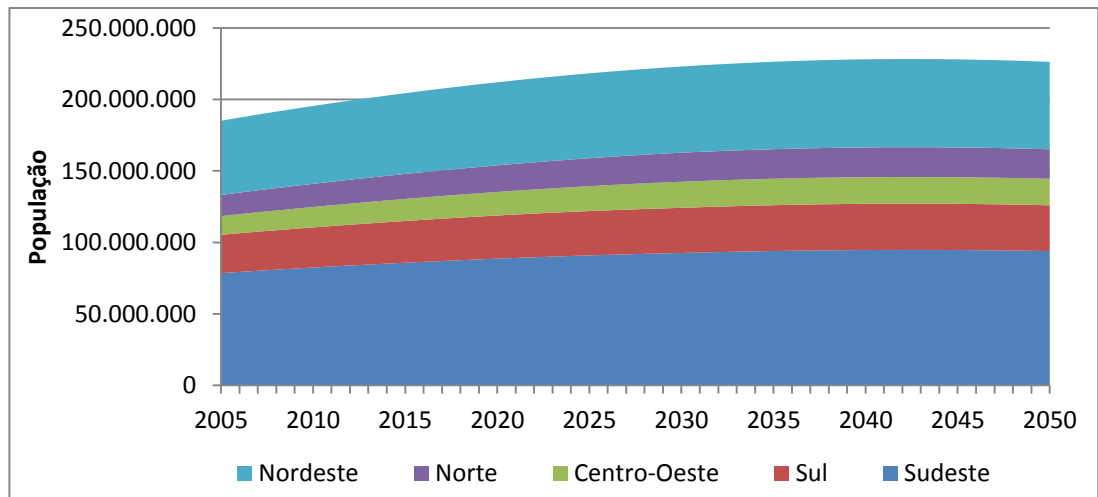


Figura 40 - Projeção da população brasileira entre 2005-2050

Para estimar o número de domicílios, foram utilizadas múltiplas fontes. Os valores referentes aos anos de 2005 e 2010 foram obtidos a partir de dados da pesquisa demográfica brasileira, Censo 2000 e 2010 (IBGE, 2010). Os dados de 2010 foram retirados diretamente do Censo 2010, enquanto os valores referentes ao ano base de 2005 foram calculados através de interpolação entre dados dos Censos 2000 e 2010 (IBGE, 2010).

Para os demais anos cobertos pelo modelo, a base escolhida foi o estudo de demanda realizado pela EPE (EPE, 2014b). Este estudo, porém, só divulga informações em base nacional para cada 10 anos, até 2050. A EPE (2014b) estima que em 2050 o Brasil tenha 98,5 milhões de domicílios no Brasil. Em 2010, o censo calculou 57,3 milhões. Para obter os valores regionais em intervalos de 5 anos, foi necessário recorrer a cálculos de ajuste. Utilizando-se os pressupostos de que a taxa de crescimento é constante ao longo de cada década e de que o crescimento de cada região acompanha o crescimento nacional, foi possível estimar o número de domicílios para cada região em cada um dos anos contemplados no modelo. Os valores utilizados são apresentados na Figura 41 abaixo.

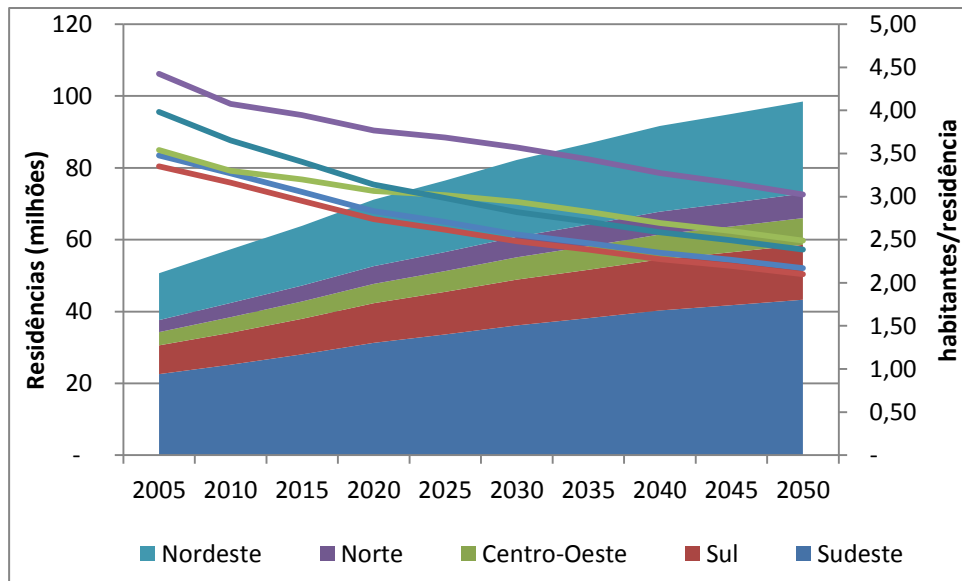


Figura 41 - Projeção do número de residências no Brasil e da relação habitantes/residência

A partir das estimativas de crescimento populacional e de número de domicílios, pode-se obter a estimativa de número de pessoas por domicílio de forma direta. É possível observar que, enquanto se espera que a população brasileira cresça a uma taxa média de 0,4% a.a. até 2050, o crescimento projetado para o número de residências é em média 1,5% a.a. Conclui-se então que a relação habitante/domicílio deve diminuir no horizonte em estudo. Em 2005 existiam em torno de 3,65 habitantes por residência, em 2050 o número deve cair para 2,30. O Sul é a região que permanece com a menor relação, chegando a 2,10.

Outro indicador necessário ao modelo é a taxa de eletrificação de cada uma das macrorregiões brasileiras. De acordo com os dados divulgados pelo IBGE (IBGE, 2010 e IBGE, 2015), essa taxa aumentou consideravelmente nas regiões menos eletrificadas nos anos de 2010 e 2015, em comparação com o ano-base 2005 (Figura 42). A partir de 2020, considera-se que todas as residências tenham acesso a energia elétrica.

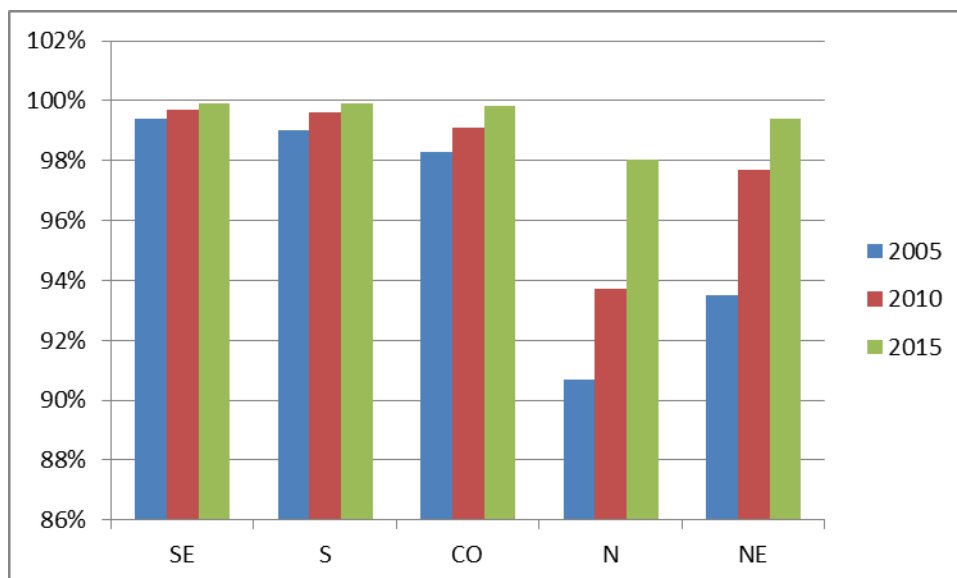


Figura 42 - Taxa de eletrificação nas regiões do Brasil

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de IBGE (2010) e IBGE (2015)

As premissas macroeconômicas foram consideradas a partir de valores reais obtidos para o ano de 2005 à 2015 (IBGE, 2017). Os demais anos foram modelados de acordo com o relatório do Itau, que considera um crescimento médio do PIB de 0,6% a.a. até 2020 (ITAU, 2017). Para os demais períodos, de forma conservadora, considerou-se a mesma taxa de crescimento real de 1,9% a.a., como estimado pelo relatório do banco para até 2025. Essa taxa é menor que a projetada pela EPE (2015d), em torno de 3,3% a.a. e pelo SANTANDER (2017), 3,5% a.a. até 2040.

5.1.2 Premissas de ajuste do modelo

Conforme mencionado anteriormente, o modelo *bottom-up* foi ajustado com base em uma estimativa realizada através da metodologia *top-down*. Segundo a metodologia de ajuste, os dados calculados pela metodologia *bottom-up* devem convergir com aqueles estimados através da metodologia *top-down*.

A estimativa *top-down* tomou por base o consumo elétrico residencial em cada uma das regiões brasileiras, conforme divulgado pela EPE, 2016b, para o ano de 2005 (Tabela 7).

Tabela 7 - Consumo de energia elétrica na rede em 2005 de acordo com as regiões

Regiões	MWh/ano
Sudeste	44,991,169
Sul	13,678,593
Centro-Oeste	6,289,008
Norte	4,292,906
Nordeste	13,392,580

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de EPE (2016b)

Estes valores dizem respeito à energia elétrica tarifada, ou seja, não inclui as perdas não técnicas, que são a demanda ou energia consumida, porém, não faturada (vendida). Estas perdas envolvem, entre outros, o furto de energia, comumente chamado de "gato". Esse problema está presente em diversas distribuidoras do país, em umas com maior intensidade e outras em menor quantidade (ELLER, 2003 e OLIVEIRA, 2009). Em 2015 as perdas não técnicas somaram 5,74% do total distribuído. A não consideração destes valores pode gerar algumas distorções dos dados avaliados (ABRADE, 2017).

Conforme a pesquisa de posse e hábito de consumo do Procel (PPH), realizada em 2005, o consumo para fins de refrigeração correspondeu a 27% do total de consumo residencial de elétrico no Brasil, seguido do aquecimento de água, representado pelo chuveiro elétrico com 24% do consumo, condicionamento ambiental, 20% e lâmpadas 14% (Figura 43).

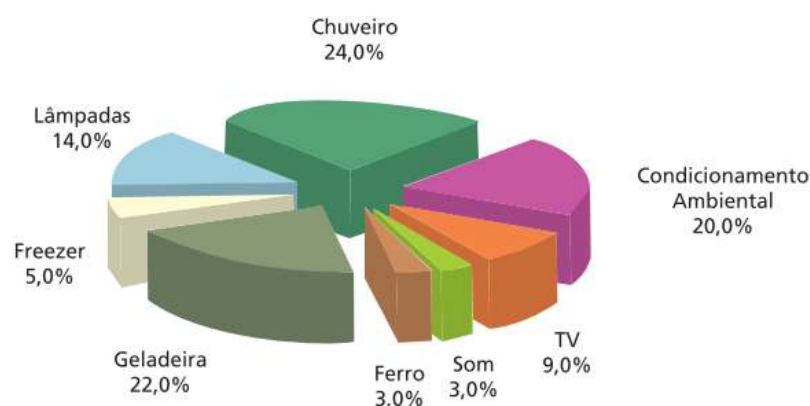


Figura 43 - Distribuição do consumo residencial de eletricidade.

Fonte: PROCEL, 2007

Para estimar a participação de cada um dos usos finais no consumo total da região, utilizaram-se dados do estudo divulgado em PROCEL, 2007 em conjunto com dados do estudo realizado por SCHAEFFER; et al. (2009). Estes estudos apresentam uma definição e separação dos setores de consumo diferentes entre si e diferentes da segmentação proposta pelo modelo. Assim, um ajuste em relação a participação de cada uso final no consumo energético total de 2005 teve que ser realizado para que representasse melhor o modelo proposto. Essa diferença ocorre na participação de aparelhos de climatização e outros.

De acordo com a distribuição identificada pelo estudo da PPH, os aparelhos de climatização encontram seu consumo de forma agregada, considera-se ar-condicionados e ventiladores como um uso final conjunto (Figura 43). O modelo proposto analisa o efeito apenas do uso do ar condicionado na climatização. Assim, para estimar a participação apenas do uso de ar condicionado na climatização residencial, foi utilizado o estudo de SCHAEFFER; et al. (2009) que apresenta a participação de consumo de aparelhos de ar condicionados de forma isolada. A participação final conforme utilizada no modelo é mostrada na Tabela 8.

Tabela 8 - Participação dos usos finais residenciais no consumo total do setor

Regiões	Refrigerador	Freezer	Uso Final				Outros
			Iluminação	Aquecimento de água	Climatização		
Sudeste	22%	5%	19%	26%	3%	25%	
Sul	16%	7%	8%	25%	10%	34%	
Centro-Oeste	24%	4%	12%	28%	6%	26%	
Norte	25%	4%	14%	2%	18%	37%	
Nordeste	29%	5%	11%	9%	5%	41%	

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de PROCEL (2007) e SCHAEFFER; et al. (2009)

A multiplicação dos percentuais da Tabela 8 pelos valores totais da Tabela 7 fornece os valores finais utilizados como referência para o ajuste do modelo *bottom-up*.

As informações referentes a cada um dos usos finais individualizados estão explicitadas a seguir.

5.1.3 Refrigeração

5.1.3.1 Ajuste para o ano base

Conforme dados disponíveis em PROCEL (2007) foi possível obter a posse de geladeiras e freezers nas regiões brasileiras (Figura 44).

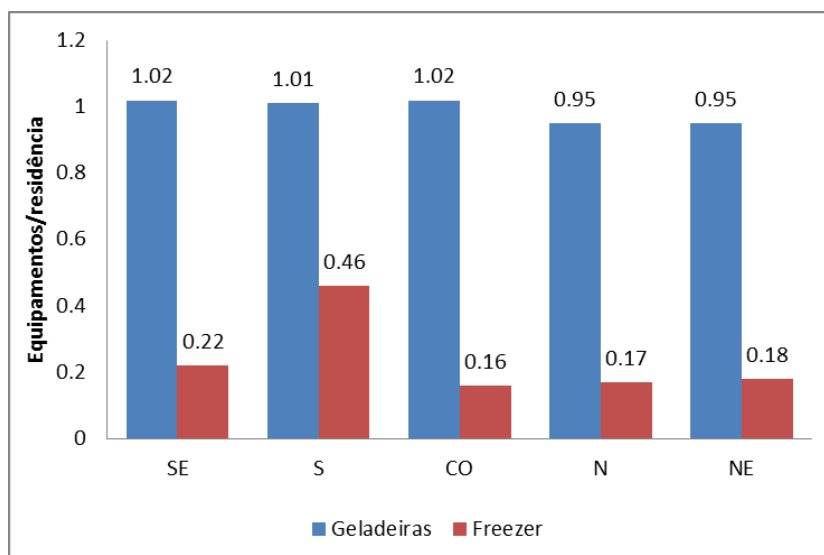


Figura 44 – Posse de geladeiras e freezers nas regiões brasileiras em 2005

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de PROCEL (2007)

As geladeiras foram distribuídas de acordo com seu tamanho e eficiência. A escolha do tamanho de corte entre geladeiras consideradas pequenas e grandes foi baseada na distribuição dos aparelhos encontrada nas residências. Na maioria das regiões, exceto no Centro-Oeste, a grande parte dos aparelhos se encontra na faixa até 300 l. Destes a maioria está na faixa entre 200 l – 300 l (Tabela 9). Assim, geladeiras consideradas pequenas são as que apresentam um volume menor ou igual a 300 l.

No Sudeste, 62% das geladeiras são do tipo menor que 300 l. No Sul os aparelhos menores correspondem a 90% do total existente. Os freezers não foram distribuídos de acordo com a sua capacidade.

Tabela 9 - Estimativa de distribuição de refrigeradores conforme seu volume

Região	< 100 l	100 l - 200 l	200 l - 300 l	300 l - 400 l	> 400 l
Sudeste	3%	3%	56%	27%	11%
Sul	0%	66%	24%	5%	5%
Centro-Oeste	10%	8%	31%	41%	10%
Norte	2%	4%	46%	39%	9%
Nordeste	2%	2%	51%	36%	9%

Fonte: Elaboração própria com base em PROCEL (2007)

Nota: A tabela fornecida exibe, em valores absolutos, distribuídas de acordo com as faixas de consumo, as informações relativas à estimativa do número de refrigeradores de acordo com suas capacidades, existentes nos domicílios dos clientes residenciais, atendidos na baixa tensão na área coberta pela pesquisa. Essa informação se tornou a base de cálculo para as porcentagens.

Para estimativa das eficiências de consumo, tomou-se como base o estudo realizado por MELO, DE; JANNUZZI (2010). Um modelo equivalente de selo Procel C e tamanho entre 200 l- 300l consumiria ao ano 326 kWh. Para o cálculo do consumo médio por litro, foi considerado o tamanho de 250 l, assim, o consumo equivalente seria 1,304 kWh/l.ano. Como este cálculo é baseado num modelo equivalente de selo Procel C esse foi o valor de referência para aparelhos considerados de tecnologia convencional, não eficiente. Esse consumo médio por litro de refrigerador foi tomado como base para todos os modelos de geladeira, independente do tamanho.

Para o cálculo do modelo eficiente, tomou-se como base a relação entre o mínimo de eficiência dos selos A e C (Tabela 10). Assim, os modelos eficientes consumiriam 1,077 kWh/l.ano.

Tabela 10 - Índices mínimos de eficiência das classes de eficiência energética para freezers e refrigeradores

Classe	Índice mínimo de eficiência energética
A	0,869
B	0,949
C	1,020
D	1,097
E	1,179
F	1,267
G	1,362

Fonte: MOCARZEL e TABOSA (2003)

Para definir o consumo médio dos aparelhos de freezer, levou-se em consideração a relação média de consumo entre aparelhos refrigeradores e freezer. Comparado aos equipamentos de uma porta, os freezers verticais apresentam um consumo 60% maior (Figura 45), o que seria 2,086 kWh/l.ano. A relação entre equipamentos convencionais e eficientes foi à mesma considera para aparelhos refrigeradores, com um consumo médio anual de 1,723 kWh/l.ano.

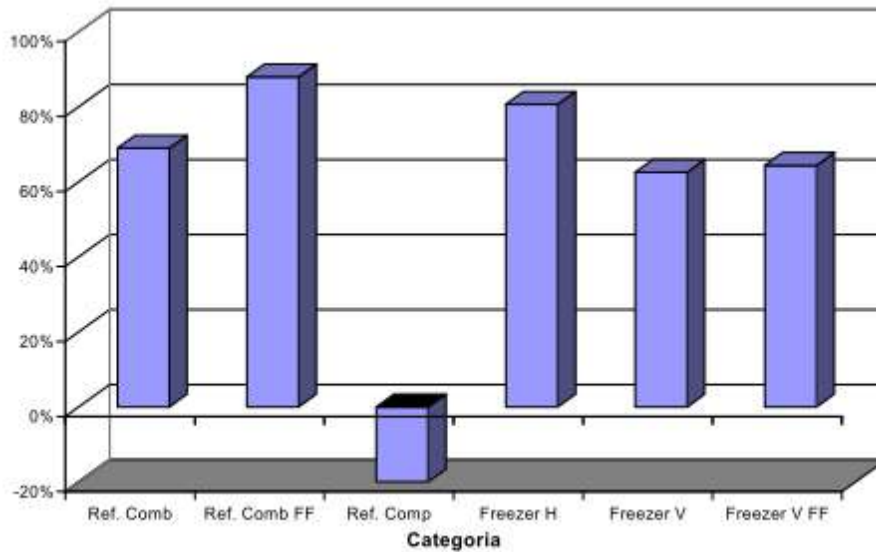


Figura 45 - Acréscimo de consumo em relação a refrigeradores de uma porta

Fonte: CARDOSO (2008)

Para a distribuição dos aparelhos em relação a sua eficiência, a idade dos aparelhos foi tomada como parâmetro. A idade de um refrigerador pode variar o seu desempenho, tendo um efeito de degradação. A partir 5 anos de uso, os equipamentos podem apresentar uma perda de 20% de sua eficiência (CARDOSO, 2008). Além disso, quanto mais recentes são os modelos vendidos, mais eficientes são (Figura 46).

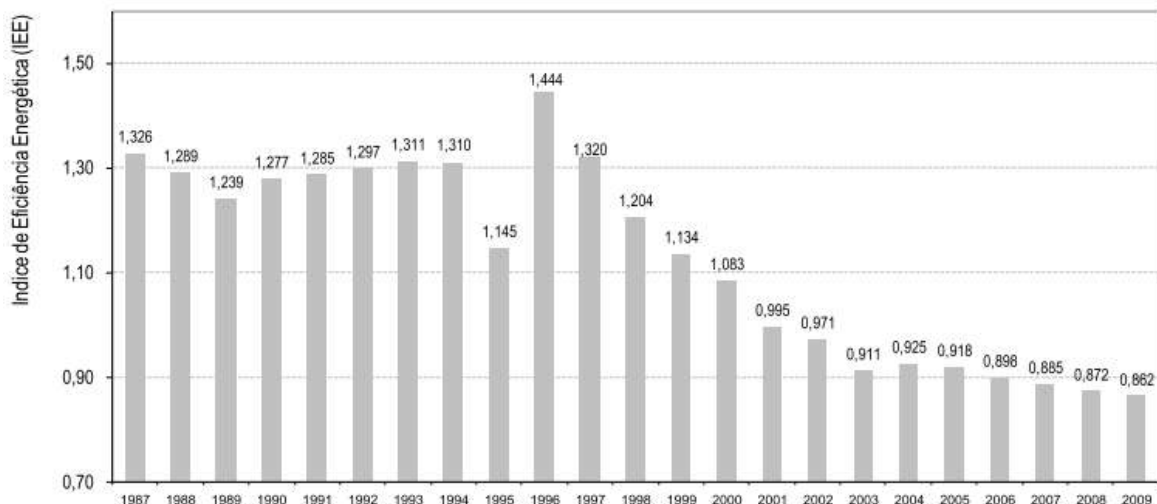


Figura 46 - Evolução do índice de eficiência dos refrigeradores

Fonte: SALVADOR (2013)

É possível perceber que modelos vendidos em 2005 tinham em média uma eficiência de 0,918, o que os classificaria como nível de eficiência B no selo Procel.

Modelos vendidos a partir do ano de 2002 já apresentam em média uma eficiência de 0,971, o que os classificaria como nível de eficiência C. Assim, todos os modelos com idade maior que três anos, foram considerados modelos convencionais, já que em média os aparelhos disponíveis no mercado estariam na faixa de eficiência C ou inferior. A participação dos modelos conforme a sua idade foi obtida a partir de dados de PROCEL (2007), no qual coletou-se dados sobre a idade dos refrigeradores e freezers encontrados nas residências entrevistadas (Figura 47).

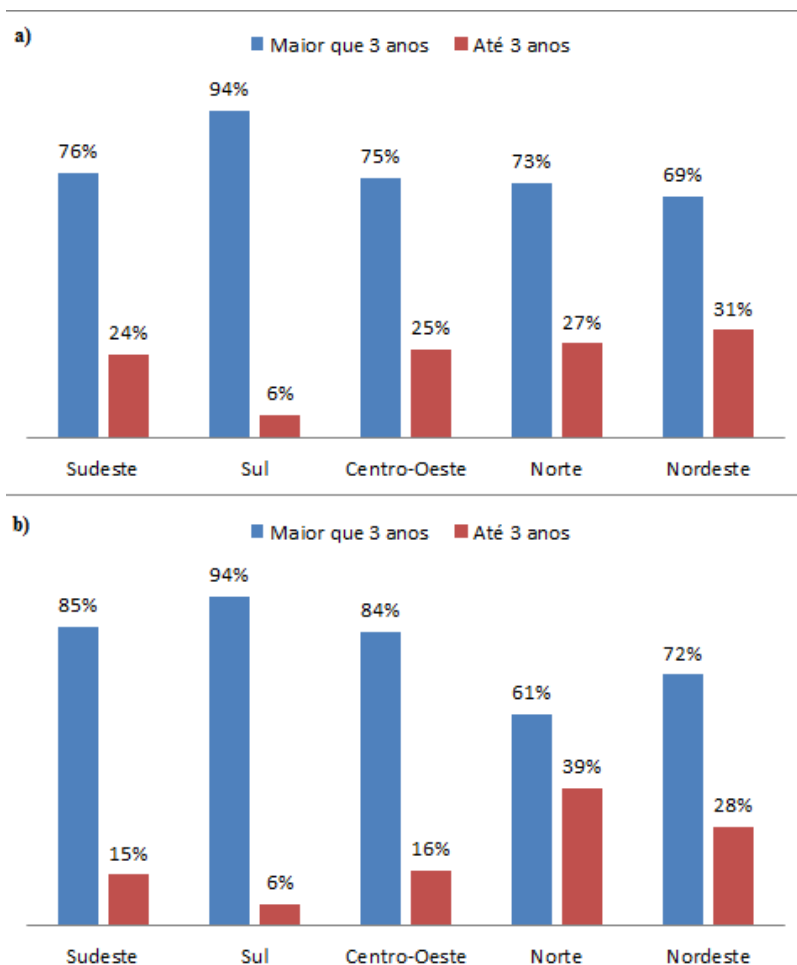


Figura 47 - Distribuição dos refrigeradores (a) e freezers (b) quanto a sua idade

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de PROCEL (2007)

A partir da metodologia de ajuste proposta do modelo, foi possível calcular o volume representativo das geladeiras e freezers em cada uma das regiões.

Tabela 11 - Volume de geladeiras e freezers nas regiões do Brasil

Região	Geladeira		Freezer
	< 300l	> 300l	
Sudeste	241	471	220
Sul	175	449	125
Centro-Oeste	193	429	211
Norte	207	339	159
Nordeste	206	335	155

5.1.3.2 Cenário de base

Os parâmetros variáveis escolhidos para estimar o consumo futuro de eletricidade para abastecer serviços de refrigeração foram: posse, participação das tecnologias quanto a sua eficiência e quanto ao seu tamanho e eficiência. As premissas adotadas foram:

- A evolução da posse e da participação das geladeiras quanto ao seu tamanho será igual para ambos os cenários considerados.
- A posse das geladeiras chega a maior média de geladeiras por residência em 2050, 1,02, equivalente à maior média encontrada no Brasil em 2005, equivalente à média das residências do Sudeste. Esse crescimento influencia, sobretudo, as regiões Norte e Nordeste, que apresentam valores abaixo desse padrão (Figura 48).

