

NOTA TÉCNICA EPE DEA SEE 011/2021

MODELO DE DEMANDA DE ENERGIA DO SETOR RESIDENCIAL (MSR): ASPECTOS METODOLÓGICOS

Setembro de 2021



Empresa de Pesquisa Energética

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA





GOVERNO FEDERAL
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro

Bento Costa Lima Leite de Albuquerque Junior

Secretária Executiva

Marisete Fátima Dadald Pereira

Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético

Paulo Cesar Magalhães Domingues

Secretário de Energia Elétrica

Christiano Vieira da Silva

Secretário de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis

José Mauro Ferreira Coelho

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Pedro Paulo Dias Mesquita



Empresa de Pesquisa Energética

Empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, a EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

Presidente

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais

Giovani Vitoria Machado

Diretor de Estudos de Energia Elétrica

Erik Eduardo Rego

Diretor de Estudos de Petróleo, Gás e Biocombustível

Heloisa Borges Bastos Esteves

Diretor de Gestão Corporativa

Angela Regina Livino de Carvalho

URL: <http://www.epe.gov.br>

Sede

Esplanada dos Ministérios Bloco "U" - Ministério de Minas e Energia
- Sala 744 - 7º andar - 70065-900 - Brasília - DF

Escritório Central

Praça Pio X, 54 - 5º andar.
20091-040 - Rio de Janeiro - RJ

NOTA TÉCNICA EPE DEA SEE

011/2021

Modelo de Demanda de Energia do Setor Residencial (MSR): Aspectos Metodológicos

Superintendente de Estudos Econômico-Energéticos

Carla da Costa Lopes Achão

Superintendente Adjunto de Estudos Econômico-Energéticos

Gustavo Naciff de Andrade

Coordenação Técnica

Arnaldo dos Santos Junior

Elaboração

Allex Yujhi Gomes Yukizaki

Ana Cristina Braga Maia

Gabriel Konzen

Thiago Toneli Chagas

NT-EPE-DEA-SEE 011/2021

Data: 02 de Setembro de 2021

CONTEÚDO

APRESENTAÇÃO	2
PRESENTATION	4
1. INTRODUÇÃO	6
2. MODELAGEM	8
3. O MODELO MSR	11
3.1. MODELAGEM <i>BOTTOM-UP</i> DA ENERGIA ELÉTRICA	14
3.2. MODELAGEM <i>TOP-DOWN</i> DOS OUTROS ENERGÉTICOS	17
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	19
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

APRESENTAÇÃO

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE), empresa pública instituída nos termos da Lei Nº 10.847, de 15 de março de 2004, e do Decreto Nº 5.184, de 16 de agosto de 2004, vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), tem entre as suas finalidades prestar serviços de estudos e pesquisas para o desenvolvimento dos planos de expansão de geração e transmissão de energia de curto, médio e longo prazo, destinados a subsidiar o planejamento do setor energético brasileiro.

Esta Nota Técnica tem como objetivo descrever a metodologia desenvolvida para a elaboração das projeções de demanda residencial de energia utilizada nos estudos da EPE, como o Atlas de Eficiência Energética, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), o Plano Nacional de Energia (PNE) e o Balanço Energético Nacional (BEN). A necessidade de uma modelagem própria do consumo energético dos domicílios do País é essencial para entender como esta energia foi, está sendo e será consumida (por quais equipamentos, em quais usos finais e por quais classes de renda) ao longo do tempo e quais serão os efeitos de políticas públicas implantadas no setor, como, por exemplo, as de eficiência energética, em relação às economias geradas até mesmo para se reduzir as necessidades futuras de expansão da oferta de energia. O acompanhamento da evolução da demanda residencial de energia ao longo do tempo também é fundamental pois realimenta a modelagem e permite uma calibragem das suas premissas e parâmetros.

O Modelo de Projeção de Energia do Setor Residencial (MSR) utiliza as projeções da demanda elétrica da classe residencial geradas pelo Modelo de Projeção de Demanda de Eletricidade (MDE), ambos desenvolvidos pela EPE, a fim de consistir a modelagem *bottom-up* de equipamentos elétricos presentes nas residências brasileiras. Para as demais fontes de energia consumidas nos domicílios do País, o MSR usa uma modelagem *top-down* que se baseia nas projeções de Consumo Específico e de Número de Unidades Consumidoras.

O MSR foi criado baseado em Achão (2003) e acessa uma diversidade de bases de dados internas e externas para tentar projetar no curto, médio e longo prazos as demandas residenciais de energia de Eletricidade, Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), Gás Natural (GN), Lenha e Carvão Vegetal que irão compor a demanda nacional destes energéticos em outros modelos integrados da própria EPE. A modelagem residencial possui o fluxograma resumido apresentado na Figura 1 a seguir.

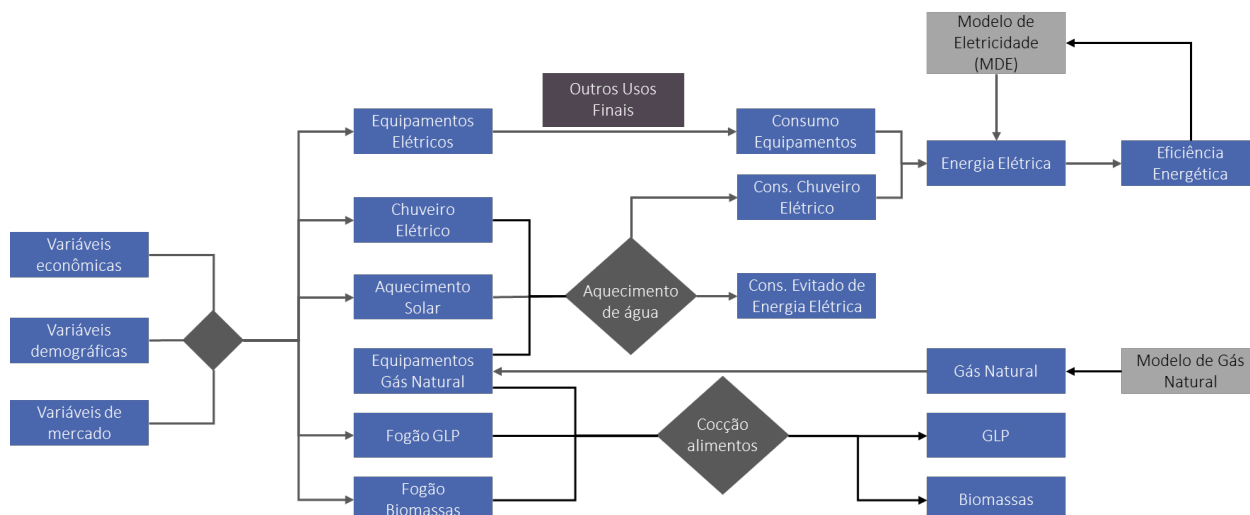


Figura 1 – Fluxograma do Modelo de Energia do Setor Residencial (MSR)

Este documento está assim estruturado: enquanto no item 1 faz-se uma breve introdução sobre a demanda de energia no setor residencial, no item 2 procura-se detalhar os tipos de metodologias disponíveis para a elaboração das previsões da demanda de energia, incluídas as utilizadas no MSR; no item 3 são apresentados os funcionamentos dos diversos módulos que compõem o modelo; no item 4 são elencadas as considerações finais e, no item 5, exibidas as referências para este trabalho.

