COPPE UFRJ
Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia

PADRÕES DE CONSUMO DE ENERGIA EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO: UMA ANÁLISE DE DECOMPOSIÇÃO ESTRUTURAL PARA O BRASIL

Mariana Weiss de Abreu

Tese de Doutorado 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 Doutora em Planejamento Energético.

Orientador: Amaro Olimpio Pereira Jr.

Rio de Janeiro
Março de 2020

PADRÕES DE CONSUMO DE ENERGIA EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO: UMA ANÁLISE DE DECOMPOSIÇÃO ESTRUTURAL PARA O BRASIL

Mariana Weiss de Abreu

TESE 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 DOUTORA EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Orientador: Prof. Amaro Olimpio Pereira Jr., D.Sc.

Examinada por: Prof. Amaro Olimpio Pereira Jr., D.Sc.
Prof. Emílio Lèbre La Rovere, D.Sc.
Prof. Claude Adelia Moema Jeanne Cohen, D.Sc.
Prof. José Gustavo Feres, D.Sc.
Prof. Adriana Fiorotti Campos, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
MARÇO DE 2020

Abreu, Mariana Weiss de

Padrões de consumo de energia em países em desenvolvimento: uma análise de decomposição estrutural para o Brasil/ Mariana Weiss de Abreu – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2020.

XI, 133 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Amaro Olimpio Pereira Junior

Tese (Doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2020.

Referências Bibliográficas: p. 120-133.

1. Demanda de Energia. 2. Decomposição Estrutural. 3. Desenvolvimento Sustentável. I. Pereira Jr., Amaro Olímpio II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

Aos meus pais, Alice e Claudio, e à minha família, por todo o apoio na elaboração deste trabalho e durante todos os dias da minha vida.

AGRADECIMENTOS

À UFRJ, pelo ensino público de qualidade, e ao CNPQ e à CAPES, pelo auxílio financeiro, essenciais ao desenvolvimento deste doutorado.

Aos Professor Amaro Olímpio Pereira Jr, a quem sou grata pela orientação precisa e indispensável, além da disponibilidade e paciência, e por todo interesse e conhecimento a mim repassados, ao longo de todas as etapas de minha formação. Aos Professores Harald Winkler, Bruno Merven, Britta Rennkamp e toda equipe do Energy Research Centre da University of Cape Town, por me acolherem ao longo do doutorado sanduíche.

Aos Professores Emílio La Rovere, Claude Cohen, José Feres e Adriana Fiorotti, pela honra de aceitarem o convite para participar da Banca Avaliadora. Ao professor Emílio, não poderia deixar de agradecer também a oportunidade de aprendizagem junto à equipe de pesquisadores do Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente-LIMA, e à Prof. Claude Cohen pelo trabalho que, em parceria, desenvolvemos acerca de padrões de consumo de energia das famílias, desde a Faculdade de Economia da UFF.

Aos Professores do Programa de Planejamento Energético, do Programa de Engenharia de Produção e do Programa de Engenharia de Transportes, pelas aulas memoráveis e pelo conhecimento transmitido. Não poderia deixar de agradecer também a todos os funcionários do PPE e do LIMA, em especial Sandrinha, Paulo, Simone, Queila, Fernando, Carmen e Elza.

Aos parceiros de pesquisa da FGV Energia, em especial Felipe Gonçalves, Luiz Roberto Bezerra, Paulo Cesar Cunha, Acácio Barreto e Carlos Quintella. A Bruno Moreno e Tatiana Bruce agradeço por todo o conhecimento desenvolvido em conjunto.

À Carolina Grottera, por todo seu empenho para publicarmos o nosso artigo na revista Renewable and Sustainable Energy Reviews, e por todas as demais dicas da vida (acadêmica). À Christiane Uchôa, sou grata pela coordenação do trabalho sobre clusterização de classes de renda com base em padrões de consumo. A Cezar Santos e Guilherme Zimmermann, pelo trabalho conjunto para a chamada de Projetos de Pesquisa Aplicada, da FGV, cujo artigo foi publicado na Brazilian Reviews of Econometrics.

Aos meus amigos do curso de doutorado, especialmente Vanderlei, Marcelle, Mariana e Rafael, por estarem do meu lado apoiando meus esforços nos melhores e piores momentos. À Soraya por revisar esse trabalho. Ao Dodô e à Edna pelo zelo e acolhimento. Por fim, um beijo especial para o Felipe, cujo carinho foi combustível essencial para o desenvolvimento desta tese.

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

PADRÕES DE CONSUMO DE ENERGIA EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO: UMA ANÁLISE DE DECOMPOSIÇÃO ESTRUTURAL PARA O BRASIL

Mariana Weiss de Abreu

Março/2020

Orientador: Amaro Olimpio Pereira Jr.

Programa: Planejamento Energético

Muitos estudos relacionam o crescimento da renda com o consumo de energia das famílias, sem considerarem, contudo, a representação dos impactos do desenvolvimento socioeconômico sobre o comportamento do consumo familiar e seus efeitos sobre o setor de energia. Este trabalho propõe, assim, uma metodologia de análise de decomposição estrutural para identificar os principais componentes das variações no consumo de energia, por classes de renda, fontes energéticas e composição da cesta de consumo familiar, em países em desenvolvimento. A aplicabilidade da metodologia foi testada por meio de uma análise empírica, voltada às repercussões do crescimento da renda *per capita* e melhoria na distribuição de renda no Brasil, entre 2002 e 2008. Os resultados da análise evidenciam que o processo de desenvolvimento socioeconômico, no período, provocou mudanças significativas no padrão de consumo de energia das famílias, como aumento da eletrificação e acesso a fontes mais modernas para a cocção, como GLP, e a serviços de transporte público pelas famílias de baixa renda, ou seja, a distribuição do consumo de energia por classe de renda acompanhou a redução da desigualdade de renda. A análise destaca a importância de o planejamento energético em países em desenvolvimento considerar o padrão de consumo das famílias por classe de renda e a opção por modelos com detalhamento tecnológico e feedback macroeconômicos e tecnológicos. Para os quais, recomenda-se a construção de matrizes insumo-produto híbridas, onde são descritas as cestas de consumo e as relações intersetoriais, como base para cálculos de elasticidades referente ao comportamento das famílias.

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

HOUSEHOLD ENERGY CONSUMPTION BEHAVIORS IN DEVELOPING COUNTRIES: A STRUCTURAL DECOMPOSITION ANALYSIS FOR BRAZIL

Mariana Weiss de Abreu

March/2020

Advisor: Amaro Olimpio Pereira Jr.

Department: Energy Planning

Many studies have explored the links between household income growth and energy consumption. the analysis of socioeconomic development impacts on household consumption behavior and its effects on the energy sector has not yet been explored in significant depth for developing countries. This thesis thus proposes an input-output structural decomposition analysis methodology for identifying the main determining factors for variations in energy consumption in developing countries, according to income class, energy source, and household consumption basket composition. To evaluate its applicability, the methodology was used to analyze the repercussions of recent income growth in Brazil from 2002 to 2008. The results of the analysis showed that the distribution of energy consumption by income class accompanied the reduction of income inequality. In addition, the socioeconomic development process caused significant changes in the pattern of household energy consumption, such as increased electrification and access to more modern sources for cooking, such as LPG, and public transport services for low-income families. Analysis also highlighted how important is energy planning in developing countries considers the analysis of household consumption patterns by income class, to develop models with technological details and macroeconomic feedback using their own datasets, to build hybrid input-product matrices to describe consumption baskets, represent intersectoral relations and calculate households behavior elasticities.

SUMÁRIO

1. Introdução 1

2. Desigualdades Socioeconômicas e o uso do Planejamento Energético como instrumento para promoção de Desenvolvimento Sustentável 7

2.1. O Conceito de Desenvolvimento Sustentável 12

2.1.1. Agenda 2030 para o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 7 – Energia Acessível e Limpa (ODS 7) 15

2.1.1.1. Indicadores para monitoramento do ODS 7 18

2.2. Planejamento Energético como instrumento para o alcance do ODS 7 20

2.2.1. O papel de Demanda de Energia das Famílias no Planeamento Energético ... 23

2.2.1.1. Heterogeneidade da Demanda de Energia das Famílias e seu comportamento ao longo de um Processo de Desenvolvimento 27

2.2.1.2. Elasticidades do Consumo de Energia das Famílias 31

2.2.2. Modelos de Projeção de Demanda 34

2.2.2.1. Modelos *Bottom Up* (BU) 36

2.2.2.2. Modelos *Top Down* (TD) 38

2.2.2.3. Modelos Híbridos 44

2.2.2.4. Sugestão de Modelos para Países em Desenvolvimento 50

3. Materiais e Métodos 55

3.1. Metodologia 57

3.1.1. A Metodologia de Análise Insumo-Produto 58

3.1.2. A Relação Metodológica entre as Contas Nacionais e o Modelo Insumo-Produto 62

3.1.2.1. Formalização do processo construtivo de uma Matriz Insumo-Produto através dos dados das Contas Nacionais 64

3.1.3. O Modelo Insumo-Produto em unidades híbridas aplicado à Análise do Consumo Energético 68

3.1.3.1. Formalização de uma Matriz Insumo-Produto Híbrida com Conta Energética em Anexo 72

3.1.3.2. Metodologia de Quantificação do Consumo Indireto de Energia pelos Agregados Familiares 72

3.1.4. Metodologia de Decomposição Estrutural como instrumento para identificação de drivers de demanda e melhoria do planejamento energético 73

3.1.5. Descrição e justificativa da análise empírica 78

3.2. Tratamento de dados para realização da Análise Empírica para o Brasil 81

3.2.1. Bases de Dados 82

3.2.2. Construindo a Matriz insumo-produto Híbrida 83

3.2.3. Desagregação de classes de rendimento 84

3.2.4. Deflatores de preços 87

4. Resultados e Discussão 91

4.1. Resultados da Análise Empírica 91

4.2. Discussão dos Resultados da Análise Empírica 107

5. Conclusões 115

Referências Bibliográficas 121

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplo de Curva de Lorenz e Cálculo de Índice de Gini..... 10
Figura 2. Os Oito Objetivos do Milênio (ODM)..... 13
Figura 3. Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)..... 15
Figura 4. Etapas do desenvolvimento de um Plano Estratégico para o Setor Energético. 21
Figura 5. Participação das despesas de consumo final das famílias no Produto Interno Bruto – PIB – 1970-2017. 26
Figura 6. Representação Esquemática um modelo de Equilíbrio Geral Computável (Modelo IMACLIM S.2.4)..... 39
Figura 7. Representação Esquemática do Modelo TD+BU IMACLIM-BR..... 46
Figura 8. Diagrama do Fluxo Circular de Renda com Intervenção do Governo..... 59
Figura 9. Estrutura da Matriz Insumo-Produto de Leontief. 60
Figura 10. Estrutura modelo das Tabelas de Recursos e Usos das Contas Nacionais... 64
Figura 11. Estrutura de uma Matriz Insumo-Produto Híbrida com Matriz de Energia Requerida Total em anexo..... 71
Figura 12. Demanda de Energia Direta e Indireta por setores de demanda final - Brasil - 2002/2008..... 91
Figura 13. Consumo médio anual de energia doméstica por domicílio, por classe de renda - Brasil - 2002/2008..... 93
Figura 14. Curvas de Lorenz e Índice de Gini para distribuição da renda e do consumo doméstico de energia - Brasil - 2002/2008..... 94
Figura 15. Consumo médio anual de energia domiciliar direta por energético, segundo classe de renda - Brasil - 2002/2008..... 95
Figura 16. Decomposição estrutural da variação do consumo de energia direta por decil de Classe de Renda e energéticos - Brasil - 2002/2008..... 96
Figura 17. Consumo Médio Anual de Energia Indireta Familiar por Energético, segundo Classe de Renda - Brasil - 2002/2008..... 98
Figura 18. Origem do Consumo de Energia Indireta por categorias de Bens e Serviços e por Classe de Renda - Brasil - 2002/2008..... 98
Figura 19. Decomposição estrutural da variação do consumo de energia indireta por classe de renda - Brasil - 2002/2008..... 100

Figura 20. Decomposição estrutural da variação do consumo de energia indireta por decil e energético por classe de renda - Brasil - 2002/2008. 101
Figura 21. Evolução da taxa de crescimento dos preços de derivados de petróleo, da tarifa média de Energia Elétrica e do Índice de Preço ao Consumidor Amplo – IPCA. 103
Figura 22. Efeito Cesta Detalhada por classes de renda, energéticos e produtos - Brasil - 2002/2008. 106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Demanda Energética diária per capita durante diversos períodos da evolução humana (em 1.000 kcal). 16
Tabela 2. Indicadores Energéticos para Desenvolvimento Sustentável da IAEA, UNECA, IEA, Eurostat e EEA. 20
Tabela 3. População sem Acesso a Fontes de Energia Modernas em 2014 (milhões de pessoas). 30
Tabela 4. Comparação dos Modelos de Projeção de Demanda. 51
Tabela 5. Classes de Rendimento 87
Tabela 6. Deflatores Implícitos do PIB por Setores Produtivos e Respectivos Produtos (2008/2002) – continua. 88
Tabela 7. Demanda de Energia Direta e Indireta por setores de demanda final em milhares de tep - Brasil - 2002/2008. 92
Tabela 8. Proporção da Renda Gasta com Consumo de Energia – Brasil – 2002/2008. 108
Tabela 9. Elasticidades-Renda Estimadas para o Consumo Direto de Fontes de Energia por Classes de Renda através de Matrizes Insumo-Produto Híbridas. 112
Tabela 10. Elasticidades-Renda do Consumo Indireto Estimadas para Fontes de Energia e Classes de Renda Estimadas pelo Método SDA. 113

1. Introdução

Em setembro de 2015, representantes dos 193 Estados-membros da ONU reconheceram que a erradicação da pobreza, em suas formas e dimensões mais variáveis, seria o maior desafio global, bem como um requisito indispensável para o alcance do desenvolvimento sustentável. Para isso, foi constituído o acordo "Transformando o Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável", onde os participantes se comprometeram a tomar as medidas necessárias para superar esse desafio e promover o desenvolvimento sustentável para todos e todas nos próximos quinze anos.

A Agenda 2030 traz um plano de ação com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, os ODS, e 169 metas, para erradicar a pobreza e promover vida digna aos cidadãos, dentro dos limites do planeta. Trata-se de objetivos e metas claras, para que os países adotem a trajetória de desenvolvimento sustentável coerente com as suas prioridades e atuem em parceria com os demais países para trazer mais qualidade de vida para a sociedade.

A energia é essencial para a maioria das atividades humanas e, segundo os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS das Nações Unidas (UN, 2019), o desenvolvimento sustentável não pode ser alcançado sem serviços energéticos acessíveis, viáveis e modernos. Não por acaso, o 7º ODS determina ser preciso assegurar-lhes o acesso universal, confiável, sustentável, moderno e a preço acessível para todas e todos.

No entanto, tal caminho de desenvolvimento sustentável requer um planejamento energético eficaz, a fim de garantir o abastecimento de energia com os menores custos econômicos, sociais e ambientais possíveis (STECKEL *et al*., 2013). A oferta de energia é planejada para atender às demandas esperadas. De tal forma que, a projeção de demanda de energia se mostre como um dos componentes mais críticos do planejamento energético e, como consequência, também o de maior potencial de aprimoramento (BHATTACHARYYA, 2011).

Para os países em desenvolvimento, estudos focados em analisar minuciosamente as demandas de energia e melhorar seus métodos de previsão são ainda mais estimulados. Dadas as restrições financeiras desses países, um mau planejamento pode acarretar custos adicionais que ultrapassam suas restrições de recursos financeiros. Além disso, uma trajetória de desenvolvimento, por mais que sustentável, engloba crescimento econômico, aumento de renda *per capita*, erradicação da pobreza, melhoria na distribuição de renda, ganhos de qualidade de vida e, portanto, dificilmente pode estar dissociada de alterações

nos padrões de consumo, estilo de vida e demanda de energia (LENZEN *et al*., 2013). Porém, como representar nos modelos de projeção de demanda as mudanças do padrão de consumo de energia ao longo de uma trajetória de desenvolvimento?

A maioria dos métodos de projeção de demanda de energia foi elaborada por e para países desenvolvidos e, por causa disso, não são consideradas questões-chave para as análises dos países em desenvolvimento, tais como eletrificação, economia informal, fraco desempenho do setor energético, biocombustíveis tradicionais, mudanças estruturais e divisões entre pobres e ricos, urbanos e rurais (BHATTACHARYYA & TIMILSINA, 2010; URBAN *et al*., 2007). Segundo URBAN *et al*. (2007), muitos desses modelos assumem que as demandas energéticas dos países em desenvolvimento simplesmente seguirão as dos países industrializados com algum atraso. No entanto, deixam de considerar que, devido à possibilidade de processos de salto e de aprendizagem, a trajetória de um país em desenvolvimento possa ser mais rápida (BHATTACHARYYA & TIMILSINA, 2010) ou simplesmente distinta, por conta das diferenças estruturais e culturais.

Adicionalmente, como a pobreza e a extrema pobreza não são uma questão sistêmica latente na maioria dos países desenvolvidos, a desigualdade na demanda de energia entre parcelas da população acaba não sendo o foco em modelos de planejamento energético. Isso se deve ao fato de a demanda de energia de famílias de diferentes classes de renda não apresentar diferenças tão significativas, em termos de montante e composição, em países desenvolvidos. Porém, em países em desenvolvimento, a distribuição da demanda de energia reflete de forma clara as disparidades de renda.

Como exemplo, em seu estudo comparativo sobre França e Brasil, GROTTERA *et al*. (2018) mostram como o consumo de energia elétrica no país desenvolvido se mostra mais uniformemente distribuído entre as classes de renda do que no país em desenvolvimento, num reflexo indireto das condições de distribuição de renda próprias de cada um. O mesmo estudo demonstra também que, apesar da visível diferença entre França e Brasil quanto ao que tangia ao padrão de consumo nas classes de renda baixa ou média, os 20% da população mais rica apresentavam aproximadamente o mesmo montante de consumo de energia elétrica em ambos os países. Tal fato ressalta a existência de uma baixa demanda por eletricidade nas classes de renda mais baixa, principalmente em decorrência da carência de poder aquisitivo.

Dessa forma, a tendência aponta para o seguinte dado: países com significativas disparidades de renda durante um processo de desenvolvimento socioeconômico

sustentável apresentam não só aumento da renda *per capita* e melhoria na distribuição de renda, mas também avanço em direção à uniformização dos padrões de consumo de energia entre diferentes classes de renda. Como a energia se caracteriza como um bem básico, o aumento de poder aquisitivo pelas classes de renda mais baixas, ao ser revertido em ganhos de bem-estar, gera efeitos imediatos sobre a sua demanda de energia, seja sobre o consumo direto de energia das famílias, seja sobre a demanda de energia embutida em bens e serviços consumidos por essas famílias (consumo indireto).

Em termos de demanda de energia direta, tais mudanças ocorrem com relação ao aumento do consumo de uma dada fonte energética (ex. eletricidade) ou à substituição por fontes mais modernas e eficientes (ex. substituição de lenha por gás liquefeito de petróleo – GLP). No entanto, as mudanças nos padrões de consumo e estilos de vida das famílias afetarão a procura direta de serviços energéticos por parte dos agregados familiares, bem como a procura de energia dos setores de produção que se esforçam por responder às novas exigências nacionais por bens e serviços. Nesse caso, à medida que aumenta renda, as famílias tendem a exigir mais bens e serviços ou mesmo a substituir o consumo de bens e serviços considerados inferiores por outros, de maior qualidade ou com função de distinção social (bens de luxo).

O crescimento da renda e a mobilidade social que beneficiaram as famílias brasileiras durante a primeira década do segundo milênio são exemplos a serem tomados quando da análise do comportamento das famílias em meio a uma trajetória de desenvolvimento. Entre 2003 e 2009, a renda *per capita* dos brasileiros cresceu 4,71% a.a., ao passo que o PIB *per capita*, no mesmo período, evoluiu em média apenas 2,88% a.a. (em termos reais), de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Tal crescimento da renda se deu tanto pelo aumento real do salário mínimo e pela maior oferta de empregos formais, quanto por programas sociais de transferência de renda para famílias de baixa renda, como o Programa Bolsa Família (PBF) (NERI, 2011). O PBF foi um dos principais fatores para que o Brasil cumprisse, com dez anos de antecedência, o primeiro Objetivo de Desenvolvimento do Milênio (ODM) de redução da extrema pobreza pela metade, contribuindo também para que o país saísse do Mapa da Fome, conforme anunciado no fim de 2014 pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO) (MDS, 2015).

Esse crescimento dos rendimentos levou a alterações nos estilos de vida e traduziu-se num maior consumo de energia. Durante aquele período, a maioria das famílias brasileiras – incluindo aquelas de classes de baixa renda – conseguiu acessar uma gama

mais ampla de produtos e serviços, dentre os quais aqueles que, segundo o IBGE (2019a, 2019b), se caracterizam por maiores variações de consumo em termos monetários e, portanto, por afetarem de forma significativa, direta ou indiretamente, o consumo de energia das famílias. Como exemplo estão os relacionados ao transporte (veículos e etanol) e eletrodomésticos. Além disso, o Programa Luz para Todos (LpT), implementado em 2003, possibilitou importantes avanços na universalização do acesso e uso de energia elétrica no Brasil, em especial para população de baixa renda, uma vez que realizou investimentos para a extensão da rede de energia elétrica em áreas rurais remotas de baixa densidade populacional.

COHEN *et al*. (2005) defendem que o planejamento energético deve incorporar uma análise mais detalhada das cestas de consumo doméstico, considerando que a energia incorporada nos bens e serviços consumidos tende a ultrapassar a energia destinada para o seu consumo de energia para atender a demanda por serviços energéticos. Em termos históricos, as famílias são o setor de demanda final que responde pela maior parte do Produto Interno Bruto - PIB na maioria dos países[1], principalmente quando de renda média-baixa ou baixa (WBG, 2019). Assim, a análise das demandas domésticas diretas e indiretas de energia permite uma identificação mais fácil dos determinantes das mudanças nas demandas internas de energia e pode, consequentemente, orientar as políticas energéticas setoriais.

Portanto, o presente estudo visa a analisar as mudanças no comportamento do consumo de energia das famílias, mediante trajetórias de desenvolvimento sustentável contendo crescimento da renda *per capita* e melhoria em sua distribuição. Para tal, foi proposta uma metodologia de decomposição estrutural com o fim de investigar os determinantes do comportamento do consumo de energia direta e indireta das famílias, por fonte de energia e em diferentes classes de renda, uma vez que a discrepância entre pobres e ricos tende a ser mais eminente em países em desenvolvimento.

A metodologia de decomposição estrutural, proposta neste trabalho, busca identificar os determinantes de alterções no padrão de consumo de energia das famílias ao longo de um processo de desenvolvimento. Desta forma, a metodologia decompõe a variação do consumo de energia direto nos efeitos (i) crescimento populacional; e (ii)

[1] De acordo com WBG (2019), em 2017, os países em que as famílias representaram menos do que 50% do produto interno bruto - PIB foram Emirados Árabes, Bahrain, Brunei, Congo, República Tcheca, Dinamarca, Argélia, Irlanda, Irã, Kuwait, Luxemburgo, Macau, Malta, Holanda, Noruega, Omã, Qatar, Arábia Saudita, Singapura, Suécia, Tailândia e Timor Leste. Isso pode ser explicado pelo grande valor adicionado concernente às exportações desses países.

consumo de energia *per capita*; e a variação do consumo de energia indireta no (iii) efeito intensidade energética da economia representado em (tep/R$); no (iv) efeito estrutura econômica, que demonstra a composição dos setores produtivos da economia; no (v) efeito cesta de consumo familiar, que foi adicionado para melhor representar a composição do padrão de consumo das famílias de diferentes classes de renda; por fim no (vi) efeito atividade econômica representado pelo total das despesas familiares.

Para avaliar sua aplicabilidade, a metodologia foi aplicada a uma análise empírica cujo cerne foi a experiência brasileira de desenvolvimento socioeconômico entre 2002 e 2008. A partir daí, foram observados os fatores impulsionadores da evolução nos padrões de consumo de energia ao longo desse período. Além de ter sido sugerida por PEROBELLI *et al*. (2015) e WEISS DE ABREU (2015), a análise empírica visa a servir de base para propostas de adaptações no planejamento energético, no sentido de permitir a realização da sua agenda para o desenvolvimento sustentável.

Além deste capítulo introdutório, a tese se encontra estruturada em quatro capítulos.

No capítulo 2, inicialmente será exposto como a desigualdade na distribuição de renda e outras questões sociais e ambientais passaram a ser indicativos nas análises de desenvolvimento econômico até a definição dos objetivos de desenvolvimento sustentável da Agenda 2030. Posteriormente, será abordado como o planejamento energético é uma ferramenta essencial para o alcance dos objetivos, principalmente no que tange ao setor energético e à forma como os modelos de projeção de demanda tornaram-se o seu ponto mais crítico e precisam ser aprimorados.

No capítulo 3, é apresentada a metodologia e os materiais utilizados neste estudo. Essa parte do texto contará com uma introdução aos modelos insumo-produto, às matrizes insumo-produto híbridas, ao padrão adotado para estimar o consumo de energia indireta das residências. Adicionalmente, conta com a proposta da metodologia de análise de decomposição estrutural, focada na identificação dos determinantes das mudanças no padrão de consumo energético das famílias, frente ao desenvolvimento socioeconômico, bem como a exposição e a justificativa da análise empírica utilizada para validar a sua aplicabilidade. Em seguida, são descritas as bases de dados utilizadas n estudo e o tratamento necessário imprimido a eles para a realização da análise empírica.

No capítulo 4, são expostos os resultados da análise empírica em que a metodologia de decomposição estrutural é aplicada para analisar os fatores determinantes da evolução do padrão de consumo de energia das famílias brasileiras desagregadas por classes de renda ao longo do processo de desenvolvimento econômico vivenciado no Brasil entre

2002 e 2008. Ainda neste capítulo há uma seção dedicada à discussão dos resultados e proposição de recomendações para o planejamento energético em países em desenvolvimento com foco na sustentabilidade.

Por fim, o capítulo 5 será dedicado às conclusões desse trabalho e à sugestão de possíveis trabalhos futuros.

2. Desigualdades Socioeconômicas e o uso do Planejamento Energético como instrumento para promoção de Desenvolvimento Sustentável

Com o fim da Segunda Guerra Mundial, o tema do desenvolvimento socioeconômico passou a ganhar relevância no cenário internacional. As sequelas deixadas pelo colonialismo em termos de desenvolvimento e industrialização foram evidenciadas e colaboraram para os movimentos de libertação ganhassem força no mundo em meio à Guerra Fria. Em um curto período de 20 anos , inúmeras colônias na Ásia e África se tornaram Estados independentes (JACKSON & SØRENSEN, 2007).

Ao mesmo tempo, em 1945, era criada a Organização das Nações Unidas – ONU, com o objetivo de reestabelecerem-se as relações de paz e cooperação entre os países. Inicialmente contando com apenas 50 países no ano de sua criação, a ONU, em 1970, passou a contar com 160 países-membros, sendo que grande parte dos então novos Estados-membros teriam conquistado sua independência em menos de 20 anos (JACKSON & SØRENSEN, 2007).

Se, antes, as cooperações para o estímulo ao desenvolvimento se davam através de acordos bilaterais entre países, por meio da ONU essas discussões passaram a ter um caráter multilateral. A presença de países não desenvolvidos entre os Estados-membros, em pé de igualdade com os industrializados, trouxe à tona – porém em caráter institucional – a discussão acerca de como aumentar a qualidade de vida da população mundial e diminuir a disparidade de poder entre países industrializados e países em desenvolvimento, principalmente nas relações econômicas.

Objetivando a representatividade de todos os seus membros e o entendimento das questões regionais ao longo da história, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas criou cinco frentes para tratar do assunto: Comissão Econômica para Europa (*Economic Commission for Europe* – UNECE), estabelecida em 1947; Comissão Econômica para Ásia e Extremo Oriente (*Economic Commission for Asia and Far East – ECAFE)*[2], em 1947; Comissão Econômica para América Latina – CEPAL (*Economic Commission for Latin America and the Caribbean – ECLAC*), em 1948; Comissão Econômica para a África (*Economic Commission for Africa – UNECA*), em 1958; e, por fim, *a* Comissão Econômica e Social para a Ásia Ocidental (*Economic and Social Commission for Western Asia* – ESCWA), em 1973.

[2] Renomeada para a Comissão Econômica e Social para a Ásia e o Pacífico (*Economic and Social Commission for Asia and the Pacific* - ESCAP), em 1974.

Nesse período, outro marco importante foi a Conferência de Bandung, em 1955, onde, pela primeira vez, participaram apenas Estados asiáticos e africanos. Tendo por foco a promoção da cooperação econômica e cultural afro-asiática, os países defendiam a possibilidade de "não alinhamento" às posições defendidas por parte dos Estados Unidos e da União Soviética, como forma de oposição ao colonialismo ou ao "neocolonialismo" operados por ambas as Potências.

Nos países não desenvolvidos da América Latina, as discussões acerca de trajetórias de crescimento socioeconômico seguiam abordagem semelhante, com foco nas desigualdades entre os países do Norte e os do Sul. A CEPAL inicialmente foi formada por um grupo seleto de economistas – em sua maioria da vertente estruturalista do pensamento econômico –, os quais defendiam o condicionamento do nível de desenvolvimento ao nível de inserção no comércio internacional. Defensores da Teoria da Dependência, os cepalinos interpretavam que as desigualdades entre países levariam à deterioração dos termos de troca dos países subdesenvolvidos e à sua dependência em relação aos países industrializados. Em outras palavras, isso significa que os países periféricos produziriam e exportariam matéria-prima de baixo valor agregado, ao passo que importariam dos países industrializados mercadorias com alto valor agregado, levando-os a permanecer no subdesenvolvimento (BIELCHOWSKY, 2000; PREBISH, 1952; FURTADO, 1961).

Para FURTADO (1961), os países subdesenvolvidos, para superarem a dependência econômica decorrente da industrialização tardia, deveriam passar pelos seguintes processos: substituição de importações; industrialização rápida; ampliação e diversificação da demanda interna. Para isso, os investimentos governamentais, indispensáveis, exercem uma demanda autônoma capaz de compensar a redução do impulso gerado pela substituição de produtos importados e das ditas reformas estruturais de base; eles incluiriam ampla reforma agrária e mecanismos para redução da desigualdade na distribuição de renda (EARP & PRADO, 2009; BIELCHOWSKY, 2000; TAVARES & SERRA, 1970).

Desta forma, foram os economistas estruturalistas da Comissão Econômica para a América Latina (CEPAL) um dos primeiros a defender que análises com foco em desenvolvimento socioeconômico deveriam ir além da pura contabilidade de taxas de crescimento econômico e abranger períodos mais longos, de modo a capturar mudanças ocorridas na estrutura econômica e social. Em outras palavras, para haver desenvolvimento socioeconômico segundo os estruturalistas, não bastava somente haver

crescimento econômico; é preciso haver transformações estruturais na economia com foco principalmente na redução de desigualdade na distribuição de renda pela população.

Deste modo, apesar de representar os ganhos de produtividade e ser muito utilizada, a renda per capita em termos reais e/ou de PPP (purchasing power parity) pode não ser o melhor indicador para avaliar uma trajetória de desenvolvimento socioeconômico, principalmente se tratando de países com grande desigualdade na distribuição de renda, como foi o caso do Brasil no milagre econômico (SINGER, 1972) e/ou dos países produtores de petróleo com risco de doença holandesa, ou seja, locais onde os frutos do progresso técnico tendem a ficar acumulado e a não ser estendidos aos demais setores da economia se não implementadas políticas econômicas adequadas (EARP & PRADO, 2009; BIELCHOWSKY, 2000).

Como defende PIKETTY (2014), além da evolução da *renda per capita*, o monitoramento da desigualdade na acumulação de renda e capital é também primordial, dado que altos níveis de desigualdade podem ser nocivos ao desenvolvimento socioeconômico de um país. Uma forma de medir a desigualdade na distribuição de renda é através do índice de Gini desenvolvido ainda em 1912. O índice de Gini varia entre 0 e 1, onde o zero corresponde a uma completa igualdade na renda (todos detêm a mesma renda *per capita*), enquanto o 1 corresponde a uma completa desigualdade entre as rendas (um indivíduo, ou uma pequena parcela de uma população, detém toda a renda e os demais nada têm). Logo, quanto menor o índice de Gini, mais igualitária a distribuição de renda entre as parcelas da população. PIKETTY (2014) sugere que uma desigualdade suave na distribuição de renda seria equivalente a um índice de Gini de 0,26, uma desigualdade média a 0,36, uma desigualdade acentuada a 0,49 e um desigualdade muito acentuada a índices de Gini iguais a superiores a 0,58.