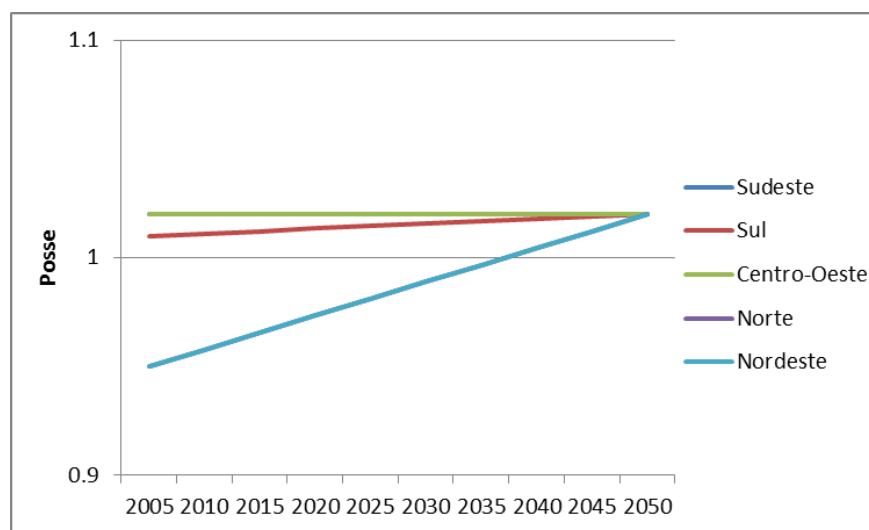


Figura 48 - Evolução da posse de refrigeradores no Brasil

- Segundo EPE (2014a) o percentual de residências com freezers caiu entre o período de 2005-2012 de 16.5% para 14.7%. Isso significa uma taxa de decaimento de 1.15% a.a. Essa taxa de decréscimo permanece constante até o final do período de análise (Figura 49).

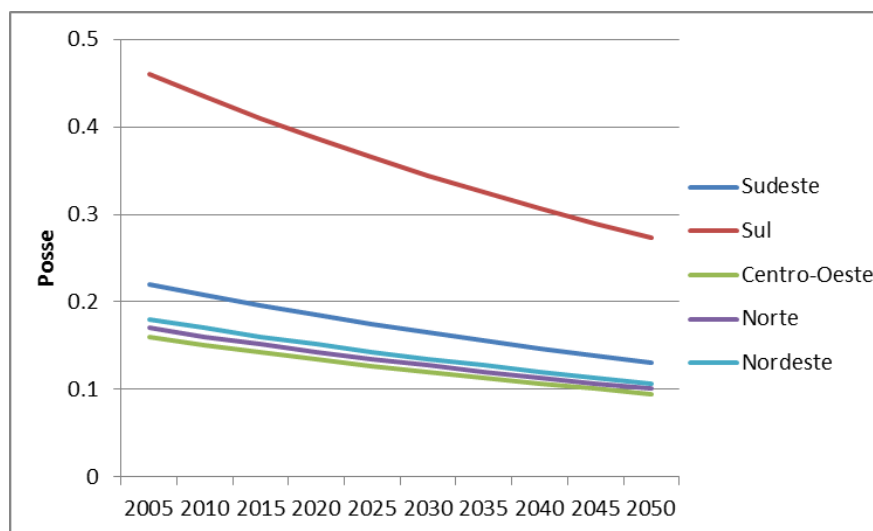


Figura 49 - Evolução da posse de freezers no Brasil

- Quanto à participação das geladeiras segundo o seu tamanho, considerou-se que a taxa de decréscimo na posse de freezer representa a taxa da troca do refrigerador menor para um maior. Assume-se que as geladeiras maiores complementam o espaço de congelamento, permitindo a saída do freezer.
- Quanto à participação das geladeiras segundo sua eficiência, o cenário de base considera que em 2050 metades das geladeiras existentes nas residências serão eficientes. Já no cenário de eficiência, em 2050 não haverá mais geladeira convencional.
- A eficiência das geladeiras e freezers evolui de forma que no cenário base em 2050 o aparelho convencional tenha a mesma eficiência do modelo com melhor desempenho do ano base. A premissa conservadora foi tomada visto que o objetivo do trabalho é entender a diferença ocorrida entre dois potenciais de redução de energia distintos. O modelo eficiente seria mais eficiente do que o modelo convencional na mesma proporção considerada para o ano de 2005. Assim, os modelos eficientes de refrigeradores consumiriam 0,89 kWh/L.ano e os freezers 1,38 kWh/L.ano.

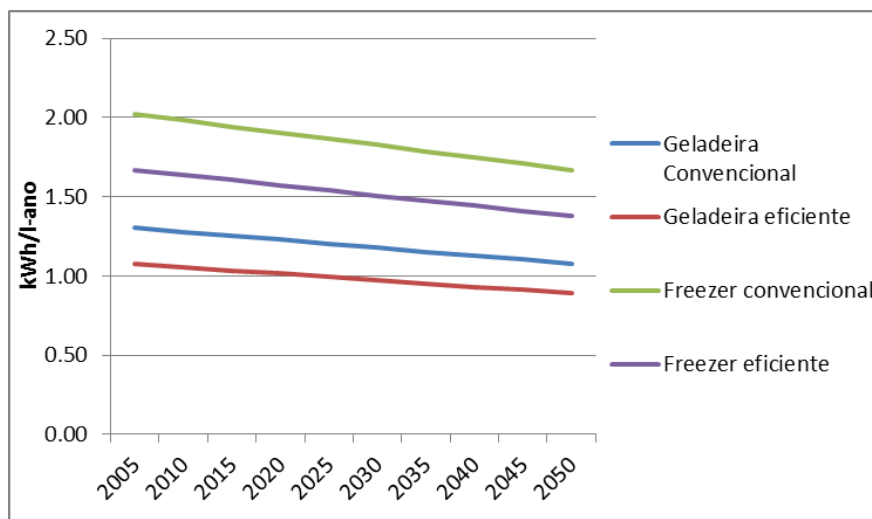


Figura 50 - Evolução do consumo médio de geladeiras e freezers para o cenário base

5.1.3.3 Cenário alternativo

O cenário alternativo se difere do cenário base apenas em relação à eficiência considerada. Os dados de posse e participação permanecem os mesmos. A premissa considerada é:

- Os valores considerados eficientes no cenário padrão seriam os do modelo convencional, e a relação entre o consumo dos equipamentos com melhor desempenho e equipamento com pior desempenho seria a mesma que do ano base. Os modelos eficientes de refrigeradores neste cenário consumiriam 0,89 kWh/L.ano e os freezers 1,38 kWh/L.ano (Figura 51).

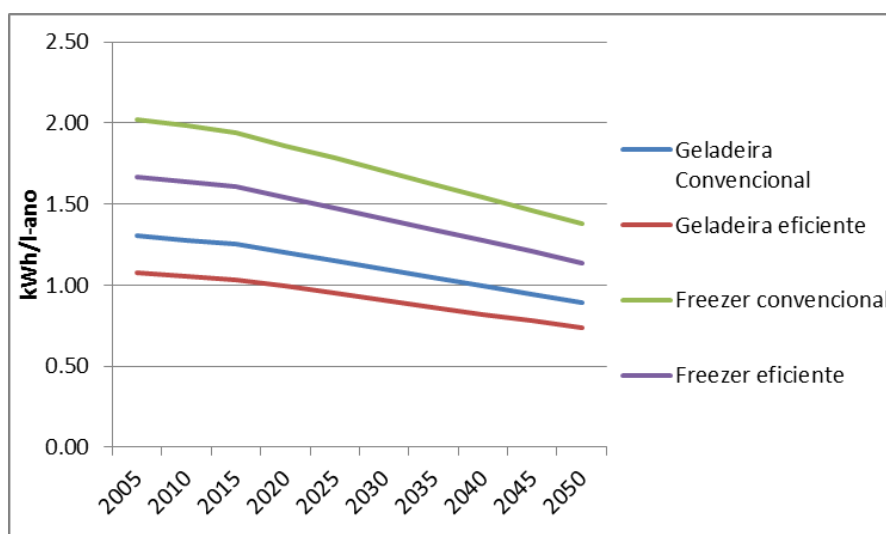


Figura 51 - Evolução do consumo médio de geladeiras e freezers para o cenário alternativo

5.1.4 Iluminação

5.1.4.1 Ajuste para o ano base

A posse média de lâmpadas por domicílio no Brasil foi calculada de acordo com os dados divulgados de tipo de lâmpada existentes nas residências, disponíveis no Sinpha. De acordo com esses dados também foi possível chegar à distribuição destas lâmpadas por tipo de tecnologia.

Tabela 12 - Posse média de lâmpadas nas regiões brasileiras em 2005

Regiões	Posse média	Tipo de lâmpadas			
		Fluorescentes tubulares	Fluorescentes Compactas	Incandescentes	LED
Sudeste	8,79	12%	26%	62%	0%
Sul	8,19	23%	42%	35%	1%
Centro-Oeste	8,54	12%	35%	52%	1%
Norte	6,96	42%	30%	28%	1%
Nordeste	7,71	8%	48%	42%	1%

Estes dados estão segregados pela sua tecnologia e também pela sua potência. Assim, foi possível identificar a potência mais utilizada em cada região para cada uma das tecnologias. Por uma média ponderada entre as lâmpadas existentes de acordo com a potência destas foi possível calcular a potência representativa utilizada em cada uma das regiões. Para as lâmpadas LED foi considerado um valor representativo de potência equivalente a uma lâmpada incandescente de 60 W.

Tabela 13 - Potência representativa por tipo de lâmpada

Regiões	Tipo de lâmpadas			
	Fluorescentes tubulares	Fluorescentes Compactas	Incandescentes	LED
Sudeste	31	20	65	9
Sul	35	20	64	9
Centro-Oeste	32	12	59	9
Norte	27	20	56	9
Nordeste	32	12	55	9

Essa potência é convertida pelo modelo na forma de lúmen, de acordo com a eficiência considerada. Assim, independente da eficiência energética das lâmpadas

utilizadas a luminosidade recebida por cada tipo de lâmpada considerada será constante ao longo das projeções.

A eficácia luminosa varia significativamente segundo cada tipo de tecnologia considerada. Para o trabalho, a eficácia que representa o ano base foi escolhida a partir da Tabela 14 a seguir, considerando o pior caso como a referência.

Tabela 14 - Eficiência das lâmpadas consideradas

Tipos de lâmpadas	Limites de Eficácia luminosa (lm/W)	Eficácia de referência no ano base (lm/W)
Fluorescentes tubulares	55 - 70	55
Fluorescentes Compactas	50 - 85	50
Incandescentes	10 - 15	10
LED	50 - 80	50

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de DAVID (2013)

A média de horas de uso de cada lâmpada foi calculada de acordo com a metodologia de ajuste proposta. Os resultados ficaram conforme seguir:

Tabela 15- Horas de uso para iluminação por lâmpada

Regiões	Horas de uso (h/dia)
Sudeste	2,3
Sul	1,1
Centro-Oeste	1,7
Norte	2,1
Nordeste	1,2

5.1.4.2 Cenário de base

A construção de cenários foi feita a partir da variação dos parâmetros de posse, participação das tecnologias e eficiência das lâmpadas. A potência das lâmpadas foi considerada como um parâmetro constante no estudo, assim, como as horas de uso, coeficiente de ajuste. As premissas consideradas são:

- A taxa de crescimento de posse de lâmpadas foi baseada na taxa de crescimento esperada do número de lâmpadas médias por residência na EPE (2014b). De um total de 8,25 em 2013 a média desses aparelhos chegaria a 12,13 em 2050. Porém, essa taxa não permanece constante ao longo do tempo. Diante do aumento do número de residências com acesso a rede elétrica nos últimos 10 anos, e diante do crescimento da renda, a taxa entre 2005 e 2015 foi considerada maior que para os de mais anos. Esse ajuste foi feito de forma que a média em 2050 esteja em torno de 12,13 e também em 2010 e 2015 o consumo para este uso esteja coerente com um histórico conhecido (Figura 52).

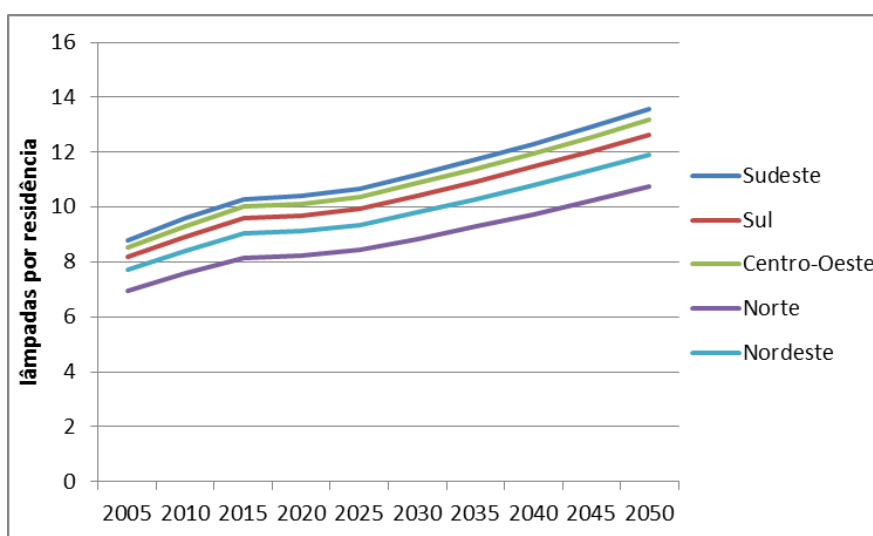


Figura 52 -Evolução da posse média de lâmpadas por residência

- Quanto à participação de cada uma das tecnologias consideradas, as lâmpadas led começam a ganhar relevância só depois de 2010. A Portaria Interministerial do MME/MCTI e MDIC nº 1.007/2010 (MME, 2010) estabelece níveis mínimos de eficiência energética a partir do ano de 2012, pelos quais se espera as lâmpadas do tipo incandescente parem de ser comercializadas até o final de 2017. Sendo assim, o ano de 2010 presume uma participação igual a do ano base das tecnologias consideradas. Entre os anos de 2010 e 2015 o número de lâmpadas incandescentes perde participação chegando à zero em 2020. A redução do número de lâmpadas tipo incandescente é distribuída igualmente pelas outras três tecnologias até o ano de 2020.

- A partir de 2020, a participação de fluorescente tubular permanece constante e as lâmpadas LED ganham espaço até substituírem completamente o espaço das incandescentes em cada uma das regiões em 2050
- Quanto à eficiência das lâmpadas, presume-se que estas permanecem inalteradas no cenário de base.

5.1.4.3 Cenário alternativo

O cenário alternativo se difere do cenário de base em relação a participação das lâmpadas e da eficiência destas. As premissas quanto à posse de lâmpadas permanece a mesma. As modificações em relação ao ano base são conforme a seguir:

- No cenário alternativo, a tecnologia LED entraria com maior espaço, inclusive em relação às lâmpadas fluorescentes compactas. Em 2050 sua participação seria 20% maior do que a do cenário de base e substituiriam completamente as incandescentes. Portanto, presume-se assim que esta tecnologia mais eficiente irá pegar um maior espaço do mercado, inclusive entrando no mercado das lâmpadas fluorescentes.
- Quanto à eficiência das lâmpadas, no cenário alternativo as lâmpadas chegam ao seu melhor desempenho possível em 2050, de acordo com a Tabela 14.

5.1.5 Aquecimento de água

5.1.5.1 Ajuste para o ano base

No caso do aquecimento de água, os dados de posse e participação foram obtidos de dados divulgados no PROCEL (2007) com as formas de aquecimento utilizadas nos domicílios entrevistados em cada região. Para fins de cálculo, desprezaram-se as formas de aquecimento denominadas como outras e as residências que não souberam responder.

A posse é relativa a quantidade de residências que utilizam o serviço de aquecimento de água. A participação do chuveiro elétrico é a considerada para a modelagem do consumo elétrico, e depende da participação das outras tecnologias (Tabela 16).

Tabela 16- Participação das tecnologias de aquecimento de água nas residências brasileiras em 2005

Regiões	Posse (Aquecem)	Participação das fontes			
		GN	GLP	Elétrico	Solar
Sudeste	98%	3%	1%	95%	1%
Sul	100%	0%	1%	99%	0%
Centro-Oeste	88%	0%	0%	99%	1%
Norte	4%	0%	0%	100%	0%
Nordeste	49%	17%	18%	65%	0%

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de PROCEL (2007)

Para a definição da potência média utilizada nas residências brasileiras foi calculado o valor ponderado de potência para os chuveiros elétricos existentes nos domicílios. A grande maioria dos chuveiros elétricos utilizados se encontrava nas faixas de potência de 4400 W ou menor (Figura 53).

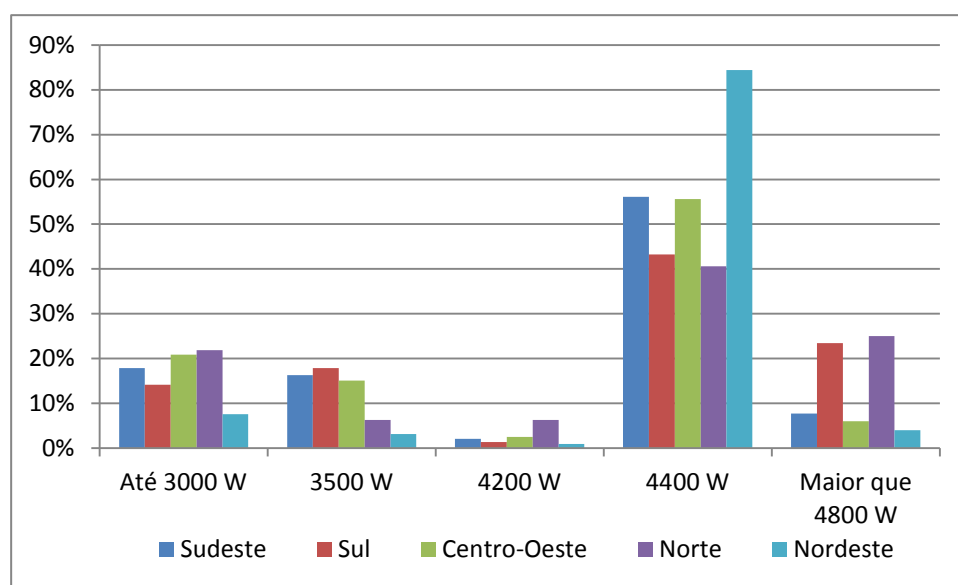


Figura 53 - Distribuição dos chuveiros elétricos de acordo com sua potência

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de PROCEL (2007)

Os resultados da potência média utilizadas nas residências por região estão mostrados na Tabela 17. A eficiência de conversão de energia elétrica em térmica considerada é de 0.95.

Tabela 17 - Potência média de chuveiros elétricos de acordo com a região

Regiões	Potência (W)
Sudeste	3830
Sul	3956
Centro-Oeste	3751
Norte	4025
Nordeste	4284

Em relação aos hábitos de consumo de água quente, ou seja, o tempo médio de banho, a pesquisa mostra que a maior parte dos entrevistados afirmou que tomava banhos de duração de até 10 minutos (Procel, 2007). Através da ferramenta do *solver* do *software excel*, utilizando os dados de tempo de banho como coeficiente de ajuste, chegou-se aos resultados apresentados na (Tabela 18). Esses valores estão de acordo com os obtidos na entrevista, banhos menores que 10 minutos.

Tabela 18 - Tempo médio de banho quente por ano em cada região

Regiões	Tempo de uso (min/dia)
Sudeste	7,23
Sul	5,63
Centro-Oeste	7,12
Norte	6,24
Nordeste	2,94

Os dados mostram o tempo médio gasto em banhos quentes no ano. Isso não significa, necessariamente, o tempo médio de banho dos indivíduos. Por partir de uma abordagem de ajuste *top-down*, esse tempo é anualizado, considerando que em as pessoas não tomam exclusivamente banho quente ao longo de todos os dias do ano, pode-se presumir que os dados de hábitos de banho são um pouco diferentes do calculado para a duração de banhos com aquecimento.

5.1.5.2 Cenário de base

A construção de cenários foi feita a partir da variação dos parâmetros de posse e participação de cada uma das fontes de energia que podem ser usadas para aquecimento. Não foram consideradas modificação de potência em relação ao ano base, nem de frequência de uso. As premissas consideradas são:

- A quantidade de residências que aquecem água evolui da mesma forma para ambos os cenários. A taxa de crescimento de pessoas que aquecem água para banho foi baseada na evolução prevista em EPE (2014b). A região Sul já apresenta uma taxa de 99,9% das residências com aquecimento de água, e a região Sudeste tinha um percentual de 99,8%. Dessa forma, o crescimento de 0,65% a.a. nas famílias que aquecem água para banho não se deu de forma uniforme em todas as regiões.
- Nas regiões com alto índice de aquecimento de água, o crescimento foi limitado por um valor de 99,9% das famílias com acesso ao serviço. Nas demais regiões, Norte e Nordeste, o crescimento se manteve até o ano de 2050, sendo que o período que compreende 2005-2015 apresentou um maior crescimento (Figura 54).

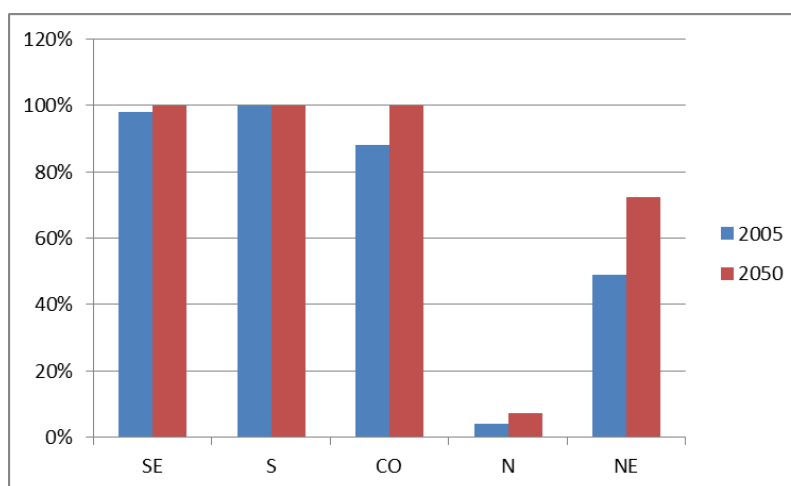


Figura 54- Percentual de residências com aquecimento de água em 2005 e 2050

- A participação das fontes não se altera até o ano de 2015. A partir deste ano, a taxa de decaimento considerada para o chuveiro elétrico obedece a taxa de EPE, 2014b. As projeções da participação de tecnologias de gás natural também estão de acordo com o crescimento esperado pelo mesmo estudo. A entrada de SAS é a diferença do mercado.

5.1.5.3 Cenário alternativo

O cenário alternativo se difere do cenário de base somente em relação à participação das fontes de energia no aquecimento de água, conforme a seguir:

- No cenário alternativo a entrada de aquecimento solar é mais agressiva que a do cenário base. Esta obedece ao potencial do estudo de CRUZ (2016) para o ano de 2050 (Figura 55). As premissas para o uso de gás natural e GLP são conforme o cenário base.

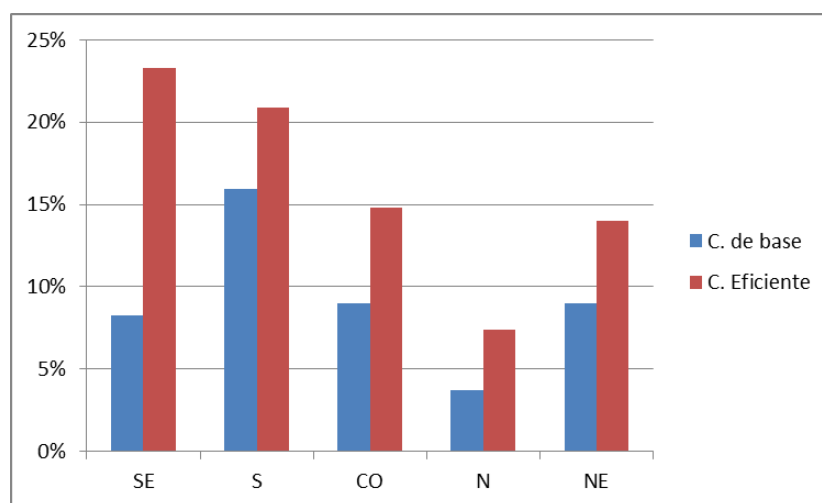


Figura 55 - Participação de SAS no aquecimento de água em 2050 no cenário de base e cenário eficiente

5.1.6 Climatização

5.1.6.1 Ajuste para o ano base

A posse média de aparelhos de ar condicionado foi obtida a partir de dados retirados da pesquisa comportamental do Procel (2007).

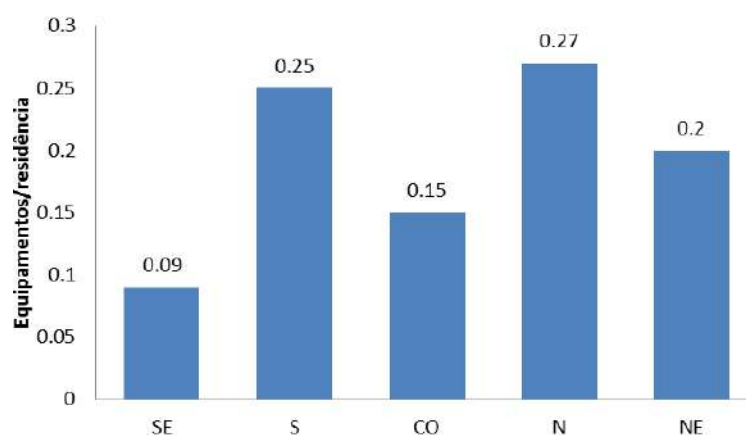


Figura 56 - Posse de ar condicionado em 2005 nas regiões do Brasil

Fonte: Elaboração própria a partir de PROCEL (2007)

O modelo diferencia os aparelhos conforme seu tipo, janela ou Split, ou ainda conforme sua eficiência. A distribuição segundo o tipo de tecnologia usada em cada região foi obtida segundo distribuição de vendas de aparelhos entre 2000-2010 por tipo proposta por NOGUEIRA et al. (2015). Tomando como base uma idade média de 6 anos (PROCEL, 2007), os cálculos foram feitos a partir do acumulado de vendas entre 2004-2010, e assim, a participação nas residências em 2010 pôde ser estimada. Assim, em 2005, 56% dos aparelhos presentes no mercado eram do tipo janela.

A eficiência dos aparelhos foi estabelecida segundo os índices atuais considerados no Brasil (Tabela 19 e Tabela 20). Os aparelhos convencionais foram considerados como aparelhos com coeficientes de desempenho mínimo equivalente aos da classe Procel D, enquanto para os modelos eficientes considerou-se o mínimo de eficiência da classe A.