PRESENTATION

The Energy Research Office (EPE), a public company established under the terms of Law N° 10,847, of March 15, 2004, and Decree N° 5,184, of August 16, 2004, linked to the Ministry of Mines and Energy (MME), among its purposes is the provision of study and research services for the development of expansion plans for generation and transmission of energy in the short, medium and long term, services to support the planning of the Brazilian energy sector.

This Technical Note aims to describe the methodology developed for the preparation of residential energy demand projections used in EPE studies, such as the Energy Efficiency Atlas, the Decennial Energy Expansion Plan (PDE), the National Energy Plan (PNE) and the National Energy Balance (BEN). The need for a specific modeling of the energy consumption of households in the country is essential to understand how this energy was, is being and will be consumed (by which equipment, in which end uses and by which income classes) over time and which will be the effects of public policies implemented in the sector, such as, for example, energy efficiency, in relation to the savings generated even to reduce future needs for expansion of energy supply. Monitoring the evolution of residential energy demand over time is also essential as it feeds back into the modeling and allows for a calibration of its assumptions and parameters.

The Residential Sector Energy Projection Model (MSR) uses the projections of the electrical demand of the residential class generated by the Electricity Demand Projection Model (MDE), both developed by EPE, in order to consist of the bottom-up modeling of equipment present in Brazilian homes. For other energy sources consumed in the country's households, the MSR uses a top-down modeling based on the Specific Consumption and Number of Consumer Units projections.

The MSR was created based on Achão (2003) and accesses a variety of internal and external databases to try to project in the short, medium and long term the residential energy demands of Electricity, Liquefied Petroleum Gas (LPG), Natural Gas (GN), Firewood and Charcoal that will make up the national demand for these energy sources in other integrated models of the EPE itself. The residential modeling has the summarized flowchart shown in Figure 1 below.

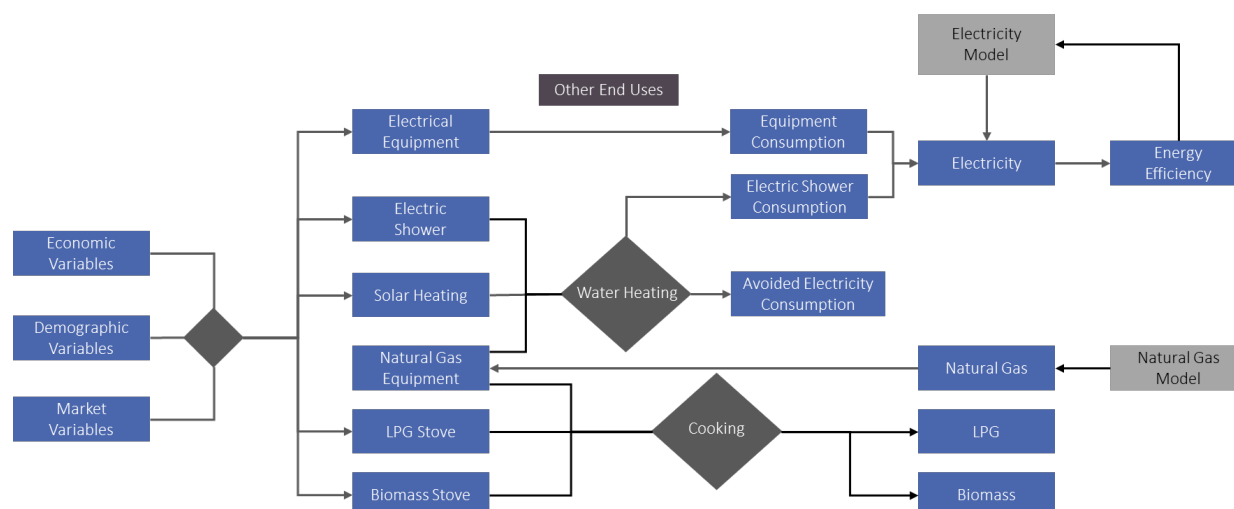


Figure 1 – Flowchart of the Energy Model of the Residential Sector (MSR)

This document is structured as follows: while item 1 provides a brief introduction on energy demand in the residential sector, item 2 seeks to detail the types of methodologies available for the preparation of energy demand forecasts, including those used in the MSR; item 3 presents the functioning of the various modules that make up the model; in item 4 the final considerations are listed and, in item 5, the references for this work are shown.

1. Introdução

Por volta de 10% de toda a energia demandada no Brasil, que inclui cerca de 26% da eletricidade consumida no País, é usada nos seus diversos tipos de habitações (BEN/EPE 2019, 2020), que incluem casas, apartamentos, assentamentos, unidades quilombolas, domicílios em favelas e estruturas de palafitas e pau a pique. Neste sentido, a relevância do setor residencial para o planejamento energético nacional se expressa na representatividade atual e futura do seu consumo, no seu impacto na ponta do Sistema Interligado Nacional (SIN) e na sua demanda reprimida, associada tanto ao déficit nacional de moradias quanto à posse e ao uso dos principais equipamentos residenciais, em particular, nas classes de mais baixa renda. Como ilustração, cálculos da EPE utilizando os dados coletados na Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial (PPH) do ano de 2019 (PROCEL/ELETROBRAS) estimam que a posse de condicionadores de ar no País é de apenas 0,18 aparelho por domicílio, com expectativas de aumento deste valor ao longo dos anos e consequente impacto cada vez maior na curva de carga do SIN.

A definição de domicílio utilizada nesta Nota Técnica é a mesma da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) do ano base 2015 e anteriores publicadas pelo IBGE e envolve o local de moradia estruturalmente separado e independente, constituído por um ou mais cômodos. Enquanto a separação está associada a uma limitação espacial de piso, laterais e cobertura que permite que os seus moradores se isolem, a independência se relaciona às características de acesso, que possibilitam a entrada e saída sem a necessidade de passar por locais de moradia de outras pessoas. De forma mais específica, os domicílios também são classificados como particulares pelo fato de serem destinados à habitação de uma ou mais pessoas com laços de parentesco, dependência doméstica ou normas de convivência, e permanentes, em razão de seu uso apenas para moradia, sem outras finalidades aparentes.

Essa definição de domicílio é diferente do conceito de unidade consumidora residencial faturada utilizado pelos agentes de distribuição de energia elétrica no âmbito da Resolução ANEEL Nº 414 de 9 de setembro de 2010. Entre as principais diferenças, estão a classificação das residências das áreas rurais na classe rural (ao invés da classe residencial) e a possibilidade de serem geradas mais de uma fatura por domicílio dependendo das características elétricas das habitações.

Em relação aos serviços energéticos dentro dos domicílios, a energia pode ser utilizada para iluminação, climatização de ambientes (resfriamento ou aquecimento), conservação e cocção de alimentos, aquecimento de água para banho, entretenimento e possibilitar o uso dos aparelhos elétricos e eletrônicos. Todas estas aplicações proporcionam qualidade de vida aos seus usuários, aumentando as sensações de segurança, saúde, conforto e bem-estar dentro de casa.