A **Figura 1** traz um exemplo de curva de Lorenz – utilizada para calcular o índice de Gini. Na linha horizontal, são representadas as parcelas porcentuais da população; na linha vertical, as parcelas porcentuais da renda do país a ser analisado. A linha diagonal azul escura reflete a distribuição de renda mais igualitária possível entre as diferentes parcelas da população (índice de Gini igual a 0), fazendo com que, por exemplo, 50% da população tenham acesso a exatamente 50% da renda total. A linha curva amarela, no entanto, traduz a desigualdade na distribuição de renda, fazendo com que, por exemplo, 50% da população mais pobre detenham uma parcela significativamente menor do que 50% da renda. O índice de Gini, por sua vez, é calculado através da razão entre a área ***a*** (área amarela entre a diagonal do quadrado e a curva de Lorenz) e o somatório das áreas

a e ***b*** (soma da área amarela com a área verde, resultando na área total do triângulo abaixo da diagonal azul escuro do quadrado).

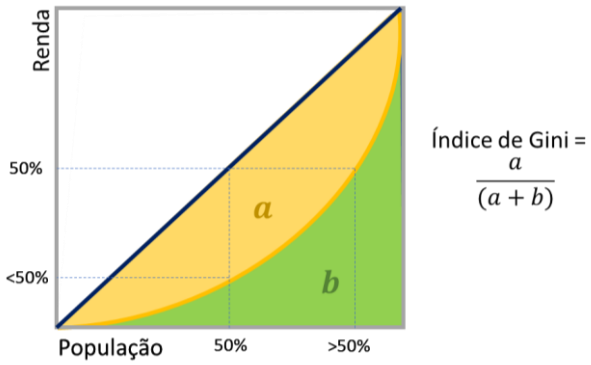

Figura 1. Exemplo de Curva de Lorenz e Cálculo de Índice de Gini.

Fonte: Elaboração Própria.

Porém, o crescimento da renda per capita em termos reais ou de PPP acompanhado da queda na desigualdade de renda seriam suficientes para caracterizar um processo de desenvolvimento socioeconômico? Os economistas Amartya Sen e Mahbub ul Haq acreditavam que não. Então, eles propuseram o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), em 1990, através do Relatório de Desenvolvimento Humano do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD).

HAQ (1995) buscava transferir o foco da mensuração do desenvolvimento socioeconômico historicamente baseado em quesitos econômicos, principalmente no nível de renda nacional, para uma abordagem baseada em índices de desenvolvimento humano que extrapolavam a análise de renda, considerando a parcela da população sob condição de pobreza ou extrema pobreza, igualdade entre gêneros, liberdade política.

SEN (1999a, 1999b, 2006), por sua vez, defendia que desenvolvimento socioeconômico está atrelado ao conceito de liberdade (positiva), em termos de representatividade política, condições econômicas para cobrir seus gastos com alimentação, necessidades básicas e demais demandas que acarretem bem-estar, oportunidades sociais de acesso a serviços de saúde e educação de qualidade, transparência e confiança nas relações interpessoais e seguridade/previdência social. Para SEN (1998a, 1999b), o desenvolvimento socioeconômico somente pode ser alcançado por meio da expansão das capacidades humanas, principalmente do acesso a alimentos, saúde e educação, de modo que toda a população seja apta a competir por oportunidades

de mobilidade socioeconômica e livre (positivamente) para decidir se deseja buscar ou aceitar tais oportunidades.

Dessa forma, o IDH foi concebido no ímpeto de classificar os países através de um único índice que sintetizasse informações de indicadores de longevidade (ex. expectativa de vida ao nascer[3]), acesso à educação (ex. média de anos de estudo e/ou anos esperados de estudo[4]) e renda ou padrão de vida (PIB *per capita* em dólares por PPP) (PNUD, 1990, 2010, 2019). A metodologia de cálculo vigente do IDH se baseia na média geométrica dos três indicadores citados anteriormente.

Desde 1993, todos os anos, os países-membros da ONU são classificados de acordo com o IDH, que pode ser aplicado também para classificar estados, cidades e aldeias quanto ao seu índice de desenvolvimento humano. O IDH varia de 0 a 1, e o PNUD (2019) classifica assim os países: desenvolvidos, caso apresentem IDH entre 0,8 e 1,0 (índice bastante alto); em desenvolvimento, com IDH entre 0,55 e 0,8 (desenvolvimento humano médio e alto); e subdesenvolvidos, com IDH abaixo de 0,55 (índice baixo).

Além disso, buscando aprimoramentos em sua análise, o PNUD divulga conjuntamente o IDH ajustado à desigualdade (*Inequality-adjusted Human Development Index*), de forma a captar os impactos negativos para o desenvolvimento referente à existência de desigualdade entre classes de renda – uma tentativa de consideração do índice de Gini. Além disso, são divulgados também os índices de desenvolvimento por gênero e o índice de desigualdade entre homens e mulheres (*Gender Development Index* e *Gender Inequality Index*); o Índice de Pobreza Multidimensional em termos de acesso a saúde, educação e padrão de vida (*Multidimensional Poverty Index*) para pessoas vivendo abaixo da linha de pobreza de US$ 1,90 por dia, além das tendências e eventuais desdobramentos do processo de desenvolvimento.

O IDH, no entanto, recebe críticas for não considerar fatores-chave para o desenvolvimento humano como liberdade política e de expressão, qualidade das relações sociais, condições de trabalho e lazer, segurança política e econômica. Um exemplo de ineficiência do IDH como índice de desenvolvimento seria o aparecimento da Arábia Saudita, em 2018, em 36º lugar no ranking de países desenvolvidos, acima inclusive de

[3] Esse indicador mostra a quantidade de anos que uma pessoa nascida em uma localidade, em um ano de referência, deve viver. Reflete as condições de saúde e de salubridade no local, já que o cálculo da expectativa de vida é fortemente influenciado pelo número de mortes precoces.

[4] Até 2009, eram consideradas como índice de educação a taxa de alfabetização de pessoas com quinze anos ou mais de idade e a taxa de escolarização, que nada mais é que o somatório das pessoas, independentemente da idade, matriculadas em algum curso, seja ele fundamental, médio ou superior, dividido pelo total de pessoas entre 7 e 22 anos da localidade.

Portugal (PNUD, 2019). Além disso, o índice recebe inúmeras críticas também por não contemplar nenhum viés sobre a sustentabilidade ambiental.

2.1. O Conceito de Desenvolvimento Sustentável

A partir dos anos 1970, com a intensificação da preocupação mundial com as questões ambientais, passou-se a questionar se os processos produtivos e os padrões de consumo vigentes não poderiam causar danos irreversíveis ao meio ambiente tanto no presente, como para gerações futuras.

O termo desenvolvimento sustentável surgiu, pela primeira vez, em 1987, no Relatório "*Our Common Future*" (ou Relatório Brundtland), elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da Assembleia das Nações Unidas, objetivando discutir e propor meios de harmonizar o conceito de desenvolvimento socioeconômico e o conceito de conservação ambiental. Nesse documento, foi elaborada a definição de desenvolvimento sustentável como aquele processo em que não há esgotamento de recursos para o futuro, ou seja, em que a geração atual é capaz de suprir as suas necessidades sem comprometer a capacidade das gerações futuras em atender às suas respectivas necessidades.

Dentre seus maiores defensores, SACHS (2009) define que um processo de desenvolvimento economicamente sustentado, socialmente inclusivo, ambientalmente sustentável é o único meio de se garantir qualidade de vida a todos no longo prazo. Desse modo, o desenvolvimento sustentável se mostra como uma posição de equilíbrio entre os três pilares da sustentabilidade: econômico, social e ambiental.

Na década de 1990, foram iniciadas as discussões acerca de como implementar o conceito de desenvolvimento sustentável na economia. Ao longo da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, de 1992, também conhecida como Rio 92, cem países assinaram a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente, concordando com a promoção do desenvolvimento sustentável humano e com a proteção do meio ambiente como partes fundamentais desse processo. Também mereceu aprovação a Agenda 21 – primeira carta de intenções, visando a promover um novo padrão de desenvolvimento global para o século XXI (UN, 2019).

Adicionalmente, em 2000, após as diversas conferências multilaterais com especialistas em desenvolvimento humano promovidas pelas Nações Unidas ao longo dos

anos 1990, os países-membros assinaram a Declaração do Milênio se comprometendo a buscarem alcançar os oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) nos próximos 15 anos. Foi a primeira vez que objetivos foram definidos no nível internacional para orientar políticas e ações de governo nos níveis internacional, nacional e local.

Os ODMs tinham como foco principal o desenvolvimento humano, a começar pelo combate à extrema pobreza, encarada como o desafio social com maior urgência e prioridade de ser solucionado o quanto antes no próximo século que se iniciava (UN, 2019). Como mostra a **Figura 2**, os oito objetivos do milênio incluíam: (i) erradicação da extrema pobreza e da fome; (ii) acesso universal ao ensino básico; (iii) promoção da igualdade de gênero e da autonomia das mulheres; (iv) redução da mortalidade infantil; (v) melhor saúde materna; (vi) combate ao HIV/AIDS, malária e outras doenças; (vii) garantia de sustentabilidade ambiental; (viii) estabelecimento de uma parceria mundial para o desenvolvimento.

Figura 2. Os Oito Objetivos do Milênio (ODM).

Fonte: UN (2019).

Em 2010, os avanços com relação aos ODM foram avaliados pela Cúpula das Nações Unidas sobre os Objetivos do Milênio, que concluiu pela necessidade de aceleração da implementação dos ODM para atingir resultados satisfatórios em 2015, bem como por dar início às recomendações para o período após 2015. Dessa forma, foi iniciado um Grupo de Trabalho Aberto com diversos *stakeholders* das Nações Unidas, comunidade acadêmica e sociedade civil, num movimento em prol da nova agenda de desenvolvimento.

Essa discussão foi ainda mais estimulada pela realização da Rio+20, em 2012. Além de avaliar o progresso obtido até então em relação à Agenda 21 e de renovar o compromisso global com o desenvolvimento sustentável, a Rio+20 teve uma série de discussões acerca de economia verde, erradicação da pobreza e papel das instituições para o desenvolvimento sustentável. A Declaração Final da Conferência Rio+20, o documento "O Futuro que Queremos", trouxe como novidade as formulações de metas para o lançamento de um plano de ação global, abrangente e transparente, para o desenvolvimento sustentável, integrando crescimento econômico, justiça social e sustentabilidade ambiental.

Como frutos, em 2015, nasceram os então vigentes 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e suas 169 metas para serem alcançadas por governos, sociedade civil, setor privado e todos cidadãos, até 2030. Os objetivos e metas foram compilados no documento "Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável", o qual foi aprovado pela Assembleia Geral da ONU, de modo a servir de plano de ação para um caminho mais sustentável e resiliente até 2030, com dicas sobre meios de implementação e parcerias globais, bem como um roteiro para acompanhamento e revisão.

Apesar das similaridades com os itens do ODM quanto à preocupação com desenvolvimento humano e social, os ODS apresentam maior definição quanto às questões relacionadas ao meio ambiente, aos recursos naturais e à economia, fazendo jus ao conceito de desenvolvimento sustentável. Como mostra a **Figura 3**, os ODS incluem: (i) erradicação da pobreza; (ii) fome zero e agricultura sustentável; (iii) saúde e bem-estar; (iv) educação de qualidade; (v) igualdade de gênero; (vi) água potável e saneamento; (vii) energia acessível e limpa; (viii) trabalho decente e crescimento econômico; (ix) indústria, inovação e infraestrutura; (x) redução das desigualdades; (xi) cidades e comunidades sustentáveis; (xii) consumo e produção responsáveis; (xiii) ação contra a mudança global do clima; (xiv) vida na água; (xv) vida terrestre; (xvi) paz, justiça e instituições eficazes; (xvii) parcerias e meios de implementação.

Figura 3. Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Fonte: UN (2019).

Desde os Objetivos do Milênio passando pela Rio+20 até a Agenda 2030 e os ODS, vêm sendo definidos padrões de desenvolvimento sustentáveis, de forma a engajar os países na construção do futuro a que a humanidade almeja. Na sessão adiante, será descrita a agenda para o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 7 – Energia Acessível e Limpa (ODS 7), relacionado com o tema abordado neste trabalho.

2.1.1. Agenda 2030 para o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 7 – Energia Acessível e Limpa (ODS 7)

O desenvolvimento da humanidade está profundamente ligado ao domínio de diversas fontes de energia e à capacidade de transformá-las para usufruir de seus serviços energéticos para gerar bem-estar para a sociedade(OLADE, 2017). Nos primórdios da história, apenas os fluxos naturais de energia (sol, vento e água) eram utilizados e sem qualquer transformação – mesmo processo pelo qual os alimentos eram coletados e consumidos in natura. Com a descoberta do fogo, o homem passou a controlar quando gostaria de ter acesso à energia, ao cozinhar alimentos, aquecer-se durante períodos frios, enxergar e desempenhar atividades à noite, amedrontar animais que poderiam colocar sua vida em risco, além de ter a possibilidade de criar estoques de fontes de energia (ex. lenha) para utilização no futuro. A partir daí, houve uma série de avanços tecnológicos em termos de transformação das fontes de energia para prestação de serviços energéticos e a criação de novas atividades sociais e econômicas, como agricultura, comércio, transporte e artesanato (OLADE, 2017).

OLADE (2017) e JANARDHANAN *et al*. (2017) trazem algumas estimativas da evolução do consumo de energia ao longo da história humana, realizadas por Earl Cook[5]. Nos primórdios da pré-história, estima-se que o antepassado do homem primitivo consumia em média 2.000 kcal por dia (incluindo a energia embutida dos alimentos). Após a descoberta do fogo, já no período paleolítico da Idade da Pedra, é aferido que consumo de energia de um hominídeo tenha mais do que duplicado (5.000 kcal/dia/pessoa) e, inclusive, multiplicado aproximadamente por 6 após o desenvolvimento da agricultura de subsistência (12.000 kcal/dia/pessoa), no início da Idade dos Metais. Na Era das Navegações, no final da Idade Média e início da Moderna, houve a consolidação das práticas agrícolas e a implantação do sistema comercial de longas distâncias, acarretando no aumento do consumo de energia humano para 27.000 kcal/dia/pessoa, sendo 7.000 kcal para alimentação, 12.000 kcal para outras necessidades básicas, 7.000 kcal para plantio de alimentos e 1.000 kcal para transporte.

Na Era Contemporânea, estima-se que a revolução industrial e a criação de meios de transporte mais rápidos e menos custosos (locomotivas e navios a vapor e, posteriormente, o automóvel) resultaram em demanda *per capita* diária de 77.000 kcal, devido ao aumento demanda para fins industriais e comerciais. Por fim, Earl Cook estima que, em 1971, início da Era da Informação e pós-revolução digital, um norte-americano típico era responsável por uma demanda de energia de 230.000 kcal por dia. A **Tabela 1** sintetiza a evolução do consumo de energia *per capita* ao longo do tempo.

Tabela 1. Demanda Energética diária *per capita* durante diversos períodos da evolução humana (em 1.000 kcal).

Períodos	Alimentação	Indústria e Agricultura	Comercial e Residencial	Transporte	Total
Pré-História	2				2
Pós-Descoberta do Fogo	3		2		5
Pós-Revolução agrícola	4	4	4	1	12
Era das Navegações	6	7	12	1	26
Pós-Revolução Industrial	7	24	32	14	77
Pós-Revolução Digital*	10	91	66	63	230

Nota: * - baseado no padrão de consumo da sociedade norte-americana no ano de 1971.

Fonte: Adaptado de COOK[1] *apud* JANARDHANAN *et al* (2017)

[5] COOK, E. (1971) The Flow of Energy in an Industrial Society. Scientific American. v. 225, n. 3, p. 134-147. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/24923122.

A par do processo de desenvolvimento global, o acesso à energia hoje ainda não se mostra universal e apresenta diferenças gritantes em termos de quantidade e qualidade do serviço prestado entre países, regiões e grupos socioeconômicos distintos. Entre 2001 e 2017, mais de 10% da população mundial passaram a ter acesso à eletricidade – população com acesso à eletricidade passou de 78,02% para 88.87%, por exemplo (WBG, 2019). A melhoria pode ter sido significativa, mas, mesmo assim, mais de 10% da população mundial, em 2017, permaneciam sem acesso à eletricidade.

Sendo a energia um bem básico, a desigualdade na sua acessibilidade pode prejudicar a geração de capacidades nas parcelas da população menos favorecidas, num reforço da remanência ou mesmo da intensificação das desigualdades socioeconômicas (BHATIA & ANGELOU, 2015). Há ainda de se destacar que, comumente, são as parcelas mais pobres da população as mais vulneráveis às mudanças climáticas (OCDE, 2003) e seus eventos correlatos, como aquecimento global, emissão de poluentes, aumento de temperatura, inundações, secas, ciclones, incêndios naturais.

Amenizar tais desigualdades requer que, nos próximos anos, haja o aumento da oferta de energia barata, em consonância com medidas que promovam a redução das emissões de efeito estufa e o combate às mudanças climáticas, demandando cada vez mais o uso de fontes de energia limpas, principalmente das chamadas novas renováveis – solar, eólica e biomassa. Nesse sentido, o ODS 7 propõe o aumento do acesso à energia e a promoção da transição energética, de fontes não renováveis e poluidoras para fontes renováveis limpas, com especial atenção às necessidades das pessoas e países em situação de maior vulnerabilidade (UN, 2019).

Portanto, o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 7 (ODS 7) da ONU vem caracterizado para "Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos". O ODS7 divide-se em três objetivos correlatos:

- **Objetivo 7.1**: Até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia.
- **Objetivo 7.2**: Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global.
- **Objetivo 7.3**: Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética.

Para o cumprimento deles, foram estabelecidas as seguintes metas:

- **Meta 7.a**: Até 2030, reforçar a cooperação internacional para facilitar a efetivação de pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas; e promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa.
- **Meta 7.b**: Até 2030, expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos, nos países em desenvolvimento e, particularmente, nos menos desenvolvidos, nos pequenos Estados insulares em desenvolvimento e nos países em desenvolvimento sem litoral, de acordo com seus respectivos programas de apoio.

2.1.1.1. Indicadores para monitoramento do ODS 7

Apesar de os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS terem sido lançados em 2015, a Agência Internacional de Energia Atômica (*International Atomic Energy Agency* - IAEA), o Departamento de Relações Econômicas e Sociais das Nações Unidas (*United Nations Department of Economic and Social Affairs* - UNDESA), a Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency* - IEA), o Instituto de Estatística da Comunidade Europeia (*Statistical Office of the European Communities* - Eurostat) e a Agência Europeia de Meio Ambiente (*European Environmental Agency* - EEA) uniram-se para sugerir "Indicadores Energéticos para o Desenvolvimento Sustentável" (IEDS). A **Tabela 2** traz uma síntese sobre os indicadores energéticos para desenvolvimento sustentável - IEDS, com base no artigo de VERA & LANGLOIS (2007).

Por se tratar de indicadores energéticos para desenvolvimento sustentável, estes abrangem as dimensões social, econômica e ambiental. Devido à relação ao nível empresarial, os indicadores econômicos e ambientais normalmente são acompanhados em maior número de detalhes, ao passo que os indicadores sociais tendem a apresentar maior carência de dados e acompanhamento (GIZ, 2019), principalmente em países em desenvolvimento – justamente os que apresentariam maiores desafios na área.

Tais indicadores ressaltam a correlação existente entre o ODS 7 e os demais objetivos de desenvolvimento sustentável, principalmente o ODS 10 "Redução da

Desigualdades", o ODS 12 "Consumo e Produção Responsáveis" e o ODS 13 "Ação Contra a Mudança Global do Clima".

A ligação do ODS 7 com o ODS 10 "Redução da Desigualdades" é evidenciada pelos indicadores da esfera social com enfoque na equidade (SOC1, SOC2 e SOC3), que têm como objetivo mapear e reduzir a desigualdade de acesso físico e monetário a fontes de energia comerciais e criação de capacidades e oportunidades para as parcelas mais pobres da população.

Já, a ligação do ODS 7 com o ODS 12 "Consumo e Produção Responsáveis" está relacionada à promoção da eficiência energética, de estilos de vida, padrões de consumo e produção mais conscientes e sustentáveis. Esta relação se mostra presente nos indicadores da esfera econômica relativos ao tema padrões de uso e produção: consumo final per capita (ECO 1), intensidade energética ou produtividade (ECO 2), eficiência da oferta (ECO 3), razão de recursos e reservas por produção (ECO 4 e ECO 5), intensidade energético do uso final dos setores produtivos (ECO 6 a ECO 10) e diversificação de uso (ECO 11 a ECO 13).

Por fim, os indicadores do ODS 7 referentes à esfera ambiental (ENV 1 a ENV10) trazem informações importantes no que tange tanto ao mapeamento de consumo (ODS12) e produção responsáveis, como ao ODS 13 "Ação Contra a Mudança Global do Clima". Ao mapear o nível de emissões, poluentes, efluentes e resíduos sólidos gerados e tratados, desflorestamento e uso do solo relativos ao setor energético, é possível avaliar como o setor está colaborando para transição para uma economia de baixo carbono e com padrões de consumo e produção mais sustentáveis.

GIZ (2019) observa que a construção de contas econômicas ambientais energéticas (CEAE) permitiria um acompanhamento mais completo dos IEDS, auxiliando na formulação e no acompanhamento de políticas energéticas de cunho social, econômico e ambiental, bem como no planejamento energético que se mostra o instrumento necessário para o alcance do ODS 7. Essa preocupação é reforçada por RAZMJOO *et al* (2019), que ressaltam o quanto o alcance do desenvolvimento sustentável do ponto de vista energético requer a realização de exercícios de planejamento e monitoramento através de indicadores, como os propostos por VERA & LANGLOIS (2007).

Tabela 2. Indicadores Energéticos para Desenvolvimento Sustentável da IAEA, UNECA, IEA, Eurostat e EEA.

Indicadores Energéticos para Desenvolvimento Sustentável - IEDS			
Esfera Social			
Tema	**Subtema**	**Indicador Energético**	
Equidade	Acesso	SOC1	Proporção das residências (ou população) sem acesso à eletricidade, ou a uma forma comercial de energia, ou extremamente dependente de fontes de energia não comercial
	Capacidade de Pagamento	SOC2	Proporção da renda das famílias gasta em combustíveis e eletricidade
	Desigualdade	SOC3	Uso de energia por faixa de renda e a correspondente proporção do uso de cada fonte
Saúde	Segurança	SOC4	Número de acidentes fatais por unidade de energia produzida na cadeia de combustível
Esfera Econômica			
Tema	**Subtema**	**Indicador Energético**	
Padrão de Uso e de produção	Consumo Final	ECO1	Consumo final de energia per capita
	Produtividade ou Intensidade Energética	ECO2	Consumo de energia por unidade de PIB
	Eficiência da oferta	ECO3	Eficiência da conversão e distribuição de energia
	Produção	ECO4	Razão recursos por produção
		ECO5	Razão reservas por produção
	Uso Final	ECO6	Intensidade energética da indústria
		ECO7	Intensidade energética do setor agropecuário
		ECO8	Intensidade energética do setor de serviços e comercial
		ECO9	Intensidade energética do setor comercial
		ECO10	Intensidade energética do setor de transportes
	Diversificação do uso	ECO 11	Proporção dos combustíveis na matriz energética e elétrica
		ECO12	Proporção de fontes que não emitem CO2 na matriz energética e elétrica
		ECO13	Proporção de fontes renováveis na matriz energética e elétrica
	Preços	ECO14	Preço do uso final de energia por fonte e por setor
Segurança no fornecimento	Importação	ECO15	Dependência externa líquida de importação de energia
	Estoque estratégico de combustíveis	ECO16	Estoque estratégico de combustíveis por unidade consumida
Esfera Meio Ambiente			
Tema	**Subtema**	**Indicador Energético**	
Atmosfera	Mudanlas Climáticas	ENV1	Emissão de GEE por fonte de energia per capita e por PIB
	Qualidade do ar	ENV2	Concentração de poluentes em áreas urbanas
		ENV3	Emissão de Poluentes pelo sistema energético
Água	Qualidade da água	ENV4	Disposição de efluentes pelo sistema energético
Solo	Qualidade do solo	ENV5	Área onde a acidificação supera o nível aceitável
	Floresta	ENV6	Taxa de desflorestamento atribuído ao uso de energia
	Geração e gerenciamento de resíduos sólidos	ENV7	Taxa de geração de resíduos sólidos por unidade de energia produzida
		ENV8	Razão resíduos sólidos propriamente dispostos pelo total de resíduos gerados
		ENV9	Taxa de geração de resíduos radioativos por unidade de energia produzida
		ENV10	Razão resíduos radioativos aguardando para ser dispostos pelo total de resíduos

Fonte: Elaboração Própria, com base em VERA & LANGLOIS (2007) e GIZ (2019).

2.2. Planejamento Energético como instrumento para o alcance do ODS 7 [6]

"Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos" ou alcançar o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 7 não é, nem de longe uma tarefa trivial. Sua realização e respectivas metas exigem a implementação de um plano estratégico para o setor energético, que pode incluir uma série de instrumentos como a política energética, metas, agenda, estudos de planejamento energético e indicadores para monitoramento de impacto, como mostra a **Figura 4**.

[6] Esta seção foi baseada na discussão de planejamento energético trazida por OLADE (2017) e BHATTACHARYYA (2011).

Figura 4. Etapas do desenvolvimento de um Plano Estratégico para o Setor Energético.
Fonte: Elaboração própria com base em OLADE (2017).

Antes de mais nada, o plano estratégico do setor energético requer a realização de um diagnóstico, cujo objetivo maior é promover uma caracterização detalhada do setor energético atual, descrevendo suas relações setoriais, nacionais e internacionais, suas diferentes cadeias energéticas, estrutura de mercados, disponibilidade de recursos naturais e produtivos, etapas da transformação e consumidores finais.

De acordo com os entraves ressaltados com base no levantamento diagnóstico, é possível definir os principais objetivos do plano estratégico do setor energético. Objetivos definidos normalmente são relacionados ao aumento do uso dos recursos não renováveis, à promoção do uso dos recursos energéticos mais abundantes e de menor custo, à universalização do acesso à energia, ao aumento da segurança energética e ao aumento da qualidade dos serviços energéticos prestados, dentre outros.

Uma vez determinados os objetivos, é possível definir uma agenda energética com calendário, recursos, ações e instrumentos para alcance dos dados objetivos. A agenda energética, portanto, estabelecerá datas para o cumprimento dos objetivos do plano estratégico – as políticas energéticas, por sua vez, serão os instrumentos disponíveis para viabilizar a concretização deles. As políticas energéticas se configuram também como uma parcela específica e estrutural da política nacional de desenvolvimento, apresentando

impactos para o crescimento econômico, a qualidade de vida da população e a preservação do meio ambiente.

A política energética deve conter também metas de curto, médio e longo prazos. Para isso, existem ferramentas de modelagem para realizar os estudos de planejamento energético, cujos cenários de projeção de demanda e oferta de energia servirão de base para os planos de ação. Fundamentalmente, o planejamento energético visa a esclarecer os caminhos a serem seguidos pelo governo federal e/ou estadual e/ou regional, setor ou cadeia produtiva para o atendimento das metas traçadas.

Quanto ao desenvolvimento socioeconômico e ao setor energético, esses cenários devem assumir premissas coerentes entre si e consistentes com os comportamentos dos agentes econômicos, estruturas setoriais e relações intersetoriais. É importante ressaltar, no entanto, que os cenários são instrumentos de representação de futuros hipotéticos; logo, não têm pretensão de prever o futuro, mas, sim, com base nas premissas assumidas, propor perspectivas potenciais de futuro que podem servir de base para o planejamento e reduzir possíveis enganos.

Os resultados do planejamento energético servem para a criação de estratégias e plano de ação de curto, médio e longo prazos para o atingimento das metas estabelecidas pelos formuladores de políticas energéticas. Além disso, o planejamento energético tem o papel de prover informação aos agentes econômicos, promovendo transparência, maior comunicação e um entendimento mútuo entre as partes interessadas em pensar o futuro do setor. Somado à democratização da informação entre os agentes, o processo de planejamento energético, por utilizar a técnica de cenários e análises de sensibilidade, acaba por reduzir o grau de incerteza quando das tomadas de decisão.

O plano de ação e os seus instrumentos estratégicos devem ter seus resultados acompanhados por instrumentos de medição de impacto de políticas públicas e ser revisados e ajustados à medida que metas e objetivos são atingidos. O monitoramento através do uso de indicadores permite a avaliação periódica do desempenho da política energética e da aplicação dos planos de ação, estipulados no planejamento energético para o alcance das metas predefinidas.

Os instrumentos de monitoramento objetivam: verificar o cumprimento das metas de curto, médio e longo prazos, estabelecidas nos planos de ação; realizar a avaliação das ações planejadas; identificar as correções necessárias para a implementação dos programas de ajuste. Em outras palavras, através do monitoramento, é possível analisar e

reavaliar a agenda e as metas referentes a uma política energética e fazer eventuais reformulações nos planos de ação.

Assim como para o diagnóstico do setor energético, é muito importante para a formulação e o monitoramento da política energética a existência de balanços energéticos e bancos de dados socioeconômicos sistematizados, atualizados, confiáveis e compatíveis entre si (BHATTACHARYYA & TIMILSINA, 2010).

Além disso, como destacado anteriormente, os dados são necessários para a construção de indicadores energéticos de desenvolvimento sustentável, essenciais para analisar qual tem sido o desempenho do setor energético nacional no âmbito da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável (VERA & LANGLOIS, 2007; RAZMJOO *et al*, 2019). A maioria desses indicadores são relacionados com a composição da matriz energética e elétrica; nível de dependência externa, participação de renováveis; eficiências da transformação e transporte de energia, preços, consumo de energia *per capita* e intensidade energética (ou consumo de energia por unidade PIB).

2.2.1. O papel de Demanda de Energia das Famílias no Planeamento Energético

O planejamento energético, apesar de poder apresentar diferentes enfoques, normalmente apresentará como um de seus objetivos principais o atendimento da demanda por energia ao menor custo possível, dadas as restrições do sistema energético e os objetivos traçados como estratégicos para o desenvolvimento do setor energético (BHATTACHARYYA, 2011). Desta forma, a construção de cenários de projeção de demanda de energia dentro do dado horizonte de análise se caracteriza como um dos primeiros passos para o desenvolvimento do planejamento energético com foco na operação e na expansão da oferta de energia de um país (OLADE, 2017).

De acordo com BHATTACHARYYA & TIMILSINA (2010), em geral o crescimento do produto interno bruno – PIB de um país está positivamente relacionado ao crescimento da demanda de energia, principalmente se tratando de países em desenvolvimento.

Segundo MANKIW (2009), o PIB é composto pelos seguintes componentes: consumo das famílias, consumo do governo, investimentos (formação bruta de capital

fixo e variações de estoque) e exportações. Denominados também como setores da demanda final, os componentes do PIB apresentarão relação direta com a demanda interna de energia de uma economia, se mostrando na verdade como com os verdadeiros condutores e determinantes pela demanda interna de energia de um país.

As famílias, o governo, as exportações e os investimentos são responsáveis por consumir energia[7] e demais bens e serviços, que de forma indireta trazem embutido em si o consumo de energia necessário para a produção e oferta. Desta forma, os setores da demanda final são responsáveis por seu consumo direto de energia e, também, pelo consumo indireto de energia, embutido em bens e serviços da sua cesta de consumo (COHEN et al., 2005; LENZEN, 2006; LENZEN *et al.*, 2013).

No caso do consumo indireto de energia, apesar de o consumo final de energia ser realizado pelos setores produtivos (agropecuária, indústria e serviços), este só se justifica caso haja demanda por esses eventuais produtos e serviços. Afinal, como ressalta KEYNES (1936), a demanda determina a oferta, ou seja, os setores dificilmente se verão dispostos a arcarem com os seus custos produtivos caso não exista demanda efetiva por seus bens e serviços.