Tabela 19 - Índices de eficiência de acordo com o programa de etiquetagem brasileiro para modelos de ar condicionado tipo janela

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W) (*)												Total de modelos por classe
	Categoria 1 ≤9.495 kJ/h ≤9.000 BTU/h			Categoria 2 9.496 a 14.769 9.001 a 13.999			Categoria 3 14.770 a 21.099 14.000 a 19.999			Categoria 4 ≥ 21.100 ≥ 20.000			
A	≥ 2,93	38	64,4%	≥ 3,03	27	57,4%	≥ 2,88	10	76,9%	≥ 2,82	11	55,0%	86
B	≥ 2,84	17	28,8%	≥ 2,94	13	27,7%	≥ 2,71	2	15,4%	≥ 2,65	7	35,0%	39
C	≥ 2,76	1	1,7%	≥ 2,86	4	8,5%	≥ 2,59	0	0,0%	≥ 2,48	1	5,0%	6
D	≥ 2,68	3	5,1%	≥ 2,78	3	6,4%	≥ 2,45	1	7,7%	≥ 2,30	1	5,0%	8

Fonte: INMETRO (2017)

Tabela 20 - Índices de eficiência de acordo com o programa de etiquetagem brasileiro para modelos de ar condicionado tipo split

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)		Split Hi-Wall			
			Rotação Fixa		Rotação Variável	
A	3,23	<CEE	301	37,0%	275	89,6%
B	3,02	<CEE ≤ 3,23	174	21,4%	24	7,8%
C	2,81	<CEE ≤ 3,02	268	32,9%	8	2,6%
D	2,60	≤CEE ≤ 2,81	71	8,7%	0	0,0%

Fonte: INMETRO (2017)

No caso dos aparelhos tipo *split*, o coeficiente de eficiência não é estabelecido de acordo com a potência do aparelho. Assim, modelos considerados convencionais são considerados aqueles com COP de 2,60 e modelos eficientes seriam aqueles de COP igual a 3,23.

Para a determinação dos coeficientes de desempenho dos aparelhos de janela, é preciso, primeiramente, conhecer a potência equivalente dos equipamentos utilizados. A potência dos aparelhos foi definida de acordo com a participação dos aparelhos segundo sua categoria (Figura 57).

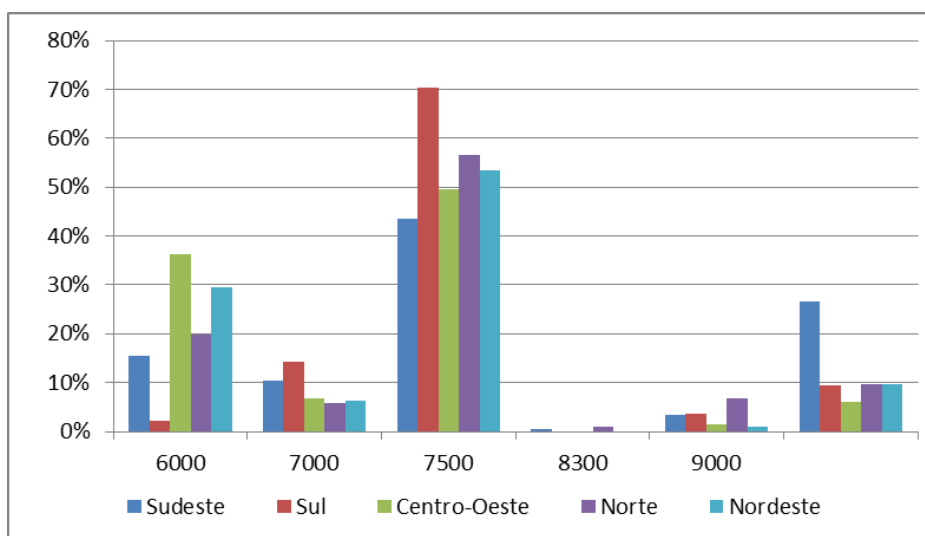


Figura 57 - Participação dos aparelhos de ar condicionado segundo sua potência

Fonte: Elaboração própria baseado em dados de PROCEL (2007)

A potência média por região foi obtida a partir da média ponderada entre as distribuições dos aparelhos e sua potência. A partir da definição da potência representativa por região foi possível definir os dados de coeficiente de desempenho. O

COP utilizado, dessa forma, considera equipamentos menores que 9.000 BTU/h (Tabela 21).

Tabela 21- Características dos aparelhos de ar condicionado residencial

Região	CR	COP			
		Janela		Split	
		Convencional	Eficiente	Convencional	Eficiente
Sudeste	9000				
Sul	8300				
Centro-Oeste	7000	2,68	2,93	2,60	3,02
Norte	7500				
Nordeste	7500				

Para fins de simplificação, todos os equipamentos do ano base seguem o padrão de consumo de aparelhos convencionais.

Os dados da metodologia *top-down* foram utilizados para estimar as horas anuais de utilização dos aparelhos de climatização, segundo a metodologia de ajuste. Os resultados estão na Tabela 22 a seguir.

Tabela 22 - Média de horas de uso de ares condicionados ao longo do ano

Regiões	Horas de uso (h/ano)
Sudeste	1083
Sul	1321
Centro-Oeste	1267
Norte	1793
Nordeste	571

Percebe-se que as horas de uso de aparelhos de climatização no Sul é maior do que nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, apesar de ser uma região mais fria. Esse fato pode ser explicado pelo uso de aparelhos de ar condicionado na função reversa durante o inverno, visto que a região apresenta invernos mais rigorosos do que do resto do país.

5.1.6.2 Cenário de base

A construção de cenários foi feita a partir da variação dos parâmetros de posse, participação e coeficiente de performance (COP) dos aparelhos utilizados. As premissas escolhidas foram:

- A evolução da posse de aparelhos de ar condicionado a partir de uma taxa definida para os anos de 2005-2015 e para o período posterior. A taxa de crescimento entre os anos de 2005-2015 foi considerada de acordo com a variação da posse média no Brasil em 2005, 0,16 equipamentos por residência, e a posse média considerada para o ano de 2013, 0,23 (EPE, 2014b). Dessa forma, se estima que entre 2005 e 2015 o crescimento na participação de residências com ar condicionado subiu a uma taxa de 4,6% a.a. Entre o período de 2013 e 2050 a evolução da posse tomou como base a taxa de variação para 2013-2050 segundo EPE (2014b). Porém, alguns ajustes foram feitos, visto que atualmente o país vive em um momento de recessão, o que não foi considerado no estudo. A taxa de 2,8% a.a. é reduzida em 70% até 2025.

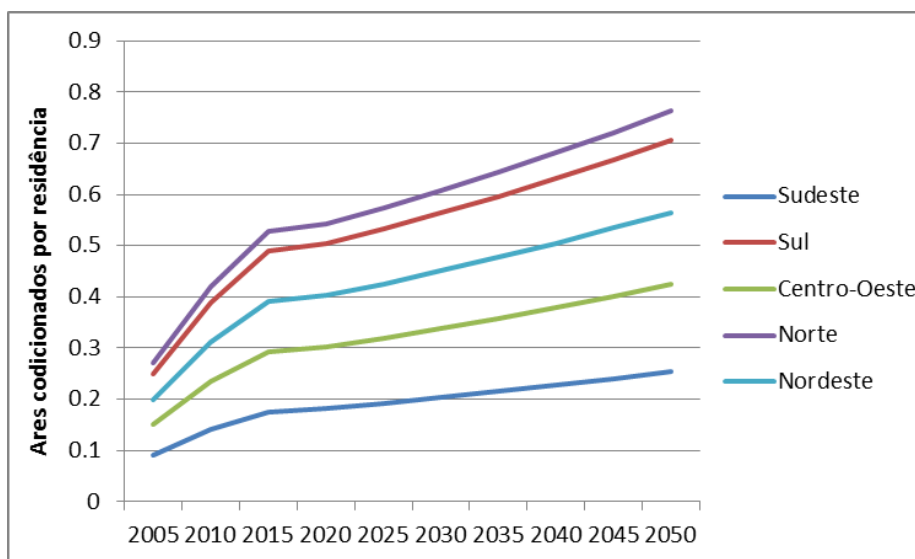


Figura 58 -- Evolução da posse de aparelhos de ar condicionado nas regiões do Brasil

- Quanto a participação dos condicionadores do tipo janela e Split, esta relação foi tirada do relatório ABRAVA, 2014, para os anos de 2010-2015. A distribuição se deu de acordo com os dados de venda, segundo tonelada de refrigeração, entre os anos de 2009 e 2014. A relação de decréscimo entre 2010 e 2015 permaneceu a mesma até o ano de 2020, na qual a participação de equipamentos tipo janela chegou a 13%. Esse valor permaneceu inalterado para os demais anos.
- Em relação a participação dos modelos segundo a sua eficiência, se considera no cenário base a participação de 70% do mercado de refrigeradores convencionais em 2050.

- A evolução da eficiência se dá conforme a mesma abordagem utilizada para os cenários de refrigeração. De forma conservadora, a eficiência no cenário base evolui de forma que o aparelho convencional em 2050 tenha a mesma eficiência do modelo com melhor desempenho do ano base. O modelo eficiente seria mais eficiente do que o modelo convencional na mesma proporção considerada para o ano de 2005. Assim, os modelos eficientes do tipo janela teriam um COP de 3,28 W/W e os do tipo Split teriam um COP de 4,79.

5.1.6.3 Cenário alternativo

Na climatização, dois parâmetros são diferenciados em relação ao cenário base: a participação quanto a eficiência dos equipamentos e o coeficiente de desempenho dos aparelhos. A posse dos equipamentos e a participação por tipo, janela e split, permanecem a mesma em ambos os cenários. As premissas utilizadas no cenário alternativo são:

- Para o cenário alternativo, considerou-se que o espaço para equipamentos mais eficientes seria maior. A participação de eficientes e convencionais é feita de forma trocada ao do cenário base. Os ares-condicionados convencionais representariam 30% do mercado em 2050 neste cenário, ao invés de 70% como no cenário anterior.

No cenário alternativo, os valores de desempenho dos aparelhos considerados eficientes no cenário de base seriam os do modelo convencional, e a relação entre o consumo dos equipamentos com melhor desempenho e equipamento com pior desempenho seria a mesma que do ano base. Assim, os modelos eficientes do tipo janela teriam um COP de 3,67 W/W e os do tipo Split teriam um COP de 6,00. Para o caso dos modelos no cenário eficiente, o valor de 6,00 seria o mesmo presente nos ares-condicionados mais eficientes existentes hoje no mercado chinês (PEREIRA et al., 2013).

5.1.7 Curva de carga sazonal

5.1.7.1 Refrigeração

A fim de modelar os pesos do consumo de energia para a refrigeração ao longo de um ano, utilizou-se a premissa de que, de uma forma geral, o uso do refrigerador é constante ao longo do ano. Não existem momentos do ano em que o aparelho não fosse utilizado de forma regular no domicílio, conforme observado em Figura 30 e Figura 31.

Contudo, a temperatura externa pode ter uma influência no consumo de eletricidade em aparelhos de refrigeração. A influência da temperatura ambiente no consumo de freezers e refrigeradores é da ordem de 5% para cada grau de variação (CARDOSO, 2008).

A partir de dados de temperatura fornecidos pelo INMET, 2016 para os anos de 2013 e 2014 a média de temperatura em cada uma das regiões em cada mês foi calculada. A partir dessa sazonalidade encontrada da temperatura, os pesos de variação de consumo das geladeiras e freezers foram estimados.

A diferença entre a temperatura média ambiente em um mês e a temperatura de operação da geladeira foi calculada, considerando a temperatura nominal de operação da geladeira, 5°C (CARDOSO, 2008). Conforme a média de variação do consumo de 5% para cada grau de mudança na temperatura ambiente o comportamento sazonal, foi calculado. Os valores obtidos foram distribuídos ao longo dos meses, consolidando os pesos equivalentes para cada mês. O consumo elétrico para refrigeração apresentou a seguinte distribuição por região, conforme Figura 59.

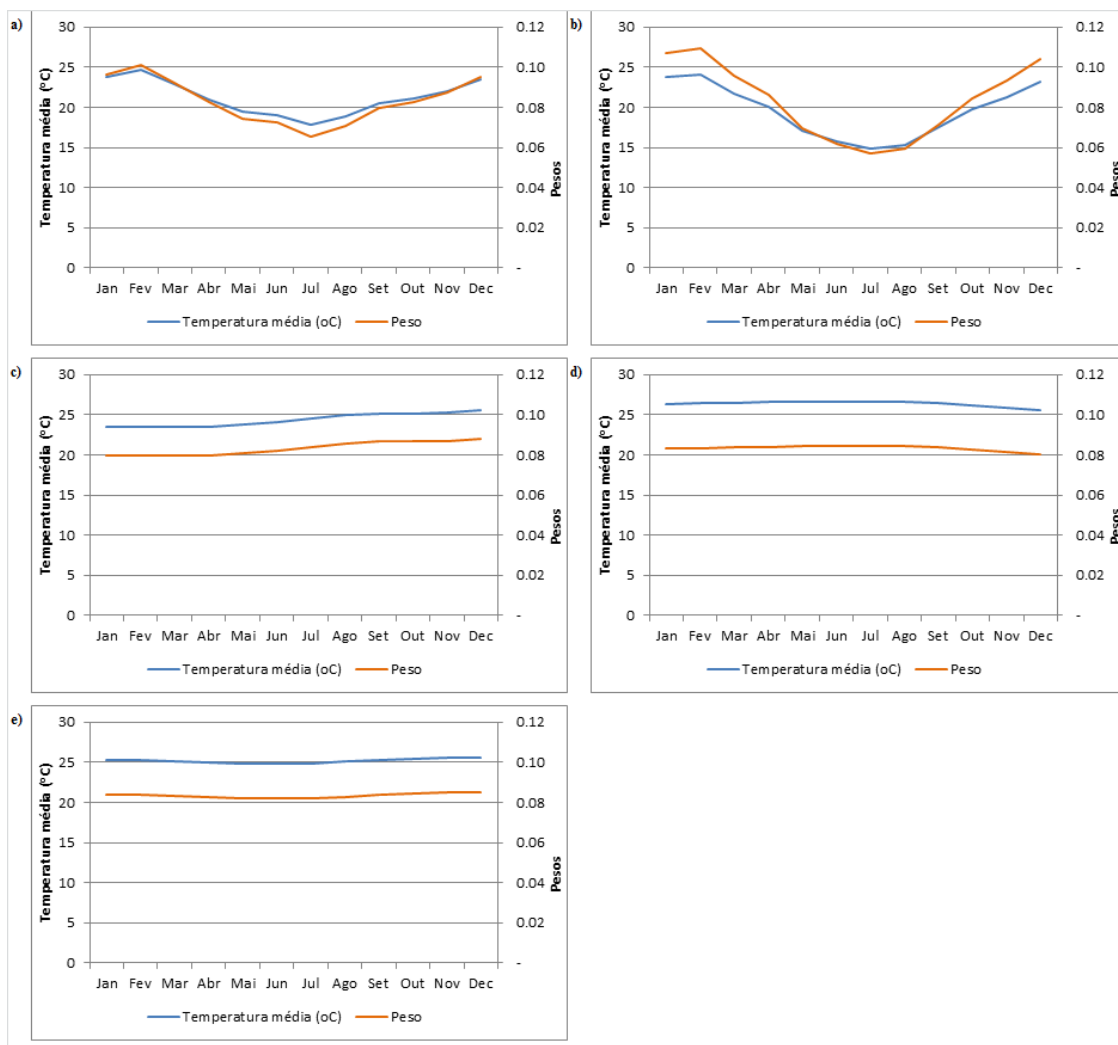


Figura 59 – Temperatura média e pesos sazonais do consumo de eletricidade para Refrigeração nas regiões: (a) Sudeste; (b) Sul; (c) Centro-Oeste; (d) Norte; e (e) Nordeste

É possível perceber que a influencia da variação da temperatura é maior nas regiões Sudeste e Sul. Nas regiões Norte e Nordeste, a temperatura média varia pouco ao longo do ano, assim, a distribuição do uso de equipamentos de refrigeração também sofre menores variações. Enquanto na região Sul o gasto de energia em julho corresponde à 5,7% do gasto anual e em fevereiro esse valor é de 10,9%, no Nordeste a variação máxima é de 0,3%, entre 8,2% em julho à 8,5% em dezembro.

A partir dos pesos calculados e do consumo total em cada região e no Brasil foi possível calcular a sazonalidade do uso de refrigeração no país (Figura 60).

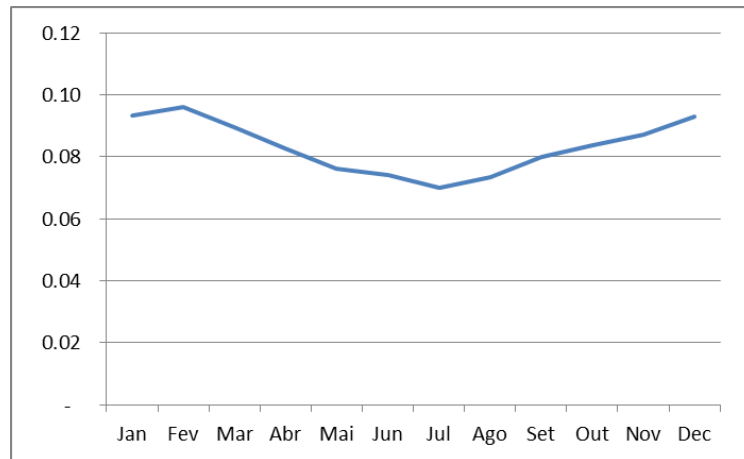


Figura 60 - Pesos sazonais do consumo de eletricidade para Refrigeração no Brasil

5.1.7.2 Iluminação

A sazonalidade do uso da iluminação está relacionada, principalmente a variação das horas de Sol ao longo dos meses do ano. Algumas regiões do Brasil percebem mais essas diferenças, como é o caso das regiões mais ao Sul. Outras regiões, como as que se encontram próximas ao Equador não percebem variações da incidência Solar ao longo do ano de maneira tão relevante.

Para estimar a sazonalidade nas regiões, o parâmetro escolhido foi o horário do pôr do sol. A prática do horário de verão nos sistemas Sul, Sudeste e Centro-Oeste mostra a relevância da hora que o Sol se põe para o sistema a em relação ao comportamento de consumo do consumidor. Esse efeito é mais percebido no horário noturno que nas manhãs, conforme pode ser observado na Figura 33 mostrada anteriormente.

Assim, os horários do pôr do sol para todos os meses do ano em cinco diferentes cidades representativas das regiões foram tomados. As cidades foram escolhidas de acordo com sua representatividade populacional e pela sua localização geográfica. Os dados coletados são em referência aos meses de janeiro a dezembro do ano de 2016. As informações foram padronizadas e se referem a todos os dias 15 de cada mês.

A percepção do efeito do horário do por do Sol é maior ao longo do horário da noite. Os pesos se distribuem de forma inversa em relação ao horário do pôr do sol, assim, o cálculo dos pesos se deu pela diferença entre o horário do pôr do sol até à meia-noite. Essa diferença mostra o quanto uma residência irá precisar de iluminação artificial em cada mês. Nos meses em que o Sol se põe em horários mais tardios essa diferença será menor, o que significa que o peso para este mês será menor,

representando que menos horas de iluminação artificial são necessárias. A Figura 61 mostra a relação entre o horário do pôr do sol nas regiões e os pesos calculados para cada mês.

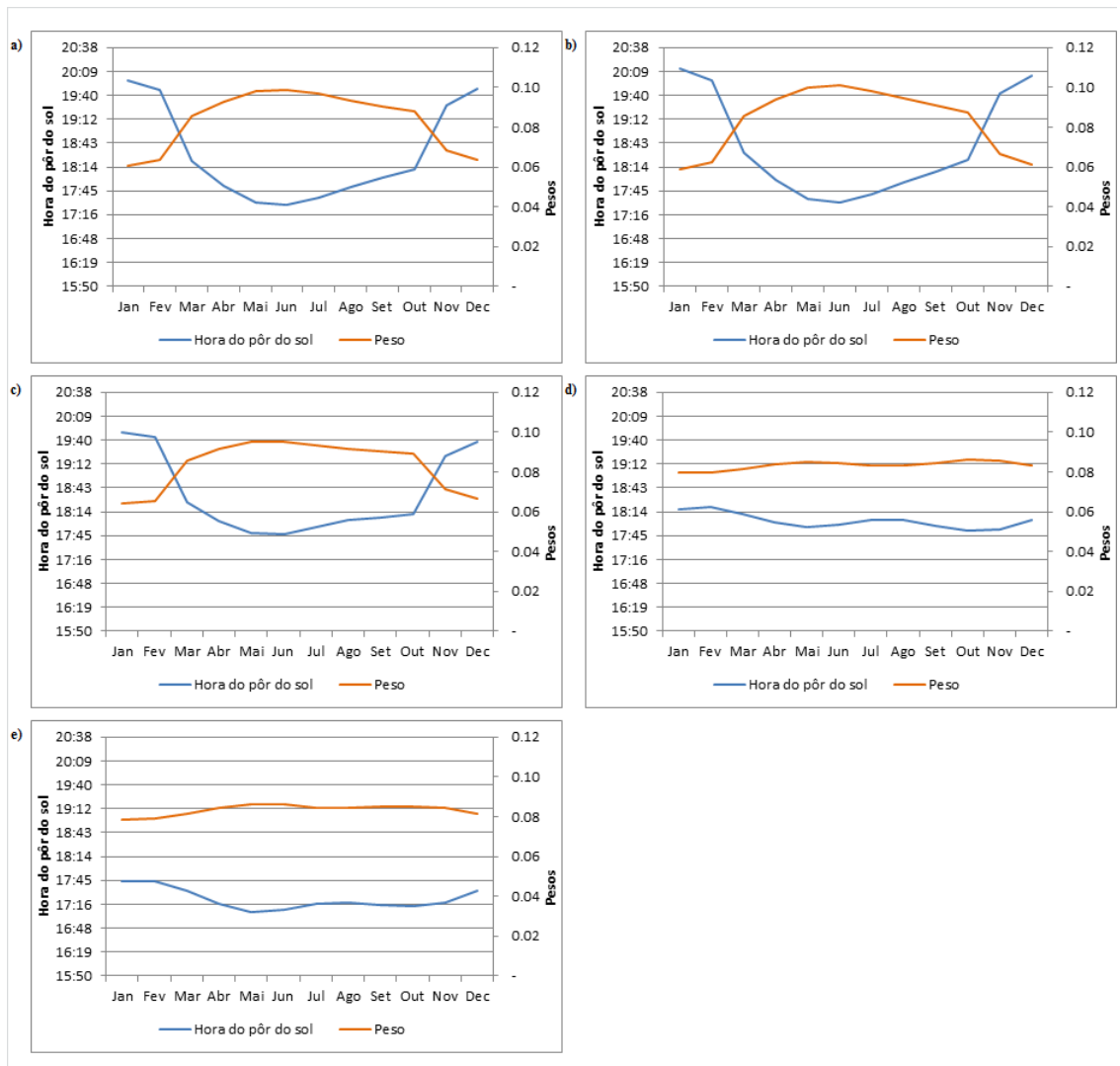


Figura 61 - Horário do pôr do sol e pesos do consumo de eletricidade para Iluminação nas regiões:
(a) Sudeste, São Paulo (SP); (b) Sul, Joinville (SC); (c) Centro-Oeste, Brasília (DF); (d) Norte,
Manaus (AM); e (e) Nordeste, Recife (PE)

Assim como ocorre no caso da refrigeração, as regiões Norte e Nordeste apresentam as menores variações anuais. Devido às suas baixas latitudes, o horário do pôr do Sol permanece praticamente constante ao longo do ano, tendo uma variação de aproximadamente 30 minutos entre os dias mais longos e os dias mais curtos. Já nas demais regiões essa variação pode chegar a 2:40 horas, no caso do Sul. Vale ressaltar aqui que o horário de verão foi estabelecido, no ano considerado, apenas nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste, o que faz com que essas variações sejam ainda mais acentuadas. Para o Brasil a curva de distribuição sazonal ficou conforme Figura 62.

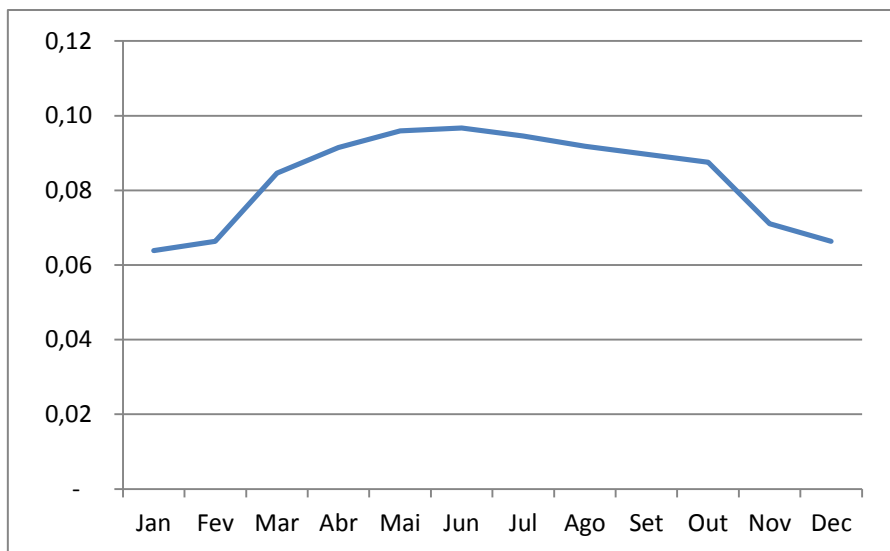


Figura 62 - Pesos sazonais do consumo de eletricidade para Iluminação no Brasil

5.1.7.3 Aquecimento de água

A distribuição do consumo sazonal de energia para fins de aquecimento de água foi feito utilizando a premissa de que à temperaturas mais baixas a probabilidade de uso de aquecimento de água é maior. Assim, os meses com temperaturas menores devem ser os com a maior carga neste setor.

Para o cálculo foi utilizado um método similar ao *cooling degree hours* (CDH)⁸. O horário de maior consumo, entre 18:00 e 21:00 foi considerado para o cálculo. Três premissas de consumo foram consideradas: chuveiro desligado, chuveiro ligado na chave verão e chuveiro ligado na chave inverno. Para cada uma destas hipóteses escolheu-se uma temperatura de corte. A soma das horas em que o chuveiro estava ligado em cada uma das opções foi contabilizada. Para chegar ao total médio por região os resultados por estado foram agregados, de forma que os dados tenham um peso similar a população do estado.

Para o cálculo do total de horas, um ajuste foi necessário. Como a sazonalidade não é do uso de água quente apenas e sim também do consumo energético, foi preciso ajustar os dados de uso do chuveiro elétrico no modo inverno. Assim, as horas usadas nesse modo tem peso de 1,5 vezes maior que os do modo verão, representando um consumo a mais do chuveiro de 50%.