A energia consumida nas residências pode ser obtida de fontes energéticas diferentes, sendo as principais utilizadas no Brasil a Energia Elétrica, o Gás Liquefeito do Petróleo (GLP), o Gás Natural (GN), a Lenha e o Carvão Vegetal, cada uma com as suas especificidades e aplicações. A eletricidade pode ser

usada em praticamente todos os serviços energéticos e ainda deverá predominar no longo prazo como a fonte mais utilizada nas residências brasileiras (EPE, 2019). Enquanto as fontes tradicionais de biomassa (lenha e carvão vegetal), juntamente com o GLP, são usadas principalmente para a cocção de alimentos, o gás natural, além deste uso final, também pode ser utilizado para o aquecimento de água para banho. A Energia Solar Térmica também é usada no serviço energético de aquecimento de água para banho, deslocando o uso final de outras fontes, em especial a eletricidade e o gás natural.

De acordo com EPE (2020), movimentos migratórios de urbanização da sociedade podem influenciar a demanda residencial de energia, uma vez que alteram os padrões de uso das fontes energéticas, relacionados às infraestruturas existentes, ao clima e ao modo de se organizar e viver. Em geral, enquanto as áreas rurais estão associadas a casas e sítios situados em locais com clima mais ameno e que podem utilizar fontes tradicionais de biomassa para cocção, nas cidades, tipicamente mais quentes, predominam edifícios e apartamentos menores que consomem combustíveis mais eficientes como a eletricidade, o GLP e o gás natural, principalmente nas famílias de maior poder aquisitivo. E nas áreas de fronteiras, isto é, aquelas situadas ao redor das principais cidades (regiões metropolitanas) e que, geralmente, são associadas a uma população de mais baixa renda, pode existir um cenário de transição rural e urbano, como, por exemplo, o compartilhamento de fogões a GLP e lenha ou carvão vegetal no mesmo domicílio.

O consumo residencial de energia também pode variar de acordo com as condições econômicas e características naturais de cada região do País. Por exemplo, à medida que a renda de uma família aumenta, ela pode ter um acesso maior aos alimentos que necessitem de maior quantidade de energia no seu preparo, como as carnes, o que pode exigir fontes energéticas mais eficientes. Por outro lado, em cenários de crises econômicas ou custos elevados dos combustíveis, pode ser observado um aumento do uso da lenha no País em substituição principalmente ao GLP para cocção de alimentos nas famílias de menor poder aquisitivo.

Por sua vez, em regiões com maiores temperaturas médias, embora talvez não seja tão necessário o aquecimento de água para banho, pode ser imprescindível a climatização de ambientes para tornar os cômodos dos domicílios mais frescos e aumentar a satisfação de seus habitantes, principalmente em horários mais quentes do dia. Cálculos da EPE utilizando os dados coletados na PPH do ano de 2019 estimam que cerca de 35% dos domicílios brasileiros não aqueciam água no País em 2019, sendo grande parte deles nas regiões Norte e Nordeste.

Cada vez mais importante nos tempos atuais, os ganhos de eficiência energética estão relacionados à redução da demanda residencial de energia. A maneira mais comum de eficiência está relacionada à primeira compra ou troca de equipamentos, em geral mais modernos e com menor consumo específico. Esta atuação da eficiência energética é trabalhada pela EPE no MSR. Atualmente, entretanto, ainda não foram internalizados no modelo os efeitos da eficiência energética associada à própria construção de edifícios, relacionados, por exemplo, às envoltórias, às áreas de ventilação e ao aproveitamento da

iluminação natural. A incorporação destes efeitos no consumo residencial de energia pode ser um futuro desafio para a nossa modelagem, que precisa ser mais bem estudado e avaliado de acordo com a legislação e realidade brasileira.

2. Modelagem

Projetar a necessidade futura da energia demandada pela sociedade é uma importante atividade técnica do planejamento do setor energético, uma vez que serve de base para o dimensionamento da oferta de energia para atendê-la em um mercado cada vez mais dinâmico e suscetível a elevados padrões de qualidade e confiabilidade. Estimar esta demanda pode ser uma atividade complexa, pois envolve estudar a influência de inúmeros fatores, alguns com maior preponderância nas oscilações de curto prazo (como a temperatura), outros que implicam em modificações do perfil de consumo de forma mais permanente no longo prazo (como os avanços tecnológicos, as políticas de eficiência energética e a evolução da economia).

Modelos de projeção de demanda de energia possuem o objetivo de representar a realidade do consumidor, realizando inferências comportamentais sobre seu consumo, simulando ações e analisando as suas consequências (Matsudo, 2001). É necessário delimitar bem a aplicação do modelo em termos de fontes de energia, horizontes de tempo (semanais, mensais, anuais, decenais, quinzenais, etc.) e de espaço (globais, nacionais, regionais, estaduais, locais, etc.), classes de renda, perfis sociais ou estratos específicos de acordo com o que se quer estudar.

Um modelo pode ser definido como uma simplificação ou representação incompleta e limitada da realidade e, por isso, erros na modelagem podem acontecer por diversos tipos de limitações, seja por simplificações do mundo real, pela imprevisibilidade das suposições e hipóteses adotadas, pela falta de acurácia ou má qualidade dos dados de entrada, por restrições computacionais, pelo horizonte de previsão, pelo método utilizado, dentre outras. Adicionalmente, em relação à representação da realidade futura, é importante ressaltar que a incerteza sempre estará presente, uma vez que o futuro é indeterminado, podendo mudar a todo instante e ser diferente do previsto. Sendo assim, no desenvolvimento de uma modelagem é importante se avaliar, a partir dos objetivos e/ou perguntas a serem respondidas, dados disponíveis, horizonte de análise, entre outros fatores, qual a melhor abordagem ou metodologia a ser empregada.

Desta maneira, qualquer modelo matemático que busque representar um sistema real compartilha de objetivos conflitantes: de um lado, a precisão com que ele consegue reproduzir a complexidade dos seus comportamentos, com todas as suas dependências de dados confiáveis (geralmente históricos) e na periodicidade necessária; do outro, a sua operacionalização, incluindo o custo de processamento, as interfaces de entrada e a possibilidade de apresentar os resultados de forma mais amigável e esclarecedora possível.

Por exemplo, dada a dificuldade em se prever a estrutura e a magnitude do crescimento econômico nas modelagens de projeção da demanda energética, uma possível estratégia pode ser associar às projeções do mercado de energia, cenários ou trajetórias de evolução da economia que traduzam histórias prováveis para possíveis futuros. As prospecções também utilizam análises de dados históricos, porém associadas a outras avaliações globais, qualitativas, evolutivas e dinâmicas, sem que impliquem de forma determinativa os acontecimentos futuros.

Neste sentido, a elaboração de premissas macroeconômicas e setoriais que fundamentarão o progresso do mercado de energia fazem parte destes estudos. No caso de um modelo de projeção de demanda residencial de energia, fazem sentido algumas estimativas, tais como o avanço de domicílios, o crescimento da população, a relação de moradores por habitação, a posse e vendas de eletrodomésticos e as perspectivas de ganhos de eficiência energética, fundamentais pelo seu potencial de deslocamento de mercado e consequente economia de energia.

Entre as diversas classificações possíveis para a atividade de modelagem, existem duas abordagens habituais relacionadas à maneira como os dados e as relações entre variáveis são agrupados: *top-down*, que envolve, entre outros, os modelos estatísticos, econométricos e de insumo-produto e *bottom-up*, relacionada a modelos analíticos, também conhecidos como técnico-econômicos ou técnico-paramétricos. Em geral, a metodologia *top-down* é mais agregada, utiliza um conjunto menor de dados de entrada e procura correlacionar a evolução do consumo de energia com algumas variáveis explicativas a partir da análise do histórico, como, por exemplo, o Produto Interno Bruto (PIB), a população e o número de domicílios.