Desse modo, a **Equação 1** define como é composta a Demanda Interna de Energia (DIE) de um dado país.

$$DIE_g = \sum_{f=1}^{4} Ci_{g,f} + \sum_{f'=1}^{3} Cd_{g,f} \qquad \textbf{(1)}$$

Onde:

DIE_g= Demanda Interna de uma dada fonte energética $\boldsymbol{g}$;

$Cd_{g,f}$= Consumo Direto de uma dada fonte energética $\boldsymbol{g}$ pelo setor da demanda final $\boldsymbol{f}$;

$Ci_{g,f}$= Consumo Indireto de uma dada fonte energética $\boldsymbol{g}$ pelo setor da demanda final $\boldsymbol{f}$;

f = setor da demanda final responsável por consumo indireto de energia = 1, 2, 3, 4 = exportações, consumo do governo, consumo das famílias, investimento.

f' = setor da demanda final responsável por consumo direto de energia = 1, 2, 3 = exportações, consumo do governo, consumo das famílias.

[7] Com exceção do componente investimento.

ARTO *et al* (2016) destacam, no entanto, que o uso da DIE como indicador de desenvolvimento socioeconômico sustentável pode ser um tanto problemático. Segundo os autores, no atual contexto de globalização, a DIE pode mostrar-se incapaz de medir as necessidades totais de energia associadas ao padrão de consumo e ao nível de desenvolvimento. Para eles, a pegada total de energia (PTE) seria um melhor indicador, dado que resultaria da adição à demanda interna de energia da energia direta e indireta importada do resto do mundo pelo país (EEM) e da desconsideração da energia direta e indireta exportada pelo país para o resto do mundo (**Equação 2** e **Equação 3**).

$$PTE = \sum DIE_g + EM - EX \quad \textbf{(2)}$$

$$EX = \sum Cd_{g,1} + \sum Ci_{g,1} \quad \textbf{(3)}$$

Onde:

PTE = pegada total de energia;

EM = Energia importada no formato de fonte energética ou embutida em bens e serviços;

EX = Energia exportada para o resto do mundo no formato de fonte energética (consumo de energia direto das exportações - $Cd_{g,1}$) ou embutida em bens e serviços (consumo de energia indireto das exportações - $Ci_{g,1}$).

ARTO *et al*. (2016) demonstram, através da análise da demanda interna de energia (DIE) e da pegada total de energia (PTE) de quarenta países para o período 1995-2008, que a DIE subestima a real quantidade de energia requerida para atender aos padrões de consumo de países com alto nível de desenvolvimento, já que estes países costumam importar quantidade significativa de energia na forma de fontes energéticas ou embutida em bens e serviços, em sua grande maioria produzidos originalmente em países em desenvolvimento. Dessa forma, os países desenvolvidos tendem a apresentar uma PTE maior do que sua DIE (PTE>DIE), ao passo que nos países em desenvolvimento tende a acontecer justamente o contrário (DIE>PTE).

Logo, assim como MACHADO et al. (2001), ARTO et al. (2016) ressalta que países em desenvolvimento tendem apresentar exportações com maior conteúdo energético. Ou seja, a demanda do resto do mundo seria responsável por explicar uma parte significativa

da DIE dos países em desenvolvimento, o que pode implicar em desafios adicionais para o planejamento energético destes países.

Por outro lado, LENZEN et al. (2013) demonstra que a DIE é influenciada pela evolução do conteúdo energético das exportações, mas que as famílias exercem papel especial através de alterações nos seus padrões de consumo e natural crescimento demográfico. COHEN *et al*. (2005) corroboram essa ideia demonstrando que a energia incorporada nos bens e serviços representa a maior parte da demanda de energia das famílias, ultrapassando inclusive a energia destinada para o seu consumo direto de energia. Em 1995-1996, a necessidade média anual total de energia por família no Brasil era de 173,6 GJ, sendo 61% referente à energia embutida em bens e serviços consumidos pelas famílias.

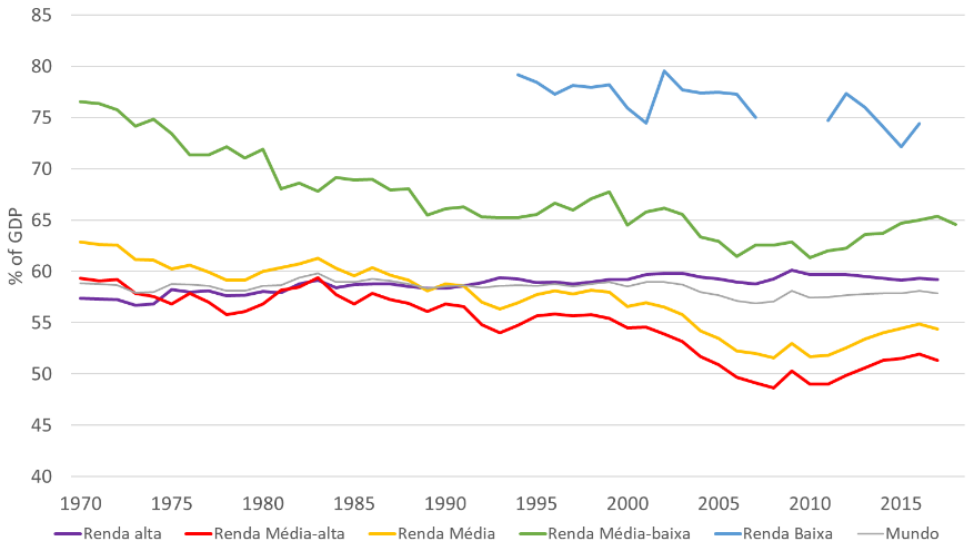

Figura 5. Participação das despesas de consumo final das famílias no Produto Interno Bruto – PIB – 1970-2017.

Fonte: Elaboração Própria, com base em WBG (2019).

Além disso, em termos históricos (**Figura 5**), as famílias se caracterizam por responder pela maior parte do Produto Interno Bruto (PIB) na maioria dos países[8], principalmente quando de renda média-baixa ou baixa (WBG, 2019).

[8] De acordo com WBG (2019), em 2017, os países em que as famílias representaram menos do que 50% do PIB foram Emirados Árabes, Bahrain, Brunei, Congo, República Tcheca, Dinamarca, Argélia, Irlanda, Irã, Kuwait, Luxemburgo, Macau, Malta, Holanda, Noruega, Omã, Qatar, Arábia Saudita, Singapura, Suécia, Tailândia e Timor Leste. Isso pode ser explicado pelo grande valor adicionado direcionado para as exportações desses países.

Desta forma, a análise das demandas diretas e indiretas de energia das famílias permite uma melhor identificação dos determinantes da demanda interna de energia e pode, consequentemente, ajudar a aprimorar projeções de demanda e orientar as políticas energéticas setoriais, principalmente em países em desenvolvimento.

2.2.1.1. Heterogeneidade da Demanda de Energia das Famílias e seu comportamento ao longo de um Processo de Desenvolvimento

A demanda de energia global per capita cresceu substancialmente ao longo da história humana e de seu desenvolvimento socioeconômico. Porém, ao longo de um processo de desenvolvimento, é previsto não só que a demanda de energia apresente mudanças no que tange ao seu valor total, como também em relação à sua composição em termos de fontes energética. LENZEN et al. (2013) demonstra que as alterações de padrão de consumo das famílias são uma, senão a principal, causa de mudanças na demanda interna de energia em um país em desenvolvimento.

A heterogeneidade de padrão de consumo de energia entre países pode existir por fatores socioeconômicos, climáticos, culturais e políticos. Logo, mesmo países em um mesmo estágio de desenvolvimento podem apresentar padrões de consumo de energia bem distintos (NILSSON, 1992). Japão e Alemanha, por exemplo, apresentam um consumo per capita de eletricidade em 2018 de cerca de 8,1 e 7,3 MWh, ao passo que nos Estados Unidos esta média chegou a 13,7 MWh por pessoa e na Islândia a 56,2 MWh – país com maior consumo per capita mundial (IEA, 2019). Essas diferenças podem ser notadas também em países em desenvolvimento tropicais ou subtropicais – a África do Sul e o Brasil apresentaram, em 2017, o consumo de energia per capita de 4,0 MWh e 2,5 MWh, respectivamente, ao passo que na Índia essa média não passou de 1,0 MWh e em Bangladesh de 0,4 MWh. Já o Haiti foi o país que apresentou menor consumo per capita mundial de 0,04 MWh (IEA, 2019).

Contudo, segundo ARTO et al (2016), haveria sim uma correlação entre consumo de energia e índice de desenvolvimento humano – IDH. De acordo com os autores, a relação entre o IDH e a pegada total de energia - PTE apresentaria o formato de uma função logarítmica. Ou seja, em níveis baixos de desenvolvimento o aumento de uma unidade no consumo de energia está relacionado a um aumento mais do que proporcional no IDH; porém, à medida que se avança na escala dos níveis de desenvolvimento, o

impacto positivo do crescimento do consumo de energia tende a ser saturado, tornando-se praticamente inócuo em situações de altos níveis de desenvolvimento humano.

Como resultado, como ressalta REISTER (1987), a demanda de energia tende a crescer de forma mais acelerada do que o PIB (em termos de paridade de poder de compra) ao longo de uma trajetória de desenvolvimento, resultando em indicadores crescentes de intensidade energética (em unidades de consumo de energia por unidade monetária de PIB) especialmente em um primeiro momento dado o aquecimento da atividade econômica e as medidas para aumentar o acesso das famílias à energia. Porém, a partir de um dado nível de consolidação do desenvolvimento, a demanda de energia dos países em desenvolvimento tenderia a crescer a taxas inferiores ao PIB e a resultar em indicadores decrescentes de intensidade energética, devido à já universalização do acesso à energia, medidas de apoio ao consumo pelas famílias de baixa renda e ganhos de eficiência energética. De acordo o estudo realizado por NILSSON (1992) em 31 países ao longo do período de 1950 a 1988, os países tenderiam ainda a convergir para um nível comum de intensidade energética do PIB, entre 0,25 e 0,5 tep (tonelada equivalente de petróleo) por mil dólares (valores de 1980).

No entanto, ainda que o NILSSON (1992) ressalte que a demanda de energia tenda a crescer com a renda, o autor adverte que é preciso ter cuidado ao comparar o padrão de consumo de diferentes países. Os países em desenvolvimento podem apresentar características socioeconômicas diversas em termos de tamanho, estrutura econômica, recursos humanos e naturais e nível de urbanização (U.S CONGRESS-OTA, 1991).

Porém, sistemas energéticos de diferentes países em desenvolvimento apresentam normalmente algumas barreiras em comum, como: falta de segurança energética ou proveniente do uso de fontes fósseis tradicionais (como a lenha); existência de grande economia informal; diferenças latentes entre localidades rural e urbana; pobreza, desigualdade de acesso a serviços energéticos (ou menos alto índice de falta de acesso à energia); expectativa de mudanças estruturais na economia (intensificação ou mecanização da agropecuária, industrialização e/ou aumento da participação do setor de serviços) e transição para estilos de vida mais modernos; setor energético de baixa eficiência devido à escassez de oferta e/ou à baixa performance de suas *utilities*; mercado pouco desenvolvido; e, por fim, existência de barreiras socioeconômicas ao fluxo de capital e a lenta difusão tecnológica (BHATTACHARYYA & TIMILSINA, 2010).

Dentre estes desafios, a falta de acesso a fontes de energia limpas e modernas é um dos principais problemas enfrentados pelas famílias em países em desenvolvimento,

resultando em perdas de bem estar e não desenvolvimento de capacidades. Tal falta de acesso pode se dar tanto pela não existência de uma infraestrutura ou logística de distribuição como carência de poder aquisitivo das famílias. Segundo GOLDEMBERG et al. (2004), o baixo consumo por domicílio das famílias de renda mais baixa reduz significativamente o tempo de amortização dos investimentos de expansão das redes de transmissão de energia ou da infraestrutura logística. No caso dos mercados rurais com alta dispersão dos consumidores, a situação é ainda pior são requeridos maiores investimentos iniciais e o tempo de amortização do investimento é ainda mais longo. Logo, o investimento para reduzir a falta de acesso a energia nos países em desenvolvimento pode ser ainda mais dificultada se não houver um planejador centralizado ou se as empresas forem privadas e não houve incentivos governamentais para tais investimentos.

Segundo dados da IEA (2019) e do WBG (2019), em 2014, 20,8% da população habitante de países em desenvolvimento não tinha acesso à energia elétrica e 48,1% não tinha acesso a fontes de energia limpas para cocção e acabavam por utilizar lenha e carvão vegetal, ao passo que nos países desenvolvidos o percentual da população nessas condições equivalia a 0,1% (**Tabela 3**).

Um exemplo interessante sobre diferenças nos padrões de consumo de energia entre países desenvolvidos e em desenvolvimento é trazido por GROTTERA *et al*. (2018) em seu estudo comparativo acerca do consumo de eletricidade por eletrodomésticos e estilos de vida no Brasil e na França. Apesar de o primeiro ser marcado por uma clima majoritariamente tropical e o segundo pelo clima temperado, é possível observar que, em ambos os países, as famílias pertencentes às duas classes de renda mais altas apresentaram o mesmo nível de consumo anual de eletricidade em 2011 (entre 2000 e 2500 kWh por domicílio), ao passo que no Brasil uma família média do primeiro decil de renda apresentou um consumo de energia anual aproximadamente 33% menor (aproximadamente 1000 kWh/domicílio/ano) do que o consumo da família representativa para o mesmo decil da França (aproximadamente 1500 kWh/domicílio ano). Desse modo, GROTTERA *et al*. (2018) mostram como o consumo de energia elétrica reflete indiretamente as condições de distribuição de renda dos dois países e a existência de uma demanda reprimida por eletricidade pelas famílias de renda mais baixa devido principalmente à falta econômico em função do seu baixo poder aquisitivo (GOLDEMBERG et al., 2004). Isso poque, em 2011, segundo o WBG (2019), apenas

0,6% da população não apresentava cesso físico à energia elétrica devido aos avanços provocados pelo Programa Luz para Todos implementado em 2003 (MME, 2019).

Tabela 3. População sem Acesso a Fontes de Energia Modernas em 2014 (milhões de pessoas).

Países	População	Sem acesso à energia elétrica		Sem acesso a fontes de energia limpas para cocção	
Em desenvolvimento	5.696,0	1.185,0	20,8%	2.740,0	48,1%
África Subsaariana	969,0	633,0	65,3%	792,0	81,7%
Asia	3.752,0	512,0	13,6%	1.875,0	50,0%
China	1.364,0	-	0,0%	453,0	33,2%
Índia	1.296,0	244,0	18,8%	819,0	63,2%
América Latina	617,0	22,0	3,6%	65,0	10,5%
Brasil	203,0	0,6	0,3%	10,2	5,0%
Oriente médio e Norte da África	358,0	18,0	5,0%	8,0	2,2%
Desenvolvidos	1.560,0	1,0	0,1%	2,0	0,1%
Mundo	**7.256,0**	**1.186,0**	**16,3%**	**2.742,0**	**37,8%**

Fonte: Elaboração Própria, com base em IEA (2019) e WBG (2019)

Com relação à desigualdade de padrões de consumo de energia direto e indireto entre famílias de diferentes classes de renda de um mesmo país, COHEN et al. (2005) demonstra que a intensidade energética total do gasto das famílias tende a ser maior nas classes de renda mais alta. O consumo total de energia das famílias variou de 32,8 GJ ao ano para a classe de renda mais baixa a 602,2 GJ ao ano para a classe de renda mais alta. Vale ressaltar que a classe de renda mais alta apresentava um consumo energético quase 20 vezes maior do que o consumo da classe de renda mais baixa, porém mesmo assim o consumo indireto permaneceu representando mais do que 60% do consumo total em todas as classes de renda. Em termos de composição da cesta de consumo das famílias, em média, 31% foram dispendidos no pagando dos serviços prestados pelas *utilities* (eletricidade, gás, água, esgoto), 28% para transporte e 17% para o domicílio e eletrodomésticos. Quanto menor a renda, maior a participação do consumo indireto relacionado a alimentação e menor a participação daqueles relacionados a transportes e recreação.

Desta forma, a existência de tamanha desigualdade de renda colabora para que os sistemas elétricos presentes em países em desenvolvimento se diferenciem significativamente dos observados em países desenvolvidos (URBAN *et al.*, 2007) e que

apresentem outras prioridades em termos de planejamento energético, como expansão da oferta, redução de *blackouts*, reforço das linhas de transmissão e distribuição e, principalmente, universalização do acesso a fontes de energia modernas. Portanto, os estudos acerca da demanda de eletricidade nos países em desenvolvimento precisam utilizar modelos de projeção de demanda que considerem o efeito da desigualdade da distribuição de renda e das discrepâncias regionais (BHATTACHARYYA & TIMILSINA, 2010).

Por outro lado, a falta de acesso a fontes de energia limpas e modernas para cocção faz com que as famílias façam uso de lenha e carvão vegetal que colaboram não apenas para a emissão de gases de efeito estuda e aquecimento global, mas também para a emissão de poluentes e particulados que podem ser alta prejudiciais à saúde de seus usuários (GIODA, 2018). GIODA (2018) destaca ainda que mesmo a lenha representando apenas 3% do consumo de combustíveis para cocção pelo setor residencial brasileiro em 2016, esta foi responsável por emitir 2,43 x 10^9 tCO_2 equivalente (tCO_2e) de gases de efeito estufa, nada menos do que 93% das emissões referentes ao uso de combustíveis para cocção nos domicílios brasileiros.

Ainda sobre a falta de acesso a fontes limpas e modernas para cocção, BATHIA & ANGELOU (2015) ressaltam que uma família, ao deixar de usar lenha para usar outros combustíveis mais modernos para cocção (como GLP, por exemplo), economiza cerca de 5,5 horas por semana na coleta e preparo do combustível para cocção e cerca de 3 horas por semana no preparo do fogão. Essa troca de combustível gera ganhos de bem-estar significativos e contribui para o aumento do empoderamento feminino, considerando-se que na maioria das vezes esse tipo de tarefas domésticas é desempenhado por mulheres (BATHIA & ANGELOU, 2015).

2.2.1.2. Elasticidades do Consumo de Energia das Famílias

Como objetiva-se entender como as famílias se comportarão com relação ao seu consumo de energia ao longo do desenvolvimento econômico, é importante entender quão sensível é essa demanda em relação a variações de preço e renda. Para isso, existe na economia o conceito de elasticidade-preço, que mede quanto que a demanda de um dado produto ou serviço varia frente à uma dada mudança percentual no seu preço; o conceito de elasticidade-renda, que mede quanto que a demanda de um dado produto ou serviço

varia frente à uma dada mudança percentual na renda do consumidor. (VARIAN, 2006) Esses dois parâmetros são constantemente utilizados em modelos de projeção de demanda de energia como forma de representar o comportamento dos consumidores (BHATTACHARYYA, 2011).

Denomina-se *inelástica* aquela demanda que apresenta elasticidade em zero e |1| (módulo de 1), ou seja, quando a demanda varia percentualmente menos do que a variação percentual de preço ou renda; e *elástica* aquela demanda que apresenta elasticidade igual ou superior a |1| (módulo de 1), ou seja, quando a demanda varia percentualmente mais do que a variação percentual de preço ou renda. Normalmente, a elasticidade depende do tipo de bem demandado, do poder aquisitivo e da função de utilidade do consumidor (VARIAN, 2006)

A energia é vista pela maioria dos consumidores como um bem básico, destinado a suprir necessidades essenciais e a produzir bem-estar (BHATIA & ANGELOU, 2015). No entanto, o consumidor, na verdade, não demanda a energia em si, mas, sim, os serviços que dela derivam, como iluminação, refrigeração, aquecimento de água, calor de processo, força motriz e outros usos (JANUZZI & SWISHER, 1997). Como tais serviços são providos por equipamentos que fazem parte do portfólio de bens da família, sua eventual substituição se dá de maneira gradual e conforme a capacidade de pegamento familiar, podendo resultar inclusive em possível resistência frente a mudanças de tecnologias e/ou fonte energética.

Dessa forma, a demanda de energia tende a apresentar comportamento inelástico a variações de preço e renda (MODIANO, 1984; ANDRADE & LOBÃO, 1997; GARCEZ & GHIRARDI, 2003; SCHIMIDT & LIMA, 2004; MATTOS & LIMA, 2005; COHEN et al., 2005; IRFFI et al., 2009; AMARAL & MONTEIRO, 2010; SILVA et al., 2012; DIAS, 2015, SANTOS et al., 2019). Ou seja, a demanda energia tende responder com variações percentuais inferiores às variações percentuais de preços e de renda, apresentando normalmente para ambos os casos elasticidade em módulo entre 0 e 1.

Em outras palavras, como a energia se mostra como um serviço essencial, caso o consumidor enfrente um aumento de preço de energia (sem um respectivo aumento em sua renda) ou uma redução de renda (sem respectiva queda nos preços), dificilmente conseguirá reduzir seu consumo de energia sem incorrer em perdas significativas de bem-estar, principalmente no curto prazo.

No curto prazo, a demanda por energia do consumidor residencial tende a se mostrar, em geral, menos sensível, ou melhor, mais inelástica às variações de preço e

renda. Ao passo que no longo prazo as variações podem favorecer a compra ou substituição equipamentos mais eficientes ou que utilize fonte de energia mais limpa eficiente, fazendo com que a demanda de energia elétrica se mostre mais elástica. Logo, o comportamento do consumidor tende a apresentar diferenças quanto à sua elasticidade no curto e no longo prazo (SIQUEIRA & HOLANDA, 2005; IRFFI et al., 2009).

Famílias de diferentes classes de renda e localidades como diversas temperaturas, clima, realidades socioeconômicas e culturais também podem apresentar elasticidade-preço e elasticidade-renda díspares para sua demanda de energia. COHEN et al. (2005), SANTOS et al (2019), DIAS (2015) e SILVA et al. (2012) ilustram um pouco tais diferenças no comportamento em seus estudos.

No que tange às despesas diretas e indiretas com energia das famílias brasileiras entre 1995-1996, COHEN et al. (2005) estima que a elasticidade-renda das despesas totais das famílias brasileiras cresceria linearmente com a renda e que estaria entre os patamares de 0,9 e 1,0 na década de 1990. Porém, ao analisar a elasticidade-renda da despesa com consumo direto e indireto de energia separadamente, COHEN et al. (2005) estima que a relação entre as elasticidades e a renda assumiria o formato de uma função quadrática suave com concavidade para baixo (U invertido).

Segundo COHEN et al. (2005), em relação às despesas diretas com energia, as famílias com renda até aproximadamente 5 salários mínimos apresentariam elasticidade-renda inferior a 1, enquanto famílias com renda entre aproximadamente 5 e 40 salários mínimos apresentariam elasticidade-renda para o consumo de energia entre 1 e 1,1 e famílias com renda acima de 40 salários mínimos, inferior a 1,0 tendendo a 0,9 às medida que são alcançados o maiores patamares de renda. Já, as elasticidades-renda para despesas indiretas com energia teriam comportamento semelhante com as classes de renda média apresentariam maior elasticidade em comparação com as classes de renda baixa e alta, mas mostraria perfil mais inelástico do que as despesas diretas com energia, apresentando elasticidade-renda entre 0,9 e 1,0 para todas as classes.

A discrepância nos níveis de elasticidade-renda e preço entre famílias de diferentes classes de renda também foi verificada por SANTOS et al (2019) em seu estudo de caso sobre o consumo de eletricidade pelas famílias brasileiras entre 2008-2009. Porém, neste estudo as elasticidades cresceram de forma linear à medida que aumentava a renda das famílias. As famílias pertencentes ao decil de renda mais baixa apresentariam elasticidade-renda estimada de 0,098, ao passo que as pertencentes ao decil de renda mais alta tiveram sua elasticidade-renda estimada em 0,805. As elasticidades-preço estimadas

para o consumo familiar de energia elétrica também apresentaram diferenças marcantes entre as famílias mais pobres e mais ricas, com elasticidade-preço estimada de -0,017 para as famílias pertencentes ao decil de renda mais baixa e de -0,519 para as famílias pertencentes ao decil de renda mais alta.

Para mesmo ano, SILVA et al. (2012) também estimou as elasticidades renda e preço para o consumo de eletricidades das famílias brasileira, só que por percentis de renda, e encontrou comportamento distinto. Segundo esse estudo, a elasticidade-renda variava de 0,4 para o decil de renda mais baixa da população até pouco menos de 0,30 para o decil de renda alta da população. Logo, ao contrário de SANTOS et al. (2009), estimava que as famílias de renda mais baixa eram mais sensíveis a variações de renda do que as famílias de classe de renda média ou alta. Quanto à elasticidade-preço a elasticidade-preço e a sua heterogeneidade entre os percentis de renda, variou apenas entre 0 e -0,03.

Ainda para 2008, DIAS (2015) estimou que as elasticidades-preço e renda apresentariam patamares bem diferentes se analisadas não só por faixas de renda, mas também por regiões geográficas. Excluindo os outliers, a elasticidade-preço variou entre -1,8 a 0,1, ao passo que as elasticidades-renda teriam variado entre 0 e 0,3. As famílias pertencentes à classe média seriam aquelas cuja demanda de energia elétrica seria menos inelástica a variações de renda, assim como em COHEN et al. (2005).

Por fim, BHATTACHARYYA (2011) destaca também que as elasticidades-renda podem servir como um indicador da relação entre Demanda de energia e PIB (ou renda) ao longo de um processo de desenvolvimento de uma economia. Segundo os autores, países desenvolvidos tendem a ter uma demanda menos elástica em relação à renda, enquanto os países em desenvolvimento tendem a ter uma demanda de energia mais elástica em relação à renda, por apresentarem ainda uma demanda reprimida por energia uma vez que seu acesso é restringido principalmente em decorrente de falta de poder aquisitivo e infraestrutura.

2.2.2. Modelos de Projeção de Demanda

Os modelos de projeção da demanda de energia são essenciais para o planejamento energético e para a formulação de políticas energéticas (BHATTACHARYYA & TIMILSINA, 2010). No entanto, apesar de fornecerem a estrutura analítica necessária

para explorar sistematicamente os sistemas energéticos e as eventuais transições necessárias, os modelos de projeção de demanda requerem uma grande quantidade de dados e métodos transparentes e confiáveis para poder servirem de base para transições energéticas muitas vezes complexas (PYE & BATAILLE, 2016).

Após as crises do petróleo na década de 1970, os *policy makers* passaram a se preocupar mais com questões voltadas para segurança energética, volatilidade de preços de energia e questões ambientais, temas esses que foram incorporados nos modelos de projeção de demanda de energia para planejamento energético. Contudo, como ressaltam URBAN *et al* (2007), a maioria desses modelos foram desenvolvidos tendo como foco sistemas energéticos baseados em fontes de energia fóssil e em medidas dos desenvolvidos pertencentes à Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE).

BHATTACHARYYA & TIMILSINA (2010) fizeram uma revisão bibliográfica sobre as metodologias existentes de projeção de demanda de energia de médio e longo prazo, verificando os avanços ocorridos nos últimos 40 anos para se adequarem a países em desenvolvimento. Para eles, esses países utilizam basicamente dois tipos de modelos de projeção de demanda: modelos econométricos (Modelos *Top Down*) e modelos baseados em usos finais (Modelos *Bottom Up*).

Contudo, como relata URBAN (2007), o fato de esses modelos de projeção de demanda serem normalmente elaborados por/para países desenvolvidos, na maioria das vezes não apresentam o detalhamento necessário para estudos sobre países em desenvolvimento, como déficit de oferta, carência de infraestrutura de transporte, desagregação por classes de renda, regiões rurais e urbanas, fontes de energia comerciais (ex. eletricidade) e não comerciais (ex. lenha), possíveis índices de perdas técnicas e comerciais.

BHATTACHARYYA & TIMILSINA (2010) mostraram que a maioria dos modelos eram focados em: (i) países desenvolvidos; (ii) abordagem única (ou *Top Down* ou *bottom up*); (iii) análise de demanda com base em suas elasticidades ou em sua variabilidade ao longo do período de análise; (iv) comparação da demanda projetada com a demanda verificada.

PYE & BATAILLE (2016), em sua revisão bibliográfica sobre modelos utilizados em estudos de planejamento energético para descarbonização profunda de economias desenvolvidas e em desenvolvimento, destacam seis tipos de modelo: (i) modelos contabilísticos (accounting models); (ii) Modelos baseados em usos finais (*Bottom U*p -

BU); (iii) Modelos Híbridos de base *Bottom Up* (BU); (iv) Modelos Híbridos *Bottom Up* e *Top Down* com *hard* ou *soft link*, (v) Modelos Híbridos de base Econométrica (*Top down* - TD); (vi) Modelos Híbridos de Avaliação Integrada com *soft link* (*Integrated Assessment Models* – IAM).

Os tipos de modelos anteriormente citados foram listados de acordo com a sua capacidade de representarem com integridade a dinâmica do sistema, indo de uma capacidade de representação mais restrita até a mais complexa das relações econômicas entre o sistema (no caso, energético) e os demais setores produtivo e de demanda final presentes na economia.

PYE & BATAILLE (2016) ressaltam, no entanto, que há um *trade-off* na escolha desses modelos. Quanto maior a capacidade do modelo de representar a complexidade da interação entre sistema energético e a economia, maior tende a ser também a abstração da representação do sistema quanto as suas características técnicas.

A seguir serão apresentados com mais detalhes os modelos de projeção de demanda do tipo *Bottom Up*, *Top Down* e Híbridos, ressaltando suas características, vantagens e desvantagens, bem como poderiam ser mais bem ajustados para projetar a demanda de energia em países em desenvolvimento, com marcante desigualdade na distribuição de renda.

2.2.2.1. Modelos *Bottom Up* (BU)

Os modelos de projeção de demanda do tipo *Bottom Up* (BU) tendem a resultar em projeções de demanda de energia mais detalhada do ponto de vista tecnológico, da promoção de serviços energéticos, padrões de uso e fontes energéticas. Por possibilitarem uma análise bem detalhada do ponto de vista tecnológico, esses modelos são muitas vezes chamados de modelos de engenharia ou mesmo de modelos energéticos.

Os modelos BU facilitam análises que visam a estimar o custo ou o impacto de políticas de eficiência energética ou de mitigação de gases de efeito estufa, uma vez que trazem informações sobre a penetração de cada tipo de tecnologia, as respectivas fontes energéticas utilizadas, níveis de eficiência, potência dos equipamentos, hábitos de uso (periodicidade e duração de uso) e, principalmente, os serviços energéticos que ofertam aos consumidores de energia. A análise de políticas setoriais também é favorecida pelo fato de os modelos BU possibilitarem a realização de exercícios de simulação e análises de sensibilidade.

JANUZZI & SWISHER (1997) conseguiram sintetizar e formalizar a metodologia por detrás de modelos BU para representação de demanda de energia pelas famílias, indústria, setor agropecuário, setor público e setor de serviços e comercial. Segundo os autores, o consumo de uma dada fonte de energia pelas famílias em um dado período é função da posse média de cada tipo de equipamento, sua potência média e tempo de uso no período.

Com base na metodologia de JANUZZI & SWISHER (1997), o consumo de uma dada fonte de energia (SE), para atender o uso final *i* de *n* famílias em cada decil de renda *h*, poderia ser expresso pela **Equação 4** e pela **Equação 5**.

$$\boldsymbol{SE_{i,h} = N_{i,h} * \sum_{j=1}^{J}\left(P_{i,j,h} * M_{i,j,h} * I_{i,j,h}\right)} \quad \textbf{(4)}$$

Onde

$N_{i,h}$ = número de famílias no decil h que demandam o serviço energético i;

$P_{i,j,h}$ = posse média do equipamento j by pelas famílias do decile h que demandam o serviço energético i;

$M_{i,j,h}$ = número médio de meses no ano em que o equipamento j é usado para atender ao uso final i nas residências do decil h

$I_{i,j,h}$ = consumo médio mensal de energia pelo equipamento j usado para atender ao uso final i nas residências do decil h

i= Aquecimento de água, Ar condicionado, Refrigeração de alimentos, Iluminação, Força Motriz, outros usos = 1, 2, 3, 4, 5, 6

j = equipamento utilizado para satisfazer a uso final i = 1, 2, 3, ..., J

h = decil de renda = 1, 2, 3, …, 10

$$\boldsymbol{\sum_{h=1}^{10}\sum_{i=1}^{5} SE_{i,h} = TE} \quad \textbf{(5)}$$

Onde:

TE = consumo total da fonte de energia em análise;

Uma das principais deficiências identificadas nos modelos puramente BU para projeção de demanda é a falta de mecanismos que representem, de forma mais realista, o processo de tomada de decisão dos consumidores quanto à escolha de tecnologias e fontes energéticas frente a condições macroeconômicas (renda, inflação, taxa de juros, taxa de câmbio, etc). Logo, como em modelos BU, a demanda de energia não é impactada por

variações dos preços relativos das fontes energéticas, oscilações da renda *per capita* e alterações na distribuição de distribuição de renda; esses modelos mostram-se restritos para trabalhos que estudam os impactos de políticas de mitigação de emissão de gases de efeito estufa e políticas de eficiência energética sobre o padrão de consumo dos agentes (BATAILLE *et al*., 2006).