⁸ *Cooling degree hours* é uma metodologia que calcula o número total de horas em um mês em que a temperatura ambiente é maior que a temperatura de referência utilizada para o uso da climatização (Papakostas, 2005)

De acordo com Ghisi (2015) a temperatura da água para banho ou usos pessoais ideal está na faixa entre 35°C e 50°C. Segundo YAO; STEEMERS (2005) a temperatura considerada para banho seria de 40 °C e segundo recomendações de uso utilizadas no Reino Unido, a temperatura máxima para banho deve ser de 41 °C (THERMOSTATIC MIXING VALVE ASSOCIATION, 2000).

De acordo com esses dados uma pessoa tem conforto térmico no banho com a temperatura da água entre 35 °C e 41°C. Porém, tomando como base outros fatores que contribuem para o uso da água quente, como sensação térmica no momento antes do banho, considerou-se uma diferença do mínimo de 5 °C.

Assim, a temperatura de corte na qual o usuário decide ligar o chuveiro na função verão é de 30 °C, e na função inverno com menos 5 °C, ou seja, a partir de 25 °C. A Figura 63 mostra as horas de uso calculadas e os pesos correspondentes em cada mês.

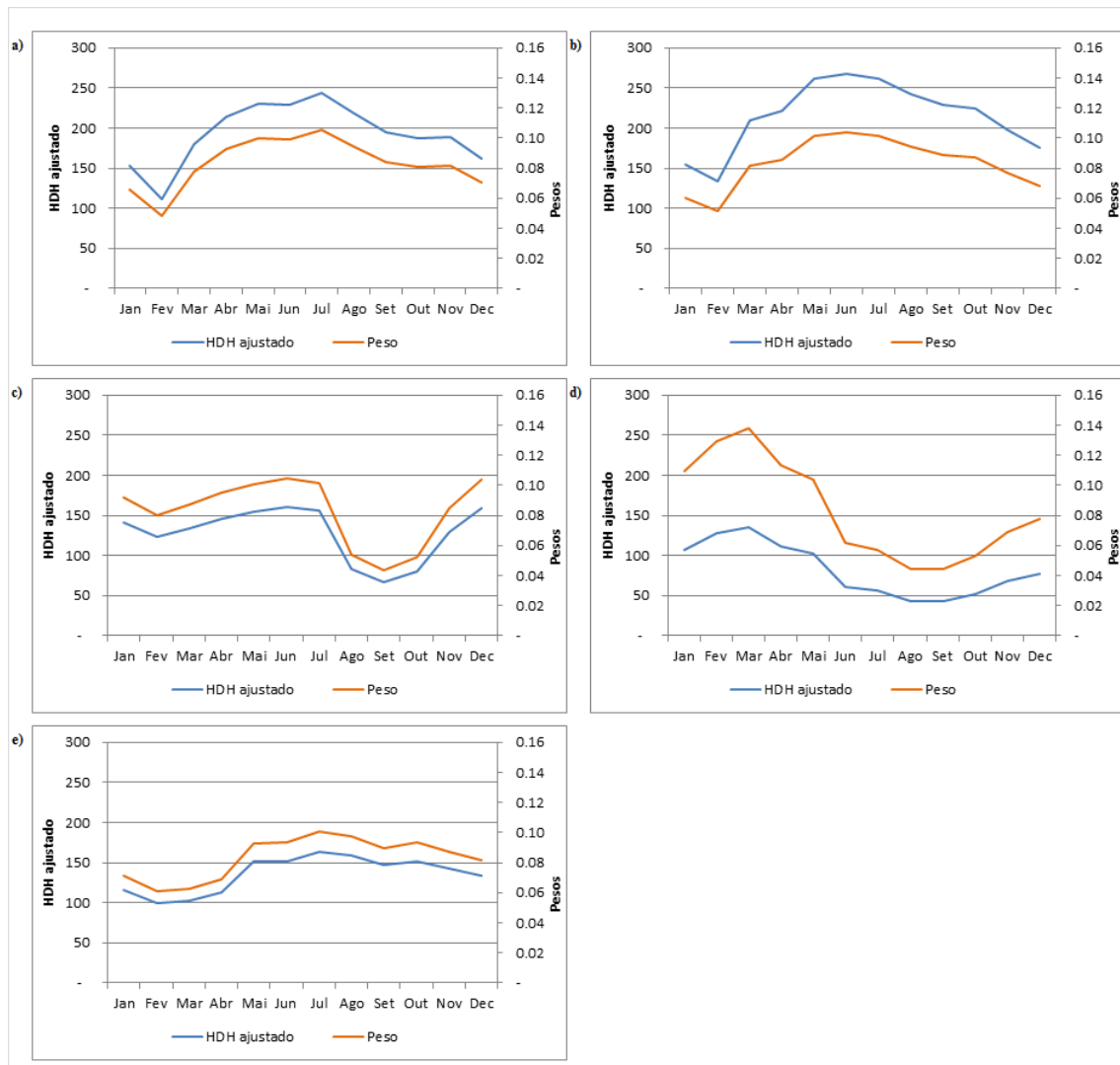


Figura 63- Horas ajustadas de uso mensal (HDH) e pesos sazonais do consumo de eletricidade para Aquecimento de água nas regiões: (a) Sudeste; (b) Sul; (c) Centro-Oeste; (d) Norte; e (e) Nordeste

No caso do aquecimento de água não é possível enxergar um padrão claro de consumo nas regiões ao longo dos meses do ano. Os únicos comportamentos que se assemelham de certa forma são os do Sudeste e Sul.

Tomando como base a sazonalidade calculada em todas as regiões, pode-se estimar a curva final de aquecimento de água no Brasil.

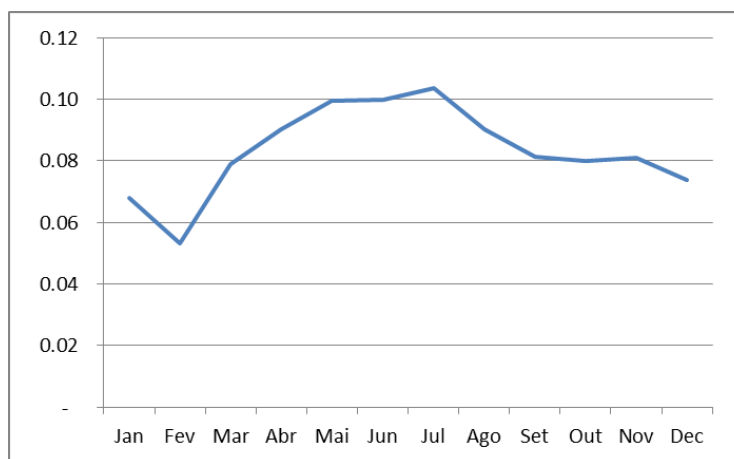


Figura 64 - Pesos sazonais do consumo de eletricidade para Aquecimento de água no Brasil

5.1.7.4 Climatização

Para estimar a variação da demanda energética ao longo do ano, foi usada a metodologia de cálculo *cooling degree hours (CDH)*⁹. Os dados de temperatura horária ao longo de todos os dias de 2013 e 2014¹⁰ foram tirados de INMET (2016).

Essa metodologia utilizada assume que a partir de certo valor de referência de temperatura ambiente o usuário decide ligar o ar condicionado. Diversos estudos mostram que as temperaturas de referência utilizadas para prever o comportamento do usuário não são únicas. Essa temperatura de corte depende de fatores culturais e comportamentais, assim como fatores exclusivamente pessoais.

O padrão de corte em países da Europa e EUA é de 18°C ou 18,3°C, respectivamente (ISAAC; VUUREN, VAN, 2009). Autores como SATMAN; YALCINKAYA (1999) e PAPAKOSTAS; KYRIAKIS (2005), entretanto, questionam

⁹ *Cooling degree hours* é uma metodologia que calcula o número total de horas em um mês em que a temperatura ambiente é maior que a temperatura de referência utilizada para o uso da climatização (Papakostas, 2005)

¹⁰ A estação de Macapá, Amapá só tinha dados disponíveis de 2014.

estes valores para a realidade climática de seus países, Grécia e Turquia. Estes autores propõem um estudo do comportamento para diferentes temperaturas de corte e mostram o quanto esse corte influencia na variação da demanda ao longo de um ano.

No Brasil CARDOSO et al. (2012) aplicam uma temperatura de corte de referência de 26,7°C, para o cálculo das horas de operação em cada região do país. MCNEIL; LETSCHERT (2008) encontram valores maiores de horas de uso anual de aparelhos no Brasil, pois partem do corte padrão de 18°C.

HONG; LIN (2013) considera que para os consumidores com comportamento mais austero, a necessidade de ligar o ar-condicionado acontece quando estes sentem um desconforto térmico, acima de 28°C. Diante de inúmeras discrepâncias entre os valores utilizados na literatura, essa foi a temperatura usada como base para o cálculo do modelo em diferentes cidades do Brasil, o que considera uma situação mais conservadora para o cálculo das horas. Esse valor foi escolhido, considerando que a tolerância no brasileiro para temperaturas altas, deve ser similar a um comportamento mais conservador, visto que se trata de um país quente, onde a população está mais habituada ao calor.

O cálculo de CDH para cada Estado foi tomado com base nas informações obtidas para as estações meteorológicas existentes nas capitais. Para saber o CDH das regiões, uma média ponderada de acordo com o número de residências nos estados foi feita. Assim, levou-se em consideração que quanto maior a população de um estado, maior será sua influência no uso de aparelhos de climatização da região, já que o CDH de cada estado entra no cálculo da região de acordo com o tamanho do estado em termos de número de usuários de eletricidade. A partir dessas horas calculadas por região, foi possível obter os pesos mensais do consumo de energia para climatização. A Figura 65 mostra o *cooling degree hours* calculado em cada mês e os pesos para cada uma das regiões.

Ao aplicar essa metodologia e o ajuste, foi observada uma grande distorção do comportamento da carga da região Sul. Assim, foi necessário que se estabelecesse um ajuste. Nesta região, em algumas temporadas do ano o equipamento de ar-condicionado funciona na posição reversa, como uma bomba de calor. A distribuição do uso sem considerar a possibilidade de aquecimento apresentou falhas, assim, foi resolvido que se incluísse essa variável para a região Sul, mais fria. A metodologia para esta região combina os cálculos de *cooling degree hours* com *heating degree hours* (HDD).

Em regiões do sul do país, os aparelhos de ar-condicionado podem ser usados, também para aquecimento. Segundo HONG; LIN (2013) usuários mais conservadores desejam uma temperatura de conforto térmico em 18°C quando fazem uso do aquecimento. Essa temperatura de corte é utilizada muitas vezes como única para o cálculo das horas necessárias de aquecimento e resfriamento do ambiente (ISAAC; VUUREN, VAN, 2009). PAPAKOSTAS; KYRIAKIS (2005), utiliza a temperatura mínima de corte para o início do aquecimento em 10°C. Para o caso do Brasil, foi utilizado para o cálculo de *heating degree hours* uma temperatura de corte mais conservadora, 8°C (Figura 65b).

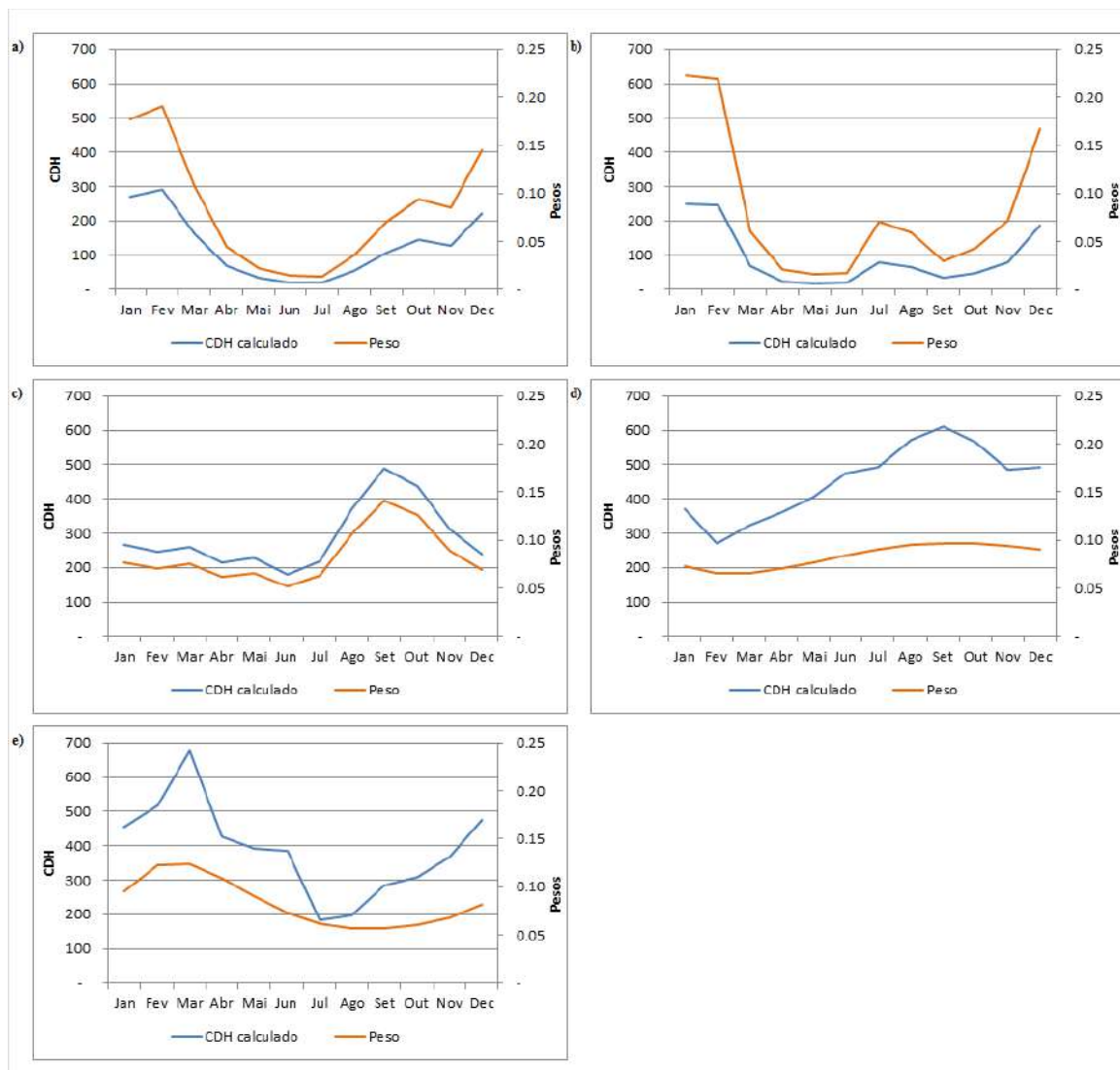


Figura 65 – Horas calculadas de uso mensal (CDH) e pesos sazonais do consumo de eletricidade para Climatização nas regiões: (a) Sudeste; (b) Sul; (c) Centro-Oeste; (d) Norte; e (e) Nordeste

Ajustando os dados obtidos para as regiões para o Brasil, é possível chegar a seguinte curva de sazonalidade para o país (Figura 66):

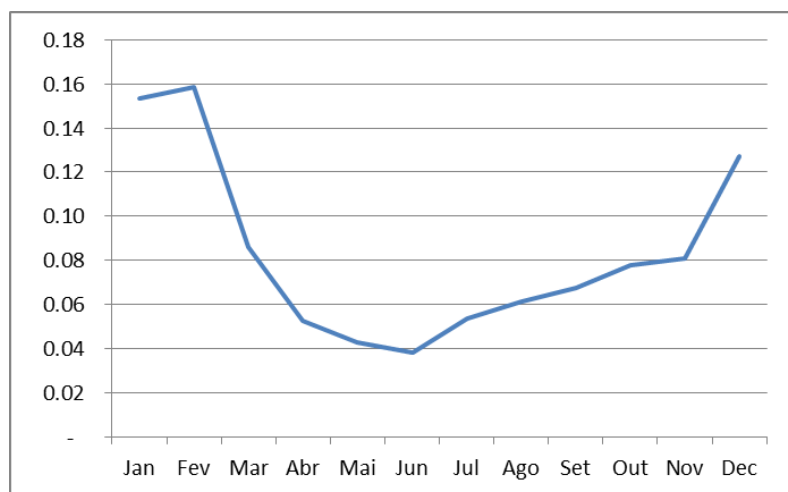


Figura 66 - Distribuição sazonal do uso de Climatização no Brasil

5.1.7.5 Outros usos e ajuste

O cálculo dos pesos sazonais da carga anual de outros usos foi feito a partir da metodologia de ajuste do modelo.

Utilizando o *solver* para solução não linear, o erro entre a série final normalizada e a série sazonal encontrada foi minimizado. Algumas restrições foram aplicadas. O somatório da distribuição de outros usos em todos os meses deve somar 1 e o limite de variação da sazonalidade deve variar entre 12% e 4%. Essa variação foi escolhida com base no pressuposto que o segmento de outros usos não tem uma distribuição acentuada em relação a um comportamento anual. Assim, se a distribuição fosse constante para todos os meses esta estaria em torno de 8% ao mês. A margem de 4% a mais ou a menos força que o ajuste seja feito sem grandes oscilações para o segmento outros usos. A Figura 67 mostra o método de ajuste utilizado, como a curva calculada através dos pesos sazonais se alinha a curva de sazonalidade obtida através de dados históricos da EPE (2016).

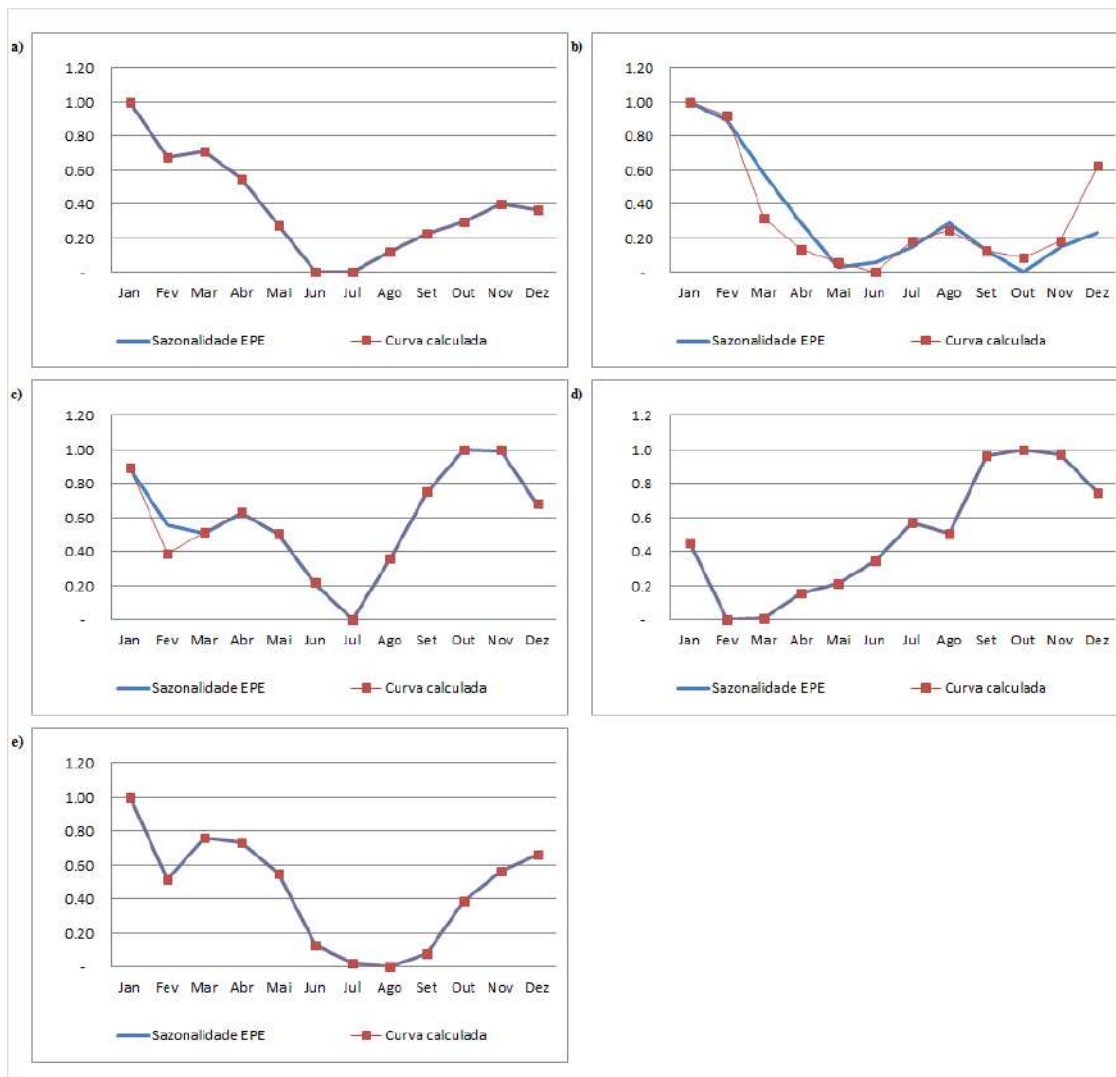


Figura 67 - Curvas sazonais do consumo de eletricidade para nas regiões: (a) Sudeste; (b) Sul; (c) Centro-Oeste; (d) Norte; e (e) Nordeste

Fonte: Elaboração própria a partir de metodologia proposta e EPE (2016)

Comparando as curvas obtidas através do método de análise de séries temporais e as curvas de sazonalidade calculadas pelo modelo, podemos perceber que na maior parte dos casos o ajuste alcançado representa bem o modelo de carga anual brasileiro.

A curva da região Sul é a que mais se distancia da curva de sazonalidade calculada a partir de dados reais da EPE (2016). Porém, apesar das diferenças observadas, o comportamento geral segue um padrão semelhante de evolução. O erro dessa curva deve estar relacionado aos outros usos para a climatização.

A região Centro-Oeste apresenta apenas um erro, em um dos meses, porém, de forma geral corresponde bem ao modelo. As outras regiões tem o padrão de sazonalidade bem ajustado. De forma geral, o modelo teve um bom comportamento da

carga e os pesos sugeridos serão mantidos conforme apresentado para a simulação dos cenários.

A partir desse valor ajustado foi possível chegar às curvas mensais do segmento de outros usos nas regiões e no Brasil (Figura 68).

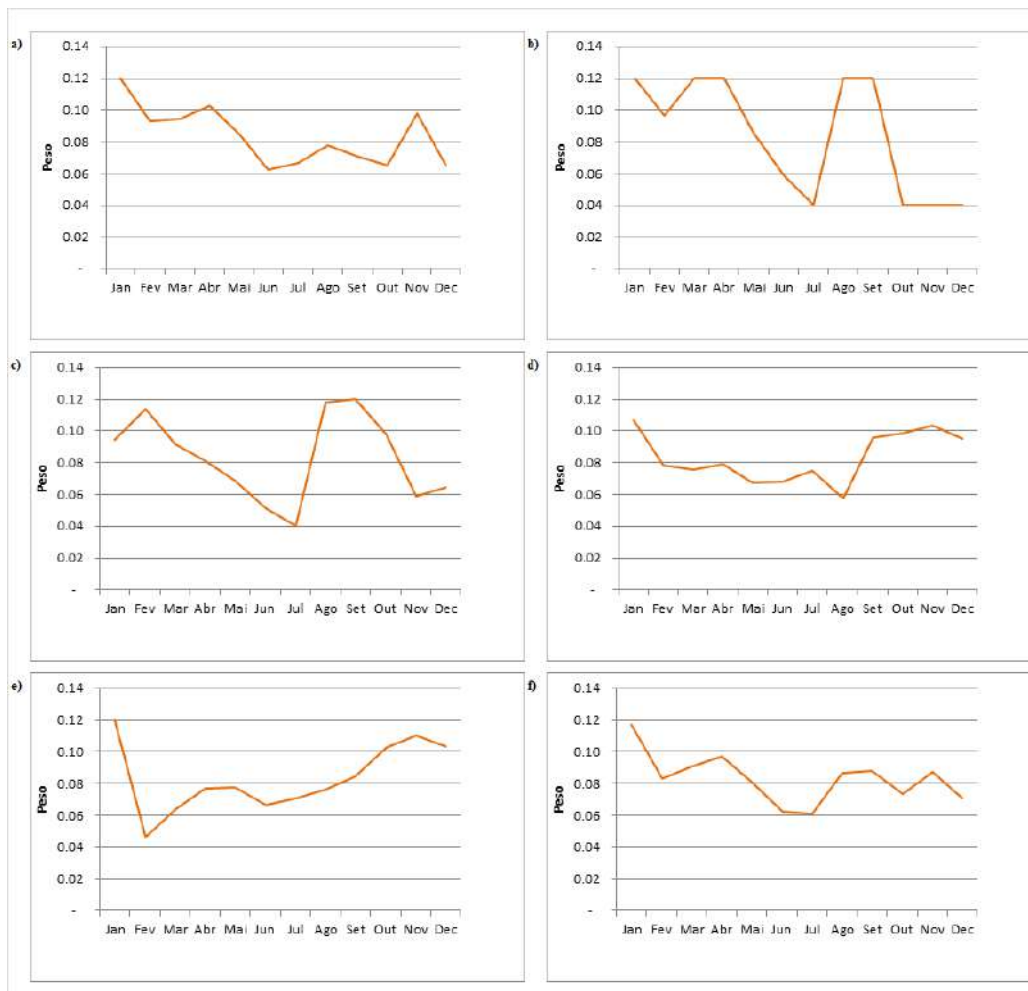


Figura 68 - Pesos sazonais do consumo de eletricidade para Outros usos em: (a) Sudeste; (b) Sul; (c) Centro-Oeste; (d) Norte; (e) Nordeste; e (f) Brasil

5.1.8 Curva de carga diária

Os pesos para a construção da curva de carga diária foram calculados a partir dos dados coletados de PROCEL (2007) para cada uma das regiões do BRasil. A partir da carga diária média de cada equipamento apresentada pela pesquisa PROCEL (2007) foi possível chegar aos pesos de distribuição padrão de cada um dos usos finais de consumo residencial. A Figura 69 mostra o resultado do cálculo da variação diária por uso final.