Com a suposição de que o futuro segue comportamentos passados, alguns modelos *top-down*, podem ser inadequados para representar períodos de crises, instabilidades ou variações bruscas, principalmente em países em desenvolvimento, pelo fato de poderem gerar distorções estatísticas ou quebras de séries (observadas em “picos” ou “vales”) nas modelagens e não haver muita margem de manobra para explicar esses efeitos em razão do nível de agregação existente. No caso de modelos de projeção de demanda de energia, as limitações podem acontecer, ou em razão da inércia do consumo devido ao estoque e à eficiência de equipamentos, à substituição de energéticos, aos hábitos culturais e ao predomínio tecnológico ou pela entrada ou saída de grandes cargas energointensivas (Matsudo, 2001).

Por sua vez, a metodologia *bottom-up* procura representar de forma desagregada as relações entre a demanda de energia e seus usos finais, envolvendo as mudanças estruturais e tecnológicas que acontecem em um setor e na sociedade. Esta forma de estudo difere da *top-down*, pois parte dos componentes de um segmento, por exemplo, e vai subindo o nível de análise para os elementos mais agregados que o compõem (Figura 2). Por envolver um nível de detalhamento maior do que o exigido na metodologia *top-down*, a abordagem *bottom-up* trabalha com um número maior de parâmetros técnicos e, portanto, requer uma quantidade maior de dados consistentes e confiáveis.

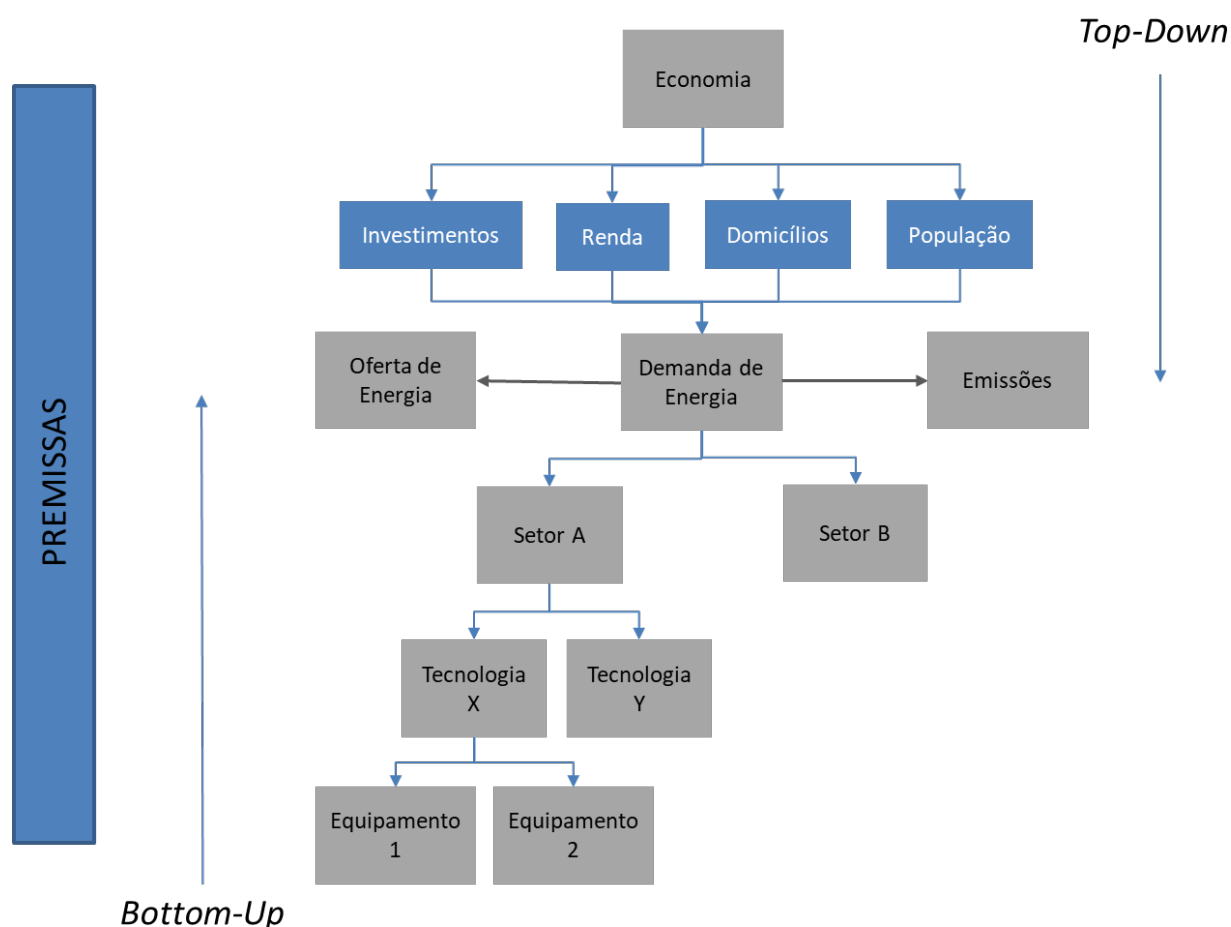


Figura 2 – Abordagens *Top-Down* e *Bottom-Up* para Projeções da Demanda de Energia

No caso da modelagem residencial de energia, a metodologia *bottom-up* utiliza informações de posses, estoques, sucateamentos, eficiência energética e hábitos de uso dos principais equipamentos utilizados nos domicílios (refrigeradores, congeladores, fornos e fogões, lâmpadas, chuveiros elétricos, condicionadores de ar, televisões, etc.) para modelar os seus respectivos usos finais (conservação e cocção de alimentos, iluminação, aquecimento de água para banho, climatização de ambientes, entretenimento, entre outros).

Modelos híbridos podem conter componentes das duas classificações, *top-down* e *bottom-up*. Um modelo combinado pode permitir a análise de cenários mais complexos, de acordo com as suas respectivas restrições de dados e possibilidades de modelagem. O Modelo de Projeção de Energia do Setor Residencial (MSR) apresentado nesta Nota Técnica é híbrido, beneficiando-se das duas abordagens, cada uma com a sua aplicação dependendo do tipo de energia consumida nas residências, da competição entre as fontes para atendimento de determinado serviço energético, da penetração de tecnologias e da eficiência energética.

3. O modelo MSR

De acordo com a classificação proposta na seção anterior, o Modelo de Projeção de Energia do Setor Residencial (MSR) é híbrido e tem o objetivo de estimar a demanda residencial de energia a partir de suas fontes energéticas, possuindo estratégias distintas de modelagem para cada uma delas. Para a energia elétrica, o MSR está baseado em uma abordagem *bottom-up* em que são empregados métodos técnico-paramétricos que partem de informações desagregadas relacionadas aos equipamentos presentes nos domicílios nacionais (tais como posse média e hábitos de uso, por exemplo) para se compatibilizar com as projeções da demanda residencial de energia elétrica do País, obtidas de modo *top-down* de outro modelo da própria EPE, o Modelo de Projeção de Demanda de Eletricidade (MDE). O MDE utiliza projeções de Número de Unidades Consumidoras Residenciais e de Consumo por Consumidor Residencial para estimar a demanda de eletricidade dos domicílios brasileiros (EPE, 2019).