Muitos economistas criticam a abordagem BU também devido à sua tendência de subestimar os custos das transições energéticas e tecnológicas (JACCARD *et al*., 1996; HORNE *et al*., 2005; BATAILLE *et al*., 2006). Segundo tais autores, isso se dá pelo fato de os modelos BU não demonstrarem como os agentes econômicos se comportam, ou seja, como fazem suas escolhas e respondem a alterações em variáveis econômicas como preços e renda. Sem contar com *feedbacks* a variáveis econômicas, esses modelos acabam por assumir que tecnologias alternativas e tecnologias consolidadas seriam praticamente substitutas perfeitas, não considerando que as novas tecnologias apresentam maiores riscos frente às tecnologias convencionais e já consolidadas, o que não seria factível.

Por fim, a construção de modelos BU enfrenta também desafios muitas vezes em decorrência da carência de bases de dados detalhadas e atualizadas acerca dos padrões de consumo de energia. Isso ocorre muitas vezes quando não há interlocução entre os órgãos relacionados ao planejamento energético e ao planejamento econômico. No caso dos países em desenvolvimento, o desafio pode ser ainda maior, dado que, muitas vezes, esses países apresentam restrições financeiras para a realização de pesquisas periódicas de coletas de dados.

2.2.2.2. Modelos *Top Down* (TD)

Os modelos *Top Down*, também conhecidos como modelos econômicos, tem como principal característica a sua capacidade de demonstrar a correlação e a causalidade entre a demanda de energia e as condições macroeconômicas. Logo, os modelos de projeção do consumo de energia do tipo TD são capazes de demonstrar como os agentes econômicos se comportam perante políticas públicas, setoriais, outras tendências macroeconômicas como crescimento do PIB e/ou PNB e/ou renda, variações na taxa de inflação, taxa de juros e taxa de câmbio ou mesmo choques externos e/ou exógenos. Os parâmetros comportamentais, bem como as relações de causalidade entre as variáveis macroeconômicas e as variáveis determinantes da demanda de energia são estimados por

meio de estudos econométricos, utilizando bases de dados *cross section*, em painel ou séries temporais.

Os modelos TD podem ser basicamente de dois níveis de complexidade: de equilíbrio parcial e de equilíbrio geral. No caso dos modelos de equilíbrio parcial, são utilizadas regressões econométricas simples ou múltiplas, capazes de identificarem a causalidade entre uma ou mais variáveis para realizar projeções para um dado mercado, considerando que os preços e as quantidades vigentes nesse mercado são totalmente independentes e não afetáveis pela dinâmica de outros mercados. Já nos modelos de equilíbrio geral computável (EGC), as alterações de preços e quantidades de um dado mercado interferem diretamente em outros mercados (e vice-versa). Desse modo, os modelos EGC normalmente buscam representar todos os setores da economia, bem como as suas respectivas relações intersetoriais através de matriz insumo-produto ou de matriz de contabilidade social.

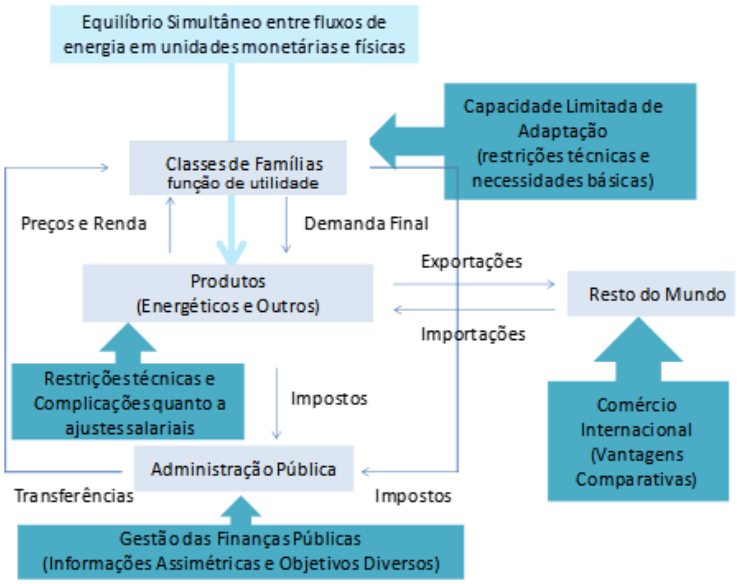

Figura 6. Representação Esquemática um modelo de Equilíbrio Geral Computável (Modelo IMACLIM S.2.4).

Fonte: Elaboração Própria com base em COMBET (2013).

Além disso, os modelos de EGC podem ser: estáticos – os parâmetros ficam fixo e não há investimento de um ano para outro; dinâmicos – incorporam endogenamente efeitos de economia para os parâmetros; dinâmicos recursivos – apresentam alteração de

parâmetros e também simulam a transformação de poupança para investimento ao longo do tempo.

Consequentemente, as projeções do consumo de energia oriundas de modelos TD baseiam-se em cenários macroeconômicos mais realísticos do que as dos modelos BU. Porém, os modelos TD tendem a representar o consumo de energia de uma forma muito agregada e sem detalhamento tecnológico, tornando um tanto restrita a sua utilização em estudos destinados a analisar o custo da penetração de novas tecnologias e as alterações nos padrões de consumo referentes a políticas públicas, como por exemplo políticas de eficiência energética e políticas de mitigação de emissões de gases de efeito estufa (BATAILLE *et al*., 2006).

Os modelos *Top Down* apresentariam ainda relutância em desviar do cenário business-as-usual sem custos significativos. De acordo com a teoria econômica, os consumidores seriam racionais e, por isso, tenderiam sempre a maximizar sua utilidade dentro das suas restrições orçamentárias. Logo, tais modelos considerariam que o mix de tecnologias escolhidas pelos consumidores em um dado momento seria escolha ótima, dada as condições de mercado (HORNE *et al*., 2005). Logo, os modelos TD tendem a minimizar os possíveis ganhos de eficiência energética e a sobrestimar o custo da troca de tecnologias vigentes para uma tecnologia alternativa.

Nos modelos econômicos, os consumidores são representados por meio de sua função de utilidade e de sua restrição orçamentária. Essa função representa o nível de satisfação auferido por um dado grupo de consumidores ao consumo de um dado bem ou serviço. Considerando que o consumidor sempre buscará o máximo de satisfação possível, a sua cesta ótima de consumo será aquela que lhe proporcionará o maior nível de utilidade, desde que respeitando sua restrição orçamentária.

A **Equação 6** traz um exemplo de função de utilidade, baseada em WILLS (2013), LOFGREN et al. (2002) e GHERSI & HOURCADE (2006), sobre demanda das famílias brasileiras de uma dada classe de renda por serviços energéticos J e demais bens e serviços c, sujeita à restrição orçamentária (**Equação 7**) e demais restrições necessárias para representar adequadamente o problema microeconômico (**Equação 8** , **Equação 9** e **Equação 10).**

$$\max_{s} U\ (s_j, \alpha_j, \beta_j, z_c, z_j) \quad (6)$$

Sujeita às restrições:

$$c + \sum_{j=1}^{J} s_j\, t_j \leq y_d \quad (7)$$

$$c \geq z_c \quad (8)$$

$$s_j \geq z_j \quad (9)$$

$$\forall j = \{1, \ \ldots, J\} \quad (10)$$

Onde:

d = despesa com bens ou serviços não energéticos ;

s_j = consumo da fonte energética *j* (em tep);

t_j = tarifa da fonte energética (em R$/tep);

y_d = renda disponível;

α_j = elasticidade-preço do consumo da fonte energética *j* ;

β_j = elasticidade-renda do consumo da fonte energética *j* ;

z_j = quantidade mínima a ser consumida da fonte energética *j* ;

z_c = quantidades mínimas de despesas com bens ou serviços não energéticos.

Para COMBET (2013), as alterações no consumo de energia das famílias dependerão da elasticidade-preço, a elasticidade-renda e a elasticidade de substituição entre bens e serviços – todas resultantes da função de utilidade e de restrição orçamentária das famílias. Segundo SANTOS *et al*. (2019), calculam-se as elasticidades através de dados da pesquisa de orçamento familiar, com a ressaltava de que tais pesquisas não são realizadas com a frequência necessária para representar adequadamente o comportamento das famílias nos exercícios de planejamento energético, ainda mais se tratando de países em desenvolvimento. Elaboradas com longos questionários, as pesquisas de orçamento familiar apresentam alto custo, o que torna inviável sua realização mensal ou anual em muitos países. COMBET (2013) ressalta que essas elasticidades também podem ser calculadas exogenamente ao modelo ou aproveitadas de outros estudos, o que reduz consideravelmente a capacidade de o modelo representar de forma adequada o padrão de consumo das famílias.

O modelo de maximização de utilidade tem seus parâmetros calibrados com base nos dados disponíveis para um certo período. Logo, apesar de demonstrar como o consumidor aloca seus recursos entre os itens de sua cesta de consumo em acordo com os

preços relativos e a sua renda, o modelo TD mostra-se um pouco limitado no que tange a representar a tendência de comportamento do consumidor ao longo do tempo.

No caso da evolução da elasticidade-renda e da elasticidade-preço do consumo de energia, considera-se que elas podem ser alteradas ao longo do tempo, de acordo com a evolução do nível de renda e preços relativos. As funções de utilidade possuem elasticidade de substituição constante (*Constant Elasticity of Substitution* – CES) entre bens energéticos e não energéticos. Em outras palavras, os modelos destacados consideram que a participação de cada bem na cesta de consumo tende a ser constante, como se bens se aproximassem a complementares perfeitos – fato que remete à ideia de a energia ser encarada como um bem básico, que requer um consumo mínimo para atender às necessidades básicas familiares.

Porém, como representar as mudanças na escolha tecnológica para corresponder à demanda pelo serviço energético? HORNE *et al*. (2005) destacam que, para descreverem-se a capacidade de mudança tecnológica e os ganhos de eficiência frente a possíveis políticas de eficiência energética e de mitigação de emissões de gases de efeito estufa, existem dois parâmetros-chave que podem ser utilizados em modelos TD: as elasticidades de substituição (ESUBs) e o índice de eficiência energética autônoma (IEEA).

As ESUBs indicam a capacidade de substituição entre fatores de produção (capital, trabalho, energia e outros insumos produtivos) e entre diferentes formas de energia útil (eletricidade, gás natural, GLP, lenha, carvão vegetal, gasolina, diesel, etanol, etc), frente a alterações nos seus preços relativos. Quanto maior for a ESUB capital-energia e entre fontes energéticas, menor será o custo de uma política que objetive reduzir o uso de energia ou a emissão de um gás de efeito de estufa (GEE). Já o IEEA indica quanto do aumento de eficiência energética pode ser explicado pelo progresso tecnológico e pela evolução do estoque de capital. Quanto maior o IEEA, mais rápido será o processo de aumento da eficiência do uso de energia e/ou de redução das emissões de GEEs.

Com base no levantamento feito por BATAILLE *et al*. (2006) acerca de modelos TD que utilizam os parâmetros ESUB e IEEA, é possível concluir que, na maioria dos casos, os parâmetros são estimados por especialistas por meio de dados históricos. Porém, nem sempre há registros históricos suficientes com a desagregação adequada para estimar parâmetros estatisticamente válidos, fazendo com que muitas vezes estes venham a ser utilizados como ferramentas de ajuste para estimativa de consumo de energia, principalmente no caso do IEEA.

Além disso, o fato de os modelos TD utilizarem dados históricos para estimarem os parâmetros ESUB e IEEA acaba por levá-los muitas vezes a superestimar o custo de políticas de eficiência energética e de mitigação de gases de efeito estufa (JACCARD *et al*., 1996). No caso do IEEA, o uso de dados históricos para estimar o comportamento futuro desses parâmetros pode vir a considerar que, no horizonte de análise, serão necessários ganhos de eficiência energética e investimentos para troca de tecnologia tão grandes quanto os verificados no passado, desconsiderando os possíveis avanços históricos tecnológicos. Sobre o uso do parâmetro ESUB, estimado com base em dados históricos em projeções de longo prazo, GRIFFIN (1977[9] *apud* BATAILLE *et al*. 2006) destaca ser essa uma decisão ainda controversa, uma vez que a fronteira das possibilidades está constantemente se adaptando em resposta ao preço dos insumos produtivos, aos avanços tecnológicos e às políticas energética e ambiental.

É importante ressaltar que a adaptação de um modelo TD de um país para outro requer muita cautela. Recomenda-se que os parâmetros e indicadores sejam estimados com base nos dados do próprio país. Tal precaução deve ser ainda mais incisiva caso os países estejam em diferentes estágios de desenvolvimento e diferentes padrões de consumo. SANTOS *et al* (2019) apresentam o passo a passo para construir um modelo TD com representação do padrão de consumo das famílias e para estimar as elasticidades renda e preço sobre os dados das pesquisas de orçamento familiar, ao passo que BATAILLE *et al*. (2006) demonstram como estimar os parâmetros ESUB e IEEA, apesar de ressaltarem que seu uso precisa ser feito com precaução.

Por fim, a integração de modelos TD com modelos de simulação de comportamento dos agentes de base BU possibilita a construção de cenários mais robustos para o padrão de consumo das famílias, porque permite analisar com maior precisão os impactos de políticas de eficiência energética e de mitigação de gases de efeito estufa. Recomenda-se que os modelos TD utilizados em estudos de projeção de demanda de energia de países em desenvolvimento deixem um pouco de lado a sua tendência de realizar análise mais agregadas de modo a zelar pela qualidade dos dados e busquem representar os diferentes padrões de consumo de energia existentes em termos regionais ou por classes de renda. Em países em desenvolvimento, os padrões de consumo de energia apresentam, em geral, diferenças marcantes entre grupos socioeconômicos, diferenças essas que devem ser expostas através da desagregação por classes de renda de forma que o planejamento

[9] GRIFFIN, J. The econometrics of Joint Production: Another Approach. **The Review of Economics and Statistics**, v 59, p. 389-397, 1977.

energético lhes aderece possíveis soluções. Sem uma análise desagregada, não é possível enxergar os problemas e as possíveis soluções.

2.2.2.3. Modelos Híbridos

Após a breve apresentação sobre os modelos BU e TD, é possível afirmar que ambos apresentam uma série de vantagens e desvantagens no que tange à sua utilização em exercícios de planejamento energético com foco na projeção de demanda. Tais modelos, ao serem utilizados separadamente em uma análise não integrada, podem apresentar resultados incompletos (como pouco detalhamento tecnológico ou carência de *feedback* econômico) e gerar projeções muitas vezes discrepantes, reduzindo as chances de os seus cenários projetados para demanda de energia serem verificados no futuro.

As limitações encontradas nos modelos BU e TD levaram ao desenvolvimento de modelagens híbridas que combinassem a explicitação tecnológica dos modelos BU com o realismo microeconômico e *feedbacks* macroeconômicos dos modelos TD – estratégia na realização de análises mais sofisticadas acerca dos impactos de políticas econômicas, energéticas e ambientais (JACCARD *et al*., 1996; HORNE *et al*., 2005; BATAILLE *et al*., 2006).

Por apresentarem detalhamento tecnológico e instrumentos para análise dos impactos decorrentes de variações nas condições macroeconômicas, os modelos híbridos são capazes de demonstrar como a demanda de energia reage a alterações em variáveis macroeconômicas (ex. preço e renda) e como esse comportamento pode vir a afetar a quantidade e o preço que a essa energia virá a ser ofertada; da mesma maneira, são capazes de demonstrar como os consumidores poderiam vir a se comportar em termos de escolha de tecnologia e/ou fonte energética perante possíveis políticas setoriais. Os modelos híbridos são, então, ainda mais recomendáveis para países em desenvolvimento, considerando-se as possíveis mudanças de comportamento e troca de tecnologia e/ou fontes de energia como resultado dos avanços no aumento de poder aquisitivo e na redução das desigualdades distributivas, decorrentes do processo de desenvolvimento socioeconômico.

Como enumeram PYE & BATAILLE (2016), os modelos híbridos constituem-se em três tipos (i) Modelos Híbridos de base BU; (ii) Modelos Híbridos BU+TD com hard ou *soft link*; (iii) Modelos Híbridos de base TD.

Modelos Híbridos BU+TD com *hard* ou *soft link* acabam por apenas vincular modelos BU e TD já estabelecidos por meio de *soft links*, ou seja, caso não haja conexão direta entre os modelos, os parâmetros são transmitidos entre eles – solução interessante no caso de estudos que necessitam de uma abordagem híbrida e já detém experiência com modelos TD e BU. Esse mecanismo é muito usado quando se deseja detalhar mais profundamente o comportamento de um dado setor (ex. setor elétrico) e, ao mesmo tempo, verificar como este interage com outros setores da economia.

Em termos de funcionamento dos Modelos Híbridos BU+TD, destaca-se o exemplo da interação entre o modelo de EGC e um modelo BU de simulação do comportamento dos agentes. Incialmente, o modelo EGC fornece os dados de preços e renda para o modelo de simulação de comportamento dos agentes. A interação entre os dois modelos é realizada algumas vezes até que a demanda de energia final das famílias, calculada com base nos preços e renda, ao ser reinserida no modelo de equilíbrio geral, não resulte em alterações significativas nas variáveis preço e renda de equilíbrio. Não havendo diferença significativa, é encontrado o equilíbrio (COMBET, 2013).

Contudo, é possível que a inexistência de um link codificado possa implicar em maior demanda de coordenação por parte dos pesquisadores que estão fazendo a análise. A **Figura 7** traz como exemplo o funcionamento do modelo híbrido BU+TD composto pelo ECG IMACLIM-BR, pelos modelos BU de projeção de demanda de energia e pelo modelo de planejamento da operação e da expansão da oferta de energia elétrica , como no caso o modelo MESSAGE (WILLS, 2013).

Como demonstra a **Figura 6**, o modelo BU de projeção de demanda de energia das famílias fornece os dados de consumo de energia e investimentos necessário para os respectivos cenários para o modelo de otimização de oferta energética, o qual, por sua vez, estabelece a matriz de menor custo para atender à demanda de energia projetada. Dessa forma, o modelo energético de otimização informa ao modelo de ECG a matriz energética, os preços de energia, os investimentos e outros parâmetros técnicos e estruturais. O Modelo de EGC, de acordo com as funções de utilidade e produção e respectivas elasticidades, recalcula os preços de equilíbrio, PIB e nível de renda, de forma a serem compatíveis com a demanda projetada de energia. Esses dados são repassados aos modelos de projeção BU, que recalculam a projeção de demanda de energia considerando os novos dados. Esse processo se repete até que preço e demanda de energia coincidam nos modelos BU e TD.

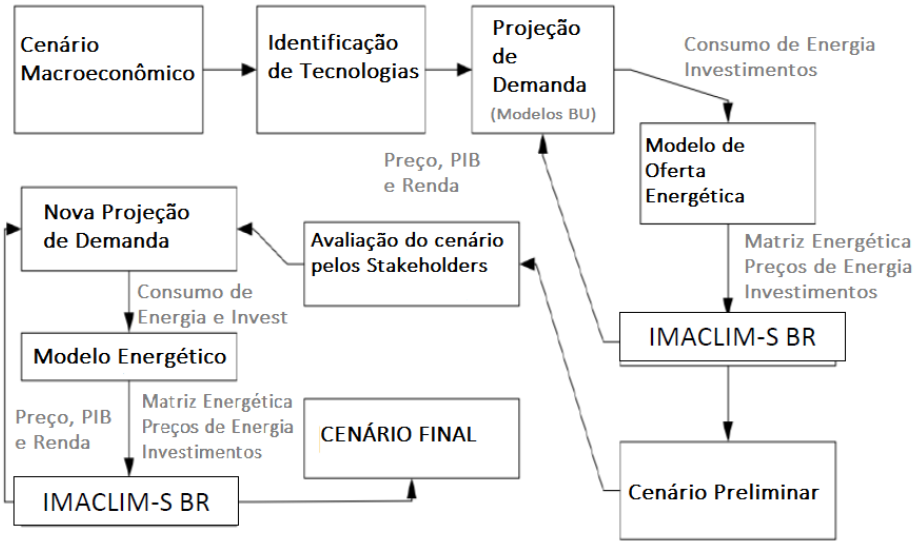

Figura 7. Representação Esquemática do Modelo TD+BU IMACLIM-BR.

Fonte: Elaboração Própria.

Já, no caso dos modelos híbridos de base BU, normalmente são inseridos ao modelo BU alguns mecanismos de *feedbacks* macroeconômicos, como a incorporação de funções de maximização do excedente do produtor ou da utilidade do consumidor e a introdução da elasticidade preço e renda, no que tange às decisões de consumo, investimento e operação. Nesse tipo de modelo, fica mais fácil representar a heterogeneidade dos agentes econômicos, além de tornar possível a utilização de diferentes taxas de desconto e custos intangíveis (como, por exemplo, externalidades positivas e negativas). Contudo, os modelos híbridos de base BU permanecem a encontrar desafios para representar os impactos estruturais de uma dada política energética sobre outros setores da economia.

Um exemplo do tipo de modelo híbrido de base BU utilizado para estudos de projeção de demanda é o modelo CIMS (PYE & BATAILLE, 2016; JACCARD *et al.*, 1996; HORNE *et al.*, 2005; BATAILLE *et al.*, 2006). Energo-econômico, o CIMS é composto por submodelos BU, capazes de descreverem o consumo de energia dos setores da economia (famílias, governo, indústria, agropecuário, comércio), que contam com funções de *market share* e buscam representar a penetração de cada tecnologia (e/ou fontes energéticas) no mercado. A **Equação 13** demonstra como o CIMS determina a participação de cada tecnologia para atender um dado uso final de energia.

$$MS_j = \frac{\left[CC_j * \frac{r}{1-(1+r)^{-n_j}} + OC_j + EC_j + i_j\right]^{-v}}{\sum_{K=1}^{K}\left[CC_k * \frac{r}{1-(1+r)^{-n_k}} + OC_k + EC_j + i_k\right]^{-v}} \quad \textbf{(13)}$$

Onde:

MS_j= participação da tecnologia *j* para atender um dado uso final mercado;

CC_j = custo de capital da tecnologia *j*;

OC_j= custo de operação e de manutenção da tecnologia *j*;

EC_j= custo do consumo de energia da tecnologia *j*;

i_j=custos ou benefícios intangíveis (não monetários) relativos à tecnologia *j*;

n_j= vida útil da tecnologia *j*;

r = taxa de desconto ou taxa mínima de atratividade;

v= heterogeneidade da economia.

No entanto, apesar de conter informações acerca das vantagens comparativas de custo, este modelo por ser de base BU ainda peca por não apresentar feedback econômicos e representação adequada do comportamento dos agentes econômicos através de funções de utilidade e de produção. Desta forma, por olhar apenas para custos, o modelo tende a assumir substituição perfeita entre as tecnologias e que o maior *market share. Como* forma de tentar representar as escolhas tecnológicas de forma mais sofisticada e realista, o modelo CIMS conta com os parâmetros " custos intangíveis e "heterogeneidade de mercado".

O parâmetro "custos e os benefícios intangíveis" ou não monetários permite que sejam considerados no modelo custos e benefícios inerentes ao uso da tecnologias que não necessariamente são monetários ou diretos, como ganhos de conforto, ganhos publicitários quanto à sustentabilidade, preferências de cunho cultural e/ou mesmo danos à saúde. Se for um custo intangível, este apresentará valor positivo; caso seja um benefício, apresentará valor negativo, impactando assim positiva ou negativamente sobre o custo de ciclo de vida da tecnologia e em suas vantagens comparativas com relação às demais tecnologias. Essa variável pode ser utilizada como variável de ajuste das vantagens comparativas calculadas entre as tecnologias e o *market share* verificado na realidade.

O parâmetro "heterogeneidade do mercado" também pode ser utilizado para calibrar os resultados encontrados com as informações obtidas de forma empírica.

Podendo variar de 0 a infinito, quanto mais alto o valor de v, menor a heterogeneidade da economia, o que leva a tecnologia com o menor custo de ciclo de vida a dominar o mercado, apresentando *market share* próximo de 100% e substituição perfeita entre as tecnologias. Por outro lado, um valor baixo para o v significa que a economia apresenta maior heterogeneidade e que tecnologias menos atrativas por apresentarem maior custo de ciclo de vida são passíveis de obterem um *market share* significativo no mercado, se se mostrando praticamente como tecnologias complementares (BATAILLE et al., 2006).

Por outro lado, o modelo CIMS considera também a evolução da posse das tecnologias pelos setores econômicos, levando em consideração as novas aquisições, obsolescência e *retrofits*. A decisão dos agentes de fazer a substituição de equipamentos e realizar *retrofits* dos mesmos considera os custos financeiros ao longo de toda a vida útil da tecnologia, bem como os seus custos intangíveis, que incluem os custos relativos a emissões, riscos e outras externalidades – positivas e negativas. Além disso, o modelo também inclui duas funções com o objetivo de simular endogenamente as mudanças frente a uma política de eficiência energética, por exemplo, na escolha dos agentes quanto a uma dada tecnologia. Estas são uma função decrescente de custo de capital para representar o efeito de economias de escala e *learning-by-doing*, e uma função também decrescente de custo intangível para novas tecnologias que terão seu custo reduzido à medida que forem sendo conhecidas por empresas e consumidores (BATAILLE *et al*., 2006).

Por fim, os modelos híbridos de base TD nada mais são do que a adaptação de modelos de equilíbrio geral computável (EGC) para a análise de política energética, passando a explicar parte das escolhas tecnológicas. Normalmente, são do tipo dinâmico recursivo, uma vez que visam a descrever mudanças tecnológicas ao longo do horizonte de análise. Tendem a incluir em meio às funções de otimização – inerentes de um modelo de EGC – equações de otimização e restrições que reproduzam um modelo de simulação do comportamento dos agentes quanto à escolha de tecnologia.

Os modelos híbridos de base TD, no que tange à representação do padrão de consumo de energia da família, não apresenta uma estrutura muito diferente da apresentada nos modelos de ECG convencionais (**Equação 6** e **Equação 7)**. Porém, os modelos híbridos de base TD buscam explicar, com mais detalhes as escolhas acerca da demanda de energia em termos da demanda por diferentes serviços energéticos e escolhas tecnológicas levando em conta nível de eficiência e custo de aquisição dos equipamentos,

como demonstram SANTOS *et al* (2019) e BIBAS *et al* (2016). Desta forma, em um modelo híbrido de base TD, a **Equação 6** e a **Equação 7** poderiam vir a ser substituídas pela **Equação 11** e pela **Equação 12**, baseadas em SANTOS *et al* (2019).

$$\max_{u} U \ (u_{i,j}, \alpha_j, \beta_j, z_c, z_j) \quad \textbf{(11)}$$

Sujeita às restrições:

$$d + \sum_{j=1}^{J} \sum_{i=1}^{I} u_{i,j}(t_j \eta_{i,j} + r_{i,j}) \leq y \quad \textbf{(12)}$$

Onde:

$u_{i,j}$ = serviço energético *i* prestado pela fonte energética *j* (em tep);

$\eta_{i,j}$ = fator de eficiência energética da prestação do serviço energético *i* pela fonte energética *j*;

$r_{i,j}$ = custo de aquisição do equipamento por unidade de energia consumida (R$/tep) para prestar o serviço energético *i* pela fonte energética *j*.

Um exemplo de modelo híbrido de base TD é o modelo IMACLIM-R. Este descreve o consumo de energia das famílias por classe de renda através de sua função de utilidade e restrição orçamentária, porém o desagrega em duas partes: o consumo de energia para transporte, que é estimado por meio do consumo médio de energia por passageiro-quilômetro de cada modal de transporte inerente à demanda das famílias de cada classe de renda; e o consumo residencial, estimado pelo consumo médio de energia por metro quadrado de área do domicílio (BIBAS *et al*, 2016). Além disso, IMACLIM-R também utiliza uma função de utilidade com elasticidade substituição constante (CES) entre os modais de transporte (aéreo, terrestre público, terrestre privado e não motorizado).

O modelo IMACLIM-R conta ainda com um modelo de base BU recursivamente acoplado por um *hard link*, chamado Res-IRF (GIRAUDET et al., 2012). O objetivo deste *hard link* é modelar a evolução do desempenho energético do estoque de construção e o crescimento do estoque total de edifícios, reformas com foco em ganhos de eficiência energética e transição energética. GIRAUDET et al. (2012) essa escolha metodológica garante os *feedbacks* macroeconômicos necessários sem precisar incorrer na inflexibilidade de funções de produção neoclássicas que não garantem a reprodução de quantidades físicas e estoques.

O Res-IRF apresenta três variáveis de entrada: o preço da energia (que determina comportamentos de eficiência e demanda), população (único parâmetro exógeno ao modelo) e renda disponível (que determina se haverá crescimento do número de metros quadrados construídos ou não) . Os preços da energia e a renda disponível são endógenos e determinados no IMACLIM-R para o ano *t* e inseridos automaticamente no Res-IRF, que por sua vez, gera novas demandas por investimento e energia das edificações que são inseridas automaticamente no IMACLIM-R novamente para calcular novos preços de energia e renda para o ano *t + 1*. O Res-IRF, por enquanto, só traz impactos para os mercados de energia e o consumo das famílias, mas espera-se que futuramente seja capaz também de estimar o impacto na criação de empregos induzido por políticas de eficiência energética na indústria da construção ou no consumo de energia em outros setores da economia (como por exemplo lazer) induzido pelo investimento em eficiência energética realizados pelas famílias. (GIRAUDET *et al*., 2012)

Desta forma, é possível concluir que os modelos híbridos de base TD apresentam estrutura complexa e que necessita ser desenvolvida normalmente em conjunto e do zero para ser capaz de representar adequadamente a economia e a demanda energética de um país, exigindo um esforço de programação significativo sem necessariamente levar a resultados imediatos. Além disso, pode ser um desafio para países em desenvolvimento porque requer base de dados mais completas e complexas, com dados por exemplo de área construída, consumo das edificações e investimentos de eficiência em eficiência energética sistematizados com pesquisas de orçamento familiar e posses de equipamentos e consumo de energia. É esperado que a disseminação do uso do sistema de informações geográficas (*Geographic Information System* – GIS) e os avanços nos sistemas de monitoramento remoto, *data management* e *data science* venha a ajudar na construção dessas bases de dados e no desenvolvimento desses tipos de modelo híbridos de análise integrada energo-energética.

2.2.2.4. Sugestão de Modelos para Países em Desenvolvimento

A ***Tabela 4*** traz os cinco tipos de modelos de projeção de demanda para planejamento energético apresentados anteriormente, ordenados de acordo com o seu nível de abrangência da representação do sistema energo-econômico e classificados de acordo com seus atributos para a construção de cenários e análise de políticas energéticas.

Tabela 4. Comparação dos Modelos de Projeção de Demanda.

Atributos	Modelos (por nível de Abrangência da representação do sistema energo-econômico) baixa >>>>> ALTA				
	BU	**TD**	**Híbrido de base BU**	**BU+TD**	**Híbrido de base TD**
Representação do Processo de Penetração da Tecnologia (*Roadmap* tecnológico)	***	*	***	***	**
Feedbacks Macroeconômicos	*	***	**	***	***
Análise do Custo da Política	**	**	**	***	***
Análise de Impactos Econômicos	*	**	**	***	***
Alinhamento com Prioridades de Desenvolvimento Socioeconômico	*	***	**	***	***
Combinação com a Operação do Sistema Elétrico	*	*	**	***	**
Análise de Impactos Distributivos	*	**	*	***	***
Transmissão de Informação para Stakeholders	***	*	***	**	**
Emissões Substanciais de setores não energéticos	*	*	**	***	**
Baixa intensidade dados	***	***	**	**	*
Baixa barreira à entrada	***	**	**	**	*
Transparência dos dados e do uso	**	**	**	*	*
Facilidade Uso e Replicabilidade	***	***	**	*	*

Nota: *** - grande capacidade de atender ao atributo; ** - média capacidade de atender ao atributo; * - baixa capacidade atender ao atributo.
Fonte: Elaboração Própria com base em PYE & BATAILLE (2016).