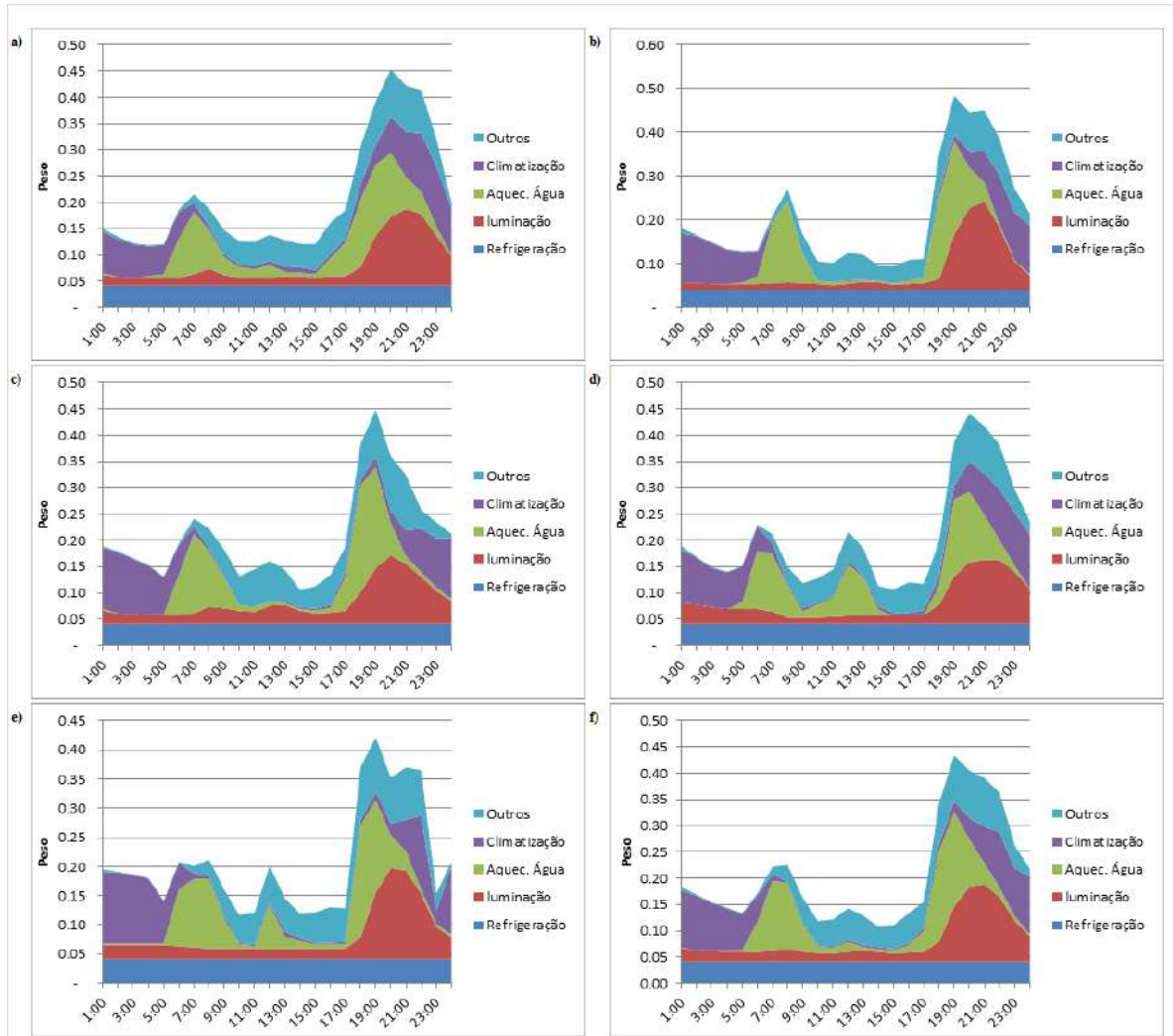


Figura 69 - Pesos diário do consumo de eletricidade em: (a) Sudeste; (b) Sul; (c) Centro-Oeste; (d) Norte; (e) Nordeste; e (f) Brasil

5.2 Resultados

O modelo foi validado através da construção de dois cenários distintos de projeção de demanda até o ano de 2050. Os resultados do trabalho serão avaliados, primeiramente de forma isolada para cada um dos usos finais e posteriormente de forma agregada.

5.2.1 Refrigeração

Os resultados das projeções de consumo de energia no setor de refrigeração são mostrados na Figura 70. Em 2050, esse setor apresenta um consumo de 37 TWh no ano, um crescimento de 64% em relação ao ano base. Além do incremento do número de domicílios e o incremento de posse das geladeiras nas regiões Norte e no Nordeste, um fator importante que explica o aumento da demanda energética deste setor é o aumento da participação de geladeiras maiores no Brasil.

O incremento de consumo na região Norte chegou a 77% e na região Nordeste a 80%. Apesar disso, a região Sudeste ainda é a maior consumidora de eletricidade para refrigeração, 18 TWh no ano. Essa região, contudo, apresentou o menor crescimento entre 2005 e 2050, 54%.

Ao incorporar as medidas de eficiência sugeridas no cenário alternativo, é possível que se tenha uma redução de consumo total de 25% no uso de eletricidade para o uso de refrigeração.

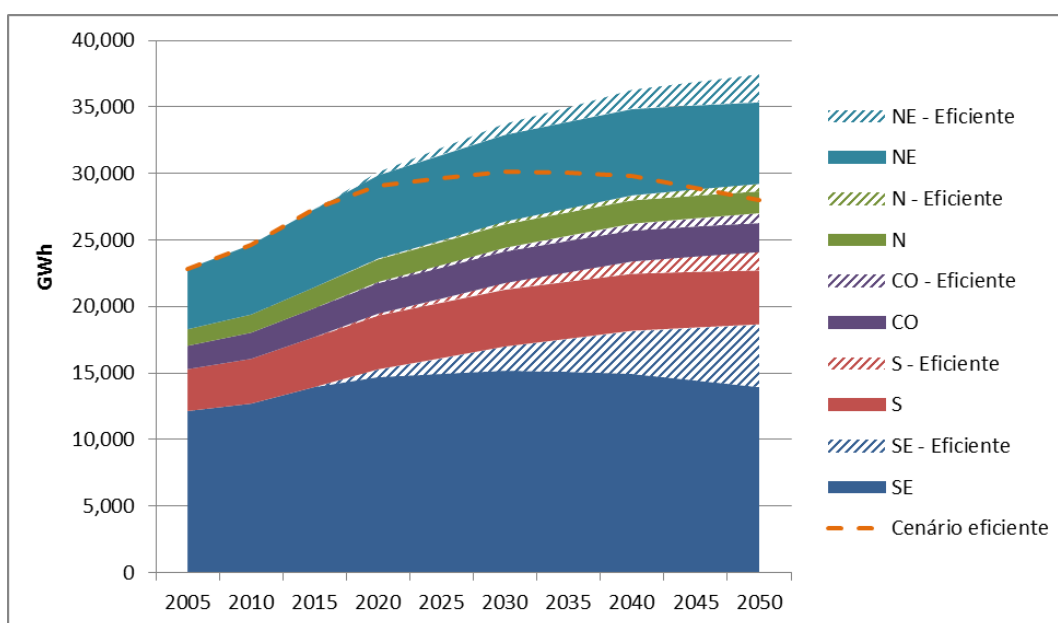


Figura 70 - Consumo residencial do setor de Refrigeração (2005-2050)

O consumo ao longo do ano deste setor apresenta uma característica sazonal. Esse comportamento se deve em grande parte ao comportamento da sazonalidade apresentada pelas regiões Sul e Sudeste. Assim, a maior redução nominal de energia acontece em fevereiro, quando é possível reduzir em 0.9 TWh o consumo total de energia para refrigeração (Figura 71).

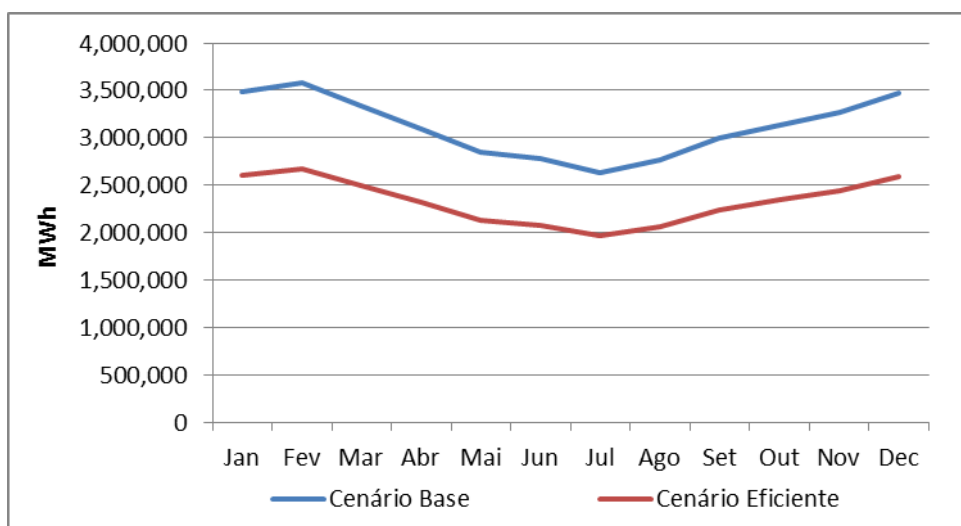


Figura 71 - Consumo sazonal do setor de refrigeração no Brasil em 2050

Em relação a participação deste setor de uso final no consumo total residencial, pode ser observado uma redução de importância na refrigeração em 2050. Neste ano, o setor de refrigeração passaria a responder por 18% do total de consumo residencial, perdendo espaço em relação a 2005, quando representava 28% do consumo. Considerando as medidas de eficiência sugeridas apenas para a refrigeração, este uso responderia por 14% da demanda total. Esse dado significa um potencial de redução de 4.6% em relação ao consumo de energia total do setor residencial no ano.

Devido à característica sazonal do consumo de refrigeração é observada uma variação na participação deste setor no consumo total residencial ao longo do ano. O consumo ao longo do ano apresenta sua maior participação nos meses de janeiro e fevereiro e sua menor contribuição no meio do ano. Os meses de janeiro e fevereiro apresentam o maior consumo total residencial ao longo do ano. Assim, pode-se dizer que o setor de refrigeração é um dos setores que contribui para este comportamento (Figura 72).

Ao considerar as possíveis variações mensais no consumo energético e na curva de carga total ao longo do ano, podemos perceber que o potencial de redução na demanda total residencial varia, porém não apresenta modificações acentuadas. Ao assumir as

medidas de eficiência do cenário alternativo para refrigeração, o potencial de redução no consumo total de energia fica é de 5%. Visto que a participação do setor de refrigeração no total demandado varia ao longo do tempo, no mês de dezembro as medidas de eficiência na refrigeração representariam um redução de consumo total máxima, de 5.1%.

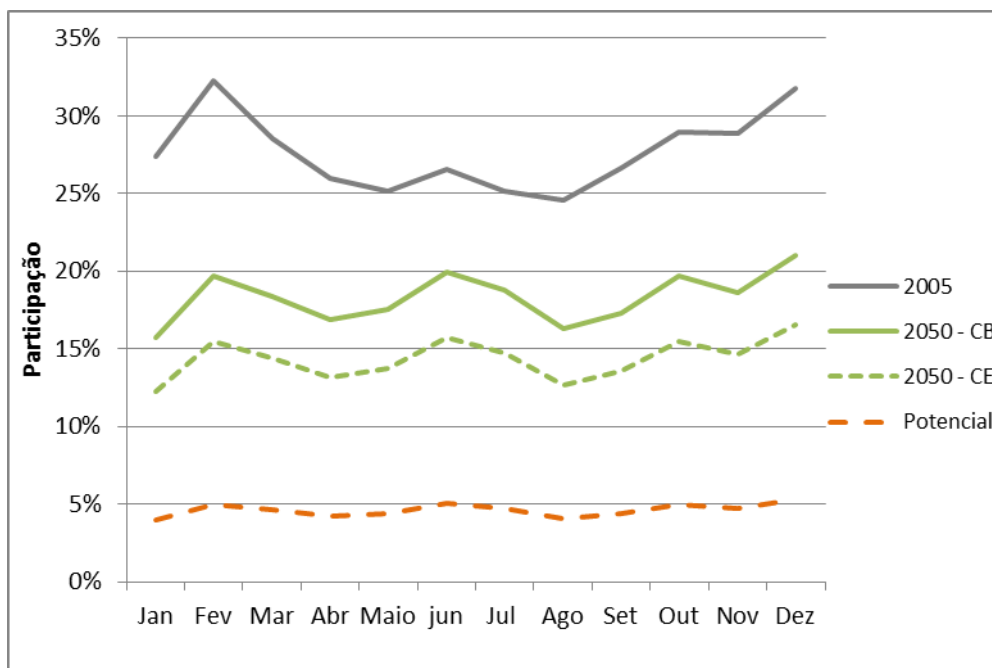


Figura 72- Participação do setor de refrigeração no consumo total residencial ao longo do ano

De acordo com a curva diária do setor de refrigeração não há variação no consumo ao longo do dia. O potencial de redução de energia média ao longo do ano apresenta um valor constante de 1.1 GWh/h em todas as horas (Figura 73). Por conta das variações sazonais, esse valor chega a 1.3 GWh/h em fevereiro de 2050, enquanto em julho este valor seria de 0.9 GWh/h.

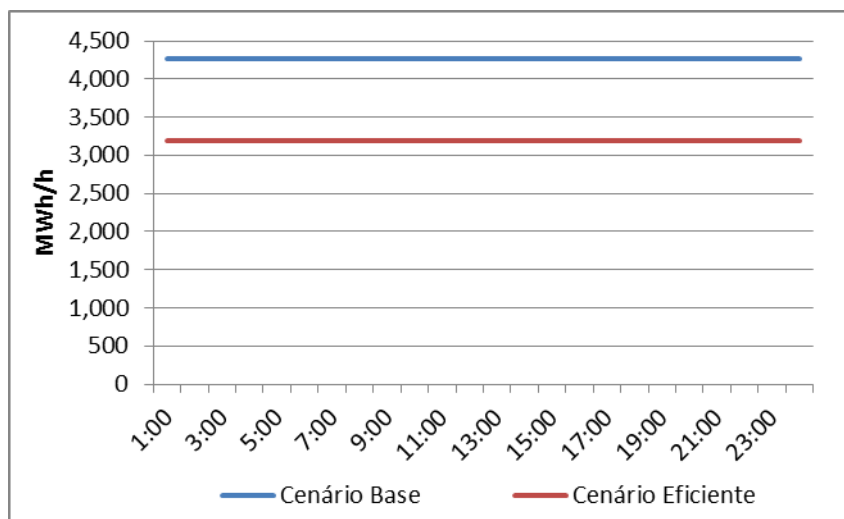


Figura 73- Consumo diário do setor de refrigeração no Brasil em 2050

Apesar de o uso final refrigeração não apresentar modificação horária no seu perfil de carga, o setor residencial como um todo apresenta variações significativas. Dessa forma, a contribuição horária do consumo de refrigeração pode sofrer alterações ao longo de um dia. O impacto das medidas de eficiência será mais accentuado na redução de consumo energético total nos momentos de menor demanda residencial total.

No ano base, nos horários de menor consumo do setor residencial, a participação da refrigeração no consumo elétrico chegou a mais de 50%, como é o caso do período da madrugada. No horário de pico do consumo das residências esta participação se reduz a algo em torno de 15%. Esta participação se torna ainda menor em 2050, quando chega a representar um consumo de 8% nos horários de pico e atinge um máximo de 48% às 05:00 hrs.

Diante desse cenário, as medidas de eficiência propostas para o setor de refrigeração, teriam maior impacto no horário da madrugada e da tarde. O potencial de redução do consumo elétrico total residencial ao se aplicar as mediadas do cenário de eficiência chega ao máximo de 12% às 5:00 hrs. No horário de pico de consumo, as medidas no setor de refrigeração, levam a uma redução em torno de 2%.

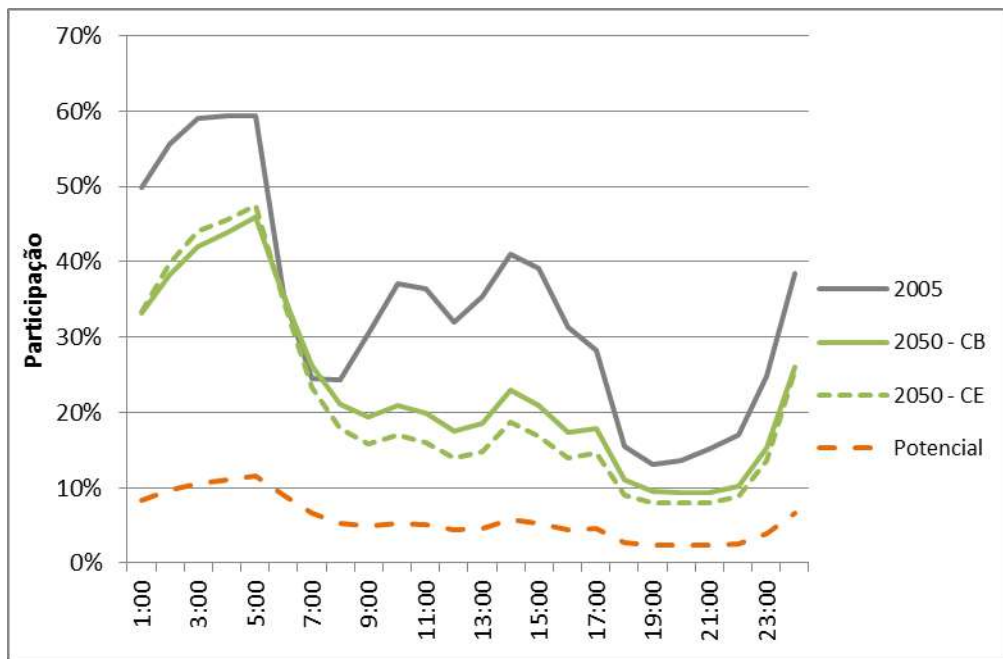


Figura 74 - Participação do setor de refrigeração no consumo médio residencial ao longo de um dia

5.2.2 Iluminação

As projeções de consumo do setor de iluminação mostram que o crescimento esperado da posse e do número de consumidores ligados à rede é compensado pelo uso de tecnologias mais eficientes, fazendo com que em 2050 o consumo elétrico seja próximo aos valores de 2015. Por conta da Portaria do MME/MCTI e MDIC nº 1.007/2010 é esperado que as lâmpadas incandescentes deixem de ser comercializadas em 2017. Lâmpadas substitutas, como fluorescentes compactas e LED apresentam eficiência mínima de aproximadamente 5 vezes melhor que as incandescentes, causando a queda abrupta observada em 2020 (Figura 75)

Entre 2005 e 2050 o consumo elétrico para o uso em iluminação fica em torno de 28%. O incremento de consumo na região Norte apresenta a maior contribuição, chegou a 120%, o menor crescimento é observado na região Sudeste, 9%. Ainda assim, esta região representa o maior consumo em iluminação no Brasil, com 9.3 TWh/ano.

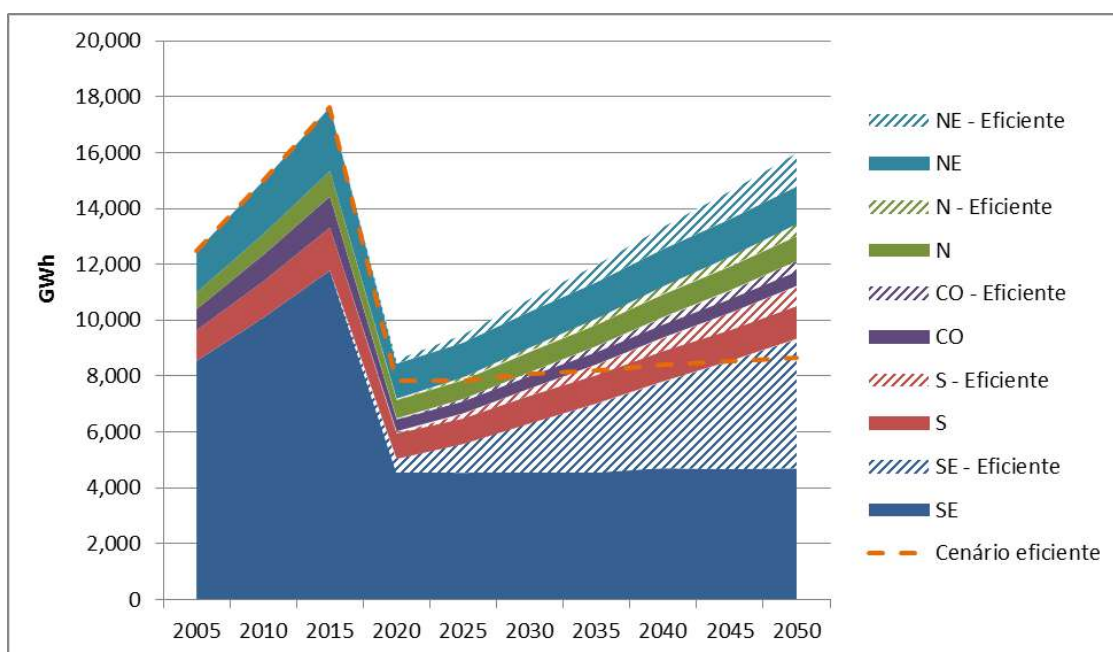


Figura 75 - Consumo residencial do setor de iluminação (2005-2050)

As medidas sugeridas para o cenário de eficiência apresentam uma entrada maior do tipo de lâmpadas LED, além de níveis melhores de eficiência das tecnologias existentes. Essas medidas geram um potencial de redução de consumo de 45,9%. A maior contribuição é dada pela troca de lâmpadas apenas. Isolando as medidas propostas, a maior inserção das lâmpadas LED representa um potencial de redução de 37,3%. A região Sudeste apresentou o maior potencial de redução de consumo de energia, 49,7%, e a região Norte apresentou a menor diferença, apenas 32,6%.

O consumo para iluminação tende a ser maior nos meses de inverno, quando algumas regiões têm menos horas de luz. No cenário base, o consumo de energia em junho chega a 1.5 GWh, enquanto o consumo em janeiro atinge o menor valor, 1.0 GWh (Figura 76).

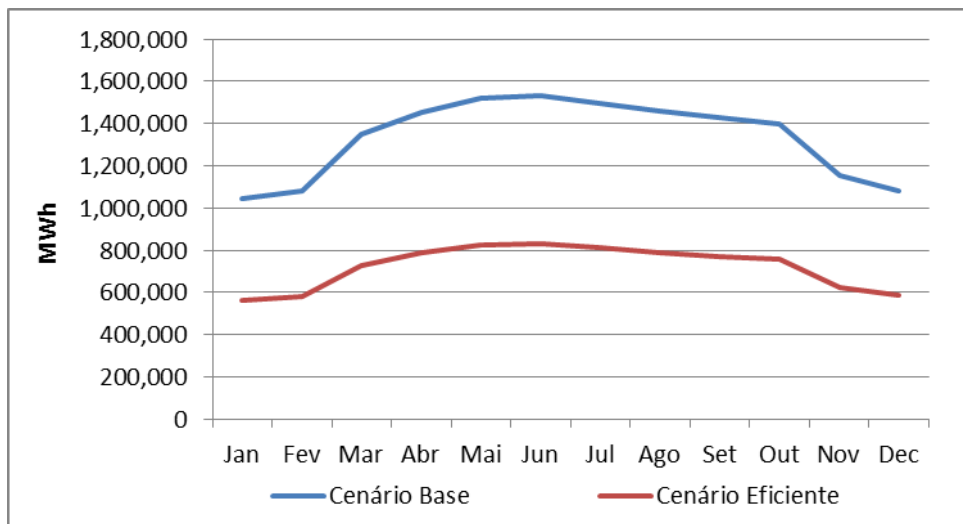


Figura 76 - Consumo sazonal do setor de iluminação no Brasil em 2050

A participação da iluminação na demanda elétrica total residencial mostra uma redução em relação ao ano base. Em 2005 essa participação era de aproximadamente 15%, em 2050 chega a 8% no cenário base e 4% no cenário eficiente.

Combinando as informações da curva de sazonalidade de iluminação com a curva de sazonalidade do consumo residencial total, é possível observar variações na participação da iluminação no consumo ao longo do ano. Nos meses entre maio e setembro o consumo para iluminação cresce e, simultaneamente, a carga total do sistema diminui em relação a início do ano. Essa variação faz com que o maior potencial de redução de consumo seja observado no meio do ano (Figura 77).

Em 2005, no mês de junho, a iluminação representava 19% do consumo mensal residencial, em 2050 o valor passa a 11% no cenário base e 6% no cenário eficiente. Desta forma, é possível notar que o cenário eficiente permite uma redução maior na demanda nestes meses. Em janeiro, a participação do consumo de iluminação no total residencial é de 5% no cenário base em 2050.

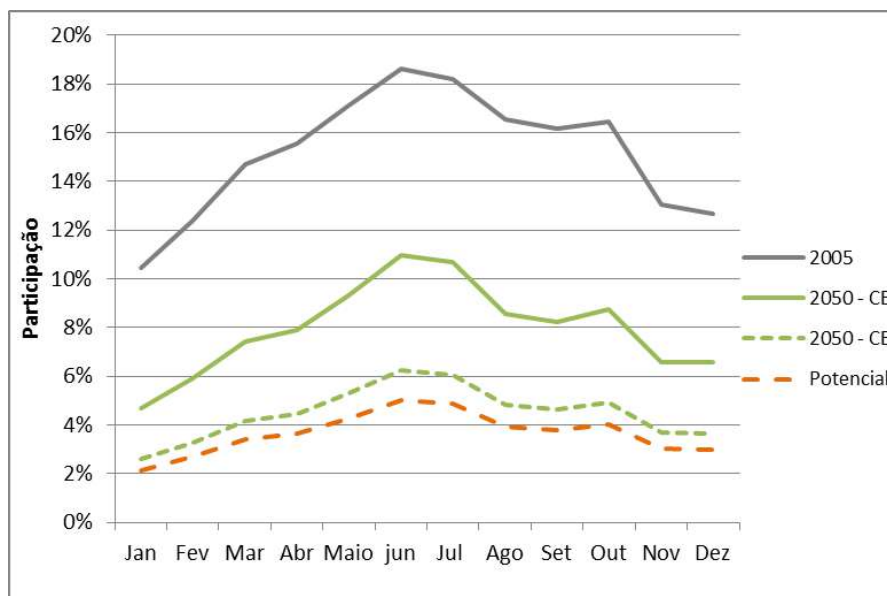


Figura 77 - Participação do setor de iluminação no consumo total residencial ao longo do ano

Ao longo do dia, o uso de iluminação nas residências apresenta enorme variação. O maior consumo é observado no horário da noite, quando as pessoas se encontram em casa de forma ativa e a luz natural já não acontece. O horário de maior consumo observado no setor é o horário das 21:00 hrs. Em 2050 a demanda nesta hora do dia chega a 6.5 GWh/h no cenário base, no cenário eficiente chega a 3.6 GWh/h.