Para as demais fontes de energia (GLP, gás natural, lenha e Carvão vegetal), são adotadas abordagens do tipo *top-down*, em que se utilizam métodos estatísticos a partir de dados agregados de Consumo Específico e de Número de Domicílios que usam estes energéticos. A estratégia de modelagem é semelhante para todas estas fontes, modelar o comportamento histórico do Consumo Específico até o ano base a partir de informações já consolidadas de Número de Domicílios e de Demanda dos Energéticos e, a partir daí, realizar premissas para a evolução ao longo do tempo do Consumo Específico e do Número de Domicílios para projetar a Demanda Residencial de Energia.

Cabe destacar que, para o aquecimento de água para banho, o MSR procura simular a competição entre as fontes utilizadas, basicamente energia elétrica, gás natural, energia solar térmica e outras fontes, onde a eletricidade, com maior participação para este fim no País, tende a ser deslocada pelas demais. O modelo estima o número de domicílios com Sistemas de Aquecimento Solar (SAS) a partir de uma abordagem *bottom-up* partindo da área média de superfície usual dos coletores solares e da evolução desta área instalada no País para dois tipos de mercados econômicos distintos, o autônomo e as habitações de interesse social, que incluem, por exemplo, habitações do Programa Casa Verde Amarela do Governo Federal (Figura 3).

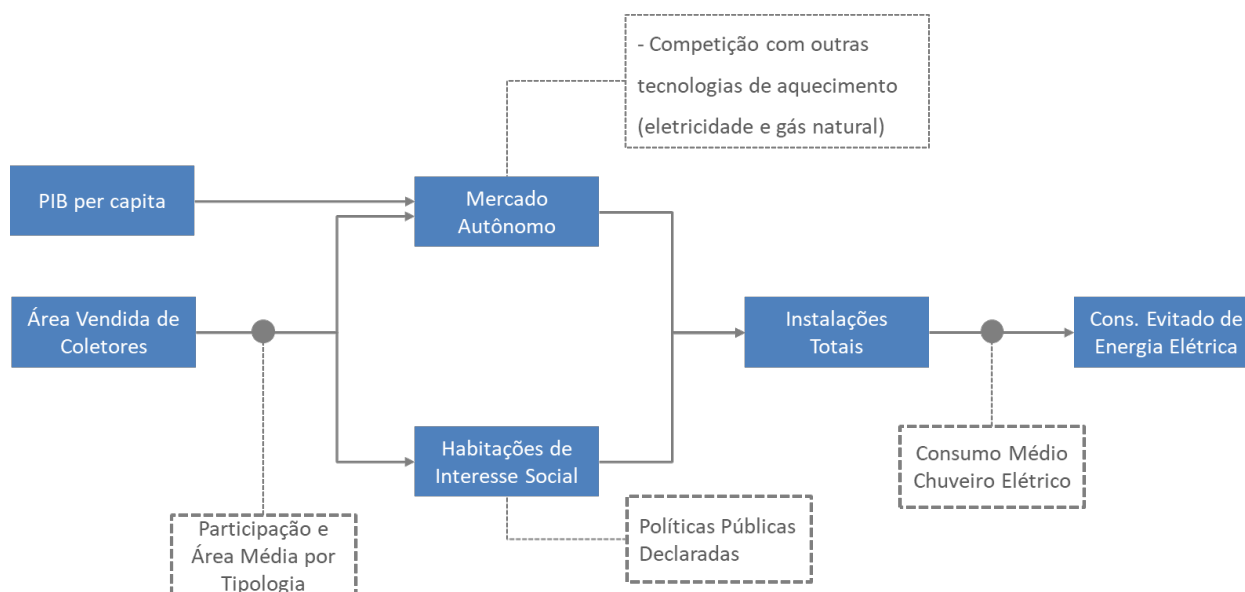


Figura 3 – Modelagem *bottom-up* para os domicílios com Sistemas de Aquecimento Solar (SAS)

A competição entre fontes também acontece na cocção de alimentos: a hipótese utilizada é a de que nos domicílios de mais baixa renda, em particular os localizados nas áreas rurais, as biomassas tradicionais (lenha e carvão vegetal) são deslocadas pelo GLP, à medida que as famílias possuem uma evolução de renda, ao passo que nos domicílios de maior poder aquisitivo, situados nas áreas urbanas e que possuem melhor infraestrutura instalada, o GLP é deslocado pelo gás natural.

O MSR avançou a sua modelagem no sentido de mapear a demanda residencial de energia pelas classes de renda em que se incluem os domicílios brasileiros. Esse trabalho foi iniciado com os dados de posse e hábitos de uso de eletricidade obtidos na Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos da Classe Residencial, realizada no ano de 2019, que utiliza o Critério de Classificação Econômica Brasil desenvolvido pela Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP) para classificar os domicílios pesquisados pelo seu poder aquisitivo. Este critério recorre a um sistema de pontos para um conjunto de variáveis econômicas e sociais para classificar os domicílios e estimar uma renda média mensal para cada classe de renda de acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios realizada em 2018 (ABEP, 2019)¹. É relevante salientar que essa classificação de classes de renda utilizada pela PPH do ano de 2019 é diferente da usada pelo IBGE em suas pesquisas, entre as quais, a PNAD, que utiliza uma classificação de domicílios baseada na sua renda mensal média em salários mínimos.

Atualmente, o MSR está estruturado em plataforma Microsoft Excel, sendo constituído por três grandes grupos de planilhas: (i) Dados de Entrada; (ii) Premissas e Cálculos; e (iii) Resultados. Os dados de entrada são as informações necessárias para o modelo estimar os seus resultados por meio de cálculos e

¹ Classe de renda A (maior renda média domiciliar – R\$ 25.554,33), B1 (R\$ 11.279,14), B2 (R\$ 5.641,64), C1 (R\$ 3.085,48), C2 (R\$ 1.748,59) e DE (menor renda média domiciliar – R\$ 719,81).

premissas. Eles são coletados geralmente com uma frequência anual, em uma diversidade de bases de dados internas e externas que incluem:

Informação Utilizada	Base de Dados
Histórico e projeções econômicas (PIB e PIB Comercial)	IBGE e EPE
Histórico e projeções da demanda residencial de energia elétrica (<i>top-down</i>)	EPE
Histórico e projeções do consumo residencial de gás natural por UF	EPE
Histórico do consumo final de energia por fonte (GLP, gás natural, lenha e carvão vegetal) e por região geográfica	EPE
Histórico e projeções demográficas (domicílios e população)	EPE e PNAD/IBGE
Histórico do número de domicílios com fogões para cocção por tipo de combustível	POF/IBGE e PNAD/IBGE
Histórico de domicílios por classes de renda	PNAD/IBGE
Histórico das vendas anuais de eletrodomésticos no varejo do País	PMC/IBGE e Associações de Classe
Histórico das instalações de coletores solares térmicos nos domicílios nacionais	ABRASOL
Histórico e cenário para a posse e hábitos de uso de aparelhos elétricos e eletrônicos utilizados nas	PROCEL/ELETRORBRAS e EPE

residências brasileiras	
Histórico e cenário para a eficiência energética de equipamentos	INMETRO e EPE

Tabela 1 – Informações de entrada utilizadas pelo MSR e suas respectivas fontes de dados

Entre os resultados fornecidos pelo MSR, a maior parte é utilizada nas publicações da própria EPE relacionadas à demanda residencial de energia do País, entre as quais, se incluem o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), o Plano Nacional de Energia (PNE), o Atlas de Eficiência Energética e o Balanço Energético Nacional (BEN). As projeções elaboradas pelo modelo são anuais e estão listadas abaixo:

- Projeções das posses, estoques e unidades vendidas de equipamentos;
- Projeções do consumo específico e da demanda final de eletricidade por equipamento;
- Projeções do consumo de energia pelos usos finais e por faixas de renda;
- Projeções do consumo evitado de eletricidade, GLP e gás natural pelos ganhos de eficiência energética de equipamentos;
- Projeções do consumo evitado de eletricidade pelo uso de outras fontes energéticas para aquecimento de água para banho (GLP, gás natural e Sistemas de Aquecimento Solar);
- Projeções dos domicílios que utilizam Sistemas de Aquecimento Solar (SAS);
- Projeções do consumo específico e da demanda final de GLP, gás natural, lenha e carvão vegetal;
- Projeções dos domicílios que utilizam eletricidade, GLP, gás natural, lenha e carvão vegetal.