Uma vez apresentados os diferentes tipos de modelos disponíveis para projeção de demanda e planejamento energético, é possível concluir que os modelos híbridos se mostram mais compatíveis a atenderem às necessidades de países em desenvolvimento. Além de apresentam detalhamento tecnológico para representação das divergências de padrão de consumo entre diferentes classes socioeconômicas e/ou regiões, eles detêm desde mecanismos de resposta da demanda a variáveis macroeconômicas (e vice-versa).

Como é esperado que países em desenvolvimento encarem alterações em sua estrutura socioeconômica, modelos híbridos de base BU podem mostrar-se um pouco limitados na análise dos impactos na demanda de energia, decorrentes do processo de desenvolvimento econômico, dado que não carecem de uma representação adequada das relações intersetoriais presentes em uma economia. Por outro lado, modelos híbridos de base TD são complexos e carecerem das informações necessárias para serem adaptados de forma adequada à realidade dos países em desenvolvimento.

Desse modo, acredita-se que, em um primeiro momento, o mais indicado para países em desenvolvimento seria o uso de modelos TD e BU independentes e conectados

por meio de um *soft link* (modelo híbrido TD+BU). Por serem naturalmente modelos mais simples, seria possível adaptar suas estruturais às necessidades de análise do país e aos dados disponíveis. Embora essa alternativa exija um pouco mais de dedicação dos pesquisadores em meio a modelagem, ela permite que os planejadores se familiarizem com os dados disponíveis para o país e construam um modelo que, de fato, represente os padrões de consumo locais, sem incorrer no risco de importar parâmetros ou desagregações de análise que não agreguem valor ao estudo. Um exemplo disso foi a adaptação do modelo IMACLIM-S para a realidade brasileira, dando origem ao modelo IMACLIM-BR (WILLS, 2013).

O desenvolvimento de modelos TD+BU próprios para países em desenvolvimento possibilita que sejam estimados parâmetros como as elasticidades-renda e elasticidades-preço para diferentes agentes econômicos internos, num movimento para compreenderem-se as possíveis peculiaridades da economia local que podem direcionar políticas públicas e setoriais. SANTOS et al. (2019) é um bom exemplo de como as elasticidades podem se estimadas para um estudo de caso específico, reajustando o modelo TD para a realidade do país.

Além disso, como apresentado anteriormente, não é possível finalizar o item sobre sugestões de modelos de planejamento energético aplicados a países em desenvolvimento sem discutir as questões do acesso à energia e da representação nos modelos do comportamento dos consumidores que passam a ter acesso a energia elétrica a fontes mais modernas e limpas para cocção e aquecimento de ambiente.

Relevante para o planejamento energético de país em desenvolvimento com desafios para eletrificação, o uso de dados geoespaciais torna possível estimar, de forma mais realista, a necessidade de investimentos para expansão da rede elétrica e/ou para a instalação de sistemas de *minigrid* ou sistemas *offgrid stand alone*, normalmente alimentados por PCH ou fontes energéticas renováveis modulares como solar e eólica. Dependendo da disponibilidade de dados geoespaciais, a demanda de energia é estimada, bem como a forma custo-efetiva de atender à população por localidade, levando em consideração também outros fatores socioeconômicos, como renda, acesso à infraestrutura, recursos naturais (KORVELOS *et al*., 2019).

O Banco Mundial tem investido muito em modelagem de planejamento energético que leve em consideração dados geoespaciais e aqueles que determinem o caminho mais eficiente para a universalização do acesso à energia (ODS nº 7). Um dos últimos produtos lançados pelo Energy System Management Assistance Program – ESMAP, denominado

Global Electrification Platform (GEP), é uma ferramenta totalmente gratuita, que agrega uma série de cenários de eletrificação utilizando dados geoespaciais para os países com maiores déficits de acesso à energia no mundo.

Contudo, um dos maiores desafios enfrentados por essa metodologia tem sido a determinação da projeção de demanda. Além de precisar considerar que o desenvolvimento socioeconômico implicará uma série de mudanças de padrão de consumo, a evolução dos níveis de demanda de energia se mostra como fator primordial na decisão sobre se os abastecimento será realizado através da expansão da rede centralizadas ou por sistemas *off grid* ou *mini grids*. Atualmente, o GEP tem utilizado em suas projeções de demanda os planos nacionais de energia (quando existentes) e a metodologia proposta por BHATIA & ANGELOU (2015) que determinada alguns intervalos de consumo de energia (Tiers) com o fim de categorizar os diferentes níveis de consumo de energia por nível de desenvolvimento socioeconômico e de bem-estar social.

A mudança de hábitos de consumo de energia ao longo do desenvolvimento econômico pode ser um processo às vezes um tanto demorado e complexo, uma vez que depende da infraestrutura disponível no local, presença de projetos sociais, do nível de renda das famílias ,e também, de questões culturais e políticas. Portanto, estudos de projeção de demanda para países em desenvolvimento se mostram ainda mais necessários. O uso das categorizações de níveis de consumo de energia relacionadas aos estágios de desenvolvimento propostas por BATHIA & ANGELOU (2015) pode ser muito útil para a construção de cenários de projeção da demanda de energia, principalmente em modelos de base BU. Porém, há ainda carência de um método mais rebuscado que una, ao menos, duas necessidades: represente as alterações no padrão de consumo de energia, considerando as discrepâncias regionais e entre diferentes classes de renda; relacione as escolhas tecnológicas e de fontes energéticas com a melhorias nas condições macroeconômicas ao longo do processo de desenvolvimento socioeconômico.

Como demonstram KORKOVELOS *et al* (2019) através de uma análise de sensibilidade, alterações nos cenários de projeção de demanda de eletricidade são responsáveis por gerar as flutuações significativamente grandes no custo total de investimento e operação da matriz geradora. No estudo de caso realizado para o Malawi, essa flutuação foi de 1,65 a 7,78 bilhões de dólares.

Por menor que seja o erro de projeção de demanda, dificilmente não resultará no aumento do custo da expansão e da operação do sistema energético – a ser repassado aos consumidores –, dispendendo uma parcela ainda maior da renda o consumo de energia.

Logo, todos os esforços para tornar mais eficazes os modelos de projeção de demanda para países em desenvolvimento se mostram válidos como forma de reduzirem-se os riscos de o país precisar incorrer em gastos adicionais e redução do bem-estar social.

Portanto, a seguir será proposta uma metodologia de identificação dos determinantes da evolução dos padrões de consumo de energia em países em desenvolvimento, bem como uma análise empírica que vem ao encontro da proposta de melhorias para modelos de planejamento energético com foco em trajetória de desenvolvimento sustentável.

3. Materiais e Métodos

De acordo com BHATTACHARYYA (2011), a energia é um insumo para produzir bens e serviços ou é utilizada para atender a setores de demanda final por serviços energéticos. Assim, enquanto agente econômico da procura final, os agregados familiares são, por um lado, responsáveis pelo seu próprio consumo de energia para utilizações finais e, por outro, também são indiretamente responsáveis pela energia necessária para produzir outros bens e serviços que fazem parte de sua cesta de consumo (VANIN *et al*., 1981; COHEN *et al*., 2005; LENZEN *et al*., 2014; WEISS DE ABREU, 2015; PEROBELLI *et al*., 2015).

Considerando que as famílias respondem por uma parcela significativa da demanda final na maioria das economias ao redor do mundo, a pesquisa sobre o padrão de consumo das famílias é capaz de explicar uma parcela significativa do comportamento da demanda de energia e emissões em qualquer economia (PEROBELLI *et al*, 2015; WEBER & PERRELS, 2000). De acordo com as contas nacionais brasileiras, as famílias foram responsáveis por 54% da demanda final por bens e serviços na economia brasileira em 2002 (IBGE, 2018). Assim, com base em WEBER & PERRELS (2000), LENZEN *et al* (2006), ACHÃO & SCHAEFFER (2009) e WEISS DE ABREU (2015), é fundamental compreender o comportamento do consumo das famílias para realizar estudos sobre planejamento energético e para definir as diretrizes para políticas públicas relacionadas a este setor.

Os autores supracitados enfatizam, contudo, que conhecer o padrão de consumo de energia das famílias e seus determinantes não é uma tarefa simples. LENZEN (2006) correlacionou o consumo de energia direta e indireta das famílias com fatores socioeconômicos e regionais (gastos, tamanho da família, trabalho e urbanização) e investigou diferenças entre os padrões de consumo de energia em vários países desenvolvidos e em desenvolvimento. Ele concluiu que, embora a intensidade energética tenda a ser indiretamente proporcional à renda e que a demanda por energia (em termos absolutos) acompanhe o aumento da renda, não há uma regra de bolso orientando esse processo. Cada país e grupo social têm padrões específicos de consumo doméstico de energia – conclusão corroborada por COHEN *et al*. (2005), cujos trabalhos evidenciaram as diferenças no padrão de consumo entre famílias de diferentes classes de renda e regiões do Brasil.

Adicionalmente, ACHÃO & SCHAEFFER (2009) e LENZEN *et al.* (2013) demonstraram que a evolução da procura de eletricidade e das emissões relacionadas com o consumo de energia, respetivamente, é fortemente afetada por alterações nos padrões de consumo das famílias, que, por sua vez, respondem significativamente a alterações no rendimento. Assim, embora não na mesma intensidade, os aumentos de renda levam à elevação do consumo de energia, assim como a distribuição desigual de renda reflete claramente na distribuição do consumo de energia entre diferentes classes de renda (VANIN *et al*., 1981; AROUCA, 1982; BÔA NOVA, 1985; LINS, 1988; COHEN *et al*., 2005; ACHÃO & SCHAEFFER, 2009; MARQUES *et al*., 2012; LENZEN *et al*., 2013; MORELLO, 2010; MORELLO *et al*., 2011; WEISS DE ABREU, 2015; PEROBELLI, 2015).

No entanto, WEISS DE ABREU (2015) investigou, de 2002 a 2008, as desigualdades na distribuição do consumo de energia entre as famílias pertencentes a diferentes classes de renda e descobriu que uma melhor distribuição de renda não foi suficiente para tornar sua distribuição mais igualitária entre elas, ou seja, o aumento no consumo de eletricidade e etanol, em detrimento de fontes mais poluentes (derivados de petróleo e lenha), no período mencionado, e a distribuição total (direta e embutida) do consumo de energia entre domicílios de diferentes classes de renda permaneceu significativamente desigual (WEISS DE ABREU, 2015). A enorme e persistente desigualdade ao longo do tempo também foi identificada por COHEN *et al*. (2005), para o consumo doméstico total de energia, e por ACHÃO & SCHAEFFER (2009), para o consumo específico de energia elétrica.

Logo, seria praticamente impossível dissociar a procura de energia do padrão de consumo das famílias e, consequentemente, das condições culturais, regionais e socioeconômicas de um determinado país. Com isso, WEISS DE ABREU (2015) e PEROBELLI (2015) sugerem que a análise de decomposição estrutural é o instrumento adequado para ajudar a compreender melhor os determinantes socioeconômicos.

Diante do exposto, optou-se nesta pesquisa por realizar uma análise de decomposição estrutural baseada, em matrizes input-output, para explicar os determinantes que afetam o comportamento do consumo de energia das famílias. A opção pelo método de decomposição estrutural justifica-se pela sua capacidade de destacar não só os efeitos de atividade, intensidade e estrutura, mas também por apresentar um efeito de estrutura detalhado, em consonância com a estrutura produtiva da economia e com a cesta de consumo das famílias pertencentes a diferentes classes de rendimento, durante o

processo de desenvolvimento socioeconômico. Finalmente, a Experiência de Crescimento da Renda no Brasil (2002-2008) foi utilizada como análise empírica para avaliar a metodologia proposta.

Dessa forma, a estrutura das matrizes insumo-produto híbridas será apresentada, juntamente com as duas metodologias adotadas para estimar o consumo de energia indireta das famílias e para realizar a análise de decomposição estrutural focada na identificação dos determinantes das mudanças no comportamento do consumo de energia das residências no período.

Segue-se uma descrição das bases de dados e do tratamento de dados, necessária à realização da análise empírica sobre a evolução do padrão de consumo de energia das famílias brasileiras. Embora o tratamento de dados seja específico para o Brasil, o processo, porque depende das bases de dados nacionais, fez-se um dos pontos críticos da metodologia proposta.

3.1. Metodologia

Por padrão de consumo energético familiar, entende-se o somatório do consumo de energia direto de energia das famílias para atendimento da sua demanda por serviços energéticos, somado ao seu consumo indireto – toda a energia embutida nos bens e serviços que compõem a cesta de consumo.

A metodologia de análise de decomposição estrutural tem como base o uso de matrizes insumo-produto. Contudo, como neste estudo objetiva-se analisar a evolução dos padrões de consumo energético total (direto e indireto) das famílias, utilizar-se-á matrizes insumo-produto híbridas que contabilizam, em uma mesma Matriz Insumo-Produto, transações entre os setores, tanto em valores monetários, como em valores físicos de energia.

Como ressalta WEISS DE ABREU (2015), poucos são os estudos com ênfase no consumo energético total (direto e indireto) das famílias, sendo ainda mais improváveis as análises cujo foco sejam as discrepâncias do conteúdo energético do padrão de consumo das famílias por classes de renda. Com isso, optou-se, prioritariamente, pelas metodologias propostas por COHEN (2002), COHEN *et al* (2005) e WEISS DE ABREU (2015). Tal escolha é justificada por oferecer, de forma bem detalhada, informações sobre a manipulação de diferentes bases de dados para a construção da matriz insumo-produto

híbrida, com foco na análise do padrão de consumo energético (direto e indireto) das famílias e com desagregação por classes de renda.

O percurso para a montagem da metodologia foi: exposição do processo de hibridização das matrizes insumo-produto simples, de forma a construir matrizes insumo-produto híbridas, constituídas por unidades monetárias e físicas, visando estimar ao conteúdo energético do consumo das famílias.

As duas últimas subseções metodológicas concentram-se na proposta da metodologia de análise por decomposição estrutural aplicada ao padrão de consumo de energia das famílias e na análise empírica proposta, onde é demonstrada a aplicação de decomposição estrutural e, a partir daí, feitas recomendações de políticas públicas e melhorias para modelos de projeção de demanda de energia para países em desenvolvimento.

3.1.1. A Metodologia de Análise Insumo-Produto

As matrizes insumo-produto são uma ferramenta analítica desenvolvida por Wassily Leontief, no final dos anos 1930 (MILLER & BLAIR, 2009). Os primeiros trabalhos do autor sobre a metodologia de análise insumo-produto foram o artigo "Quantitative Input-Output Relations in the Economic Systems of the United States", publicado em 1936, no periódico "Review of Economics and Statistics", e o livro "The Structure of the American Economy", publicado em 1941 e em cujo conteúdo o modelo input-output é aplicado à economia norte-americana. Leontief recebeu o Prêmio Nobel de Economia, em 1973, pelo desenvolvimento dos modelos e metodologias de análise por matrizes insumo-produto.

Como ressalta WEISS DE ABREU (2015), a maior contribuição de Leontief foi a construção de um instrumento analítico operacional prático, facilmente utilizável e capaz de representar os fluxos circulares de renda entre firmas e famílias, ou melhor, entre o mercado de bens e serviços e o mercado de fatores de produção de uma economia, como mostra a **Figura 8**. Além disso, GUILHOTO (2011) expõe que as matrizes insumo-produto trariam uma representação das relações de interdependência direta e indireta entre os diversos setores econômicos, podendo, portanto, contribuir para a identificação e a solução de eventuais problemas em sua distribuição.

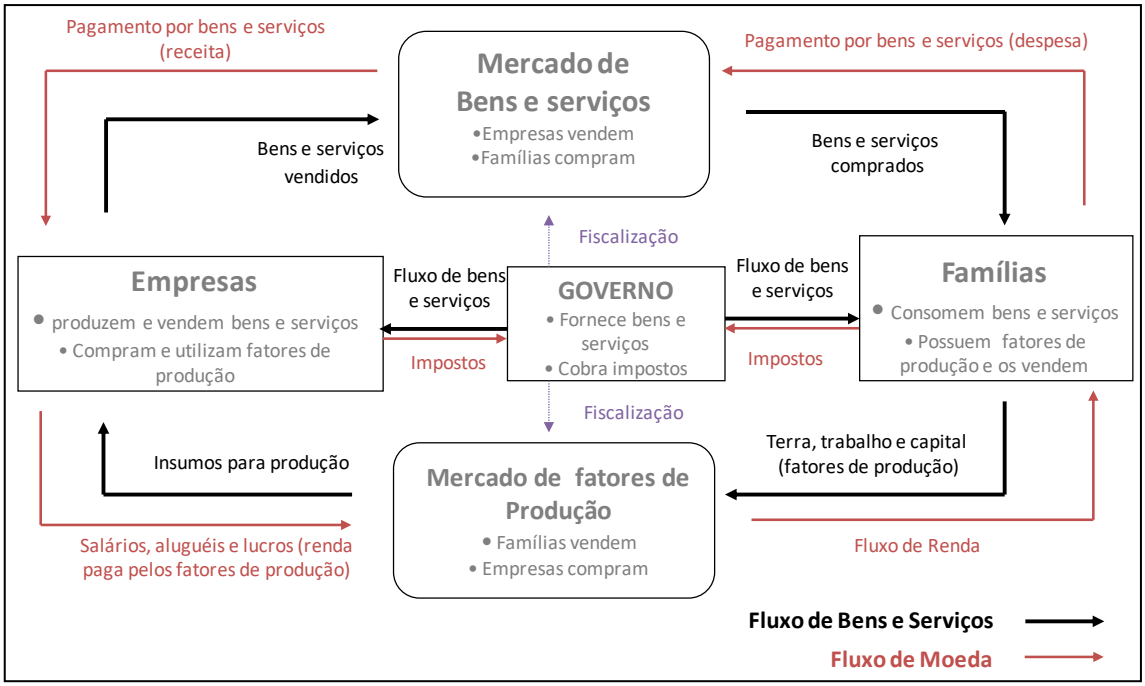

Figura 8. Diagrama do Fluxo Circular de Renda com Intervenção do Governo.

Fonte: WEISS DE ABREU (2015).

Para um dado recorte geográfico em um determinado espaço de tempo (MILLER & BLAIR, 2009), as matrizes insumo-produto revelam quais são os insumos e em que quantidade eles são necessários para produzir uma unidade monetária adicional de um dado produto por um dado setor econômico. Portanto, é possível extrair das matrizes insumo-produto tanto matrizes de coeficientes técnicos por cadeias produtivas, mostrando a participação de cada insumo produtivo no valor total da produção, bem como matrizes de interdependência entre setores ou entre produtos.

A matriz insumo-produto ou matriz de Leontief pode ser representada na análise setor por setor ou na análise produto por produto. Como este trabalho trata do consumo das famílias, optou-se por realizar uma análise produto por produto por imprimir melhor detalhamento das despesas das famílias, como proposto por WEISS DE ABREU (2015).

Para WEISS DE ABREU (2015), a estrutura de uma Matriz Insumo-Produto tem como essência o equilíbrio entre a oferta e a demanda de bens e serviços de uma economia. Na **Figura 9**, a demanda total e a produção total se encontram na mesma cor, porque precisam necessariamente apresentar o mesmo valor total. Essa é uma das principais razões para o trabalho de Leontief ser relacionado à teoria neoclássica do

equilíbrio geral de Walras (GUILHOTO, 2011) e para as matrizes insumo-produto serem utilizadas como base para modelos de equilíbrio geral computável.

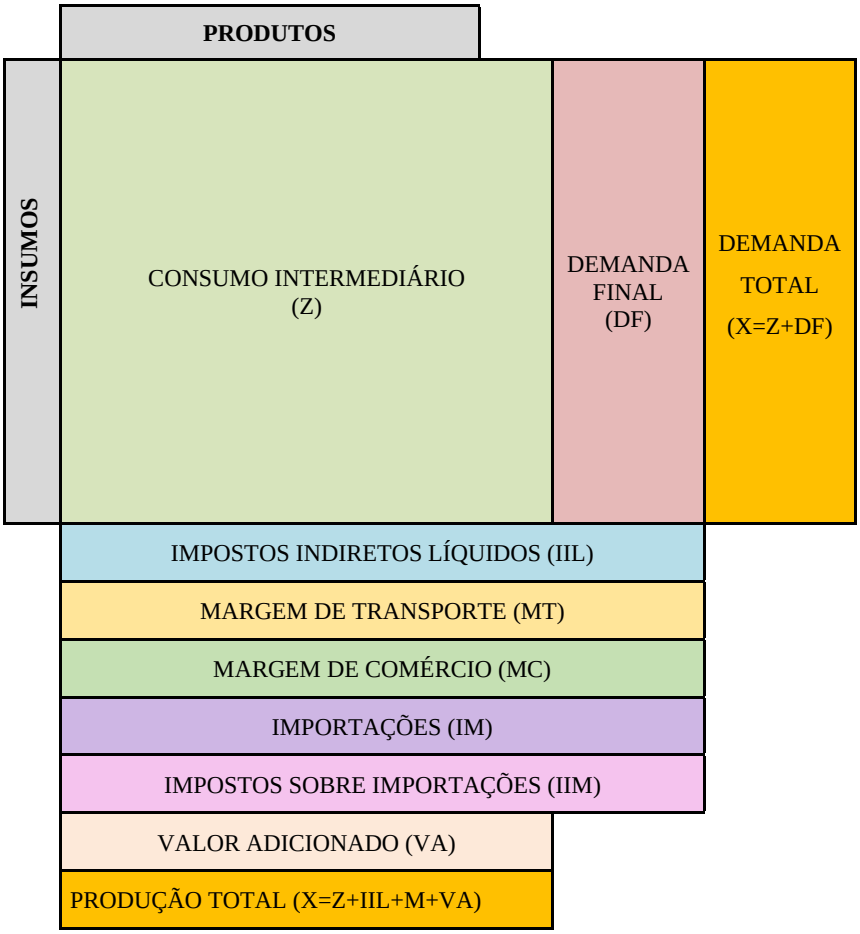

Figura 9. Estrutura da Matriz Insumo-Produto de Leontief.

Fonte: Elaboração Própria, com base em MILLER & BLAIR (2009) e WEISS DE ABREU (2015)

Na **Figura 9**, as matrizes insumo-produto são compostas pelas seguintes partes, de acordo com WEISS DE ABREU (2015):

- **Consumo Intermediário**: é a matriz do tipo quadrada (n produtos por n produtos) que representa os coeficientes técnicos de uma dada cadeia produtiva. É apresentado em valores monetários a preços básicos, ou seja, sem considerarem-se impostos, subsídios, margens de transporte ou de lucro.
- **Demanda Final**: representa o consumo final dos produtos da economia pelos setores exógenos ao modelo insumo-produto. A demanda final é dividida em Exportação de Bens e Serviços, Consumo do Governo

(Consumo da administração pública e consumo das Instituições sem fim lucrativo ao serviço das famílias - ISFLSF), Consumo das Famílias e Investimentos (que inclui formação bruta de capital fixo e variação de estoques).

- **Impostos Indiretos Líquidos**: são os impostos líquidos de subsídios referentes à compra de insumos para a produção de um dado produto da economia ou referentes à compra de produtos pelos setores da Demanda Final. Apresentam-se na forma de um vetor-linha, que pode ser transformado em uma matriz quadrada, onde serão detalhados os impostos embutidos em cada insumo comprado para a produção de cada produto ou para consumo final.
- **Margem de Transporte**: são as margens inseridas ao custo de produção do produto para remunerar o serviço de transporte dos bens e serviços consumidos pelos setores produtos ou pela demanda final. Esse valor pode aparecer em uma linha separada, dedicada a margens de transporte, ou inserida na linha de destinada ao insumo transporte de carga, dentro do consumo intermediário. Assim como os Impostos Indiretos Líquidos, também pode ser transformada em uma matriz quadrada onde serão detalhadas as margens de transporte embutidas em cada insumo comprado para a produção de cada produto ou para consumo final.
- **Margem de Comércio**: são as margens inseridas ao custo de produção do produto para remunerar o serviço de comércio dos bens e serviços consumidos pelos setores produtos ou pela demanda final. Esse valor pode aparecer em uma linha separada dedicada a margens de comércio ou inserida na linha de destinada ao insumo comércio dentro do consumo intermediário. Assim como a Margem de Transporte, também pode ser transformada em uma matriz quadrada em que serão detalhadas as margens de comércio embutidas em cada insumo comprado para a produção de cada produto ou para consumo final.
- **Importações**: são os produtos importados para a produção de bens interna ou para o consumo da Demanda Final. Apresentam-se na forma de um vetor-linha, mas também podem ser detalhados no formato de matriz quadrada produto por produto, assim como os Impostos Indiretos Líquidos.

- **Impostos Sobre Importações:** são os impostos líquidos de subsídios referentes às importações de bens e serviços pelos setores produtivos ou pela Demanda Final. Apresentam-se na forma de um vetor-linha, mas também podem ser detalhados no formato de matriz quadrada produto por produto, assim como as Importações.
- **Valor Adicionado**: é o valor adicionado gerado pela produção de cada produto na economia: remunerações (salários e contribuições sociais), excedente bruto operacional e impostos e subsídios que incidem sobre o produto.
- **Demanda Total ou Produção Total**: representa o somatório total do valor da produção. Na Matriz Insumo-Produto, esse somatório aparece no formato de vetor-coluna (soma das vendas do produto i para consumo intermediário e para consumo final pela demanda final) e no formato de vetor-linha (soma da compra de insumos para a produção do produto j com os impostos indiretos líquidos que incidem sobre eles, acrescida da importação de outros insumos produtivos e do valor adicionado na produção). Ambos os somatórios apresentam resultados idênticos, a não ser pelo fato de estarem transpostos.

3.1.2. A Relação Metodológica entre as Contas Nacionais e o Modelo Insumo-Produto

O processo de construção de uma matriz insumo-produto requer inúmeras informações sobre a produção e o consumo de bens e serviços disponibilizadas, muitas vezes, por diversas fontes de dados.

As Nações Unidas lançaram, em 1993 (UN, 2003), um guia com recomendações metodológicas a serem seguidas pelos países na construção das suas Contas Nacionais e das Matrizes Insumo-Produto. Embora seja um processo árduo e custoso de coleta de dados, ao seguir essa metodologia é possível utilizar os dados das Contas Nacionais para construir matrizes insumo-produto por meio de algumas manipulações matemáticas.

Para construir uma Matriz Insumo-Produto, são necessárias primordialmente duas matrizes provenientes do Sistema de Contas Nacionais: a Matriz de Recursos e a Matriz de Usos de Bens e Serviços (MILLER & BLAIR, 2009). A Matriz de Recursos ou Matriz

de Produção tem como finalidade informar o que cada setor da economia produz de bens e serviços que, quando somado às importações, resulta na oferta total da economia. Por outro lado, a Matriz de Usos detalha a quantidade de insumos utilizada por cada setor no seu processo produtivo, representando o consumo intermediário que, por sua vez, ao ser somado à demanda final, resulta também na oferta total da economia (GUILHOTO, 2011).

Adicionalmente, a construção das matrizes insumo-produto requer também a aglutinação da matriz de valor adicionado por produto, que inclui: as remunerações dos empregados; os impostos líquidos de subsídios sobre a produção, que não incidem diretamente sobre o produto; os rendimentos mistos brutos; o excedente operacional bruto; e ainda o total de pessoal ocupado em cada atividade (WEISS DE ABREU, 2015).

O principal desafio relacionado à transformação das informações trazidas nas contas nacionais para a matriz insumo-produto se encontra no fato de a matriz de recursos e a matriz de usos das contas nacionais apresentarem métodos de precificação diferentes. Enquanto a oferta total de produtos é apresentada na Tabela Usos a preços de mercado, a Tabela de Recursos ou Produção disponibiliza a oferta total por setor produtivo em preço básico, ou seja, a preços de custo de produção (WEISS DE ABREU, 2015). Em outras palavras, a Matriz de Usos proveniente das Contas Nacionais inclui na valoração da compra de produtos não só o seu custo intrínseco de produção a preço básico (ou a custos de fatores), mas também os impostos líquidos, as importações e as margens (de lucro e de transporte) sobre ele incidentes (GUILHOTO & SESSO FILHO, 2005).

Consequentemente, mostra-se necessário para a construção da Matriz Insumo-Produto ajustar a precificação utilizadas nas matrizes e trazer todos os valores dos produtos a preços básicos, principalmente para evitarem-se duplas contagens, como ressalta WEISS DE ABREU (2015). Dessa forma, é possível utilizar de forma direta os dados da Matriz de Produção das Contas Nacionais cujos valores estejam em preços básicos; porém, no caso dos fluxos monetários da Matriz de Usos de bens e serviços das Contas Nacionais, é necessário anteriormente transformar seus respectivos valores a preço de mercado para valores a preços básicos. Portanto, para se obter uma Matriz de Usos de Produtos Nacionais a preços básicos ($Oferta\ Nacional_{PB}$) será preciso descontar de seus fluxos monetários referente às Oferta Total a preço de mercado os seguintes componentes, segundo GUILHOTO & SESSO FILHO (2005): Margem de Comércio (MC), Margem de Transporte (MT), Impostos Indiretos Líquidos de Subsídios (IIL), Importação de Bens e Serviços (IM), Imposto de Importação (IIM) (**Equação 14**).

$$Oferta\ Nacional_{\ PB} = Oferta\ Total_{PM} - IIL - MC - MT - IM - IIM \quad \textbf{(14)}$$

Como ressalta WEISS DE ABREU (2015), muitas vezes pode ser necessário desagregar os totais de impostos indiretos, margens, importações e impostos sobre importação que incidem sobre produto pelos seus respectivos setores consumidores. Para isso, a autora sugere que sejam adotadas a metodologia proposta por GUILHOTO & SESSO FILHO (2005) e GUILHOTO & SESSO FILHO (2010) – em que a distribuição pelos setores consumidores é feita com base na própria distribuição percentual da Matriz de Usos a preços de mercado –, assim como a metodologia *Prorate*, proposta por LENZEN *et al*. (2014). Em outras palavras, os coeficientes técnicos são obtidos através da ponderação do valor do produto *i* vendido ao setor *j* sobre o valor total das vendas do produto *i* para todos os setores da economia. Como ressalta WEISS DE ABREU (2015), essa metodologia assume que a porcentagem de impostos, importações e margens incidentes sobre um dado produto *i* não variará por setor comprador.

Uma vez calculada a Tabela de Usos a preços básicos, é possível transformar as Tabelas de Recursos e Usos em Matriz Insumo-Produto através de algumas manipulações matemáticas, que serão apresentadas a seguir com base em WEISS DE ABREU (2015) e MILLER & BLAIR (2009)

3.1.2.1. Formalização do processo construtivo de uma Matriz Insumo-Produto através dos dados das Contas Nacionais

Antes de iniciar a formalização do processo construtivo de uma Matriz Insumo-Produto (**Figura 9**) através dos dados das Contas Nacionais, apresenta-se a nomenclatura que será utilizada para descrever tabelas provenientes de um sistema de contas nacionais com ***i*** produtos e ***j*** atividades (**Figura 10**).

	Produtos Nacionais (*i*)	**Atividades (*j*)**	**Demanda Final**	**Valor da Produção**
Produtos Nacionais (*i*)		**U**	**F**	**Q**
Atividades (*j*)	**V**			**X**
Margens, Impostos, Importações e Valor Adicionado		**Y**		
Valor da Produção	**Q'**	**X'**		

Figura 10. Estrutura modelo das Tabelas de Recursos e Usos das Contas Nacionais.

Fonte: Elaboração própria com base em WEISS DE ABREU (2015).

Na **Figura 10**, são usadas as seguintes nomenclaturas:

Q - Vetor-linha com o Valor Bruto da Produção Total por Produto;

X - Vetor-coluna com o Valor Bruto da Produção Total por Atividade;

V - Matriz de Produção, apresenta para cada atividade o valor da produção de cada um de seus respectivos produtos. Tem valoração em preços básicos;

U - Matriz de Usos, apresenta para cada atividade o valor dos insumos consumidos para o seu respectivo processo produtivo, ou seja, o consumo intermediário de cada atividade;

F - Matriz da Demanda Final por Produtos Nacionais, apresenta o valor dos produtos de origem interna consumidos pelas categorias da demanda final (consumo final das administrações públicas, consumo final das instituições sem fins de lucro a serviço das famílias, consumo final das famílias, exportações, formação bruta de capital fixo e variação de estoques);

Y - Vetor-linha com o somatório do Valor Adicionado, das Margens de Comércio e Transporte, Importações, Impostos Indiretos Líquidos e Impostos sobre Importação praticados pelas atividades produtivas.