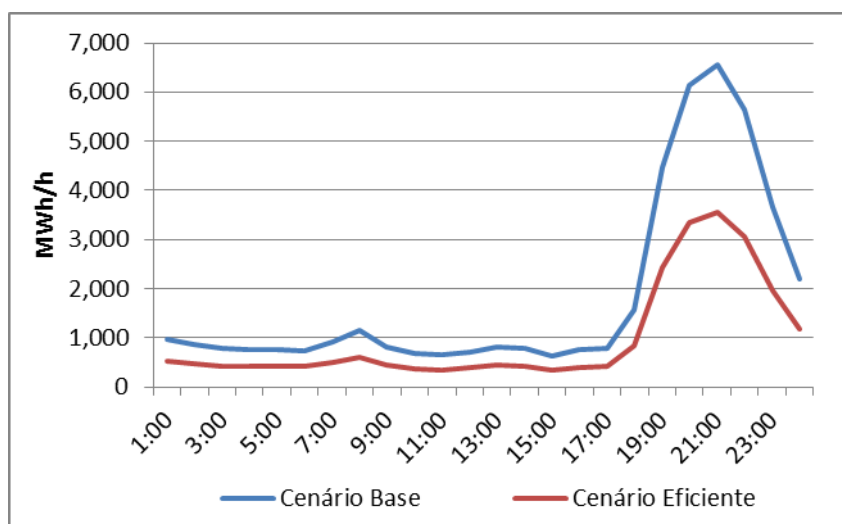


Figura 78 - Consumo diário do setor de iluminação no Brasil em 2050

Similarmente ao observado ao longo dos meses do ano, o horário do dia também contribui imensamente para a análise dos efeitos das medidas adotadas no cenário de eficiência. Tendo em vista a sua distribuição diária, o consumo para iluminação apresenta os maiores potenciais de redução de energia no horário de pico. No horário de

maior consumo, às 21:00 hrs o setor responde por 29% da carga total residencial em 2005, essa participação muda para 14% em 2050.

Ao comparar a participação para iluminação no consumo total residencial ao longo do dia, é possível perceber que existe um potencial de redução aproximadamente 7% do consumo no pico e em torno de 2% nos horários da manhã e tarde, de menor consumo.

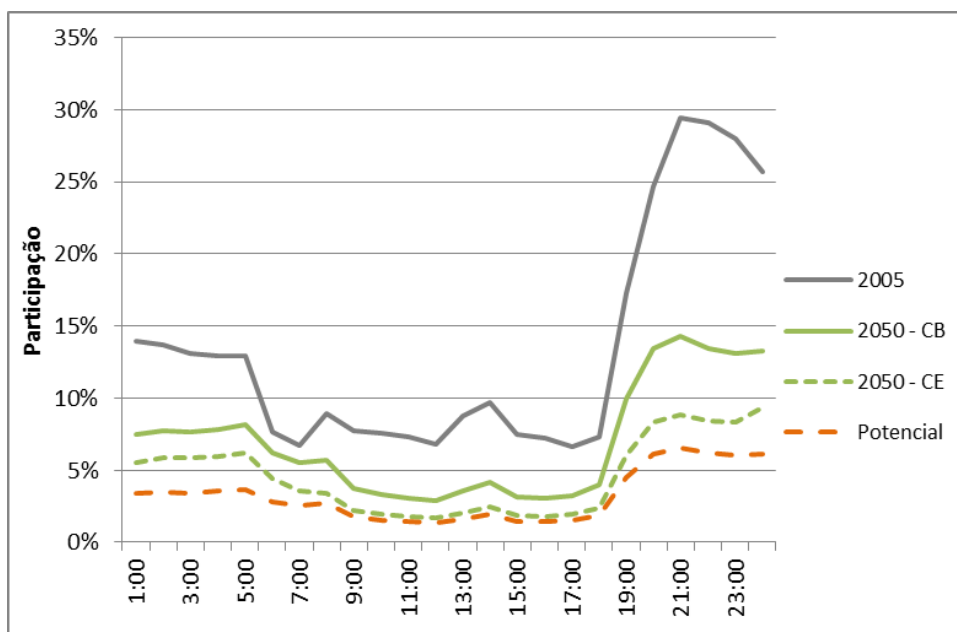


Figura 79 - Participação do setor de refrigeração no consumo médio iluminação ao longo de um dia

5.2.3 Aquecimento de água

As projeções realizadas mostram que em 2050 o Brasil consumiria 18.2 TWh ao ano para abastecer a necessidade elétrica por aquecimento de água. Essa demanda elétrica deve diminuir ao longo das próximas décadas devido a maior penetração de fontes como o gás natural e os sistemas de aquecimento solar. Se esse potencial de substituição de fontes for ainda mais ousado, o potencial de redução de consumo elétrico pode chegar a 2.8 TWh, o que representa um potencial de redução de 16% em relação ao cenário base (Figura 80).

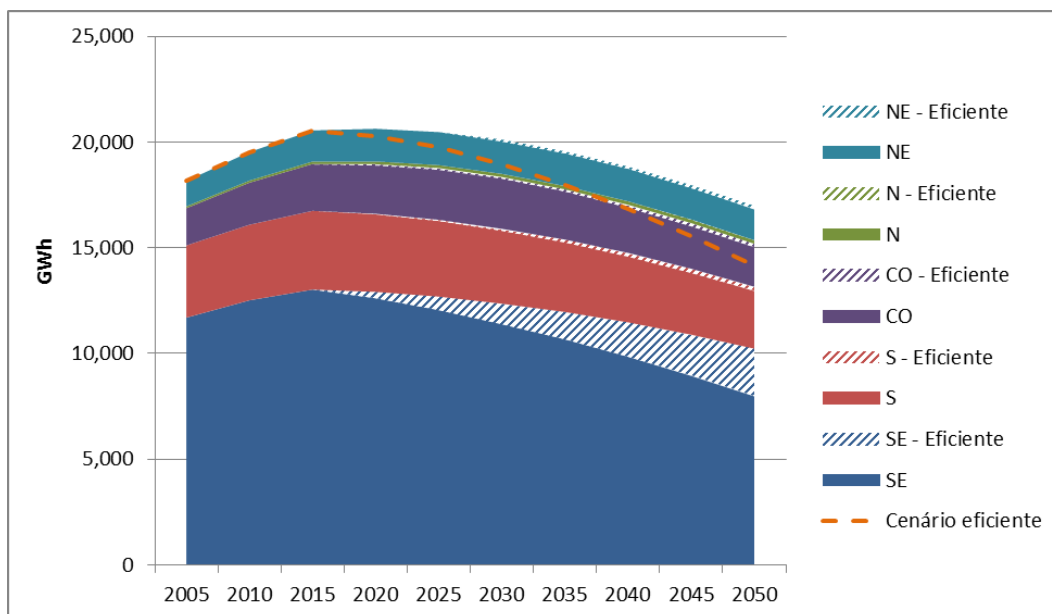


Figura 80 - Consumo residencial do setor de aquecimento de água (2005-2050)

Essa redução de consumo é impulsionada pelas regiões Sudeste e Sul, que apresentam, respectivamente, uma taxa de variação entre 2005 e 2050 de -13% e -14%. As demais regiões apresentam um potencial de crescimento de consumo elétrico residencial. Isto ocorre pelo fato de a população que aquece água crescer até 2050 no Norte e Nordeste. O consumo no Norte deve dobrar nesses anos, só que a sua participação no consumo total para aquecimento de água, 1%, faz com que esse incremento influencie pouco no resultado total.

O consumo elétrico para o aquecimento de água apresenta algumas variações ao longo do ano. Os meses de inverno representam o maior consumo, enquanto os meses mais quentes apresentam maiores demandas. O mês de julho apresentou um consumo de 1.8 TWh, enquanto o mês de fevereiro apresentou um consumo de 0.9 TWh. No cenário eficiente esses valores seriam, respectivamente, 1.5 TWh e 0.8 TWh (Figura 81).

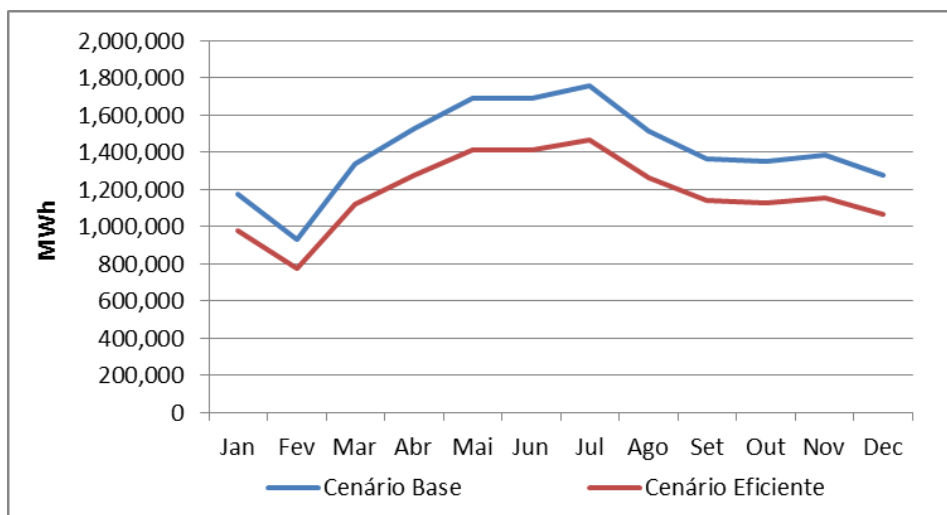


Figura 81 - Consumo sazonal do setor de aquecimento de água no Brasil em 2050

Por conta da redução esperada de consumo de energia elétrica para aquecimento de água, esse uso final passa a representar em 2050 uma fração menor no consumo de eletricidade total residencial, 8%. Em 2005 esse valor chegava a 22%.

Essa perda de participação se reflete ao longo do ano de maneira variável. A contribuição do uso de eletricidade para aquecimento de água na carga total é maior nos meses de inverno do que nos meses de verão. No mês de julho a carga para aquecimento de água responde por 13% da carga total residencial, em janeiro responde por 5% (Figura 82).

Diante dessa característica, a medida proposta no cenário eficiente tem um maior impacto no sistema entre os meses de junho e agosto. O potencial de redução de energia nesse período está em torno de 2% enquanto em janeiro esse valor é de 0.9%. No total do ano, as medidas analisadas representam uma redução de 1.4% no consumo total.

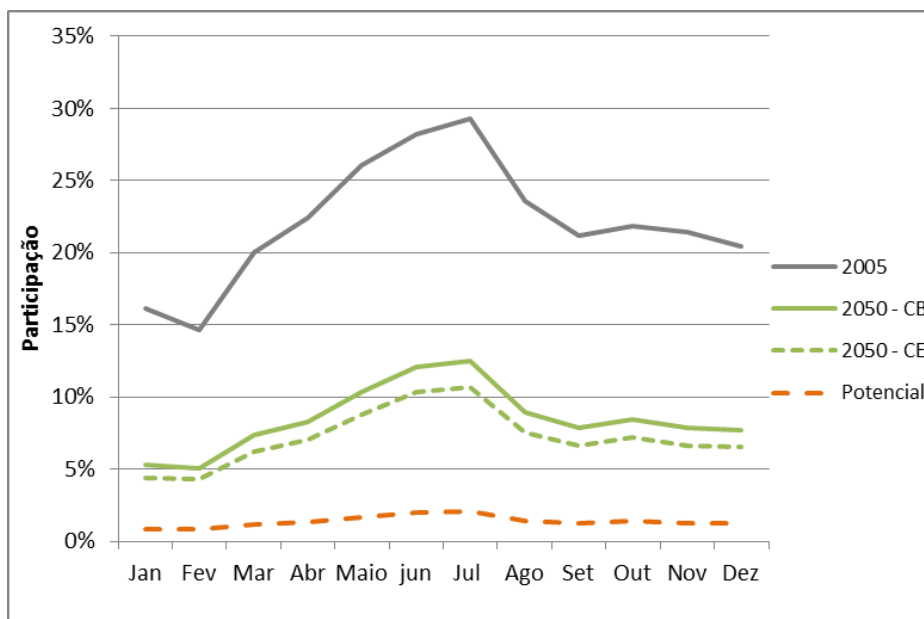


Figura 82 - Participação do setor de aquecimento de água no consumo total residencial ao longo do ano

O comportamento diário do consumo elétrico para aquecimento de água também varia. Existem dois momentos nos quais esse consumo se destaca: no início da manhã e no início da noite. Enquanto durante às 14:00 hrs o consumo atinge 0.3 GWh/h, às 7:00 hrs esse consumo chega a 5.8 GWh/h e às 19:00 hrs em 7.3 GWh/h. A troca do chuveiro elétrico por outras fontes de energia tem o potencial de reduzir em 1.1 GWh/h o consumo às 19:00 hrs (Figura 83).

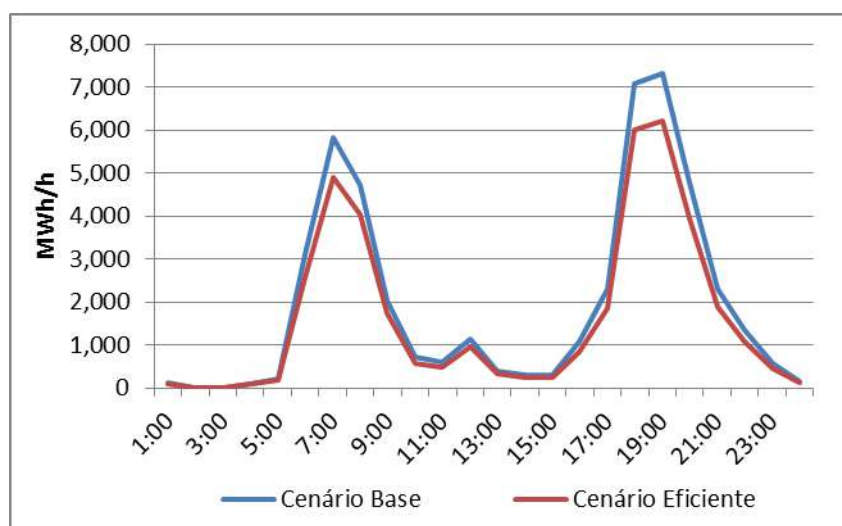


Figura 83 - Consumo diário do setor de aquecimento de água no Brasil em 2050

Considerando o setor residencial como um todo e as características de consumo diárias de eletricidade para aquecimento de água, as medidas de eficiência tem um potencial de reduzir em torno de 2.2% o consumo nos horários de pico. O horário com

maior participação da carga de aquecimento na carga total, às 7:00 hrs apresenta um potencial de 5.7% de redução no consumo horário. A menor participação do chuveiro elétrico nas residências faz com que a carga do chuveiro no horário de pico contribua por apenas 16% do consumo total, enquanto em 2005 essa contribuição chegava a 39% (Figura 84).

Tomando como referência esse comportamento ao longo dos meses, o potencial de reduzir a demanda no horário do pico chega a 4.0% em julho, em fevereiro esse valor é de 1.6%.

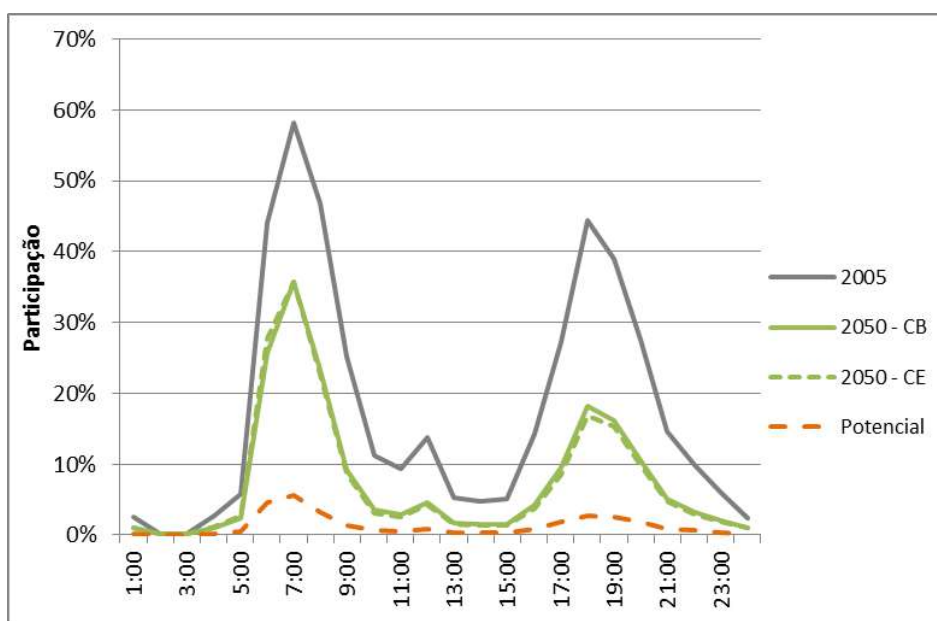


Figura 84 - Participação do setor de refrigeração no consumo médio de aquecimento de água ao longo de um dia

5.2.4 Climatização

O consumo de eletricidade para climatização apresentou o maior crescimento dentre todos os setores individuais. De acordo com os resultados verificados, em 2050 o consumo para climatização alcançará 19.2 TWh, 308% a mais que o valor em 2005. Além do aumento do número de residências, a posse média de equipamentos de ar condicionado no Brasil cresce 180%, o que contribui para o aumento acima dos outros setores (Figura 85).

Considerando as medidas propostas no cenário de eficiência, observa-se um potencial de redução de energia de 33% em 2050. Essa redução é explicada pelo uso de equipamentos mais eficientes, combinado a entrada de novas tecnologias. Considerando apenas a melhoria da tecnologia existente hoje no Brasil por opções com melhor

desempenho, o potencial total seria de 27%. Ou seja, novas tecnologias mais eficientes contribuem mais para a redução energética.

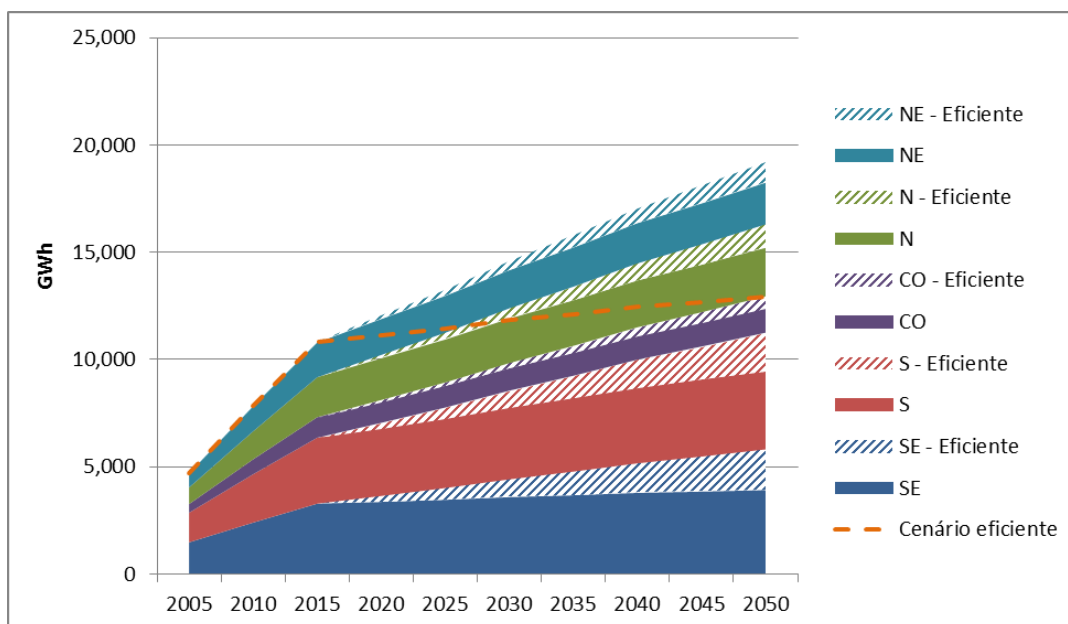


Figura 85 - Consumo residencial do setor de climatização (2005-2050)

As regiões Norte e Nordeste apresentaram os maiores crescimentos de consumo observado, 334% e 339% respectivamente. A participação dessas regiões no consumo total para climatização residencial não são as maiores, perdem espaço para o Sudeste e Sul, que tiveram crescimento de 292% e 294% no período considerado.

O perfil de consumo para climatização apresenta uma forte variação sazonal. O consumo varia de um máximo de 2.2 TWh em fevereiro para um consumo de apenas 0.5 TWh em junho. Essa diferença é ainda mais acentuada na região Sudeste, onde o consumo em fevereiro é de 1.1 TWh e em julho apenas 0.08 TWh (Figura 86).

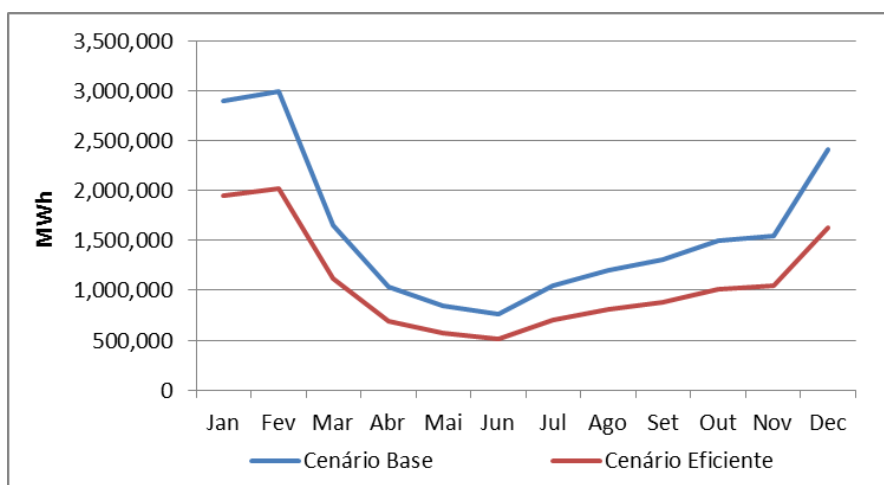


Figura 86 - Consumo sazonal do setor de climatização no Brasil em 2050

A contribuição da climatização no consumo elétrico total residencial, ao contrário dos usos finais mostrados anteriormente, mostrou um aumento entre 2005 e 2050. Em 2005 esse uso representou 6% do total de eletricidade consumido, em 2050 no cenário de base representa 9%. Considerando o cenário eficiente essa participação seria a mesma de 2005, 6% (Figura 87).

Ao longo do ano a maior contribuição da climatização acontece nos meses de verão, quando as temperaturas mais altas contribuem para o uso dos aparelhos de ar condicionado. Outros aparelhos nesses meses apresentam seu momento de menor consumo, o que faz com que a participação da climatização nestes meses chegue a 16%, como é o caso de fevereiro. O potencial de redução de energia total residencial aplicando as medidas de eficiência propostas no trabalho pode chegar a 5.4% neste mês.

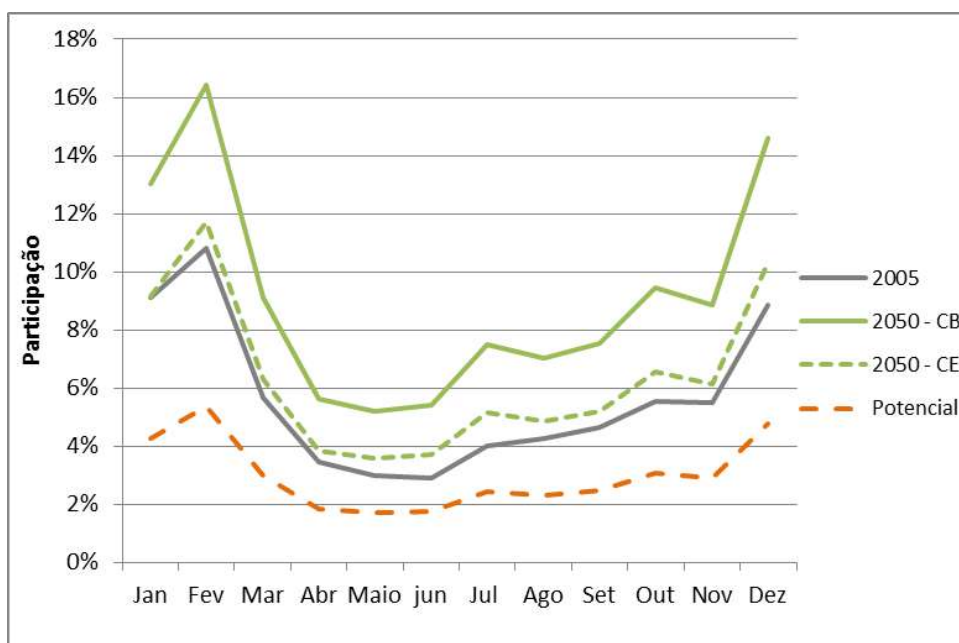


Figura 87 - Participação do setor de climatização total residencial ao longo do ano

A participação do consumo de ar-condicionado ao longo de um dia varia intensamente. Ao contrário da maioria dos aparelhos que tem seu maior consumo ao longo do dia, é no horário noturno que a climatização apresenta seu maior consumo. Entre 22:00 e 3:00hrs o uso de ar-condicionado apresenta seu maior valor, 5.7 GWh/h às 22:00 hrs. (Figura 88).

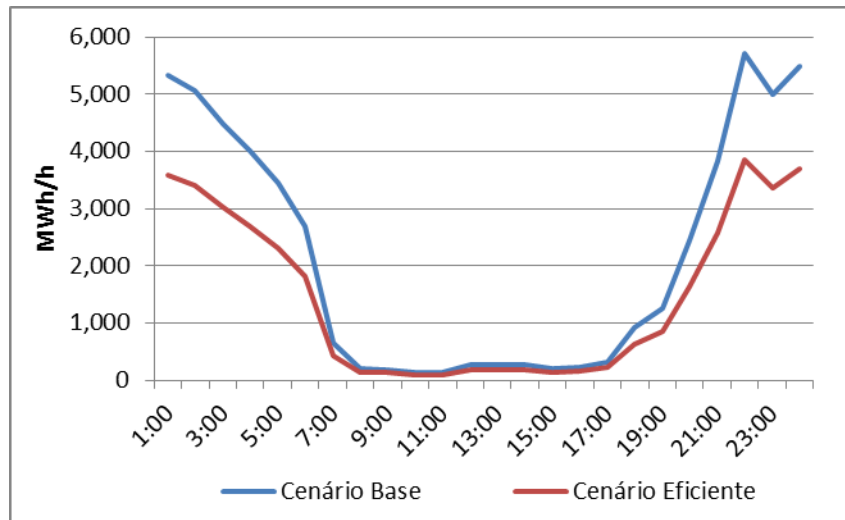


Figura 88 - Consumo diário do setor de climatização no Brasil em 2050

Considerando a participação da climatização no consumo total residencial, é possível perceber que no horário da madrugada essa participação atinge seu auge. Ao longo do dia, entretanto, esta pode chegar a praticamente zero. Em 2050, a participação do consumo de ar-condicionado chega a 45% às 2:00 hrs. O potencial de redução de energia neste horário é de 15%, enquanto que no horário das 19:00, considerado horário de pico, esse potencial é de apenas 1%.