O MSR tem foco nacional, ou seja, a maior parte dos seus resultados são no nível Brasil, uma vez que o modelo depende de dados externos coletados que se encontram neste modo de agregação, como é o caso das informações dos Sistemas de Aquecimento Solar (SAS). Enquanto a modelagem de energia elétrica é nacional, as realizadas para o GLP, gás natural e as biomassas tradicionais se encontram desagregadas de maneira regional, podendo ser avaliadas para as regiões do País.

3.1. Modelagem *bottom-up* da energia elétrica

A demanda residencial de eletricidade do País é modelada nos estudos da EPE de duas formas diferentes e complementares: a primeira, de modo *top-down* pelo Modelo de Projeção de Demanda de Eletricidade

(MDE), sendo o consumo residencial de energia elétrica representado pelo produto entre o número de unidades consumidoras residenciais e o consumo por consumidor residencial. Esta abordagem tem o objetivo de se chegar nas projeções de consumo a partir destas duas variáveis que têm sentido físico e econômico, mas que não conseguem detalhar a dinâmica da classe residencial como um todo. Por exemplo, o consumo por consumidor residencial pode ser interpretado como uma resultante consolidada de evoluções das posses dos equipamentos utilizados nos domicílios e de seus consumos específicos e hábitos de uso ao longo do tempo, informações mais desagregadas e que conseguem expressar melhor as ações de políticas públicas e de eficiência energética implementadas.

Por essa razão, o MSR foi criado e possui como principal finalidade dar um panorama do setor residencial a partir dos seus principais componentes, os seus diversos equipamentos utilizados nos seus respectivos usos finais dentro dos domicílios do País. Como o MSR modela um número finito de equipamentos, existe uma diferença entre a demanda residencial total de energia elétrica (MDE) e o consumo destes aparelhos, alocada pelo modelo como o consumo de Outros Equipamentos não modelados.

A abordagem do MSR é a mesma para todos os equipamentos e consiste basicamente em duas partes: modelagem de estoque nacional e de consumo específico. O produto dessas duas variáveis resulta na demanda residencial de eletricidade para o aparelho em questão, conforme a Figura 4 a seguir.

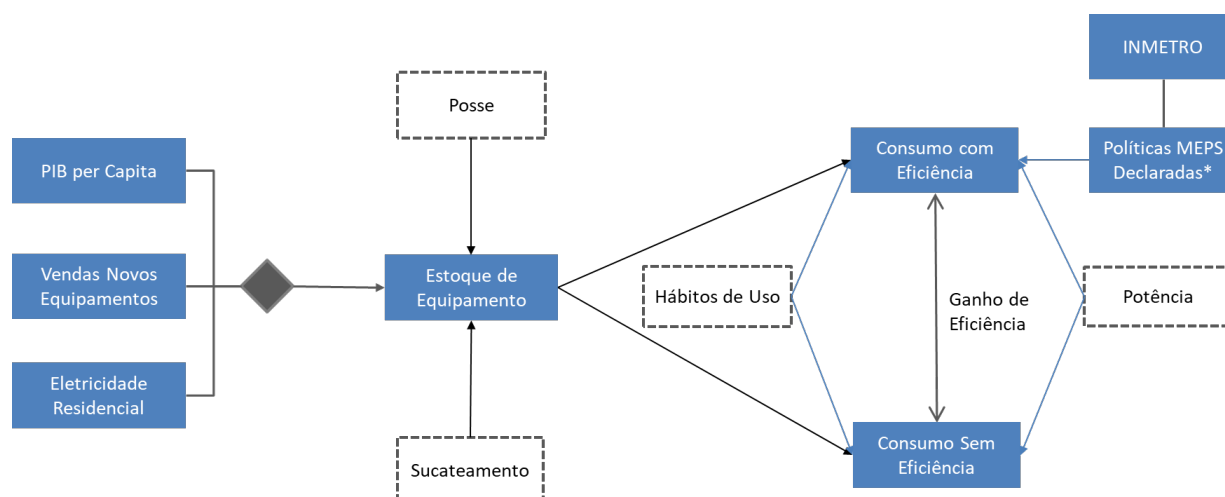


Figura 4 – Modelagem *bottom-up* da demanda de eletricidade para os equipamentos mapeados nas residências

A modelagem de estoque se inicia pelos dados de posses de equipamentos extraídos das edições disponíveis das PPHs, que permitem chegar nos respectivos estoques de equipamentos a partir da multiplicação com o número de domicílios que consomem energia elétrica no País. Assim, criam-se séries temporais anuais de estoques nacionais que necessariamente passam por esses valores históricos obtidos das PPHs. Elas são montadas a partir de uma matriz de idades dos dispositivos e anos passados, isto é,

para o ano de 2021, existem aparelhos com 0, 1, 2, ..., N anos onde N procura representar a vida útil média, cuja evolução também é modelada. Os eletrodomésticos vão evoluindo de idade ao longo dos anos das suas vidas úteis com uma taxa de sucateamento, explicada por aparelhos quebrados e inviabilizados sem conserto ou cujos reparos ficam mais caros do que comprar um novo. Os dispositivos também podem ser sucateados ao final da vida útil e, quando chegam nesta fase do seu ciclo de vida, saem do estoque nacional.

Em todos os anos do horizonte de projeção, os estoques de dispositivos com menos de 1 ano de idade são calculados a partir do perfil de unidades vendidas de equipamentos novos no varejo, que pode depender do tipo de aparelho, da sua saturação ao longo da curva de estoques e de uma sensibilidade com alguns parâmetros, entre os quais o PIB, o PIB Comercial ou a demanda residencial de eletricidade (*top-down*, obtida do MDE). É razoável supor, por exemplo, que a saturação de geladeiras ou de máquinas de lavar chegue numa posse nacional de cerca de 1 equipamento por domicílio, a partir daí as vendas seriam exclusivas para repor as unidades sucateadas ou para equipar as novas habitações que surgirem.

A modelagem de consumo específico por equipamento se baseia nas potências médias estimadas dos dispositivos e nos seus hábitos de uso. Para isso, são criadas séries temporais anuais de potências médias estimadas dos estoques de dispositivos que representam as potências médias estimadas de todos os modelos de aparelhos existentes no Brasil nos anos em questão. Estas potências médias estimadas são influenciadas pelos efeitos das políticas de eficiência energética que fazem com que os estoques nacionais médios de equipamentos fiquem mais eficientes (diminuindo as suas potências médias), ou seja, aparelhos menos eficientes e, portanto, de maior potência média, vão sendo sucateados ao longo do tempo e sendo substituídos (pela primeira compra ou troca de aparelhos) por equipamentos mais eficientes, de menor potência média. Estes indicadores exógenos de ganhos de eficiência são números que modelam as evoluções tecnológicas pelas quais passam os dispositivos ao longo do horizonte de análise.