Exposta a nomenclatura utilizada para descrever o sistema de contas nacionais, passa-se para as relações contábeis existentes entres suas tabelas de dados. Inicialmente, o valor da produção por produto ($\boldsymbol{Q_{ix1}}$) é dado pela **Equação 15** e **Equação 16**, onde $\boldsymbol{V'_{ixj}}$ representa a matriz de produção transposta.

$$Q_{ix1} = \sum_j U_{ixj} + F_{i\,x\,1} \quad \textbf{(15)}$$

$$Q_{ix1} = \sum_j V'_{ixj} \quad \textbf{(16)}$$

Já, o valor da produção por atividade ($\boldsymbol{X_j}$) é dado pela **Equação 17** e **Equação 18**, onde $\boldsymbol{U'_{jxi}}$ representa a matriz de usos transposta e $\boldsymbol{Y'_{jx1}}$ equivale ao vetor-linha transposto, proveniente da soma da margem de transporte, margem de comércio, dos impostos indiretos líquidos de subsídios, das importações, dos impostos sobre importações e do valor adicionado por setor.

$$X_{jx1} = \sum_i U'_{jxi} + Y'_{jx1x} \quad \textbf{(17)}$$

$$X_{jx1} = \sum_i V_{jxi} \quad \textbf{(18)}$$

A condição de equilíbrio é dada pela igualdade entre os somatórios da produção total, tanto por produto, quanto por atividade (**Equação 19**).

$$\sum_i Q_{ix1} = \sum_j X_{jx1} \quad \textbf{(19)}$$

A partir da matriz de produção $\boldsymbol{V_{j\,x\,i}}$, é possível obter-se a submatriz de market-shares $\boldsymbol{D_{j\,x\,i}}$ (**Equação 20**), a qual busca demonstrar as participações das atividades na produção de um dado produto (IBGE, 2008). Na **Equação 20**, $\boldsymbol{\widehat{Q}_{i\,x\,i}}$, o acento circunflexo representa a versão diagonalizada do vetor-linha Valor Bruto da Produção Total por Produto.

$$D_{j\,x\,i} = V_{j\,x\,i} * (\hat{Q}_{i\,x\,i})^{-1} \quad \textbf{(20)}$$

Por outro lado, a partir da matriz de Recursos e Usos $\boldsymbol{U_{i\,x\,j}}$, é possível calcular a submatriz de coeficientes técnicos $\boldsymbol{B_{i\,x\,j}}$ (**Equação 21**), que objetiva demonstrar as participações dos produtos como insumos no processo produtivo das atividades (IBGE, 2008). Na **Equação 21**, $\boldsymbol{\widehat{X}_{j\,x\,j}}$, o acento circunflexo representa a versão diagonalizada do vetor-coluna Valor Bruto da Produção Total por Atividade.

$$B_{i\,x\,j} = U_{i\,x\,j} * \ (\hat{X}_{j\,x\,j})^{-1} \quad \textbf{(21)}$$

Substituindo-se a **Equação 21** na **Equação 15**, tem-se a **Equação 22**.

$$Q_{i\,x\,1} = B_{i\,x\,j} * X_{j\,x\,1} + F_{i\,x\,1} \quad \textbf{(22)}$$

Ao multiplicarem-se ambos os lados da **Equação 20** pelo vetor-coluna Identidade (***I***), obtém-se a **Equação 23**.

$$X_{j\,x\,1} = D_{j\,x\,i} * Q_{i\,x\,1} \quad \textbf{(23)}$$

Substituindo a **Equação 23** na **Equação 22**, encontra-se a **Equação 24** que, ao ser rearrumada, resulta na **Equação 25**, que caracteriza um modelo insumo-produto do tipo produto por produto.

$$Q_{i\,x\,1} = B_{i\,x\,j} * D_{j\,x\,i} * Q_{i\,x\,1} + F_{i\,x\,1} \quad \textbf{(24)}$$

$$Q_{i\,x\,1} = (I - B_{i\,x\,j} * D_{j\,x\,i})^{-1} * F_{i\,x\,1} \quad \textbf{(25)}$$

Substituindo a **Equação 24** na **Equação 22**, encontra-se a **Equação 26** que, ao ser rearrumada, resulta na **Equação 27**, que caracteriza um modelo insumo-produto do tipo atividade por atividade.

$$X_{j\,x\,1} = [D * (I - B_{i\,x\,j} * D_{j\,x\,i})^{-1}] * F_{i\,x\,1} \quad \textbf{(26)}$$

$$X_{j\,x\,1} = (I - D_{j\,x\,i} * B_{i\,x\,j})^{-1} * (D_{j\,x\,i} * F_{i\,x\,1}) \quad \textbf{(27)}$$

A multiplicação da submatriz ***D*** pela submatriz ***B*** gera a matriz de coeficientes técnicos para a tecnologia setor por setor $\boldsymbol{A_{j\,x\,j}}$. A multiplicação da submatriz ***B*** pela submatriz ***D*** gera a matriz de coeficientes técnicos para a tecnologia produto por produto $\boldsymbol{A_{i\,x\,i}}$, apresentada na **Equação 28**.

$$A_{i\,x\,i} = B_{i\,x\,j} * D_{j\,x\,i} \quad \textbf{(28)}$$

Quando se calcula a inversão da matriz resultante da subtração da matriz de coeficientes técnicos $\boldsymbol{A_{i\,x\,i}}$ da matriz identidade $\boldsymbol{I_{i\,x\,i}}$, encontra-se a matriz de coeficientes de interdependência do tipo produto por produto também conhecida como matriz de Leontief $\boldsymbol{L_{ixi}}$ (**Equação 29**).

$$L_{ixi} = (I_{ixi} - A_{ixi})^{-1} \quad \textbf{(29)}$$

Logo, a estrutura de uma Matriz Insumo-Produto do tipo produto por produto pode ser descrita pela **Equação 30** e pela **Equação 31**.

$$Q_{i\,x\,1} = L_{i\,x\,i} * Fn_{i\,x\,1} \quad \textbf{(30)}$$

$$Q_{i\,x\,1} = Z_{i\,x\,i} + Fn_{i\,x\,1} \quad \textbf{(31)}$$

Onde, $\boldsymbol{Z_{i\,x\,i}}$ é a matriz de transações entre produtos, descrita pela **Equação 32**.

$$Z_{i\,x\,i} = A_{i\,x\,i} * \hat{X}_{i\,x\,i} \qquad \textbf{(32)}$$

3.1.3. O Modelo Insumo-Produto em unidades híbridas aplicado à Análise do Consumo Energético

Uma vez apresentado processo de construção de matrizes insumo-produto convencional em unidade monetárias, passa-se a descrever como seria o modelo insumo-produto em unidades híbridas, aplicado à análise do consumo energético.

A Matriz Insumo-Produto híbrida recebe este nome devido ao fato de suas transações serem apresentadas em unidades híbridas. Em outras palavras, no caso da análise energética, a Matriz Insumo-Produto híbrida expõe os fluxos não energéticos em unidades monetárias normalmente; contudo, os fluxos de energia são apresentados em unidades monetárias, mas também em unidades físicas como, por exemplo, *teps*, *joules*, *BTUS*, *calorias*. Por meio da Matriz Insumo-Produto híbrida, estima-se a intensidade energética dos setores produtivos, assim como a energia despendida para a produção de insumos produtivos ou, principalmente, de bens e serviços consumidos pelos setores da demanda final (MILLER & BLAIR, 2009).

Portanto, as matrizes insumo-produto híbridas energéticas possibilitam a análise do consumo total de energia pela demanda final, dado ser possível, com elas, auferir não só o consumo direto, mas também o consumo indireto de energia dos setores da demanda final – responsável pela maior parcela da demanda interna de energia (MILLER & BLAIR, 2009). Desse modo, seu uso é recomendado para aprimorar estudos de projeção de demanda de energia, principalmente se focados na análise do padrão de consumo de energia das famílias, como é o caso desta Tese.

Entretanto, a construção de matrizes insumo-produto híbridas energéticas ainda enfrenta algumas complicações, principalmente quanto à consistência entre a representação dos fluxos energéticos em unidades monetárias e em unidades físicas. Convencionalmente, essa consistência busca ser alcançada através da divisão dos fluxos monetários originais das matrizes insumo-produto pelo preço básico médio do respectivo produto energético, de forma a encontrarem-se os fluxos equivalentes em unidades físicas

de energia (MILLER & BLAIR, 2009; WILTING, 1996). Entretanto, o método apenas apresenta resultados consistentes, caso um dado produto energético seja ofertado para todos os seus consumidores ao mesmo preço (WEISS DE ABREU, 2015).

Segundo WEISS DE ABREU (2015), tal inconsistência tende a ser mais comum do que o esperado, devido à existência de algumas distorções nos preços médios dos produtos energéticos e/ou incompatibilidades entre os fluxos descritos na Matriz Insumo-Produto e os fluxos energéticos constados no balanço energético.

No caso da primeira hipótese, WEISS DE ABREU (2015) afirma que as distorções ocorrem devido ao fato de que, dependendo do setor consumidor, podem incidir impostos ou subsídios diferentes sobre a compra de um dado produto energético, visando a coibir ou a incentivar a produção do setor produtivo ou ainda a penalizá-lo/bonificá-lo por consumir tal fonte energética. O possível problema levantado na primeira hipótese pode ser resolvido através do ajuste do preço do energético em análise para cada um dos seus consumidores, realocando o diferencial preferencialmente na matriz de Impostos Indiretos Líquidos ou, se possível, na matriz de margens específicas.

Já a segunda hipótese ocorre com mais frequência, quando um mesmo setor energético desenvolve, além de sua atividade principal, uma ou mais atividades secundárias. Neste caso, devido à separação turva entre as diferentes atividades, a produção de ambas acaba por ser contabilizada como proveniente apenas da atividade principal. Muitas vezes, é possível inclusive que não tenham sido devidamente descontadas as margens de comércio e de transporte da produção principal (WILLS, 2013).

Uma possível solução para esses problemas seria a criação de uma etapa adicional no processo de hibridização das matrizes insumo-produto, em que os fluxos energéticos em unidades físicas são multiplicados pelos seus respectivos preços básicos, de modo a gerar uma fatura energética em valores monetários (WILLS, 2013). O valor de produção do produto em valores monetários, calculado na fatura energética, pode ser comparado com o valor original da produção do respectivo produto disponibilizado na matriz insumo-produto. Quando comparados os dois valores de produção em unidade monetárias, identificam-se possíveis incompatibilidades entre as informações do balanço energético e da matriz insumo-produto e, caso existam, aparecem indicativos de como torná-las compatíveis através da realocação das diferenças na matriz de margem específica, de margem de transporte, de margem de comércio, impostos líquidos e/ou mesmo em um setor extra chamado "*composite*", criado unicamente com o intuito de

alocar outras eventuais diferenças contábeis com origem não identificada. Esse método, no entanto, como ressalta WEISS DE ABREU (2015), requer uma longa pesquisa de dados e um árduo processo de ajustes e, mesmo assim, pode resultar em grande grau de incertezas.

Consequente, WEISS DE ABREU (2015) aponta outro possível método de solução, sugerido originalmente por MILLER & BLAIR (2009) e por WILTING (1996) e escolhido para ser adotado neste presente estudo: matriz insumo-produto híbrida com Matriz de Energia Requerida Total em anexo, ou simplesmente conta energética em anexo, onde os fluxos de energia são contabilizados em unidades físicas em uma conta satélite à matriz insumo-produto, que, por sua vez, permanece como originalmente toda em valores monetários. Por isso, esse método acaba por evitar possíveis inconsistências, ao manter os dados originais trazidos pelas duas bases de dados (matriz insumo-produto e balanço energético) e reduzir o nível de incerteza da compatibilização entre as mesmas.

Nesse método, é preciso, no entanto, prevenir para que não haja duplas contagens nos fluxos de energia, dado que tanto o setor fornecedor de uma dada energia primária, como o setor produtor de energia secundária (que recebe fontes de energia primária como input para que estas sejam transformadas em fontes de energia secundária) se encontrarão representados na matriz híbrida. Logo, WEISS DE ABREU (2015) sugere que se deve definir, primeiramente, se a Matriz Insumo-Produto híbrida terá seus fluxos energéticos contabilizados pela ótica da energia primária ou secundária. Independentemente do método de contabilização de energia escolhido, obter-se-á a mesma oferta total de energia, uma vez que a oferta total de energia primária é igual à oferta total de energia secundária mais as perdas ao longo do processo de transformação de uma fonte de energia primária em fonte de energia secundária, como prevê a 2ª Lei da Termodinâmica (**Equação 33**).

$$\boldsymbol{Energia\ Primária = Energia\ Secundária + Perdas} \qquad \textbf{(33)}$$

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, é apresentado um exemplo de como se c aracteriza a estrutura de uma Matriz Insumo-Produto híbrida como conta energética em anexo.

	Produtos Não Energéticos	Produtos Energéticos	Demanda Final	Oferta Total
Transações em Valores Monetários				
Produtos Não Energéticos	20	40	140	100
Produtos Energéticos	60	80	100	240
Valor Adicionado	120	120		
Oferta Total	200	240		
Transações em Unidades Físicas Energéticas				
Produtos Energéticos	120	160	200	480

Figura 11. Estrutura de uma Matriz Insumo-Produto Híbrida com Matriz de Energia Requerida Total em anexo.

Fonte: Elaboração Própria com base em MILLER & BLAIR (2009).

Apesar de todas as precauções é importante destacar que a compatibilização das bases de dados distintas para construção da conta satélite e desenvolvimento da análise do conteúdo energético presente no consumo das famílias resulta em um aumento significativo do nível de incertezas da análise. Como sugerida por GIZ (2019) a criação das contas econômicas ambientais (CEAs) no âmbito da iniciativa internacional da Economia dos Ecossistemas e da Biodiversidade (TEEB, do inglês The Economics of Ecosystems and Biodiversity) poderia ser uma possível solução para obter dados sistematizados sem incorrer aumento de incerteza. Além disso, as CEAs contribuiriam para o desenvolvimento de modelos híbridos mais sofisticados para o cálculo do Produto Interno Verde[10], bem como para o planejamento econômico, social e ambiental e a formulação de políticas públicas mais eficientes com foco em recursos naturais, dentre eles a energia.

Porém, como as CEAs ainda não foram implementadas ou ainda se encontram em processo de implementação em muitos países, as análises energo-econômicas ainda necessitam recorrer à compatibilização de bases de dados com certo grau de incerteza para construção de matrizes Insumo-Produto híbridas. A seguir, serão detalhadas as relações existentes em uma Matriz Insumo-Produto híbrida com conta energética satélite e apresentada a metodologia utilizada para contabilizar o consumo de energia indireta pelos componentes da demanda final, em especial as famílias.

[10] Previsto pela Lei 13.493 de 2017.

3.1.3.1. Formalização de uma Matriz Insumo-Produto Híbrida com Conta Energética em Anexo

Esta seção será dedicada à formalização das relações existentes em uma matriz insumo-produto híbrida com conta energética em anexo. A fonte principal utilizada nesta subseção foi a metodologia *Modelo de Intensidade Energética*, proposta por WILTING (1996).

É importante relembrar que a matriz insumo-produto utilizada neste estudo é do tipo produto por produto. Portanto, é necessário que a matriz insumo-produto híbrida com conta energética em anexo traga detalhes sobre os fluxos relacionados aos produtos produzidos e consumidos na economia.

De forma análoga à contabilização da oferta total de um dado produto na economia em unidades monetárias (**Equação 31**), a **Equação 34** mostra que o consumo total de um dado produto energético $\boldsymbol{f}$ em unidades físicas de energia $\boldsymbol{G_{f\ x\,1}}$ pode ser explicado pela soma do consumo intermediário $\boldsymbol{E_{f\,x\,i}}$ e do consumo final do produto energético $\boldsymbol{f}$, realizado pela demanda final de energia $\boldsymbol{H_{f\,x\,1}}$. O número de produtos energéticos $\boldsymbol{k}$ é menor do que o número total de produtos da economia $\boldsymbol{i}$. Logo, a matriz $\boldsymbol{E_{f\,x\,i}}$ não será uma matriz quadrada assim como a sua equivalente em unidades monetárias $\boldsymbol{Z_{i\,x\,i}}$.

$$G_{f\,x\,1} = \sum_i E_{f\,x\,i} + H_{f\,x\,1} \qquad \textbf{(34)}$$

3.1.3.2. Metodologia de Quantificação do Consumo Indireto de Energia pelos Agregados Familiares

Uma vez construídas as matrizes $\boldsymbol{E_{f\,x\,i}}$ e $\boldsymbol{H_{f\,x\,h}}$, aplica-se a metodologia de WILTING (1996) para calcular a energia incorporada nos bens e serviços consumidos pelas famílias. Como mostra a **Equação 35**, o consumo de energia total é igual à soma do consumo de energia direta com o consumo de energia indireta. Logo, para encontrar o consumo de energia indireta, basta subtrair o consumo direto do consumo total de energia da economia.

$$\boldsymbol{Energia\ Total = Energia\ Direta + Energia\ Indireta} \qquad \textbf{(35)}$$

Logo, replicando a **Equação 35** para o consumo de energia das famílias, o consumo indireto de energia dos agregados familiares $\boldsymbol{Ci_{f\,x\,h}}$, somado ao consumo direto de energia das famílias $\boldsymbol{Cd_{f\,x\,h}}$, resulta no consumo total de energia das famílias $\boldsymbol{Ct_{f\,x\,h}}$ (**Equação 36**).

$$Ct_{f\,x\,h} = Ci_{f\,x\,h} + Cd_{f\,x\,h} \qquad \textbf{(36)}$$

Por fim, fazendo uso da matriz de interdependência $\boldsymbol{L_{i\,x\,i}}$ e da demanda final das famílias desagregada por classe de renda $\boldsymbol{F_{i\,x\,h}}$, calcula-se o consumo indireto de energia dos agregados familiares $\boldsymbol{Ci_{f\,x\,h}}$ por classe de renda $\boldsymbol{h}$ (**Equação 37**).

$$Ci_{f\,x\,h} = \left(Ei_{f\,x\,i} * \hat{Q}_{i\,x\,i}{}^{-1}\right) * L_{i\,x\,i} * F_{i\,x\,h} \qquad \textbf{(37)}$$

3.1.4. Metodologia de Decomposição Estrutural como instrumento para identificação de drivers de demanda e melhoria do planejamento energético

De acordo com BHATTACHARYYA (2011), as análises de decomposição associadas à demanda de energia convencionalmente apresentam 3 efeitos diferentes:

- Efeito Atividade: representa o aumento do consumo de energia associado ao crescimento da população, bem como ao aumento da atividade econômica, rendimento e consumo, entre outros;
- Efeito Estrutura: representa o aumento do consumo de energia associado a mudanças na estrutura econômica, na renda ou distribuição espacial e na composição do cesto de compras, entre outros;
- Efeito Intensidade: representa o aumento do consumo de energia associado ao aumento da intensidade energética (tep/R$, por exemplo); funciona como uma espécie de índice de eficiência energética.

A análise de decomposição adota duas técnicas consolidadas na literatura sobre análise de decomposição energética, nomeadamente: Análise de Decomposição de Índices (IDA) e Análise de Decomposição Estrutural (SDA) – ambas são métodos

comparativos estáticos, utilizados para descreverem determinantes de variações nas emissões totais de energia e consumo (WACHSMANN *et al*., 2009). Embora o SDA e o IDA tenham sido desenvolvidos de forma independente, existem muitas semelhanças entre eles. ROSE & CASLER (1996) já enfatizaram que, se a informação na matriz input-output fosse incluída no método IDA, ela poderia ser generalizada ao caso SDA baseado em Matrizes Input-Output (IOM). A principal diferença entre os dois métodos reside no fato de a SDA utilizar a estrutura da OIM, enquanto a IDA utiliza apenas dados agregados (FERREIRA, 2016).

HOEKSTRA & BERGH (2003) fizeram uma tentativa mais elaborada de comparar os dois métodos. Como resultado, enfatizaram que a menor necessidade de dados na análise IDA parece ser apenas uma vantagem, uma vez que também está associada a um menor nível de detalhes na análise de decomposição. Segundo SU & ANG (2012), seria a razão pela qual o número de estudos sobre energia e análises ambientais baseados em SDA é menor do que o de estudos baseados em ADI, de 1999 a 2010. Por outro lado, a análise IDA não é capaz de captar efeitos tecnológicos ou de procura (FERREIRA, 2016). Assim, a SDA torna-se ainda mais relevante quando se trata da análise dos efeitos que impulsionam mudanças nos padrões de consumo ao longo do tempo, pois permite diferenciar o consumo de energia direta e indireta, que é a energia consumida durante o processo de produção de um bem ou durante a prestação do serviço (FERREIRA, 2016).

ANG (2004) dividiu as análises de decomposição estrutural em dois grupos: os métodos associados ao índice de Laspeyres e os associados ao índice de Divisia. Na análise de decomposição utilizando o índice de Laspeyres, o impacto de um determinante é calculado deixando-o variar no tempo, enquanto os demais permanecem fixos no ano-base. Métodos conceitualmente semelhantes ao índice de Laspeyres foram utilizados nas décadas de 1970 e 1980; alguns exemplos de representantes do período são JENNE & CATTELL (1983) e MARLAY (1984), que analisaram mudanças nas tendências de consumo de energia industrial no Reino Unido e nos Estados Unidos, respectivamente.

Por outro lado, o índice Divisia é fruto de uma soma ponderada das taxas de crescimento logarítmico, cuja pesagem é baseada na parcela dos componentes no valor total, expressa como uma integral linear (ANG, 2004). Isso faz com que, ao contrário da decomposição por índice de Laspeyres, a decomposição por índice de Divisia tenha a característica de ser reversível, um ponto significativamente positivo para as análises temporais. Em outras palavras, o índice Divisia resulta em variações simétricas ainda que que os determinantes fossem invertidos. Ou seja, de acordo com o índice de Laspeyres,

se o preço de determinado produto aumenta de R$10 para R$12, verifica-se um aumento de 20% em relação ao preço inicial de R$10, porém se inverte-se a ordem e o preço varia de R$12 para R$10, verifica-se uma queda de 16,667 % em relação ao preço inicial de R$12 (HOEKSTRA & BERGH, 2003). Pelo índice de Divisia, a variação seria de 20% e -20%, respectivamente.

Posteriormente, foi sugerida a utilização do método Divisia como alternativa para a análise da decomposição energética em estudos realizados por REITLER *et al*. (1987), BOYD *et al*. (1987), HOWARTH *et al*. (1991), SUN (1998) e ANG (2015). Extensões e melhorias nesse método têm sido feitas em estudos realizados por BOYD *et al*. (1987), LIU *et al*. (1992), ANG *et al*. (1998), ANG & LIU (2001), WOOD & LENZEN (2006), ACHÃO & SCHAEFFER (2009), WOOD & LENZEN (2009), CHAI *et al*. (2009), LIU *et al*. (2010), LENZEN *et al*. (2013); ZENG *et al*. (2014), WU & ZHANG (2016), LIN & XIE (2016) e ZHONG (2018).

Com relação ao caso brasileiro, a maioria dos estudos também toma o setor industrial como principal referência na análise dos impactos das variáveis econômicas sobre as variações no consumo de energia ou nas emissões. Entre seus investigadores encontram-se MACHADO *et al*. (2001), WORREL *et al*. (1997), WACHSMANN *et al*. (2009), LENZEN *et al* (2013) e FERREIRA (2016). No entanto, vale destacar os estudos realizados por WACHSMANN *et al*. (2009), dada a luz que lançam sobre as mudanças no padrão de consumo das famílias, bem como a pesquisa de ACHÃO & SCHAEFFER (2009), que aplicaram a análise de decomposição para explicar como as desigualdades regionais e de distribuição de renda influenciaram a evolução do consumo de energia elétrica direta de 1997 a 2007.

No entanto, apesar da análise detalhada da distribuição de renda e região, ACHÃO & SCHAEFFER (2009) não apresentaram detalhes sobre as variações no padrão de consumo e estilo de vida da população investigada – restrição que pode ser explicada pela utilização da decomposição baseada em índices (IDA), que não permite analisar a composição da cesta básica de consumo nem a estrutura produtiva da economia. Uma análise mais complexa teria sido possível se a opção fosse a decomposição estrutural baseada em matrizes input-output, conforme relatado por WACHSMANN *et al*. (2009), LENZEN *et al*. (2013), FERREIRA (2016) e ZHONG (2018).

IDA[11] e SDA[12] são as duas técnicas mais utilizadas na análise de decomposição de energia. Essas técnicas podem ser utilizadas para investigar a influência do crescimento econômico, e as alterações setoriais e tecnológicas, nos diferentes indicadores socioeconômicos e ambientais. São técnicas estáticas comparativas, que decompõem as variações temporais de uma variável-chave em determinantes; o IDA utiliza dados agregados a nível setorial, enquanto o SDA utiliza matrizes de input-output WACHSMANN *et al*. (2009). Embora haja diferença entre os métodos, o resultado de ambas as metodologias deve ser o mesmo; o método SDA apenas fornecerá um resultado mais detalhado.

De acordo com FERREIRA (2016), embora seja extremamente útil para analisar a estrutura da economia, selecionar a metodologia de decomposição estrutural a ser utilizada não é uma tarefa simples, especialmente por causa da grande quantidade de dados necessários. Assim, por esse motivo, o presente estudo adotou o método do índice de Divisia da média logarítmica (LMDI-I) em sua forma aditiva, introduzido por ANG (2015), ANG & LIU (2001) e ANG *et al*. (1998).

O método do Índice de Divisia Média Logarítmica baseia-se na forma funcional apresentada na **Equação 38**.

$$\Delta y = \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta y}{\Delta(Em\ y)} ln \frac{d_{i,1}}{d_{i,0}} \qquad \textbf{(38)}$$

Onde $\boldsymbol{y}$ é a variável dependente; $\boldsymbol{d_{i,t}}$ é o determinante $\boldsymbol{i}$ no período $\boldsymbol{t}$, t=0,1.

Por outro lado, a existência do componente logarítmico na forma funcional da equação acaba por limitar a entrada de valores negativos. Por conseguinte, exige, antes da decomposição, um tratamento de realocação de algumas colunas da matriz insumo-produto, tais como erros e omissões, variação de inventário e subsídios.

Ao utilizar o referencial teórico sobre números de índice discutido acima como base para explicar os fatores determinantes para a evolução da demanda doméstica de energia, o presente estudo fez a opção de adotar uma metodologia – adaptada da utilizada por WACHSMANN *et al*. (2009) e ZHONG (2018) – cuja variação no consumo doméstico de energia derivada de uma dada fonte $\boldsymbol{f}$ ($\Delta \boldsymbol{Ct_f}$) pode ser explicada pela **Equação 39 e Equação 40**.

[11] Análise de Decomposição de Índices
[12] Análise de Decomposição Estrutural

$$\Delta Ct_f = Ct_{f_t} - Ct_{f_{t-1}} = \left(Ci_{f_t} - Ci_{f_{t-1}}\right) + \left(Cd_{f_t} - Cd_{f_{t-1}}\right) \quad \textbf{(39)}$$

$$\Delta Ct_f = \Delta N + \Delta L + \Delta v + \Delta Y + \Delta r + \Delta POP \quad \textbf{(40)}$$

Variações no consumo de energia indireta $\boldsymbol{Ci_{f,h,i,j}}$ resultaram de mudanças no(a):

- Intensidade energética por unidade de despesa ou efeito de intensidade energética ($\Delta \boldsymbol{N}$), definida pela **Equação 42**, em que $\boldsymbol{N_{f,i}}$ é a intensidade energética do bem $\boldsymbol{i}$ na fonte de energia $\boldsymbol{f}$ e é definida pela razão entre o consumo de energia intermédio para a sua produção ($\boldsymbol{E_{f\,x\,i}}$) e seu valor de produção ($\widehat{\mathbf{X_{i\,x\,i}}}$) (**Equação 41**);

  $$\Delta N_{f,i_{2002,2008}} = \sum_{fhij} CI * ln \frac{N_{f,i_{2008}}}{N_{f,i_{2002}}} \quad \textbf{(41)}$$

  Onde:

  $$N_{f,i} = \frac{E_{f,i}}{\hat{Q}_{i\,x\,i}} \quad \textbf{(42)}$$

- Estrutura Econômica do Efeito Leontief ($\Delta \boldsymbol{L}$)definida pela **Equação 43** e em que $\boldsymbol{L_{i,i}}$ é a matriz Leontief ou matriz de coeficientes de interdependência dos setores produtivos da economia;

  $$\Delta L_{i,j_{2002,2008}} = \sum_{fhij} CI * ln \frac{L_{i,j_{2008}}}{L_{i,j_{2002}}} \quad \textbf{(43)}$$

- Composição da cesta de compras do consumidor doméstico ou efeito cesta ($\Delta \boldsymbol{v}$), definida pelas **Equações 45**, em que $\boldsymbol{v_{i,h}}$ é o peso do bem $\boldsymbol{j}$ na demanda final das famílias da classe de rendimento $\boldsymbol{h}$ ($\boldsymbol{F_{i,h}}$) (**Equação 44**);

  $$\Delta v_{j,h_{2002,2008}} = \sum_{fhij} CI * ln \frac{v_{j,h_{2008}}}{v_{j,h_{2002}}} \quad \textbf{(44)}$$

  Onde:

  $$v_{j,h} = \frac{F_{j,h}}{\sum_{i=1}^{72} F_{j,h}} \quad \textbf{(45)}$$

- Despesas do agregado familiar ou efeito de atividade ($\Delta \boldsymbol{Y}$) definida pela **Equação 46.**

$$\Delta Y_{f,1_{2002,2008}} = \sum_{fhij} CI * ln \frac{F_{h,1_{2008}}}{F_{h,1_{2002}}} \quad \textbf{(46)}$$

Nas equações **41**, **43**, **44** e **46**, $\boldsymbol{Ci_{f,h,i,i}}$ é definida pela **Equação 47**.

$$Ci_{f,h,i,j} = \sum_{fhij} \overline{N_{f,\iota} * L_{\iota,J} * v_{J,h} * Y_{h,1}}^{\lambda} . \quad \textbf{(47)}$$

Variações no consumo de energia direta $\boldsymbol{Cd_{f,h}}$ resulta de mudanças no:

- Nível de consumo de energia *per capita* dos agregados familiares ($\Delta \boldsymbol{r}$) definida pelas **Equações 48** em que $\boldsymbol{r_{f,h}}$ é dada pela **Equação 49**.

$$\Delta r_{f,h_{2002,2008}} = \sum_{fh} CD * ln \frac{r_{f,h_{2008}}}{r_{f,h_{2002}}} \quad \textbf{(48)}$$

$$r_{f,h} = \frac{Cd_{f,h}}{Pop_h} \quad \textbf{(49)}$$

- Crescimento da população para cada classe de rendimento $\boldsymbol{h}$ ($\Delta \boldsymbol{POP_{h,1}}$)

Dessa forma, $\mathrm{Cd_{f,h}}$ é definido pela **Equação 50**.

$$Cd_{fh} = \sum_{fh} \overline{r_{f,h} * POP_{h,1}}^{\lambda} \quad \textbf{(50)}$$

Com o objetivo de validar a metodologia proposta, será feita a sua aplicação a uma análise empírica para o Brasil, com a observação de tratar-se de um país em desenvolvimento, com grande desigualdade na distribuição de renda, farta oferta de dados e ter vivenciado, há alguns anos, um processo de desenvolvimento socioeconômico com alterações nos padrões de consumo de energia das famílias.

A seguir, a análise empírica será descrita e justificada.

3.1.5. Descrição e justificativa da análise empírica

Desde o início dos anos 2000, o Brasil vem sendo marcado por um intenso processo de mobilidade social e de aumento de renda, que teve como clara consequência um significativo aquecimento do consumo das famílias. Ademais, tais mudanças no padrão de consumo da sociedade brasileira tiveram efeitos sobre a demanda de energia total (direta e indireta) do setor residencial brasileiro.

De 2000 a 2010, o índice de desenvolvimento humano (IDH) brasileiro cresceu de 0,669 para 0,726, seguindo a tendência dos anos anteriores. Contudo, o ano de 2007 foi

o primeiro em que o Brasil se encontrou no grupo de países com alto Índice de Desenvolvimento Humano, segundo o PNUD. O IDH é composto por um conjunto de três índices responsáveis por caracterizar os países de acordo com nível de educação, longevidade e renda. Apesar de o Brasil ter apresentado resultados positivos nos três, foi o índice representativo da renda (PIB *per capita* em dólares de poder de paridade de compra - PPC) que apresentou maior crescimento percentual de 2000 a 2010 (PNUD, 2014).