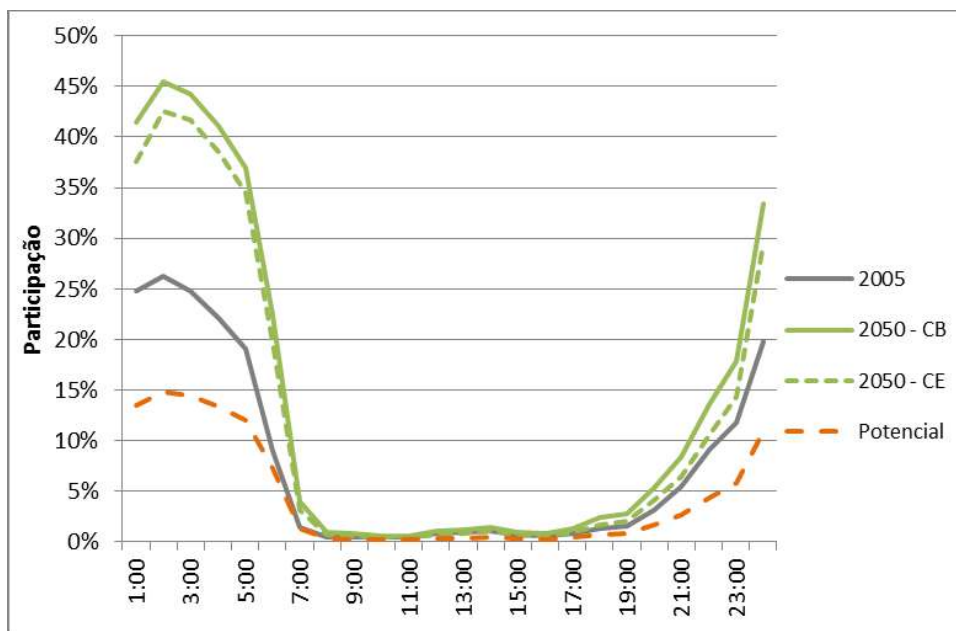


Figura 89 - Participação do setor de refrigeração no consumo médio de climatização ao longo de um dia

Esse potencial ainda pode ser maior ao considerarmos os horários de maior uso de ar-condicionados no Brasil. No mês de fevereiro, a redução esperada de consumo

na madrugada chega a ser em torno de 18%. Em compensação, no mês de menor consumo a maior redução é de 10% por volta de 1:00 hr.

5.2.5 Outros usos

O consumo elétrico para outros usos residenciais apresentou um alto crescimento no cenário até 2050, 374%. A posse de muitos aparelhos, como televisão, máquina de lavar, entre outros, apresenta um potencial de crescimento alto, o que contribuiria para o aumento do consumo nesse setor. Em termos de consumo per capita, esse crescimento correspondeu a 252% (Figura 90).

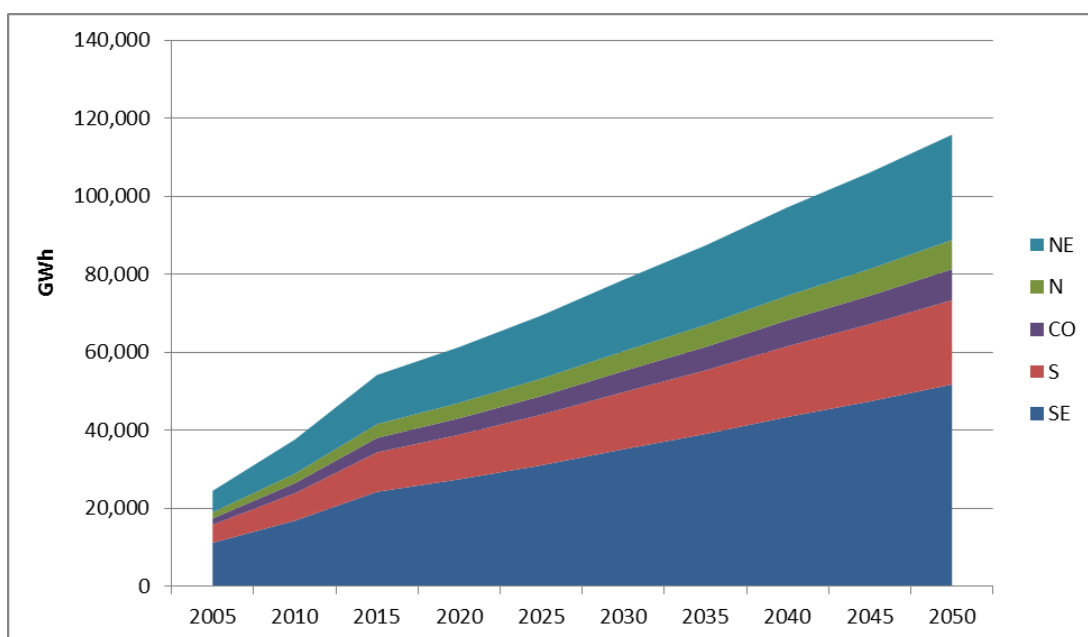


Figura 90 - Consumo residencial do setor de outros usos (2005-2050)

Diante dessa perspectiva, o consumo de outros usos residenciais chega a responder por 56% do consumo total do setor residencial. Hoje esses usos correspondem por 30% do consumo total.

De acordo com o ajuste realizado, a curva apresentou um comportamento oscilatório ao longo dos meses. O mês de maior consumo é janeiro, quando esse setor chega a atingir 13.6 TWh (Figura 91).

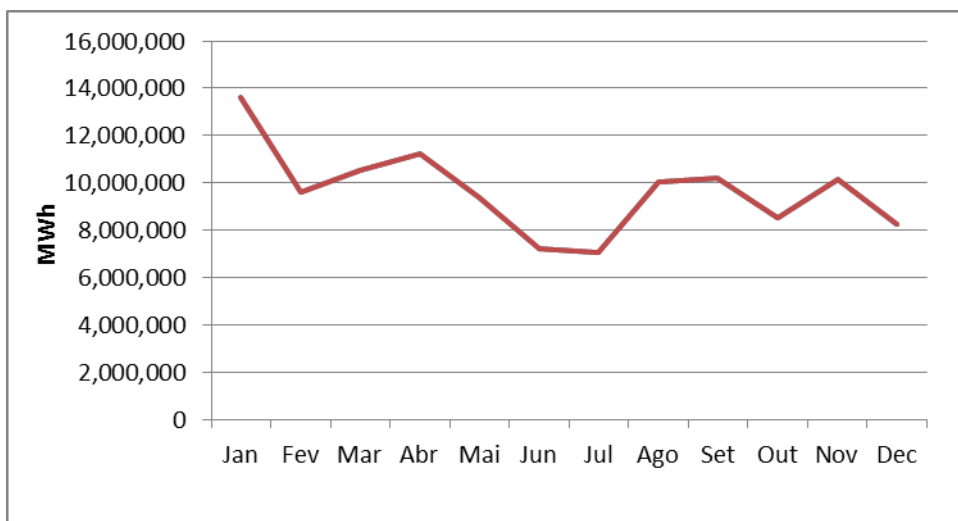


Figura 91 - Consumo sazonal do setor de outros usos no Brasil em 2050

Diante desse comportamento oscilatório e diante da característica do setor residencial de consumo sazonal, o consumo elétrico para outros usos pode apresentar uma participação na demanda total residencial de 61% em 2050.



Figura 92 - Participação do setor de outros usos total residencial ao longo do ano

Ao longo do dia, o comportamento dos outros uso também varia, apresentando seu pico de consumo às 21:00 hrs, com 28.8 TWh/h.

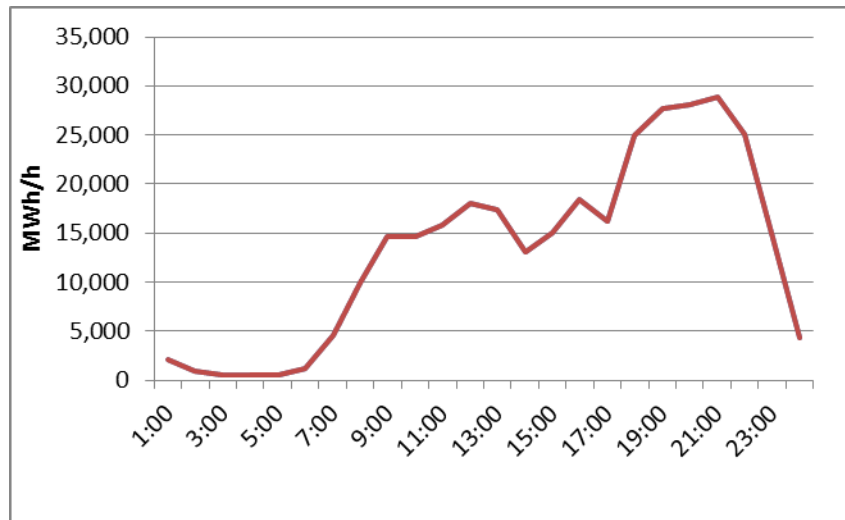


Figura 93 - Consumo diário do setor de outros usos no Brasil em 2050

Ao longo do dia, portanto, a participação do consumo em aparelhos categorizados como outros usos varia. No horário de pico, a estimativa é que este tipo de consumo responda por mais que 60% do total da carga residencial. Medidas de eficiência nestes outros tipos de consumo residencial poderiam levar a uma significativa redução na demanda do horário de pico.

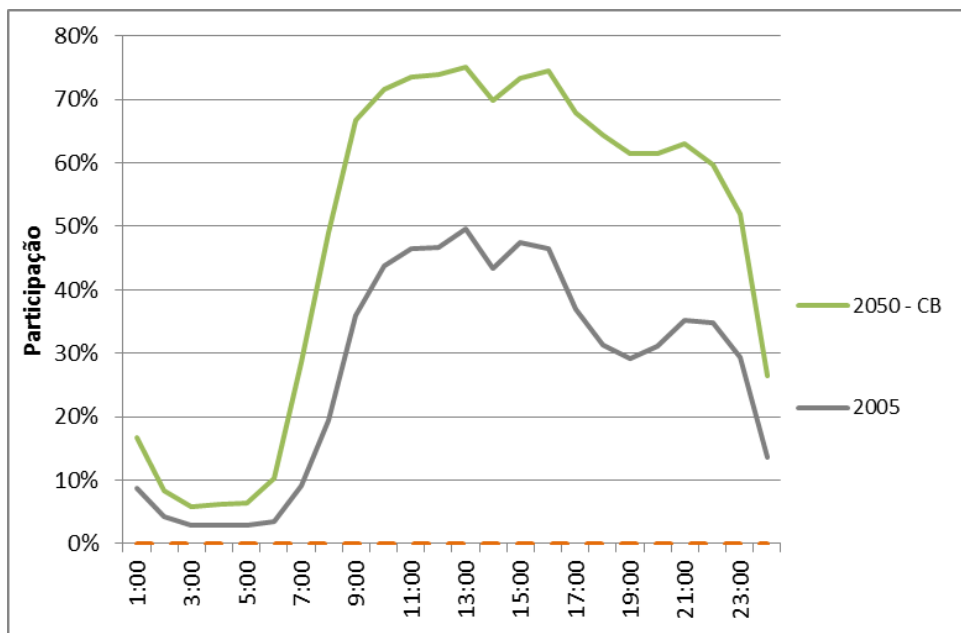


Figura 94 - Participação do setor de outros usos no consumo médio de outros usos ao longo de um dia

5.2.6 Setor residencial agregado

O consumo residencial total apresentou um aumento de 148% em relação ao ano base de 2005, segundo as estimativas adotadas para o cenário de base. Em 2050 o

consumo total residencial chegaria a 205 TWh. As medidas de eficiência sugeridas apresentam um potencial de redução de consumo total de 12.6%, fazendo com que o consumo total chegue a 180 TWh (Figura 95).

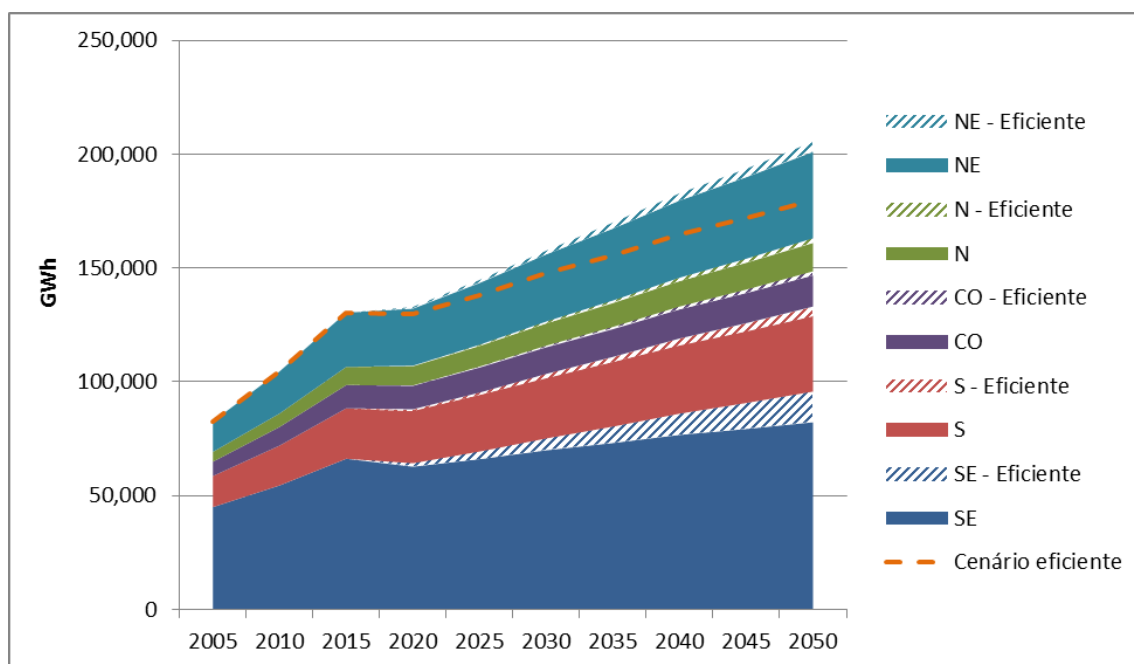


Figura 95 - Consumo residencial total (2005-2050)

O comportamento sazonal apresentado mostra que o mês de maior consumo total é o mês de janeiro. Este mês apresenta um consumo de 22.2 TWh. O cenário eficiente faz com que o consumo seja de 19.7 TWh, uma redução total de 11.2%. O mês de junho apresenta o menor consumo total e as medidas de eficiência aplicadas a todos os setores levam a uma redução de 13.8% na demanda deste mês (Figura 96).

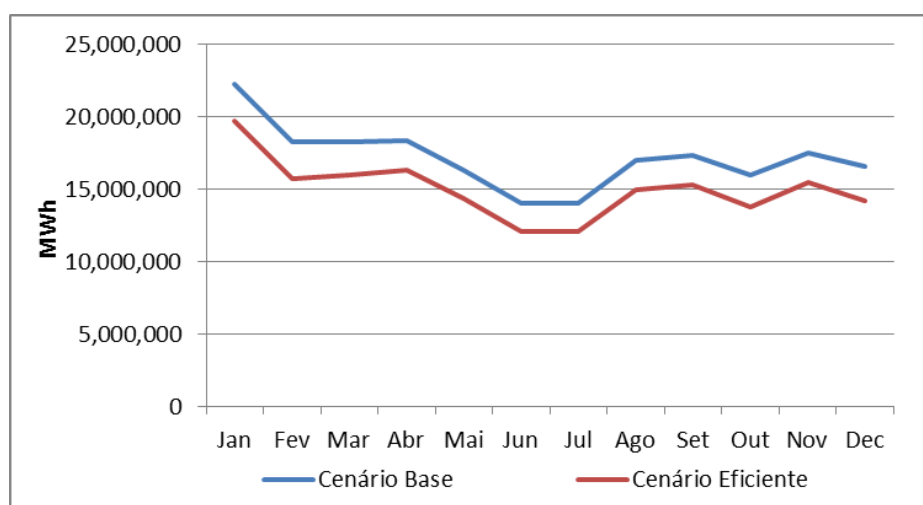


Figura 96 - Consumo sazonal do setor residencial total em 2050

O comportamento da carga média diária mostra um fator interessante. A curva de carga muda o seu formato padrão do ano de 2005. O fato de cada um dos setores crescer a um ritmo diferente faz com que o formato da curva sofra uma leve alteração em relação a referência do ano base. O horário de maior consumo passa a ser o das 21:00 hrs ao invés das 19:00 hrs. O mesmo vale ao comparar as curvas de 2050 para os dois cenários distintos.

Em 2050, o consumo médio horário fica em torno de 23,4 GWh/h. No horário das 21:00 hrs, o consumo chega a 45,8 GWh/h no cenário base, no cenário eficiente esse valor é de 40,0 GWh/h.

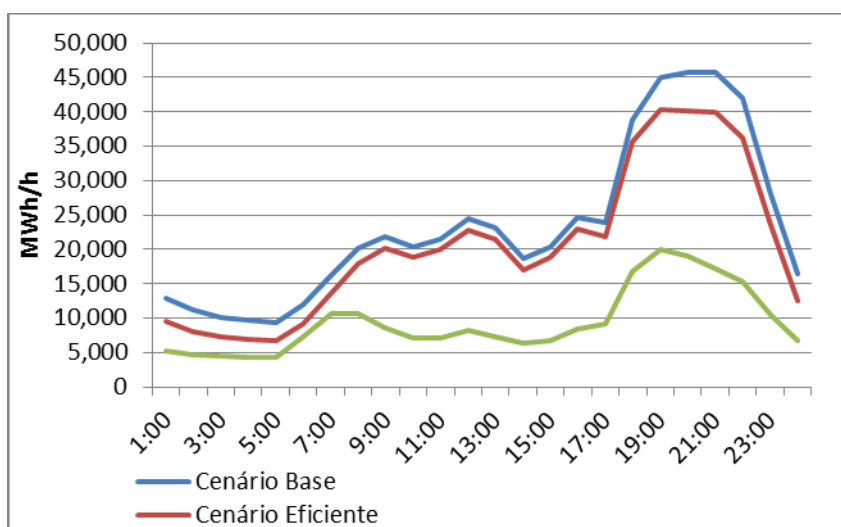


Figura 97 - Consumo diário do setor residencial no Brasil em 2050

O consumo médio por residência atinge seu maior valor de 465 Wh/h no horário de pico, com um potencial de reduzir em 60 Wh/h com as medidas de eficiência aplicadas. No mês cada residência teria uma média de consumo de 177 kWh podendo chegar a 155 kWh no cenário eficiente. Em 2005 os valores calculados eram de 132 kWh.

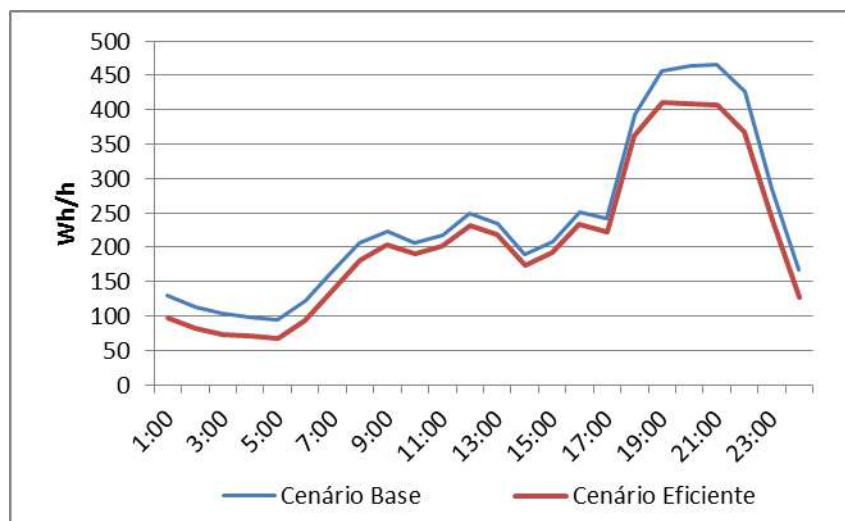


Figura 98 - Consumo médio diário por residência no Brasil

5.2.6.1 Análise do consumo agregado

Comparando a evolução da demanda elétrica de todos os setores, pode-se perceber que o único setor que apresentou decréscimo em relação ao ano base foi o de aquecimento de água. Isto ocorre por causa da substituição das fontes de energia ocorrida no setor. O serviço de aquecimento de água passa a ser suprido por outras opções energéticas que não a elétrica, mostrando assim uma tendência na redução de consumo de eletricidade.

Ao considerar as medidas de eficiência propostas em cada setor, é possível observar que o setor de iluminação apresenta o maior potencial de redução de consumo em relação aos outros setores de uso final. As medidas de eficiência agregadas levam a uma redução de 13% na demanda elétrica em 2050 (Tabela 23).

Tabela 23 - Comparação entre o consumo total energético de todos os setores no Brasil

Setor	Consumo total (TWh/ano)			Potencial de redução	
	2005	2050	Crescimento (%)	MWh/ano	%
Refrigeração	22,8	37,4	64%	9,5	25%
Iluminação	12,5	16,0	28%	7,3	46%
Aquecimento	18,2	17,0	-7%	2,8	16%
Climatização	4,7	19,2	308%	6,3	33%
Outros	24,5	115,8	374%	-	-
Total	82,6	205,3	148%	25,8	13%

Apesar do maior potencial de redução de energia apresentado pelo setor de iluminação, 46%, este contribui pouco com o consumo total no ano. Em 2050 o setor de iluminação apresentou a menor participação no consumo elétrico total anual, apenas 8%. Assim, a participação das medidas de eficiência neste setor não tem tanta relevância para a redução da demanda residencial anual em 2050, contribuindo para um potencial de redução do consumo elétrico total de 3,6%, enquanto medidas de eficiência propostas para o setor de refrigeração podem contribuir com a redução do consumo total em 4,6%, a maior contribuição individual de um setor. O setor de refrigeração e outros usos apresentam a maior contribuição no consumo anual de eletricidade no setor residencial (

Tabela 24).

Tabela 24 - Participação dos usos finais elétricos em 2005 e 2050

Setor	2005	2050		Potencial de redução
		Cenário base	Cenário alternativo	
Refrigeração	28%	18%	14%	4,6%
Iluminação	15%	8%	4%	3,6%
Aquecimento	22%	8%	7%	1,4%
Climatização	6%	9%	6%	3,0%
Outros	30%	56%	-	-
Total	100%	100%	100%	12,6%

Considerando a sazonalidade dos setores e também a sazonalidade total do consumo residencial é possível perceber que o potencial de redução de consumo varia ao longo do ano. No mês de janeiro as medidas de eficiência propostas podem reduzir em 11,2% o consumo total de energia residencial (Tabela 25), em julho esse potencial é de 13,8% (Tabela 26).

O consumo para climatização responde por 13% do total residencial em janeiro, enquanto em julho responde por 5%, assim medidas de GLD tomadas nesse setor podem contribuir mais com a redução de energia nos meses de sua maior demanda, como janeiro. O setor de climatização contribui por um potencial de redução de 4,3% na energia total residencial em janeiro, enquanto em junho só contribuem por 1,8%.

O comportamento contrário é observado na iluminação, que contribui mais intensamente com a redução do consumo no mês de junho, quando sua participação no consumo total é de 11%, 4% a mais que em janeiro. Assim, em janeiro as medidas de

sugeridas no cenário alternativo podem reduzir em 2,2% o total demandado no mês, enquanto em junho esse valor é de 5,0%

O mês de janeiro é o que apresenta o maior consumo anual de eletricidade, assim, se o objetivo é reduzir o consumo neste mês e nos meses próximos a este, as medidas de eficiência mais indicadas seriam as do setor de refrigeração ou climatização, que são os setores mais representativos, individualmente do consumo total.

Se o objetivo é reduzir o consumo em junho, quando em geral os reservatórios elétricos no Brasil estão mais baixos e a geração térmica tende a ser maior, as medidas no setor de refrigeração ainda são as mais indicadas, juntamente com medidas em iluminação.

Tabela 25 - Participação dos usos finais elétricos em janeiro de 2005 e 2050

Setor	2005	2050		Potencial de redução
		Cenário base	Cenário alternativo	
Refrigeração	27%	16%	12%	4,0%
Iluminação	10%	5%	3%	2,2%
Aquecimento	16%	5%	4%	0,9%
Climatização	9%	13%	9%	4,3%
Outros	37%	61%	-	-
Total	-	-	-	11,2%

Tabela 26 - Participação dos usos finais elétricos em julho de 2005 e 2050

Setor	2005	2050		Potencial de redução
		Cenário base	Cenário alternativo	
Refrigeração	27%	20%	16%	5,0%
Iluminação	19%	11%	6%	5,0%
Aquecimento	28%	12%	10%	2,0%
Climatização	3%	5%	4%	1,8%
Outros	24%	52%	-	-
Total	-	-	-	13,8%

Ao longo de um dia, o consumo médio diário também sofre variações. Assim, a participação de cada um dos setores de uso final no consumo total horário é variável. Diante do aumento de outras fontes de energia para atender ao serviço de aquecimento de água, o setor perde participação significativa no total demandado residencial no horário de pico em 2050 Tabela 27. Os outros usos, ganham importância, passando de 29% à 62%.

Tabela 27 - Participação no consumo dos usos finais elétricos às 19:00 hrs sem variação anual

Setor	2005	2050	
		Cenário base	Cenário alternativo
Refrigeração	13%	9%	8%
Iluminação	17%	10%	6%
Aquecimento	39%	16%	15%
Climatização	2%	3%	2%
Outros	29%	62%	-
Total	-	-	-

Ao considerar-se o consumo elétrico variável ao longo do ano, é possível perceber o quanto cada uso final modifica sua participação na demanda total residencial no horário de pico de acordo com o mês observado (Tabela 28 e Tabela 29). Individualmente, o aquecimento de água é o que mais participa na demanda elétrica no horário de pico, porém, sua participação passa de 11% em janeiro para 23% em junho. A iluminação passa representar a segunda maior fração individual de consumo em junho, enquanto em janeiro é a refrigeração que ocupa esse espaço. Medidas sugeridas para iluminação tem o potencial de reduzir em 6,0% o consumo total residencial no horário das 19:00 hrs em junho, em janeiro esse potencial é reduzido pela metade, representando 2,9%.