Os hábitos de uso dos eletrodomésticos nas residências brasileiras, como mencionado, são obtidos das edições disponíveis das PPHs e dizem respeito à frequência de uso, em relação ao Número de Horas por Dia e o Número de Dias por Ano em que eles são utilizados. Para os demais anos das séries temporais de hábitos de uso, são feitas premissas sobre as suas mudanças ao longo do tempo até o final do horizonte. Por exemplo, pode ser razoável admitir a hipótese que, à medida que as rendas das famílias aumentem, em especial as de menor poder aquisitivo, equipamentos com hábitos de uso ainda reprimidos, como condicionadores de ar e máquinas de lavar roupas sejam mais utilizados ao longo dos dias.

Ademais, tenta-se estimar também a intensidade com que os aparelhos são utilizados, que pode variar segundo um espectro. Por exemplo, a temperatura externa dos ambientes influencia na temperatura com que os condicionadores de ar são configurados e isso se relaciona com a intensidade de uso dos seus

compressores. Desta maneira, são criadas séries temporais anuais de hábitos e fatores de uso que estimam o uso médio dos equipamentos nas residências do País.

Sendo assim, cria-se uma matriz idade versus ano de consumos específicos dos equipamentos, semelhante à matriz de estoques, calculada, na idade 0, pelo produto da potência média e dos hábitos e fatores de uso e, nas demais, pela repetição do consumo específico da idade e do ano anteriores. Por exemplo, o consumo específico de um equipamento de idade 0 no ano de 2021 é o mesmo de idade 1 no ano de 2022 e de idade 2 no ano de 2023 e assim prossegue ao longo do horizonte de estudo.

O consumo específico médio de um equipamento para um determinado ano é calculado pela média ponderada de consumo específico e estoque de todas as idades daquele período. Já a demanda de energia elétrica em um determinado ano é calculada pelo somatório do produto dos consumos específicos e dos estoques de todas as idades dentro daquele ano. Essa série temporal de demanda de eletricidade dos eletrodomésticos seria a evolução do consumo considerando os efeitos de políticas de eficiência energética.

Para se calcular os ganhos de eficiência dos equipamentos ao longo do horizonte em estudo, repete-se o procedimento descrito nos parágrafos anteriores, mas desconsiderando os efeitos de eficiência energética após o ano base, quando ela é congelada e a potência média do equipamento não evolui mais, sendo o mesmo valor do ano referência. As demais variáveis são calculadas da mesma forma detalhada nos parágrafos acima, tanto os estoques, quanto os hábitos e fatores de uso, resultando em uma demanda de energia sem os efeitos da eficiência energética após o ano base. Os ganhos anuais de eficiência energética após o ano base, então, são calculados pela diferença anual entre os consumos “sem eficiência energética” e “com eficiência energética”, modelados de maneira separada.

Para se calcular o consumo de energia elétrica nas classes de renda das famílias brasileiras, são utilizadas as informações de posses e hábitos de uso dos equipamentos abertas por classes de renda provenientes da PPH do ano de 2019, a única até o momento que chegou a ter este nível de abertura em seus resultados. A maneira de se calcular a demanda de energia por faixas de renda é a mesma que a explicada nos parágrafos anteriores, a partir dos cálculos dos estoques e dos consumos específicos. Ao final, os aparelhos são agrupados em seus respectivos usos finais e tem-se um panorama da demanda residencial de energia aberta por classes de renda e usos finais.

3.2. Modelagem *top-down* dos outros energéticos

Para as demais fontes de energia (GLP, gás natural, lenha e carvão vegetal), são adotadas abordagens do tipo *top-down*, em que se utilizam métodos estatísticos a partir de dados agregados de Consumo Específico e de Número de Domicílios que utilizam estes energéticos para os seus respectivos usos finais. Determina-se, então, os consumos específicos até o ano base pelas informações de demanda de energia consolidada provenientes do Balanço Energético Nacional (BEN/EPE) e de número de domicílios

consumidores destes energéticos, obtidas do IBGE. Para os dados de projeção, tenta-se estimar o consumo final da fonte de energia a partir de informações estimadas de consumo específico e de número de unidades consumidoras, considerando algumas premissas a partir dos seus dados históricos.

A EPE elabora estimativas do consumo de gás natural residencial para o horizonte de projeções a partir de expectativas coletadas junto às empresas de distribuição de gás natural. O MSR utiliza estas informações como *input*, junto com o consumo específico projetado para estimar o número de unidades consumidoras residenciais deste energético para os seus usos finais de cocção de alimentos e aquecimento de água para banho.

Ademais, considera-se como premissa que a quantidade de domicílios que utilizam GLP são todos aqueles domicílios que possuem fogão e não utilizam exclusivamente outros combustíveis. Isso porque o GLP é uma fonte mais eficiente que as biomassas tradicionais (lenha e carvão vegetal) e não exige infraestrutura adicional para a sua implantação. Por outro lado, é razoável supor que residências que possuem gás natural instalado não utilizem outros combustíveis para cocção de alimentos. No caso específico do consumo da lenha e carvão vegetal usado para cocção de alimentos, pode ser constatado por meio das informações coletadas que o uso predominante se dá em áreas rurais e entre as famílias de mais baixa renda.

Neste contexto, a elevação do número de unidades consumidoras de gás natural, por exemplo, desloca o consumo de GLP. Para as biomassas tradicionais, estima-se que o número de habitações que utilizem somente lenha ou carvão vegetal para cocção de alimentos, seja na área rural ou na urbana, tenda a zero no final do horizonte de projeção, em razão do progresso econômico das famílias que não necessitariam mais utilizar estas fontes pouco eficientes e emissoras de materiais particulados e prejudiciais à saúde.

O consumo específico das famílias que fazem uso concomitante de GLP e biomassas tradicionais para cocção de alimentos, naturalmente, altera-se ao longo do tempo, devido à intensidade de uso de cada combustível de acordo com as condições econômicas das famílias. Por exemplo, estima-se que para esses casos, o consumo de GLP seja maior em períodos de avanços nas rendas das famílias e menor em situações de crises econômicas e sociais, quando é substituído pelas biomassas tradicionais.

As eficiências energéticas das fontes GLP e gás natural nos usos finais de cocção de alimentos e aquecimento de água para banho são exógenas ao modelo, calculadas de modo separado a partir de indicadores que representem a evolução dos ganhos de eficiência média dos equipamentos que utilizem estas fontes, tais como fornos, fogões e aquecedores a gás. Os progressos anuais destes ganhos de eficiências são estimados a partir de dados de modelos destes equipamentos coletados do sítio eletrônico do [INMETRO](#).

4. Considerações finais

Embora já tenham sido realizados avanços metodológicos, reconhece-se que é necessário aperfeiçoar continuamente a modelagem de previsão da demanda residencial de energia, incentivado pela presença de novas fontes de dados e estimulado pelos avanços tecnológicos que facilitam o trabalho com uma quantidade cada vez maior de dados.