Segundo a PNAD, a renda *per capita* média dos brasileiros cresceu 4,71% a.a., entre 2003 e 2009, ao passo que o PIB *per capita*, no mesmo período, cresceu em média apenas 2,88% a.a. em termos reais. Grande parte do aumento da renda *per capita* média pode ser relacionada à verificação do crescimento médio de 4,61% ao ano da renda do trabalho, propiciado principalmente pelo aumento real do salário mínimo e pela maior oferta de empregos formais, confirmando a evolução da renda das famílias brasileiras (NERI, 2011).

Além de colaborar com o aumento do IDH, este aumento da renda brasileira *per capita* (em PPC) ocasionou significativa mudança no perfil socioeconômico brasileiro, durante a última década (2000-2009). Segundo dados da PNAD (IBGE, 2018a; IBGE 2018b), a desigualdade de renda entre as famílias brasileiras vem caindo consideravelmente nos últimos anos, apesar de continuar a ser umas das mais altas do mundo. Isso pode ser verificado pela queda do índice de Gini[13] de 0,606 para 0,536 durante o intervalo de tempo de 2000 a 2010 (IBGE,2000; IBGE,2010).

NERI (2011) destaca também que a queda do nível de desigualdade social ao longo do governo do presidente Lula agregou também, como um de seus principais fatores, o aumento em número e peso das transferências do governo para as famílias brasileiras. Entre os anos de 2003 e 2009, a fonte de renda que mais ganhou espaço no orçamento familiar foi a proveniente de programas sociais, como o Programa do Bolsa Família, alcançando a porcentagem de 12,9% da renda média (NERI, 2011). HOFFMAN (2006) corrobora tais resultados destacando que, entre 2001 e 2005, a renda não derivada do trabalho (na maioria dos casos, as transferências públicas) aumentou em 2 pontos percentuais em participação na renda familiar total.

[13] O índice de Gini é conhecido por ser capaz de descrever o nível de desigualdade de um país ou região através da interação entre porcentagens da renda e porcentagens da população, através da construção de uma curva de Lorenz.

O Programa Bolsa Família mostrou-se alinhado à Declaração do Milênio proposta pelas Nações Unidas, em 2000, no sentido de acatar a inclusão, sob a perspectiva do desenvolvimento, temas fundamentais referentes aos direitos humanos nos âmbitos econômico, social e cultural. A Declaração do Milênio foi assinada por 189 nações, que firmaram o compromisso político de articular as prioridades globais de desenvolvimento e de definir metas a serem alcançadas até 2015. Como resultado, foi obtida a lista dos oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), dentre eles: o estabelecimento de uma parceria mundial para o desenvolvimento; a garantia da sustentabilidade ambiental; o combate ao HIV/AIDS, malária e outras doenças; a melhora da saúde materna; a redução da mortalidade infantil; a promoção da igualdade entre sexos e autonomia das mulheres; a universalização da educação primária; e, por fim, a erradicação da pobreza extrema e da fome (PNUD, 2014b).

Por conta de suas ações efetivas, o Brasil é tido como o principal exemplo de país em que houve sucesso no processo de erradicação da miséria e da fome, levando a uma drástica redução do número e da proporção de pessoas vivendo abaixo da linha de pobreza. A partir do ano de 2002 até 2011, foi verificado um significativo declínio da proporção de pessoas abaixo da linha da pobreza (20,8% e 10,1%, respectivamente), como demonstram ROCHA (2013) e UCHÔA *et al*. (2015). Adicionalmente, NERI (2011) esclarece que, no mesmo período, ao todo, 24,6 milhões de brasileiros conseguiram ultrapassar a linha da pobreza.

Concomitantemente, vem-se falando muito também sobre o aumento do número de pessoas pertencentes à classe média de renda, através da ascensão de famílias das faixas de renda mais baixas. NERI (2011) foi um dos principais autores a defender a ocorrência do fortalecimento da classe média brasileira ao longo de 2000 e 2010. De acordo com o autor, 32 milhões de pessoas passaram a pertencer à classe média brasileira de 2004 a 2010, tornando-a a classe de renda mais representativa da população brasileira. NERI (2011) ainda destaca que a nova classe C, em 2010, passou a ser composta por mais de 50% dos habitantes do País, fazendo com que fosse dominante do ponto de vista eleitoral e a mais significante do ponto de vista econômico. Em 2009, essa classe média detinha 46,2% do poder de compra, ultrapassando as classes A e B, que, juntas, somavam 44,1% do poder de comprar, e as classes D e E, que acumulavam apenas 9,7% do poder de compra da economia brasileira (NERI, 2011).

Todavia, é importante ressaltar que NERI (2011), em sua pesquisa, utiliza um conceito de caráter estatístico para especificar classe média, ou seja, a também conhecida

como Classe C é definida como aquela que aufere, em média, a renda média da sociedade. Logo, para NERI (2011), a classe média brasileira abrange todo o conjunto de famílias que possuem rendimento mensal domiciliar total entre R$ 1.200,00 e R$ 5.174,00 (em valores de 2011). Seguindo essa definição, a classe média como estrato de renda estaria situada acima dos 50% mais pobres e abaixo dos 10% mais ricos (UCHÔA *et al*., 2015).

Entre o final dos anos 1990 e o início dos anos 2010, ocorreram melhorias significativas na qualidade de vida e no padrão de consumo das famílias brasileiras, anteriormente acostumadas a conviverem com um orçamento domiciliar apertado que mal dava para pagar os itens da cesta básica. Em consequência, houve o acesso a uma gama maior de produtos e serviços. Responsável por um gasto de 881 bilhões de reais, a nova classe C, segundo NERI (2011), foi a que apresentou a maior participação no consumo total do País, em 2009 – ano em que o consumo da classe C referente à educação somou 15,7 bilhões, que não fica nem próximo do consumo de 1,8 bilhões verificado em 2002 (NERI, 2011).

Tais mudanças no padrão de consumo da sociedade brasileira têm efeitos significativos sobre a demanda de energia das famílias brasileiras tanto para uso domiciliar quanto para transporte (WEISS DE ABREU, 2015). De acordo com GROTTERA & PEREIRA JUNIOR (2013), comparando os resultados das pesquisas de orçamento domiciliar de 2002-2003 e de 2008-2009, é possível vislumbrar que os bens e serviços que apresentaram maiores variações no consumo foram aqueles que, direta ou indiretamente, afetam o consumo energético das famílias, como: eletricidade, transporte e eletrodomésticos. WEISS DE ABREU (2015) demonstrou que, entre 2002 e 2008, foi verificado o aumento do consumo de energia direto e indireto das famílias. Porém, apesar de algumas suposições, não foi realizado um estudo mais profundo explicitando os determinantes para o fenômeno.

A seguir, será descrito o processo de tratamento de dados para o desenvolvimento desta análise empírica.

3.2. Tratamento de dados para realização da Análise Empírica para o Brasil

A análise de decomposição estrutural proposta neste estudo depende da construção de uma matriz insumo-produto híbrida energética e, consequentemente, da compatibilização entre matrizes insumo-produto e balanços energéticos nacionais disponíveis para o período de análise. Adicionalmente, como este trabalho objetiva

compreender mais detalhadamente o conteúdo energético atrelado ao padrão de consumo das famílias brasileiras, foi determinante desagregar, em faixas de renda, o consumo das famílias presente nas matrizes insumo-produto analisadas, utilizando dados da pesquisa de orçamento familiar.

Assim, serão apresentadas as bases de dados utilizadas para construção das matrizes híbrida, bem como foi feita a sua compatibilização.

3.2.1. Bases de Dados

Os dados aqui utilizados pertencem a contas nacionais e foram desenvolvidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e adaptados para o formato Matriz Insumo-Produto por GUILHOTO & SESSO FILHOHO (2005) e GILHOTO & SESSO FILHO (2010), baseados na metodologia utilizada pelo IBGE (2008) para apresentar dados de matriz insumo-produto oficiais de 2000 e 2005. As contas nacionais incluíam inicialmente cinquenta e seis setores e cento e dez produtos.

Os dados sobre o consumo de energia por setores econômicos foram extraídos do Balanço Energético Nacional (EPE, 2017) e das Bases de Dados da Consolidação do Setor de Transportes: 1970-2010 - estudo associado ao Plano Decenal de Energia - PDE 2021 - (EPE, 2012). Ambos os estudos foram desenvolvidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Energética (EPE). O balanço energético nacional conta frequentemente com nove fontes de energia primárias e quatorze secundárias, dez centros de transformação de energia primária e/ou secundária em energia secundária e vinte setores econômicos. As Bases de Dados do Setor de Consolidação dos Transportes contribuíram para a desagregação do setor de transportes por passageiro e carga, com base em quatro modalidades: rodoviária, ferroviária, aérea e marítima.

Os dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares, desenvolvida pelo IBGE (IBGE, 2018a; IBGE, 2018b), foram utilizados para caracterizar as cestas de consumo das famílias de diferentes classes de renda. A pesquisa citada fornece informações detalhadas sobre as famílias, tais como composição, escolaridade, renda, despesas, características da família, entre outras. Suas duas últimas edições foram emitidas em 2002-2003 e 2008-2009, e determinaram a definição do período ora analisado.

Finalmente, o presente estudo escolheu a opção de manter a desagregação da matriz input-output por produtos e não por setores econômicos, no sentido de facilitar a

comparação dos produtos com os apresentados na Pesquisa de Orçamentos Familiares e permitir uma desagregação mais detalhada por classe de rendimento.

3.2.2. Construindo a Matriz insumo-produto Híbrida

A caracterização das atividades econômicas e dos produtos abordados nestas duas bases de dados apresentava diferenças significativas. Assim, para a construção da Matriz Híbrida Insumo-Produto, o presente estudo investigou se havia uma interseção entre as categorizações adotadas nas Contas Nacionais para produtos e no Balanço Energético Nacional para grandes setores econômicos. Com isso, adotou-se a metodologia de compatibilização, sugerida por WEISS DE ABREU (2015), de base na desagregação da Classificação Nacional de Atividades Econômicas desenvolvida pelo IBGE, que define os produtos de cada setor produtivo. A metodologia de compatibilização acima referida baseia-se também em MONTOYA *et al*. (2013), que encontraram compatibilidade entre a estrutura do Balanço Energético Nacional e a das Contas Nacionais.

Já no caso do uso de combustíveis para transporte, considerou-se também a metodologia proposta por WEISS DE ABREU (2015), mas a desagregação entre uso de combustíveis em veículos privados para a prestação de serviços e para uso pessoal pelas famílias foi feita com base na própria distribuição da matriz insumo-produto, assumindo que tais combustíveis, independentemente de consumidos para transporte comercial ou pessoal, apresentavam o mesmo conteúdo energético e preço.

Além disso, foi necessário desagregar o consumo de energia de alguns setores específicos, descritos de forma menos detalhada pelo Balanço Energético Nacional do que pela Matriz Insumo-Produto. Nesses casos, houve uma adaptação da ferramenta de desagregação *do Prorate*, sugerida por LENZEN *et al*. (2014) e utilizada por COHEN *et al* (2005) e WEISS de ABREU (2015). Em primeiro lugar, o instrumento sugere a adoção do valor da produção a partir da Matriz Insumo-Produto (em unidades monetárias) para calcular a distribuição/percentual de cada atividade por seus respectivos produtos. Em seguida, *o Prorate* sugere a aplicação dessa distribuição/percentual ao consumo total de energia de uma mesma atividade (unidades físicas de energia) para desagregá-la pelos produtos da atividade. Entretanto, o seu uso nesta etapa do presente estudo só foi viável devido à suposição de que o preço e o conteúdo energético dos insumos são fixos para

produtos produzidos pelo mesmo setor. As **Equações 51, 52** e **53** mostram como funciona a desagregação *do Prorate:*

$$Z_{i\,,j} = \frac{x_{i\,,j}}{\sum_{i=1}^{n} x_{i\,,j}} \quad \textbf{(51)}$$

$$\sum_{i=1}^{72} Z_{i\,,j} = 1 \quad \textbf{(52)}$$

$$\sum_{i=1}^{72} E_{f\,i,j} * Z_{i\,,j} = E_{f\,i,j} \quad \textbf{(53)}$$

Onde:

$x_{i\,,j}$ = Valor da produção do produto *i* proveniente da atividade *j*;

$Z_{i\,,j}$= Participação do valor da produção do produto *i no* valor total da produção da atividade *j*;

$E_{f\,i,j}$= Consumo do energético *f* (em unidades físicas) no processo de produção do produto *i* pertencente à atividade *j*;

$\sum_{i=1}^{72} E_{f\,i,j}$= Consumo total do energético *f* (em unidades físicas) pelo processo de produção da atividade *j;*

i = Produtos produzidos na atividade *j* na Matriz de Input-output = 1, 2, 3, 4, ..., 72;

j= Atividade econômica do Balanço Energético Nacional = 1, 2, 3, 4, ..., 30.

f = Fontes de energia do Balanço Energético Nacional = 1, 2, 3, 4, ..., 24.

Foi obtida uma matriz híbrida composta por setenta e dois produtos e oito fontes de energia (*petróleo e derivados, gás natural, carvão e derivados, lenha e carvão vegetal, eletricidade, produtos da cana-de-açúcar, urânio, entre outras fontes primárias*). Posteriormente, os setenta e dois produtos foram agregados em oito categorias para facilitar a apresentação dos resultados, conforme sugerido por WEISS de ABREU (2015). As categorias mencionadas se distribuem por *alimentos, têxteis e calçados, papel e celulose, saúde e educação, habitação e eletrodomésticos, transporte e veículos, comunicação e outros serviços* e *outros bens*.

3.2.3. Desagregação de classes de rendimento

A metodologia de classificação das famílias em faixas de renda adotada neste estudo foi realizada considerando-se a divisão dos domicílios por decis de renda. Devido

à relação intrínseca no setor residencial entre consumo de energia e renda, é frequente o uso de classes de renda em trabalhos sobre consumo de energia. Nesta pesquisa, a renda é compreendida como mais um atributo da posição social, acreditando-se que a divisão dos domicílios em decis de renda permite uma melhor compreensão de diferentes padrões de consumo. Além disso, a metodologia de divisão dos domicílios por decis tem como benefício a adoção de valores internos à distribuição de renda e não definidos exogenamente, como, por exemplo, faixas salariais com base no salário mínimo (HOFFMANN, 2000; HOFFMANN & NEY, 2008; SOARES, 2011).

As despesas das famílias da pesquisa de orçamento familiar – POF foram utilizadas para desagregar o consumo das famílias em decis de renda – processo que considerou o número de famílias, na média global das despesas monetárias e não monetárias, e na média das despesas alimentares monetárias e não monetárias das famílias, pertencente cada uma das classes de rendimento monetário e não monetário mensais de cada uma delas, abordadas no Pesquisa aos Orçamentos Familiares 2002-2003 e 2008-2009 (IBGE, 2014a; IBGE 2014b). Uma vez calculada, aplicou-se a percentagem de distribuições de despesa por decil de renda para cada um dos produtos enumerados nos Pesquisas, ao consumo total das famílias, descrito na Matriz de Input-Output de Energia para produtos semelhantes, ou equivalentes, aos enumerados na Pesquisa de Orçamentos Familiares, conforme mostram as **Equações 54, 55, 56, 57** e **58**.

$$DT_{i\,,\ h} = DMF_{i\,,h} * NF_h \qquad \textbf{(54)}$$

$$DT_i = \sum_{j=1}^{n} DT_{i\,,h} \qquad \textbf{(55)}$$

$$Z_{i\,,h} = \frac{DT_{i\,,h}}{DT_i} \qquad \textbf{(56)}$$

$$\sum_{h=1}^{10} Z_{i\,,\ h} = 1 \qquad \textbf{(57)}$$

$$Z_{i\,,h} * \sum_{h=1}^{10} CF_{i\,,h} = CF_{i\,,h} \qquad \textbf{(58)}$$

Onde:

$\boldsymbol{DT_{i\,,h}}$ = Despesa Total das Famílias da Faixa de Renda h com o bem ou serviço i, segundo as POFs;

$\boldsymbol{DMF_{i\,,h}}$= Despesa Média por Família da Faixa de Renda h com o bem ou serviço i, segundo as POFs;

$\boldsymbol{NF_h}$ = Número de Famílias da Faixa de Renda h, segundo as POFs;

$\boldsymbol{DT_i}$**=** Despesa Total das Famílias com o bem ou serviço i, segundo as POFs;

$\boldsymbol{Z_{i,h}}$= Participação da Despesa Total das Famílias do Decil de Renda h na Despesa Total das Famílias com o bem ou serviço i, segundo dados das POFs;

$\boldsymbol{CF_{i,\ h}}$ = Consumo de produto equivalente ao produto i pelas Famílias da Faixa de Renda h na Matriz Insumo-Produto Energética;

$\boldsymbol{i}$ = bens e serviços enumerados nas POFs = 1, 2, 3, 4, ..., m;

$\boldsymbol{h}$= decil de renda = 1, 2, 3, ..., 10.

No entanto, houve algumas exceções no método de desagregação das classes de rendimento. No caso do consumo de lenha, a metodologia utilizada foi sugerida por UHLIG DE OLIVEIRA (2008). Ou seja, este foi estimado pelo número de domicílios e população rural da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (IBGE, 2018a; IBGE, 2018b), multiplicado pelo consumo médio de lenha de 2,1 kg de lenha por pessoa, por dia, em domicílios rurais estimado por WINROCK[14] *apud* UHLIG DE OLIVEIRA (2008), baseado em uma pesquisa em doze mil domicílios rurais no Brasil. O consumo doméstico de gás natural e carvão vegetal também foi desagregado por outro método, baseado na distribuição percentual dos fogões a gás natural e carvão vegetal, a partir dos dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (IBGE, 2018a; IBGE, 2018b).

Vários estudos acerca do tema mostraram que o consumo de energia e a renda são diretamente proporcionais entre si. Segundo BOURDIEU[15] (2008) *apud* UCHÔA (2014), uma estratificação social é definida não só com base no rendimento, mas também nos estilos de vida e nos padrões de consumo. Nesse sentido, UCHÔA (2014) e UCHÔA *et al* (2015) observaram como diferentes níveis de renda podem apresentar semelhanças substanciais entre os padrões de consumo.

Diante dessas colocações, este trabalho optou por agregar os dez decis de renda em três agrupamentos de estratos de renda, conforme sugerido por UCHÔA *et al* (2015) com base na análise do padrão de consumo de energia domiciliar brasileiro por classes de renda. Através dos dados disponíveis na POF 2008-2009 (IBGE, 2014) sobre a posse de equipamentos e consumo de fontes energéticas (eletricidade, lenha, GLP, gás natural, carvão vegetal, querosene, gasolina, álcool e diesel), UCHÔA *et al* (2015) utilizaram a técnica de análise de conglomerados (clusters analysis) para verificar os decis de renda

[14] WINROCK (2007) Brazil market analysis for improved fogões: relatório final - estágio 2. Londres: Fundação Shell.
[15] BOURDIEU, P. (2008) A Distinção: crítica social do julgamento. São Paulo: Edusp; Porto Alegre: Zouk.

que apresentavam padrões de consumo semelhantes e que poderiam ser agrupados na mesma classes de renda.

Esta técnica de análise multivariada permite agrupar objetos de uma matriz de dados, de acordo com aquilo que cada elemento tem de semelhante em relação aos outros pertencentes a determinado grupo, conforme a medida de semelhança e a forma de classificação definidas. Os agrupamentos resultantes de tal classificação deverão apresentar um alto grau de homogeneidade interna e alta heterogeneidade externa, quando da utilização de um dendograma, em que a semelhança de comportamento entre os objetos é medida através de indicadores, como distância euclidiana, distância euclidiana ao quadrado, distância absoluta e distância percentual e coeficiente de Jaccard.

Portanto, com base na metodologia do padrão de consumo de energia das famílias brasileiras por classe de renda sugerida por UCHÔA *et al* (2015), as famílias inicialmente desagregadas em dez decis de renda foram agrupadas em três classes de renda de acordo com a semelhança do seu padrão de consumo de energia. O primeiro estrato social compreende os decis de renda de D1 a D4 e será aqui referenciado como classe de renda baixa; o segundo compreende os decis de renda de D5 a D8 e será chamado de classe de renda média; e o terceiro estrato compreende os decis de renda D9 e D10 e será reconhecido como classe de renda alta (**Tabela 5**).

Tabela 5. Classes de Rendimento

Classes de rendimento	**Número de Famílias**		**Rendimento Familiar Médio**		
	2002 - 2003	**2008 - 2009**	**2002 – 2003**	**2008 - 2009**	**Δ%**
Classe de renda baixa	19.415.631	23.128.084	R$ 446,83	R$ 551,05	23,3%
Classe de renda média	19.412.764	23.126.767	R$ 1.335,82	R$ 1.500,90	12,4%
Classe de renda alta	9.706.244	11.561.752	R$ 5.446,84	R$ 5.376,33	-1,3%
Total	**48.534.639**	**57.816.603**	**R$ 1.802,14**	**R$ 1.895,51**	**5,2%**

Nota: Valores correspondentes a janeiro de 2003. O IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo) foi utilizado como deflator.

Fonte: Elaborado pelos autores com base no IBGE (2014a, 2014b).

3.2.4. Deflatores de preços

Este estudo utiliza valores monetários em Reais de 2002. Desse modo, para trazer os dados da matriz insumo-produto de 2008 para 2002, foram utilizados os deflatores

implícitos do PIB por setor produtivo, calculados por GRAMKOW (2011) para 2002 e 2008, com base nas contas nacionais.

Como GRAMKOW (2011) calculou os deflatores por setores produtivos, esses foram contabilizados para os setenta e dois produtos utilizados nesta tese de acordo com a classificação de setores produtivos e produtos utilizada pelo IBGE no desenvolvimento das contas nacionais e matrizes insumo-produto – Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE).

Na **Tabela 6**, é possível encontrar a compatibilização entre setores produtivos e produtos, bem como os respectivos deflatores implícitos do PIB, por setor produtivo, calculados por GRAMKOW (2011).

Tabela 6. Deflatores Implícitos do PIB por Setores Produtivos e Respectivos Produtos (2008/2002) – continua.

Produto [1]		**Setor Produtivo [2]**	**Deflator**
1	Arroz em casca	1 Agropecuária	1,430
2	Milho em grão		1,430
3	Trigo em grão e outros cereais		1,430
4	Cana-de-açúcar		1,430
5	Soja em grão		1,430
6	Outros produtos e serviços da lavoura		1,430
7	Mandioca		1,430
8	Fumo em folha		1,430
9	Algodão herbáceo		1,430
10	Café em grão		1,430
11	Produtos da exploração florestal e da silvicultura *(Lenha, Carvão Vegetal e Madeira em Tora)*		1,430
12	Bovinos e outros animais vivos		1,430
13	Leite de vaca e de outros animais		1,430
14	Suínos vivos		1,430
15	Aves vivas		1,430
16	Ovos de galinha e de outras aves		1,430
17	Pesca e aquicultura		1,430
18	Petróleo e Gás Natural	3 Extração de Petróleo e Gás	3,610

Fonte: Elaboração Própria com base em GRAMKOW (2011).
Nota: [1] - Segundo classificação definida por WEISS DE ABREU (2015).
[2] - Segundo classificação definida por GRAMKOW (2011).
(*) - Média ponderada pelo Valor da Produção em 2008, segundo a matriz insumo-produto.

Tabela 6. Deflatores Implícitos do PIB por Setores Produtivos e Respectivos Produtos (2008/2002) – continua.

Produto [1]		Setor Produtivo [2]	Deflator
19	Minério de ferro	2 Extrativa Mineral	2,250
20	Carvão mineral		2,250
21	Minerais metálicos não-ferrosos	6 Metalurgia Não Ferrosos	1,180
22	Minerais não-metálicos	4 Minerais não metálicos	1,470
23	Abate e preparação de produtos de carne	26 Abate de Animais	1,620
24	Carne de suíno fresca, refrigerada ou congelada		1,620
25	Carne de aves fresca, refrigerada ou congelada		1,620
26	Pescado industrializado		1,620
27	Conservas de frutas, legumes e outros vegetais	25 Beneficiamento de Prod Vegetais	1,420
28	Óleo de soja em bruto e tortas, bagaços e farelo de soja	29 Fabricação de Óleos Vegetais	1,320
29	Outros óleos e gordura vegetal e animal exclusive milho		1,320
30	Óleo de soja refinado		1,320
31	Leite resfriado, esterilizado e pasteurizado	27 Indústria de Laticínios	1,680
32	Produtos do laticínio e sorvetes		1,680
33	Arroz beneficiado e produtos derivados	25 Beneficiamento de Prod Vegetais	1,420
34	Farinha de trigo e derivados		1,420
35	Farinha de mandioca e outros		1,420
36	Óleos de milho, amidos e féculas vegetais e rações	29 Fabricação de Óleos Vegetais	1,320
37	Produtos das usinas e do refino de açúcar	28 Indústria de açúcar	1,850
38	Café torrado e moído	24 Indústria do café	1,450
39	Café solúvel		1,450
40	Outros produtos alimentares e Bebidas	30 Outros Produtos Alimentares	1,710
41	Têxteis e Calçados	21 Indústria Têxtil	1,673
42	Papel e Celulose	14 Papel e Gráfica	1,440
43	Produtos do refino de Petróleo e Coque	17 Refino de Petróleo	1,260
44	Gasoálcool		1,260
45	Álcool	30 Outros Produtos Agropecuários	1,710
46	Resto de Química	18 Químicos diversos	1,430
47	Produtos farmacêuticos	19 Farmacêutica e Perfumaria	1,390
48	Perfumaria, sabões e artigos de limpeza	19 Farmacêutica e Perfumaria	1,390
49	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	18 Químicos diversos	1,350
50	Cimento	4 Minerais não metálicos	1,470
51	Outros produtos de minerais não-metálicos (vidro, cal e cerâmica)	4 Minerais não metálicos	1,470
52	Produtos da Siderurgia	5 Siderurgia	3,010
53	Produtos Não Ferrosos	6 Metalurgia Não Ferrosos	1,180

Fonte: Elaboração Própria com base em GRAMKOW (2011).
Nota: [1] - Segundo classificação definida por WEISS DE ABREU (2015).
[2] - Segundo classificação definida por GRAMKOW (2011).
(*) - Média ponderada pelo Valor da Produção em 2008, segundo a matriz insumo-produto.

Tabela 6. Deflatores Implícitos do PIB por Setores Produtivos e Respectivos Produtos (2008/2002) – continuação.

Produto [1]		Setor Produtivo [2]	Deflator
54	Resto da Indústria	31 Indústrias diversas	1,600
55	Eletrodomésticos	8 Material Elétrico + 9 Equipamento Eletrônicos (*)	1,472
56	Peças e veículos de transporte	11 Automóveis Caminhões e ônibus + 12 Outros veículos e peças (*)	1,823
57	Móveis e produtos das indústrias diversas	13 Madeira e Mobiliário	1,500
58	Jornais, revistas, discos e outros produtos gravados	14 Papel e Gráfica	1,440
59	Produtos do fumo	31 Indústrias diversas	1,600
60	Produtos de madeira - exclusive móveis	31 Indústrias diversas	1,600
61	Eletricidade	32 Serviços industriais e de utilidade pública	1,450
62	Gás, água, esgoto e limpeza urbana		1,450
63	Construção	33 Construção Civil	1,510
64	Transporte de carga	35 Transportes	1,740
65	Transporte de passageiros		1,740
66	Resto de transporte, armazenagem e correio		1,740
67	Resto de Serviços	36 Comunicações + 38 serviços prestados às famílias + 39 Serviços prestados às empresas + 41 Administração Pública + 34 comércio (*)	1,705
68	Intermediação financeira e seguros	37 Instituições financeiras	1,260
69	Serviços imobiliários e aluguel	40 Aluguel de imóveis	1,310
70	Aluguel imputado		1,310
71	Educação	41 Administração Pública + 42 Serviços Privados não Mercantis (*)	1,784
72	Saúde	41 Administração Pública + 42 Serviços Privados não Mercantis (*)	1,784

Fonte: Elaboração Própria, com base em GRAMKOW (2011).

Nota: [1] - Segundo classificação definida por WEISS DE ABREU (2015).

[2] - Segundo classificação definida por GRAMKOW (2011).

(*) - Média ponderada pelo Valor da Produção em 2008, segundo a matriz insumo-produto.

4. Resultados e Discussão

4.1. Resultados da Análise Empírica

Esta seção apresenta os resultados da aplicação da metodologia para analisar o comportamento do consumo de energia das famílias durante o crescimento recente da renda, experimentado no Brasil de 2002 a 2008.

Os resultados foram desagregados por classe de rendimento, fonte de energia e modo de consumo de energia das famílias, ou seja, procura direta de serviços energéticos e procura indireta de serviços energéticos incorporados em bens e serviços da sua cesta de consumo.

Em 2002, o consumo total de energia (direta e indireta) das famílias foi de 119,594 milhões de tep. Em 2008, este valor aumentou 25,7% (152,366 milhões de tep). Como resultado, considerando os modos de consumo de energia direta e indireta, os domicílios foram responsáveis pela parte mais significativa da demanda energética brasileira, representando mais da metade da demanda interna de energia em 2002 e 2008 - 52% e 51%, respectivamente (**Figura 12** e ***Tabela 7***). O desfecho reforça a importância do presente estudo e da análise da procura de energia centrada nos agregados familiares, como já referido por COHEN *et al* (2005), LENZEN *et al*. (2006) e LENZEN *et al*. (2014).

Figura 12. Demanda de Energia Direta e Indireta por setores de demanda final - Brasil - 2002/2008.

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 7. Demanda de Energia Direta e Indireta por setores de demanda final em milhares de tep - Brasil - 2002/2008.

2002							
Fontes Energéticas	**Direto**			**Indireto**			
	Expor-tações	**Governo**	**Famílias**	**Expor-tações**	**Governo**	**Famílias**	**Investi-mento**
Petróleo e Derivados	24.293	737	18.351	14.682	5.557	33.515	10.727
Gás Natural	-	38	135	4.629	1.125	7.623	2.147
Carvão e Derivados	-	-	22	5.413	332	2.321	3.213
Urânio	-	-	-	11	11	61	7
Eletricidade	1	2.412	6.254	7.156	3.888	17.559	4.400
Lenha e Carvão Vegetal	5	-	8.110	4.836	810	6.143	3.610
Produtos da Cana	392	-	6.085	5.057	1.019	11.841	355
Outras Fontes Primárias	-	-	-	1.124	405	1.574	300
Total	**24.690**	**3.187**	**38.957**	**42.908**	**13.145**	**80.636**	**24.758**
2008							
Fontes Energéticas	**Direto**			**Indireto**			
	Expor-tações	**Governo**	**Famílias**	**Expor-tações**	**Governo**	**Famílias**	**Investi-mento**
Petróleo e Derivados	36.615	592	20.329	14.393	5.410	36.959	15.415
Gás Natural	-	58	229	6.172	1.376	10.617	4.014
Carvão e Derivados	7	-	-	4.251	279	2.265	4.494
Urânio	-	-	-	7	7	47	7
Eletricidade	59	2.972	8.220	8.675	4.239	24.618	7.042
Lenha e Carvão Vegetal	-	-	8.237	5.226	1.007	8.651	5.780
Produtos da Cana	2.705	-	10.898	8.271	1.561	18.718	1.379
Outras Fontes Primárias	-	-	-	1.546	509	2.578	791
Total	**39.387**	**3.622**	**47.913**	**48.541**	**14.389**	**104.453**	**38.923**

Fonte: Elaboração Própria.

A **Figura 13** reforça a mensagem de que o consumo de energia indireta, ou seja o consumo de energia embutido em bens e serviços consumidos pelas famílias, representa a parcela mais relevante do consumo de energia familiar em todas as classes de renda. Totalizando em média 2/3 do consumo total de energia das famílias, o consumo indireto tende a representar uma menor participação nas famílias pertencentes às classes de menor rendimento– fato que pode estar relacionado ao peso maior que o consumo de energia tem nos orçamentos familiares de baixa renda.