Tabela 28 - Participação no consumo dos usos finais elétricos às 19:00 hrs em janeiro

Setor	2005	2050		Potencial de redução
		Cenário base	Cenário alternativo	
Refrigeração	13%	9%	7%	2,2%
Iluminação	13%	6%	4%	2,9%
Aquecimento	31%	11%	10%	1,6%
Climatização	3%	4%	3%	1,3%
Outros	40%	70%	-	-

Tabela 29 - Participação no consumo dos usos finais elétricos às 19:00 hrs em junho

Setor	2005	2050		Potencial de redução
		Cenário base	Cenário alternativo	
Refrigeração	11%	9%	8%	2,4%
Iluminação	19%	13%	8%	6,0%
Aquecimento	46%	23%	22%	3,4%
Climatização	1%	1%	1%	0,5%
Outros	22%	53%	-	-

Também, é possível perceber que o consumo agrupado em outros usos é um grande contribuidor do consumo residencial total e do consumo residencial no horário de pico do setor. Assim, ações de eficiência neste setor podem contribuir de forma significativa na redução de consumo do setor. Nos cenários analisados, o uso de dados agregados para outros usos fez com que esta análise não fosse feita.

Diversas podem ser as observações tomadas a partir da modelagem variável da carga ao longo do ano e do dia. O estudo de caso mostra que é possível através do modelo proposto observar o impacto de algumas medidas de eficiência energética em diferentes momentos.

6 Considerações finais

Diante da atual conjuntura do setor elétrico, de maior advento de tecnologias de comunicação e informação, maior entrada de energias renováveis intermitentes e maior participação da geração distribuída, uma nova abordagem de operacionalização do sistema elétrico vem sendo estudada (IEA, 2017). Essa nova abordagem exige que a demanda de eletricidade seja observada como parte integrante do sistema. Assim, o conhecimento detalhado do consumo elétrico se faz necessário (MOHSENIAN-RAD et al., 2010).

Visto que o setor residencial representa uma parcela significativa na demanda total de eletricidade, prever o consumo de energia em residências é uma parte importante da gestão de eletricidade da rede. A modelagem da demanda doméstica de eletricidade é uma tarefa complexa e exige um grande nível de detalhamento. A tendência hoje em dia é obter a previsão de consumo de energia não apenas no nível da residência, mas no nível de eletrodomésticos e de suas especificidades de uso (ARGHIRA et al., 2012), o que significa detalhar em termos de variações de comportamentos entre os tipos de agregados famílias e regiões, diferenças culturais, variações de uso ao longo das estações e dias, diferenças entre dias de semana e finais de semana, entre outros (WIDÉN; WÄCKELGÅRD, 2010).

Diversos modelos foram desenvolvidos para entender o comportamento detalhado da demanda residencial no nível dos equipamentos finais como PAATERO; LUND (2006) e YAO; STEEMERS (2005). Alguns desses modelos pretendem observar o papel da modelagem da carga na nova abordagem e realidade do sistema.

MOURA; ALMEIDA, DE, (2010) e WIDÉN et al. (2010) cruzam os dados da carga modelada com dados de geração a partir de fontes renováveis de energia. A compreensão de como o nível de geração e demanda se alinham é importante para garantir a segurança do abastecimento. SALOM et al. (2011) mostra a importância da modelagem residencial no dimensionamento de residências de consumo zero de energia.

Além disso, a partir da modelagem horária e sazonal da carga é possível observar os efeitos de medidas de gerenciamento pelo lado da demanda (GLD) no sistema elétrico. PINA et al. (2012) inserem a modelagem de carga diária da demanda em um modelo integrado, observando que certas medidas adotadas no nível da demanda

permitem que os investimentos em novas plantas de geração sejam adiados. YAU et al. (1990) observa os efeitos dessas medidas para a transmissão e distribuição do sistema.

O presente trabalho apresentou uma proposta metodológica em que o consumo da carga residencial pode ser observado de acordo com sua variação ao longo de um ano e de um dia. O modelo desenvolvido permite que se observem os momentos em que cada uso final é mais utilizado, e quando cada um desses serviços impacta mais no consumo da rede elétrica, na região ou no país.

Para validar o modelo, um estudo de caso foi proposto, baseado em dois cenários de consumo elétrico entre 2005 e 2050. Os cenários se diferem de acordo com algumas medidas propostas de GLD, mais focadas em medidas de eficiência ou troca de combustíveis para abastecer determinado serviço energético.

Os cenários propostos mostram que o consumo residencial de eletricidade no Brasil pode aumentar 148% entre 2005 e 2050, sendo influenciado principalmente pelo crescimento do consumo de outros usos. O tipo de uso que apresenta um maior potencial de crescimento, individualmente é o de climatização. Assim, medidas de eficiência tomadas nesse tipo de uso podem levar a uma redução de 33% do consumo para climatização em 2050.

Além disso, é possível observar que ações tomadas em cada um dos usos finais impactam diferentemente o consumo elétrico nos meses e horários do dia. O modelo permite entender o quanto cada uso final contribui para a demanda total de energia, para a demanda em um determinado mês ou em um horário do dia. A climatização, ainda que represente um grande potencial de aumento do consumo energético, não tem uma participação significativa no consumo total do ano, já que é utilizada, majoritariamente, nos meses quentes. Portanto, esse setor não é o que mais pode contribuir para a redução da demanda de eletricidade residencial. Foi possível observar que a refrigeração apresenta o maior potencial.

Porém, ao considerar o comportamento do consumo residencial ao longo dos meses percebe-se que medidas de eficiência em refrigeradores não possuem tanto impacto na economia de energia nos meses de verão, como janeiro. O mesmo vale em relação aos horários do dia, uma vez que a refrigeração tem pouca participação no consumo de horário de pico. Nesse horário do dia, as medidas tomadas para aquecimento de água proporcionam maior potencial de redução de energia.

Além disso, foi possível observar que os equipamentos para “outros usos diversos” tem potencial de representar uma grande parte da carga de energia no Brasil

nos próximos anos. Desse modo, medidas nesses equipamentos podem ser de grande valia para alcançar os objetivos de redução de demanda. Esses equipamentos também têm grande participação no consumo do horário de pico. Reduzir o seu consumo pode significar também a redução da carga nesse horário, otimizando a operação elétrica brasileira.

Portanto, de acordo com o objetivo do planejador, o modelo permite identificar as respostas obtidas diante de medidas tomadas em cada um dos usos finais. É possível identificar o impacto de políticas de eficiência energética em cada horário do dia e cada mês do ano, assim como no consumo total anual residencial, para o Brasil e para cada uma das regiões. O modelo foi satisfatório ao representar de forma consistente o Brasil no período avaliado.

6.1 Propostas de trabalho futuro

Ao longo da execução deste trabalho algumas hipóteses foram assumidas a fim de simplificar o modelo proposto. Essas simplificações se mostraram como limitações para o trabalho. Assim, propõem-se como continuidade desta dissertação alguns tópicos que poderiam aperfeiçoar o presente trabalho, dando continuidade a linha de pesquisa destacada e apresentando conclusões mais detalhadas sobre o tema.

Como uma primeira limitação pode-se destacar o uso de um grupo muito amplo de equipamentos que foram englobados em “outros usos”. Essa realidade não permite que opções de eficiência ou de hábitos de consumo desses equipamentos diversos sejam observadas. Uma discriminação maior deste grupo permitiria uma avaliação mais detalhada do setor residencial.

Também, uma das limitações consideradas foi a de assumir que os pesos de distribuição sazonal e diário seriam constantes ao longo do tempo de análise. Essa premissa assume que o comportamento do usuário não se altera no longo prazo e também não assume, por exemplo, mudanças de temperatura, que são esperadas no cenário de mudanças climáticas. A mudança de temperatura modificaria, especialmente, a sazonalidade.

Além disso, manter os pesos fixos também implica numa falta de possibilidade de trabalhar medidas de GLD como tarifação horária e gerenciamento remoto de carga. Assim, um trabalho futuro sugerido seria o de aplicar mudanças da carga sazonal e horária ao longo do tempo e observar como as medidas de tarifação horária poderiam

impactar no comportamento da carga residencial. Essa é uma potencialidade do modelo proposto, embora não tenha sido testada no estudo de caso realizado.

Outra possível abordagem é entender o consumo de energia levando em consideração a renda das famílias, o custo das novas tecnologias e a elasticidade preço da eletricidade. Dessa forma, seria possível identificar o potencial de mudança do comportamento de consumo elétrico do ponto de vista dos usuários finais. Diante dessa abordagem, seria possível observar os impactos de uma tarifação horária no comportamento do consumidor de forma dinâmica, levando a uma percepção do efeito desse tipo de política de GLD no Brasil. Também, ao incorporar as questões de renda é possível discriminar de forma mais acurada o potencial de crescimento do consumo elétrico no país a medida que a renda *per capita* da população aumenta, conforme esperado.

Um pouco mais além do resultado focado apenas em um setor de consumo, este modelo poderia ser acoplado a um modelo de oferta para uma análise integrada do setor elétrico. O modelo é proposto de forma isolada, porém é possível pensar no modelo de forma integrada, o que permitiria compreender o papel das medidas de GLD no sistema elétrico como um todo, por exemplo diminuindo a necessidade de investimentos em novas plantas de geração, reduzindo a necessidade de geração de pico, influenciando os custos do sistema e o potencial de mitigação e como estes fatores variam ao considerarmos a carga como fator de liberdade adicional.

7 Referências Bibliográficas

(DOE), U. S. D. OF E. **Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them.** U.S. Department of Energy, , n. February, p. 122, 2006. Disponível em: <file:///C:/Users/SATELLITE/Google Drive/Referencias Doctorado//U.S. Department of Energy (DOE) - 2006 - Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them.pdf>.

ABEGAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE GÁS CANALIZADO. **Uso de gás natural no segmento residencial.** Disponível em: <<http://www.abegas.org.br/Site/?p=40860>>. Acessado em: 10 Jan. 2017. ABEGAS, 2013.

ABRADEE- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. Furto e Fraude de Energia. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/perdas/furto-e-fraude-de-energia>>. Acessado em: 28 de Fev. 2017. ABRADEE, 2017.

ABRAVA. **Panorama HVAC-R – Brasil 2014.** Disponível em: <http://solarnews.com.br/arquivos/3/e8e2853ea890c4ef72bf9ca0c3e41142.pdf>>. Acessado em: 13 de Jun. 2016. ABRAVA, 2014.

ACHAO, C. DA C. L., 2009. **Análise de Decomposição das Variações no Consumo de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro.** Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ANEEL. **Estrutura tarifária Eletropaulo - Nota técnica n95/2012-SRE-SRD/ANEEL.** ANNEEL, 2012.

ANNEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA . **Nota Técnica no 112/2015–SGT/ANEEL.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2015/025/documento/nt_112_sic_7242015_sgt_et_eletropaulo.pdf> Acessado em: 16 Jan. 2017. ANEEL, 2015.

ARGHIRA, N.; HAWARAH, L.; PLOIX, S.; JACOMINO, M. **Prediction of appliances energy use in smart homes.** Energy, v. 48, n. 1, p. 128–134, 2012. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.04.010>>.

ARTECONI, A.; HEWITT, N. J.; POLONARA, F. **Domestic demand-side management (DSM): Role of heat pumps and thermal energy storage (TES)**

systems. Applied Thermal Engineering, v. 51, n. 1–2, p. 155–165, 2013. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.09.023>>.

BALACHANDRA, P.; CHANDRU, V. **Modelling electricity demand with representative load curves**. Energy, v. 24, n. 3, p. 219–230, 1999.

CAPASSO, A.; LAMEDICA, R.; PRUDENZI, A.; GRATTIERI, W. **Bottom-up approach to residential load modeling**. IEEE Transactions on Power Systems, v. 9, n. 2, p. 957–964, 1994.

CARDOSO, R. B., 2008. **Avaliação da Economia de Energia atribuída ao Programa Selo PROCEL em Freezers e Refrigeradores**. Dissertação de M.Sc. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Minas Gerais, Brasil

CARDOSO, R. B.; HORTA NOGUEIRA, L. A.; SOUZA, E. P. DE; HADDAD, J. **An assessment of energy benefits of efficient household air-conditioners in Brazil**. Energy Efficiency, v. 5, n. 3, p. 433–446, 2012.

CARDOSO, R. B.; NOGUEIRA, L. A. H. **Avaliação do impacto energético do uso de lâmpadas fluorescentes compactas no sector residencial brasileiro**. Centro de Excelência em Eficiência Energética, , n. 35, p. 16, 2008.

COHEN, C.; LENZEN, M.; SCHAEFFER, R. **Energy requirements of households in Brazil**. Energy Policy, v. 33, n. 4, p. 555–562, 2005.

CRUZ, T. B., 2016. **Análise do potencial de inserção de energia solar térmica para aquecimento de água em residências unifamiliares no Brasil**. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ELLER, N.A., 2003. **Arquitetura de informação para o gerenciamento de perdas comerciais de energia elétrica**. Tese de D.Sc. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, SC, Brasil.

ELETROBRAS/PROCEL. **Avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil**. , p. 77, 2009. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7B99EBBA5C-2EA1-4AEC-8AF2-5A751586DAF9%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>>. PROCEL, 2009.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Nota Técnica DEA 10/2014 - Consumo de Energia no Brasil - Análises Setoriais**. Ministério de Minas e Energia. EPE, 2014a.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Demanda de Energia**

2050. Ministério de Minas e Energia. EPE, 2014b.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024**. Ministério de Minas e Energia, 2015a.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Nota técnica DEA 01/2015: Estimativa da capacidade instalada de geração distribuída no SIN: Aplicações no horário de ponta**. Ministério de Minas e Energia, EPE, 2015b.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2015-2024)**. Ministério de Minas e Energia. EPE, 2015c.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional de Energia - Cenário econômico 2050**, p. 123, EPE, 2015d.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço energético nacional**. Ministerio de Minas e Energia, EPE, 2016a.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Consumo mensal de energia elétrica por classe (regiões e subsistemas)**. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumomensaldeenergiael%C3%A9tricaporclasse\(regi%C3%B5esesubistemas\)%E2%80%932011-2012.aspx](http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumomensaldeenergiael%C3%A9tricaporclasse(regi%C3%B5esesubistemas)%E2%80%932011-2012.aspx)> Acessado em: 30 Mai. 2016. EPE, 2016b.

EPE; ADENE. **Aspectos Fundamentais do Planejamento Energético**. 2005.

FRANK, T. **Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland**. Energy and Buildings, v. 37, n. 11 SPEC. ISS., p. 1175–1185, 2005.

FALCÃO, D. M.; HENRIQUES, H. O. **Load Estimation In Radial Distribution Systems Using Neural Networks And Fuzzy Set Techniques**. IEEE, 2001.

GELLINGS, C. W. **The concept of demand-side management for electric utilities**. Proceedings of the IEEE, v. 73, n. 10, p. 1468–1470, 1985.

GHISI, E., 2005. **Instalações prediais de água quente**. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/knoxlomu/gua-quente-instalaes-prediais-1>> Acessado em: 20 Dez. 2016.

GOTTWALT, S.; KETTER, W.; BLOCK, C.; COLLINS, J.; WEINHARDT, C. **Demand side management-A simulation of household behavior under variable prices**. Energy Policy, v. 39, n. 12, p. 8163–8174, 2011. Elsevier. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.10.016>>. .

HONG, T.; LIN, H.-W. **Occupant Behavior: Impact on Energy Use of Private Offices**. ASim 2012 - 1st Asia conference of International Building Performance Simulation Association., , n. January, p. 12, 2013.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. SIDRA – Sistema IBGE de recuperação automática. **Pesquisa: População**. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico> > . Acessado em: 10 Jan. 2017. IBGE, 2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeção da população do Brasil por sexo e idade: 2000 - 2060**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao_da_populacao/2013/default.shtm> Acessado em: 10 Jan. 2017. IBGE: Rio de Janeiro, 2013.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2014/brasil_defaultxls_brasil.shtm> Acessado em: 10 Jan. 2017. IBGE: Rio de Janeiro, 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2015/default.shtm>> Acessado em: 10 Jan. 2017. IBGE: Rio de Janeiro, 2015.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acessado em: 20 Jul. 2016. INMET, 2016

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Conforto térmico Humano**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/confortoTermicoHumano>> Acessado em: 18 Jan. 2017. INMET, 2017

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Tabelas de consumo/eficiência energética**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>> Acessado em: 3 Nov. 2016. INMETRO, 2016a

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Programa Brasileiro de Etiquetagem**. Disponível em: <<http://www2.inmetro.gov.br/pbe/>> Acessado em: 3 Nov. 2016. INMETRO, 2016b.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Implementing Agreement on Demand-Side Management Technologies and Programmes - 2016 Annual Report.** , 2017.

IPAKCHI, A.; ALBUYEH, F. **Grid of the future.** IEEE Power and Energy Magazine, v. 7, n. 2, p. 52–62, 2009.

ISAAC, M.; VUUREN, D. P. VAN. **Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change.** Energy Policy, v. 37, n. 2, p. 507–521, 2009.

ITAU. **Análises Econômicas, Projeções de longo prazo.** Disponível em: <<https://www.itaubba-pt.com.br/analises-economicas/projecoes/longo-prazo-janeiro-2017>> Acessado em: 20 Jan. 2017. ITAU, 2017.

JARDINI, J. A.; TAHAN, C. M. V.; GOUVEA, M. R.; AHN, A. U.; FIGUEIREDO, F. M. **Daily Load Profiles for Industrial Low Voltage Consumers.** IEEE Transactions on Power Delivery, v. 15, n. 1, p. 375–380, 2000.

LAM, J. C.; TANG, H. L.; LI, D. H. W. **Seasonal variations in residential and commercial sector electricity consumption in Hong Kong.** Energy, v. 33, n. 3, p. 513–523, 2008.

MAÇAIRA, P. M.; SILVA, F. L. C.; OLIVEIRA, F. L. C.; CALILI, R. F. **Statistical Analysis of the Brazilian Electricity Sector : A Top-down Long Range Energy Consumption and Supply Forecast Model.** , p. 1182–1193, 2014.

MAÇAIRA, P.M., 2015. **Modelagem e previsão das séries de consumo de energia elétrica no Brasil com métodos de suavização exponencial de Pegels e abordagem bottom up por uso final.** Dissertação de M.Sc. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

MATTOS, R. S. DE; PEROBELLI, F. S.; HADDAD, E. A.; FARIA, W. R. **Integração de modelos econométrico e de insumo-produto para previsões de longo prazo da demanda de energia no Brasil.** Estudos Economicos, v. 38, n. 4, p. 675–699, 2008.

MCNEIL, M. A.; LETSCHERT, V. E. **Future air conditioning energy consumption in developing countries and what can be done about it: the potential of efficiency in the residential sector,** 2008. Disponível em: <http://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2007/Panel_6/6.306/paper>.

MELO, C. A. DE; JANNUZZI, G. DE MA. **Energy efficiency standards for**

refrigerators in Brazil: A methodology for impact evaluation. Energy Policy, v. 38, n. 11, p. 6545–6550, 2010. Elsevier. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2010.07.032>>.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Portaria Interministerial n° 1007, de dezembro de 2010.** Brasil, MME, 2010

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Programa Luz para Todos.** Disponível em: <https://www.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/o_programa.asp> Acessado em: 16 Jan. 2017. MME, 2017.

MOCARZEL, P.; TABOSA, R., 2003. **Índices de Eficiência Energética e sua Aplicabilidade à Lei de Eficiência Energética.** SNPTEE, Uberlândia, Outubro de 2003.

MOHSENIAN-RAD, A. H.; WONG, V. W. S.; JATSKEVICH, J.; SCHOBER, R.; LEON-GARCIA, A. **Autonomous demand-side management based on game-theoretic energy consumption scheduling for the future smart grid.** IEEE Transactions on Smart Grid, v. 1, n. 3, p. 320–331, 2010.

MORISHITA, C., 2011. **Impacto do regulamento para eficiência energética em edificações no consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro.** Dissertação de M.Sc. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

MOURA, P. S.; ALMEIDA, A. T. DE. **The role of demand-side management in the grid integration of wind power.** Applied Energy, v. 87, n. 8, p. 2581–2588, 2010. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.03.019>>.

MURATORI, M.; ROBERTS, M. C.; SIOSHANSI, R.; MARANO, V.; RIZZONI, G. **A highly resolved modeling technique to simulate residential power demand.** Applied Energy, v. 107, p. 465–473, 2013. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.02.057>> . .

NOGUEIRA, L. A. H. **WEC ADEME project on energy efficiency policies,** n. June, 2013.

NOGUEIRA, L. A. H.; CARDOSO, R. B.; CAVALCANTI, C. Z. B.; LEONELLI, P. A. **Evaluation of the energy impacts of the Energy Efficiency Law in Brazil.** Energy for Sustainable Development, v. 24, p. 58–69, 2015. Elsevier Inc. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2014.12.002>>.

OLIVEIRA, M. E. DE, 2009. **Avaliação de metodologia de cálculo de perdas técnicas em sistemas de distribuição de energia elétrica.** Tese de D.Sc. Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, SP, Brasil.

OLIVEIRA, D. C. DE; MAÇAIRA, P. M.; OLIVEIRA, F. L. C. **Análise dos picos de demanda diária de energia elétrica via cadeias de Markov.** 2014.

ONS. **Benefícios da implantação do horário de verão 2014/2015.** ONS, 2015.

PAATERO, J. V.; LUND, P. D. **A model for generating household electricity load profiles.** International Journal of Energy Research, v. 30, n. 5, p. 273–290, 2006.

PALENSKY, P.; DIETRICH, D. **Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads.**, v. 7, n. 3, p. 381–388, 2011.

PANDEY, R. **Energy policy modelling: Agenda for developing countries.** Energy Policy, v. 30, n. 2, p. 97–106, 2002.

PAPAKOSTAS, K.; KYRIAKIS, N. **Heating and cooling degree-hours for Athens and Thessaloniki, Greece.** Renewable Energy, v. 30, n. 12, p. 1873–1880, 2005.

PEREIRA, C. D.; LAMBERTS, R.; GHISI, E. **Nota técnica referente aos níveis mínimos de eficiência energética de condicionadores de ar no Brasil.**, 2013.

PINA, A.; SILVA, C.; FERRÃO, P. **The impact of demand side management strategies in the penetration of renewable electricity.** Energy, v. 41, n. 1, p. 128–137, 2012. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2011.06.013>>.

PNUD - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Atlas do desenvolvimento humano no Brasil.** Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/>> Acessado em: 16 Jan. 2017. PNUD, IPEA, FJP, 2013

PRADO, R. T. A.; GONÇALVES, M. **Water heating through electric shower and energy demand.** Energy and buildings, v. 29, p. 77–82, 1998.

PROCEL. **AVALIAÇÃO DO MERCADO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL - Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso - Ano Base 2005.**, 2007.

Queiroz, P. V. S. DE, 2011. **Mensuração do consumo de energia elétrica: algoritmo para detecção de potenciais usuários da termoacumulação como alternativa para o deslocamento de carga.** Dissertação de M.Sc. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

REDDY, A. K. N.; SUMITHRA, G. **Integrated resource planning [1].**, n. March, p. 5–7, 1997.

ROKEN, R.; BADRI, M. **Time Series Models for Forecasting Monthly**

Electricity Peak-Load for Dubai. Chancellor's Undergraduate Research Award, p. 1–14, 2006. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.136.9509&rep=rep1&type=pdf>>.

SALOM, J. (IREC); WIDÉN, J.; CANDANEDO, J. A; et al. **Understanding Net Zero Energy Buildings: Evaluation of load matching and grid interaction indicators.** Proc. Build. Simul. 2011, v. 6, p. 14–16, 2011. Disponível em: <http://www.bounceinteractive.com/bs2011/bs2011/pdf/P_1787.pdf>.

SALOM, J.; MARSZAL, A. J.; CANDANEDO, J.; et al. **Analysis Of Load Match and Grid Interaction Indicators in NZEB with High-Resolution Data.** A report of Subtask A, IEA Task 40/Annex 52 Towards Net Zero Energy Solar Buildings, v. 136, p. 102, 2014.

SALVADOR, E., 2013. **Eficiência energética em refrigeradores.** Dissertação de M.Sc., Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, Brasil.

SANTANDER. **Destaques semanais e projeções macroeconômicas.** Disponível em: <<https://www.santander.com.br/br/o-santander/analise-economica/destaques-semanais-e-projecoes-macroeconomicas>> Acessado em: 20 Jan. 2017. SANTANDER, 2017.

SATMAN, A.; YALCINKAYA, N. **Heating and cooling degree-hours for Turkey.** Energy, v. 24, n. 10, p. 833–840, 1999.

SCHAEFFER, R.; COHEN, C.; AGUIAR, A. C. J. DE; FARIA, G. V. R. **The potential for electricity conservation and carbon dioxide emission reductions in the household sector of Brazil.** Energy Efficiency, v. 2, n. 2, p. 165–178, 2009.

SCHMIDT, C. A. J.; LIMA, M. A. M. **A demanda por energia elétrica no Brasil.** Revista Brasileira de Economia, v. 58, n. 1, p. 68–98, 2004.

SWAN, L. G.; UGURSAL, V. I. **Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 13, n. 8, p. 1819–1835, 2009.

SWISHER, J. N.; JANNUZZI, G. DE M.; REDLINGER, R. Y. **Tools and methods for integrated resource planning.** 1997.

THERMOSTATIC MIXING VALVE ASSOCIATION. **Recommended Code of Practice for Safe Water Temperatures.** , 2000.

TSO, G. K. F.; YAU, K. K. W. **A study of domestic energy usage patterns in Hong Kong.** Energy, v. 28, n. 15, p. 1671–1682, 2003.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **International Energy Outlook 2016-Electricity**. International Energy Outlook, v. 2016, p. 81–100, 2016. Disponível em: <[http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2016).pdf)>. .

WALKER, C. F.; POKOSKI, J. L. **Residential Load Shape Modeling Based on Customer Behavior**. IEEE Power Engineering Review, v. PER-5, n. 7, p. 34, 1985.

WARREN, P. **A review of demand-side management policy in the UK**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 29, p. 941–951, 2014. Elsevier. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.09.009>>. .

WIDÉN, J.; NILSSON, A. M.; WÄCKELGÅRD, E. **A combined Markov-chain and bottom-up approach to modelling of domestic lighting demand**. Energy and Buildings, v. 41, n. 10, p. 1001–1012, 2009.

WIDÉN, J.; WÄCKELGÅRD, E. **A high-resolution stochastic model of domestic activity patterns and electricity demand**. Applied Energy, v. 87, n. 6, p. 1880–1892, 2010. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.11.006>>. .

WIDÉN, J.; WÄCKELGÅRD, E.; PAATERO, J.; LUND, P. **Impacts of distributed photovoltaics on network voltages: Stochastic simulations of three Swedish low-voltage distribution grids**. Electric Power Systems Research, v. 80, n. 12, p. 1562–1571, 2010.

YAO, R.; STEEMERS, K. **A method of formulating energy load profile for domestic buildings in the UK**. Energy and Buildings, v. 37, n. 6, p. 663–671, 2005.

YAU, T.; HUFF, R.; WILLIS, H. **Demand side management impact on the transmission and distribution system**. IEEE Transactions on Power Systems, v. 5, n. 2, p. 506–512, 1990.

ZARNIKAU, J. **Functional forms in energy demand modeling**. , v. 25, p. 603–613, 2003.