Atualmente, o MSR está preparado para estimar a demanda residencial de energia elétrica do País nos seus usos finais por classes de renda. Esta abordagem por faixas de renda foi iniciada pela eletricidade, pois os dados da PPH do ano de 2019 possuem esta abertura para as posses e os hábitos de uso dos equipamentos elétricos. Por mais que seja a fonte de energia mais utilizada nas habitações brasileiras, a energia elétrica tem uma representatividade menor em alguns usos finais, como, por exemplo, a cocção de alimentos. Para aprofundar este estudo para as outras fontes energéticas consumidas nos domicílios brasileiros (GLP, gás natural, lenha e carvão vegetal), um dos caminhos possíveis está na análise dos microdados das pesquisas POF e PNAD do IBGE relacionados aos energéticos. Isso, possivelmente, pode exigir algumas adaptações na forma de análise do MSR, uma vez que os dados de eletricidade abertos por classes de renda provêm do PROCEL/ELETROBRAS e possuem uma abordagem diferente do IBGE. Além disso, no que tange às estimativas de médio e longo prazos, a EPE vem evoluindo em seus estudos no sentido de apresentar cenários de domicílios por classe de renda, de modo a melhor entender as reais necessidades dos diferentes extratos da sociedade para um melhor direcionamento de políticas públicas.

De modo análogo, outro aspecto a se considerar é a possibilidade de expansão do modelo para avaliações regionais da demanda residencial de energia. Esta funcionalidade pode ter grande utilidade, uma vez que as regiões do País possuem características particulares, seja por suas condições climáticas ou por suas características culturais e econômicas, e isso se traduz no uso diferenciado dos equipamentos residenciais e das fontes de energia nos seus diversos usos finais. A modelagem *top-down* do GLP, gás natural, lenha e carvão vegetal já é regional e a PPH do ano de 2019 disponibilizou uma abertura deste tipo para os aparelhos elétricos usados nos domicílios do País. Uma dificuldade ainda existente está associada aos dados de Sistemas de Aquecimento Solar (SAS), que são coletados em âmbito nacional. A partir do momento em que todas as fontes de dados conseguirem fornecer as informações de que o modelo necessita com a abertura regional, será possível realizar esta melhoria no modelo.

Um ponto a se destacar é a necessidade de o MSR possuir um indicador que se proponha a modelar a evolução anual dos ganhos de eficiência energética dos equipamentos com o passar dos anos. Hoje em dia, a EPE não consegue monitorar o *market-share* dos modelos de aparelhos dentro do estoque nacional em cada ano e, por isso, não há como calcular esta informação com precisão. Uma possível maneira de mitigar este problema pode estar relacionada à criação de parcerias com instituições ou associações do

varejo que possam fornecer estes dados para as vendas anuais realizadas, o que permitiria uma melhor estimativa relativa aos estoques de equipamentos nos domicílios brasileiros.

Na sua versão atual, o MSR não considera em sua modelagem os ganhos de eficiência energética associados às envoltórias dos edifícios e aos códigos de construção, que incluem o uso de materiais de construção verdes, as condições de iluminação e a existência de áreas ventiladas e que caracterizam a criação de domicílios mais sustentáveis. Pode ser interessante iniciar a incorporação destes efeitos de forma exógena no modelo a fim de modelar os seus ganhos de energia associados, ainda mais com o avanço das legislações e políticas públicas que envolvem o tema.

É importante considerar a relação entre a demanda de energia e os cenários socioeconômicos, que enfatiza as variáveis Produto Interno Bruto (PIB), População e Domicílios, como as principais influenciadoras do consumo. Em especial nas abordagens *top-down*, pode ser relevante procurar estabelecer correlações entre o consumo de energia e outras variáveis econômicas, tais como renda das famílias e os preços dos energéticos, principalmente nos dados históricos. Para as projeções, é importante que as variáveis correlacionadas sejam projetáveis com segurança frente ao cenário econômico adotado. Também é fundamental aperfeiçoar a forma de incorporar elementos aos estudos sobre as perspectivas de substituições energéticas e de penetração de outros energéticos no mercado residencial de energia brasileiro à medida que ele for evoluindo ao longo do tempo.

Além disso, pode ser relevante tentar compreender as implicações de outros tipos de variáveis na demanda de energia. Por exemplo, considerações a respeito das condições climáticas (temperatura e umidade) podem ser utilizadas para modelar o uso de equipamentos que depende destes fatores, como os condicionadores de ar, os ventiladores de teto e os circuladores de ar.

Ainda é notável considerar a energia elétrica consumida nas residências do País oriunda da geração própria local (Geração Distribuída Local). Esta energia gerada e consumida no próprio domicílio sem passar pela rede dos agentes de distribuição atualmente não está contabilizada no MSR. A EPE vem continuamente estudando os recursos energéticos distribuídos e como eles impactam os seus modelos de planejamento de modo a incluir soluções de armazenamento de energia, mecanismos de gerenciamento de energia pelo lado da demanda, eficiência energética e [geração distribuída](#).

Por fim, pode ser interessante realizar uma migração do modelo para alguma plataforma tecnológica mais moderna que permita a manipulação e o tratamento de dados de forma mais rápida e automatizada, incluindo a geração de múltiplos resultados. É importante que o MSR evolua de acordo com o progresso dos recursos tecnológicos, apesar do Excel ser uma linguagem que permita uma interação e experiência usuário-máquina já consolidadas.

Dada a importância da ferramenta e das limitações existentes, a intenção da EPE é aperfeiçoar continuamente o MSR, contando com o auxílio de pesquisadores e instituições interessados no tema.

Nesse sentido, o e-mail **demanda.energia@epe.gov.br** pode ser utilizado para o envio de novas contribuições ao modelo de planejamento da demanda residencial de energia.

5. Referências Bibliográficas

ABEP. Alterações na aplicação do critério Brasil. 2019. Disponível em: 01_cceb_2019.pdf (abep.org)

ACHÃO, C. C. L. Análise da estrutura de consumo de energia pelo setor residencial brasileiro. 2003. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

BRAGA, J. M. A modelagem da demanda residencial de energia elétrica no Brasil. 2001. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

[EPE]. Balanço Energético Nacional – 2019. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em [Balanço Energético Nacional - BEN \(epe.gov.br\)](#)

[EPE]. Balanço Energético Nacional 50 anos. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/BEN%2050%20anos.pdf>

[EPE]. Nota Técnica EPE DEA 003/2019 – Metodologia: Modelo de Projeção da Demanda de Eletricidade. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em [Microsoft Word - NT Metodologia Novo Modelo de Eletricidade \(MDE\) VPublicação.docx \(epe.gov.br\)](#)

[EPE]. Nota Técnica EPE DEA-SEE 009/2021 – Modelo de Mercado da Micro e Minigeração Distribuída (4MD): Metodologia – Versão PDE 2031. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em [NT Metodologia 4MD PDE 2031.pdf \(epe.gov.br\)](#)

[EPE]. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em [Publicações \(epe.gov.br\)](#)

[IBGE]. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – Síntese de Indicadores 2015. Disponível em: [liv98887.pdf \(ibge.gov.br\)](#)

[INMETRO]. Informações ao consumidor de eficiência energética de equipamentos – Pesquisa realizada em 01 de setembro de 2021. Disponível em: [INMETRO](#)

MATSUDO, E. A reestruturação setorial e os reflexos sobre o planejamento e os estudos de mercado das distribuidoras de energia elétrica. São Paulo, 2001. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.

[PROCEL/ELETRONBRAS]. Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial 2019. Disponível em: [PPH-2019 \(eletrobras.com\)](#)