Além disso, destaca-se que o consumo indireto de energia aumentou significativamente sua participação no consumo total de energia das famílias da faixa de renda mais baixa (57% em 2002 e 62% em 2008), ao passo que, nas classes de renda média e alta permaneceu com participação relativamente estável – 68% e 71% respectivamente (**Figura 13**). Isso revela que o consumo indireto de energia nas famílias

de baixa renda tende a apresentar maior elasticidade a variações de renda do que nas famílias classes mais altas. Porém, a seguir esses resultados serão explorados mais a fundo.

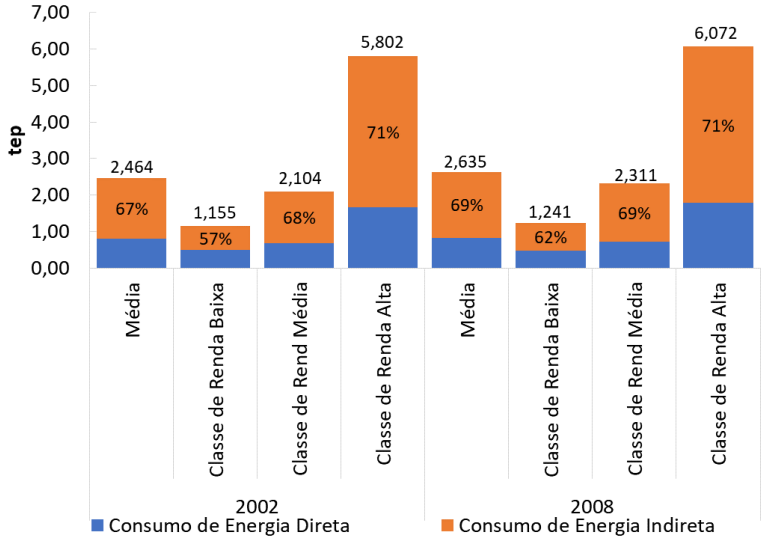

Figura 13. Consumo médio anual de energia doméstica por domicílio, por classe de renda - Brasil - 2002/2008.

Fonte: Elaboração Própria.

A

Figura *14* apresenta as curvas de Lorenz para distribuição de renda, o consumo de energia direta (com e sem consumo de lenha e carvão vegetal) e o consumo de energia indireta, bem como as variações do índice de Gini para cada uma das variáveis (texto em verde ou vermelho). De acordo com a **Figura 13**, observa-se que a distribuição do consumo doméstico de energia é menos desigual do que a distribuição geral de renda, especialmente para o uso direto de energia, consumida, em geral, para atender às necessidades básicas.

Pela

Figura *14*, o consumo de energia apresentou redução da desigualdade na sua distribuição entre as classes de renda, acompanhando, assim, a redução da desigualdade de renda. Segundo o IPEA (2012), com base na Pesquisa Mensal de Emprego do IBGE, a desigualdade na distribuição de renda diminuiu 1,5% ao ano, de maio de 2002 a maio de 2008. Os resultados desse estudo revelam que a diferença do consumo total de energia entre as classes de maior e de menor renda diminuiu 0,4% ao ano.

A redução da desigualdade da distribuição do consumo de energia entre as classes de renda foi, no entanto, um pouco menor do que a verificada para distribuição de renda entre 2002 e 2008, dado que, a princípio, o consumo direto de energia teria aumentado a desigualdade na sua distribuição ao longo do período a uma média de 1,4% ao ano. Contudo, mais adiante, foi possível verificar que isso se deveu à redução do consumo de lenha e carvão vegetal, substituído por fontes mais eficientes, principalmente para cocção. Logo, considerando o consumo direto de energia descontado o consumo de lenha e carvão vegetal, foi verificada melhoria na distribuição do consumo de energia direto entre as classes de renda (-0,4% ao ano). Porém mesmo assim, a redução da desigualdade na distribuição do consumo direto de energia pelas classes de renda ainda foi um pouco menos acelerada do que a verificada para distribuição de renda (-1,5% ao ano) e do consumo indireto de energia (-1,5% ao ano).

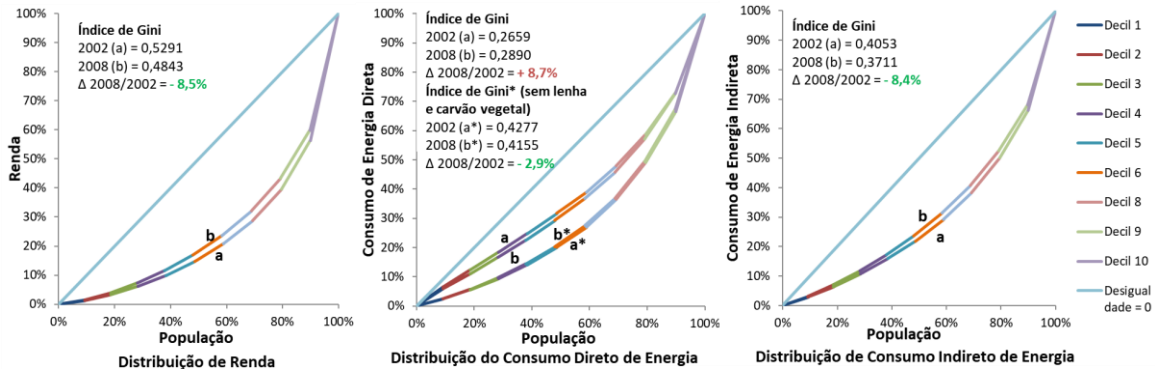

Figura 14. Curvas de Lorenz e Índice de Gini para distribuição da renda e do consumo doméstico de energia - Brasil - 2002/2008.
Fonte Elaboração Própria.

A **Figura 15** detalha o padrão de consumo de energia direta das famílias de diferentes classes de renda. O consumo direto de petróleo e derivados, energia elétrica e produtos de cana-de-açúcar foi maior nas classes de maior renda que, em contrapartida, teve reduzido o consumo de derivados de petróleo e aumentado o consumo de produtos da cana.

O consumo direto de lenha e carvão vegetal foi maior nas classes de renda mais baixa (**Figura 15**), dado que aponta o custo monetário zero do uso da lenha para cozinhar no setor residencial, já que as próprias famílias dedicam tempo e esforço para coletar esse material das florestas naturais (GIODA, 2019a; GIODA, 2019b). A lenha e o carvão

vegetal são fontes de energia não modernas e ineficientes, cujo consumo, na maioria dos casos, pode levar a uma série de problemas de saúde para os usuários (GIODA *et al.*, 2017). Quando queimados, esses combustíveis emitem gases e partículas capazes de prejudicar a saúde dos seus utilizadores. O consumo de lenha e/ou carvão vegetal, portanto, além de acarretar prejuízos (desmatamento e destruição dos biomas naturais) por conta da coleta, correlaciona-se negativamente com a qualidade de vida dos usuários.

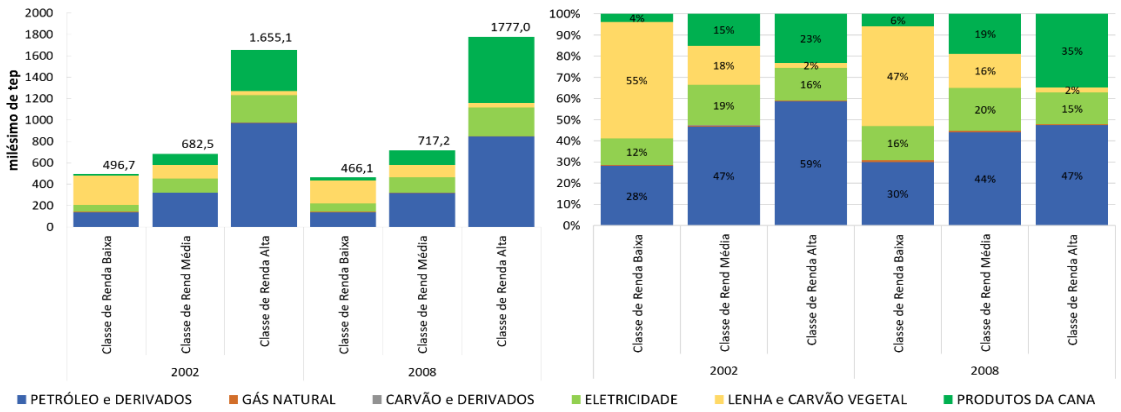

Figura 15. Consumo médio anual de energia domiciliar direta por energético, segundo classe de renda - Brasil - 2002/2008.

Fonte: Elaboração Própria.

Deste modo, de 2002 a 2008, o consumo de energia direta por domicílio aumentou em média 3,2%, com destaque para o crescimento do consumo de eletricidade e etanol. Se não considerado o consumo de lenha e carvão vegetal, todas as classes de renda apresentaram taxas de crescimento positivas. Como mostra a **Figura 16**, o crescimento no consumo de energia direta domiciliar pode ser explicado pelo aumento do consumo de energia *per capita* e pelo crescimento da população.

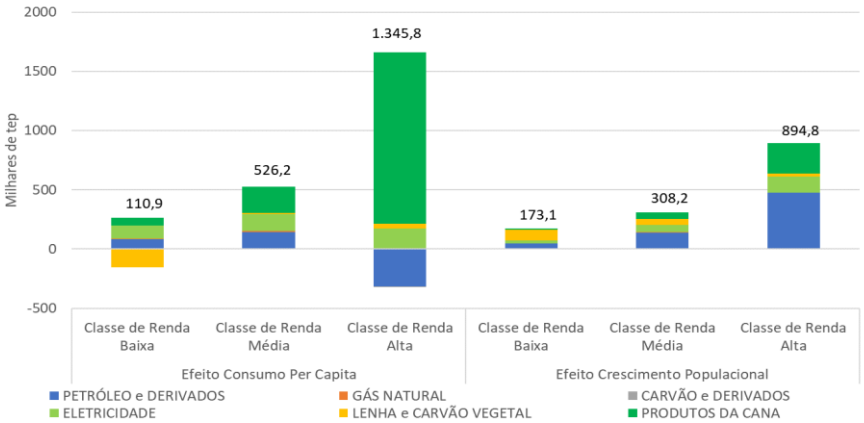

Figura 16. Decomposição estrutural da variação do consumo de energia direta por decil de Classe de Renda e energéticos - Brasil - 2002/2008.

Fonte: Elaboração Própria.

Com base na **Figura 16**, todas as fontes energéticas apresentaram crescimento positivo de consumo direto, impulsionado pelo crescimento populacional. Porém, em termos *per capita*, houve queda no consumo direto de lenha e do carvão vegetal, na classe de renda mais baixa, e no consumo de petróleo e derivados, na classe de renda mais alta.

No caso da redução do consumo *per capita* de lenha e de carvão vegetal, entende-se que foi resultante do processo de ganho de poder aquisitivo vivido por essas famílias (**Tabela 5**; WEISS DE ABREU, 2015), favorecidas, em consequência, em ganhos de bem-estar. O aumento do número de oportunidades de emprego, valorização do salário mínimo e programas sociais de distribuição de renda, como o Bolsa Família, contribuíram para que muitas famílias apresentassem ganhos de poder aquisitivo e pudessem vir a substituir a lenha pelo o GLP, um combustível mais limpo e eficiente para cozinhar.

Apesar de a classe de baixa renda ter experimentado um modesto aumento liderado pelo crescimento da população, sua composição do consumo de energia *per capita* mudou significativamente (**Figura 16**). O consumo *per capita* de eletricidade e derivados de petróleo pelas famílias de classe mais baixa foi mais do que suficiente para compensar o declínio no consumo *per capita* de lenha e carvão vegetal. Tais resultados mostram algumas das implicações para a demanda doméstica de energia do programa Luz para Todos, cujo objetivo era universalizar o acesso da população à eletricidade no Brasil.

Por outro lado, o aumento do consumo de energia direta *per capita* das classes de renda média e alta foi grande determinante do crescimento do consumo de energia direto ao longo do período estudado (**Figura 16**). Tais alterações foram relacionadas principalmente à substituição de derivados de petróleo por etanol como combustível para fins de transporte. Isso fica claro ao constatarem-se a redução do consumo *per capita* de petróleo e derivados e o aumento vertiginoso do consumo de produtos da cana pelas famílias de alta renda (**Figura 16**). O fenômeno provavelmente está relacionado às mudanças observadas no consumo de energia direta, devido ao desenvolvimento massivo da tecnologia de veículos *flex fuel* no Brasil, desde 2003, e ao crescimento da mistura de etanol na gasolina, somados à política de controle do preço dos derivados de petróleo no território nacional.

Para melhor compreensão dos fatores determinantes do consumo direto de energia das famílias, mostra-se necessário o uso de métodos adicionais de análise, como por

exemplo modelos *Top Down*, que demonstram como as famílias se comportam perante alterações de renda, preço e demais políticas públicas ou setoriais, ou modelos *Bottom Up*, que contêm detalhamento tecnológico (desagregados por aparelhos e serviços de energia), ou mesmo modelos híbridos, que englobam as outras duas habilidades, a fim de representarem com maior realismo o padrão de consumo das famílias (HORNE *et al.*, 2005; BATAILLE *et al.*, 2006).

A **Figura 17** retrata o padrão de consumo de energia indireta das famílias brasileiras, embutida em bens e serviços pertencentes à cesta de consumo das famílias brasileiras, em 2002 e em 2008. Ao contrário do ocorrido no consumo de energia direta, no consumo de energia indireta não houve diferenças muito significativas em sua composição em termos de fontes energéticas entre as classes de renda (**Figura 17**), a não ser pela participação maior do consumo indireto de petróleo e derivados pelas famílias de renda mais alta.

Quanto à evolução do padrão de consumo de energia indireta das famílias brasileiras, deve-se notar que, entre 2002 e 2008, a participação do consumo indireto de produtos da cana-de-açúcar, eletricidade e gás natural aumentou, ao passo que foi detectada queda da participação percentual dos derivados de petróleo, principalmente na classe de alta renda. Isso pode ser explicado pela maior eletrificação da economia brasileira, pela expansão da rede de gás natural, pela consolidação do gasoduto Bolívia-Brasil e pelo aumento da produção de produtos da cana, devido ao desenvolvimento dos automóveis *flex fuel*. Segundo a série histórica do balanço energético da EPE (2017), o consumo de produtos da cana-de-açúcar ao longo deste período cresceu 64%, destinados principalmente ao setor de energia e à indústria de alimentos e bebidas.

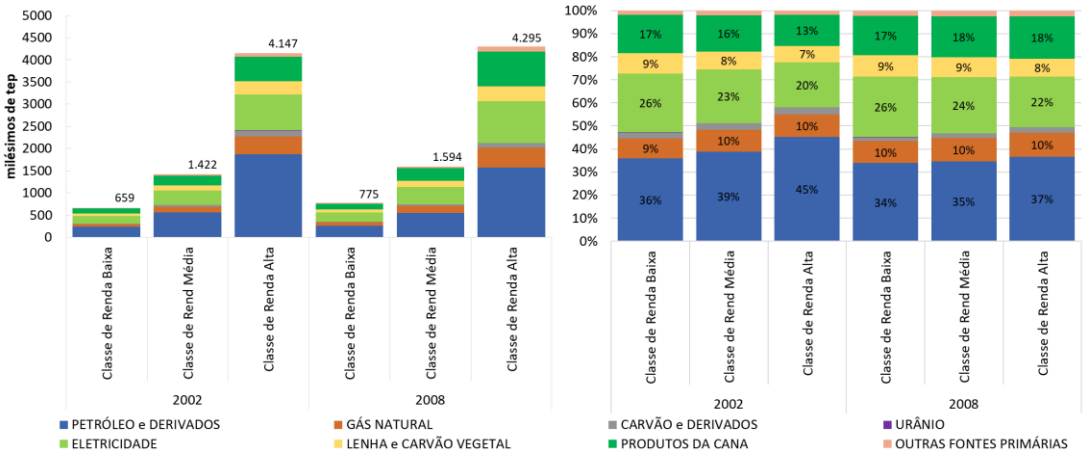

Figura 17. Consumo Médio Anual de Energia Indireta Familiar por Energético, segundo Classe de Renda - Brasil - 2002/2008.
Fonte: Elaboração Própria.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra que as categorias de bens e s erviços[16] em que o consumo de energia indireto das famílias se encontrava embutido em 2002 e em 2008. Como é possível observar, o consumo indireto de energia encontra-se majoritariamente embutido nas despesas das famílias com alimentação, transporte (transporte público de passageiros, como ônibus, trem, metrô e avião, serviços de transporte, como táxis e mototáxis, viagens, fretes e compra de veículos e peças) e habitação (construção e manutenção da casa e compra de eletrodomésticos). É também possível notar que, embora o peso do consumo indireto relacionado com a despesa com habitação seja relativamente estável entre diferentes classes de rendimento, o peso da energia incorporada em produtos alimentares diminui à medida que aumenta o rendimento, enquanto o relativo à despesa com transporte e veículos aumenta consideravelmente.

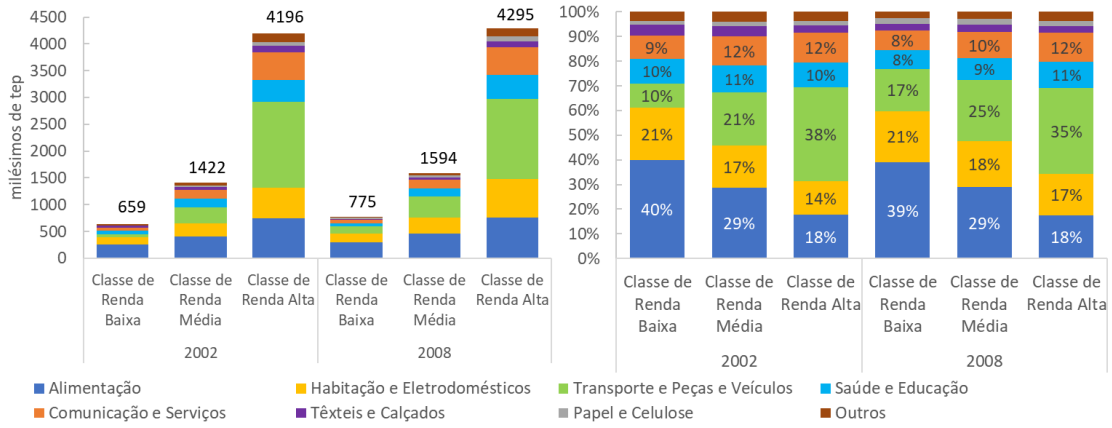

Figura 18. Origem do Consumo de Energia Indireta por categorias de Bens e Serviços e por Classe de Renda - Brasil - 2002/2008.

Fonte: Elaboração Própria.

Quanto à evolução do padrão de consumo de energia embutida em bens e serviços entre 2002 e 2008 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), a participação da e nergia embutida em alimentação ficou relativamente estável, mas a participação da energia embutida em bens e serviços relacionados ao transporte cresceu

[16] Foi utilizada a categorização de produtos e serviços sugerida por WEISS DE ABREU (2015).

significativamente nas classes de renda baixa e média. Isso demonstra que as classes de renda baixa e média poderiam apresentar uma demanda reprimida por meio de transporte que passa a ser possível de ser realizada devido ao ganho de poder aquisitivo. Cabe ressaltar também a participação da energia embutida em bens e serviços relacionados ao transporte na cesta das famílias de renda mais alta. Segundo dados da POF (IBGE, 2018a; IBGE, 2018b), essa queda pode ser explicada pela redução do consumo pelas famílias da classe de renda mais alta de serviços de transporte urbano e de fretes. A queda da atividade de transporte de carga em modais aéreo, aquaviário e rodoviário no período de 2008 a 2009 foi relatada por EPE (2012) e pode ser associada a impactos relativos à crise financeira de 2008-2009. Segundo dados da Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (*United Nations Conference on Trade and Development* - UNCTAD)[17], em 2008 houve queda vertiginosa do transporte marítimo e, segundo Associação Internacional de Transporte Aéreo (*International Air Transport Association* – IATA) [18], entre 2008 e 2009, o frete aéreo global sofreu uma queda de 9,7% devido à crise financeira.

De acordo com a análise de decomposição estrutural disponibilizada na **Figura 19**, o crescimento do consumo de energia indireto é explicado e desagregado por 4 determinantes: efeito atividade, efeito intensidade, efeito estrutura e efeito cesta. De acordo com a análise de decomposição estrutural do consumo direto de energia, todos os efeitos foram positivos, incluindo o da intensidade energética, revelando dois importantes pontos: a economia brasileira passou a utilizar mais energia por unidade de produto interno bruto; e a demanda reprimida por energia no Brasil foi atendida (ao menos em parte). A existência de um efeito intensidade energética positivo pode ser relacionado ao processo de desenvolvimento de um país emergente. Porém, gera um certo nível de preocupação acerca da sustentabilidade desta trajetória de desenvolvimento.

O efeito atividade, determinado pelo nível de despesa das famílias, foi a principal motivação para o aumento do consumo indireto de energia em todas as classes de renda (**Figura 19**). Este resultado era esperado devido ao aumento da despesa das famílias de 2002 a 2008 (IBGE, 2018a; 2018b). No caso das famílias pertencentes à classe de alta renda, o efeito atividade foi responsável por representar quase 90% do aumento do consumo indireto de energia.

[17] https://www.bbc.com/portuguese/reporterbbc/story/2008/11/081104_transporte_custo_dg.shtml
[18] https://valor.globo.com/empresas/noticia/2020/02/05/transporte-areo-de-cargas-tem-pior-desempenho-desde-2009-aponta-iata.ghtml.

A **Figura 19** revelou também que o efeito cesta, determinado pela composição de bens e serviços na cesta do consumidor, foi bastante significativo nas classes de renda baixa e média o efeito da cesta, só não sendo superior do que o efeito atividade nestas classes de renda. Isso foi resultado principalmente do aumento no consumo de energia indireta embutida em bens e serviços relacionados a transporte (**Erro! Fonte de r eferência não encontrada.**), como aumento das despesas com serviços de transporte urbano, aquisição de veículos, fretes e viagens.

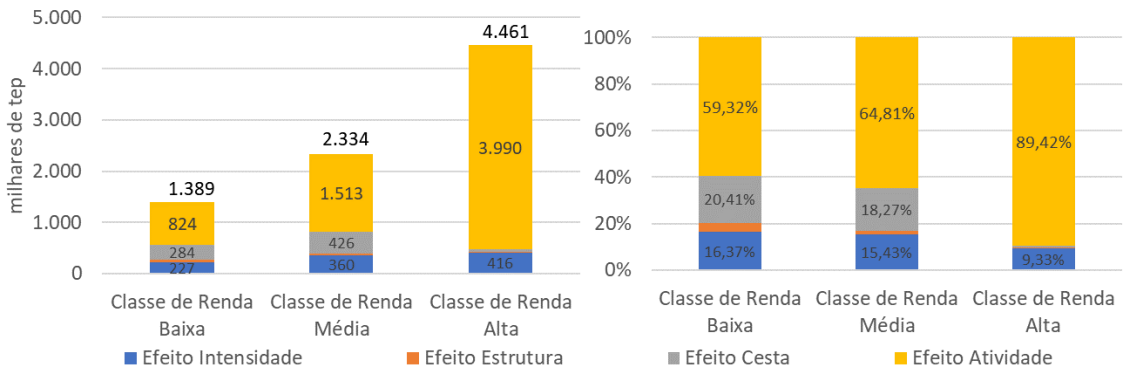

Figura 19. Decomposição estrutural da variação do consumo de energia indireta por classe de renda - Brasil - 2002/2008.

Fonte: Elaboração Própria.

Na **Figura 20**, visualiza-se a decomposição estrutural com os quatro efeitos desagregados por fontes energética. Através dessa análise, é possível concluir que os efeitos que aparentavam ser inócuos, na verdade, eram positivos para algumas fontes energéticas e negativos para outras fontes, num movimento de "compensação" entre si, reduzindo a magnitude do efeito total.

No que tange ao efeito intensidade energética (**Figura 20**), o aumento do consumo de eletricidade e de produtos da cana por unidade monetária produzida na economia superou significativamente a drástica redução na intensidade do consumo de petróleo e derivados por unidade produzida na economia brasileira, entre 2002 e 2008. Em relação ao aumento da intensidade de eletricidade, verificou-se um enorme aumento na eletrificação, devido à universalização do acesso, e no consumo de eletricidade, para atender a demanda proveniente do crescimento de renda. Entre 2003 e 2013, o programa Luz para Todos levou eletricidade a mais de 15 milhões de brasileiros (MME, 2019), dispensando o uso de derivados de petróleo para pequenos geradores em locais isolados. Além disso, o etanol substituiu os derivados de petróleo no setor de transportes. Em 2003,

os veículos *flex fuel* foram introduzidos no mercado brasileiro e, em 2008, já respondiam pelo novo licenciamento de 90,3% dos carros e 65,5% dos veículos comerciais leves (ANFAVEA, 2018). O sucesso dos veículos "flex" e o aumento da participação obrigatória do etanol anidro na gasolina de 22%, em 2002, para 25%, em 2008, permitiram que o etanol combustível (anidro e hidratado) superasse o consumo de gasolina A em 2008 (DELGADO *et al*, 2017).

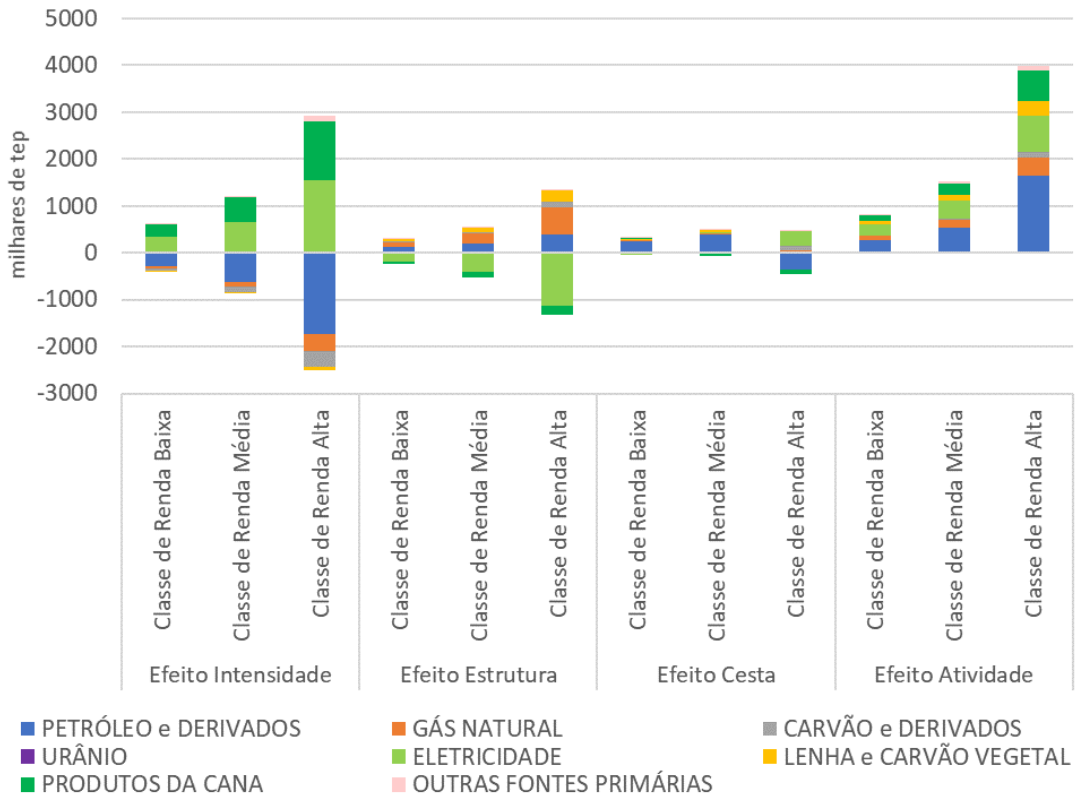

Figura 20. Decomposição estrutural da variação do consumo de energia indireta por decil e energético por classe de renda - Brasil - 2002/2008.

Fonte: Elaboração Própria.

Já o efeito da estrutura (**Figura 20**) mostrou-se praticamente inócuo na análise agregada de decomposição estrutural. Porém, ao analisar o consumo de energia desagregado por fontes, é possível verificar que, entre 2002 e 2008, as indústrias mais intensivas em gás natural e em petróleo e derivados ganharam espaço na economia brasileira, enquanto as indústrias intensivas em eletricidade recuaram. Esse resultado pode ser explicado pela crescente oferta de gás natural a preços competitivos do gasoduto Brasil-Bolívia e pelo aumento da produção nacional de petróleo e gás, que levou à

autossuficiência do País em petróleo, em 2006. Além disso, uma política de controle indireto de preços dos derivados de petróleo pela Petrobrás provocou um desalinhamento com o preço internacional do petróleo, fazendo com que os preços nacionais da gasolina, diesel e GLP no Brasil em média ficassem bem abaixo dos preços praticados no mercado internacional a maior parte dos anos de 2007 e 2008, como mostra OLIVEIRA (2015). Como resultado, o preço dos derivados de petróleo no mercado brasileiro cresceu a uma taxa acumulada abaixo da verificada para inflação (35,3%) no período entre janeiro de 2003 e 2009, como mostra a Figura 21.

O preço do petróleo no mercado internacional de janeiro de 2003 a junho de 2009 passou de US$47,62 para US$165,20, apresentando crescimento de 246,9% (MACROTRENDS, 2020). Depois, devido à crise financeira, o petróleo apresentou queda vertiginosa de 69,2% em apenas 6 meses, atingindo preço de US$50,93 em janeiro de 2009 (MACROTRENDS, 2020). Apesar desta volatilidade não ter sido repassada para os principais derivados de petróleo no mercado nacional como forma de colaborar com o aumento da inflação (Figura 21), mas foi repassada de forma compensatória para outros derivados de petróleo, como o óleo combustível, onerando principalmente a geração de energia elétrica com base nesta fonte utilizada principalmente para atender aos sistemas isolados dos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Rondônia e Roraima[19].

[19] https://www.ilumina.org.br/previsao-de-aumento-da-tarifa-de-energia-eletrica-em-2009/

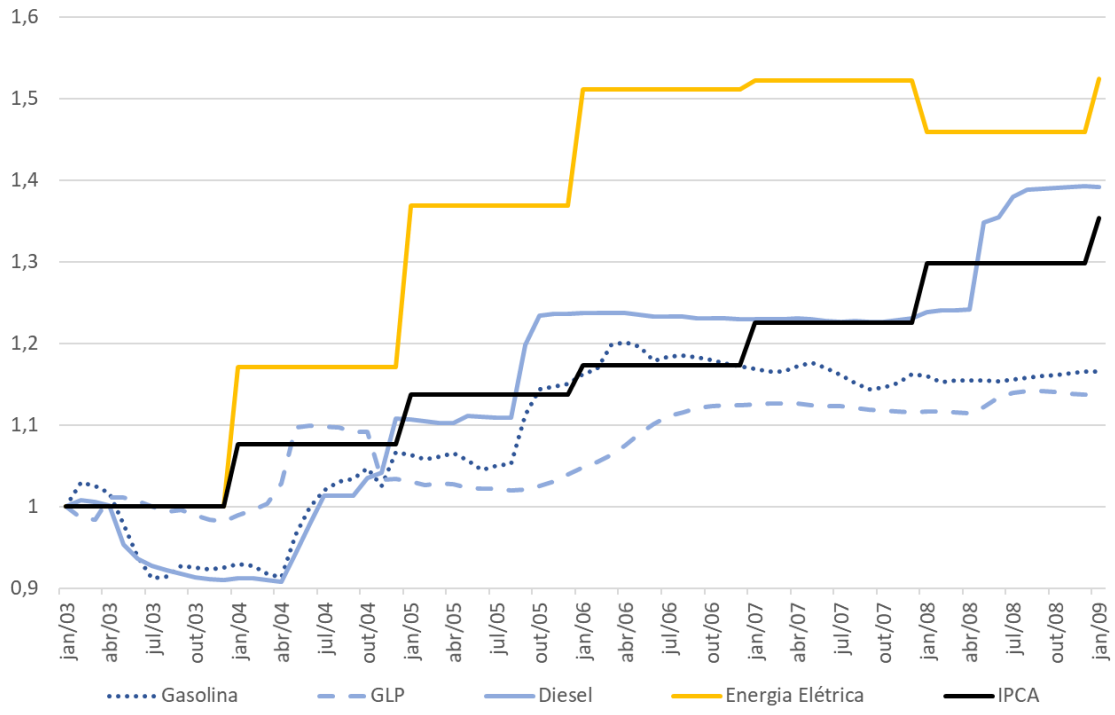

Figura 21. Evolução da taxa de crescimento dos preços de derivados de petróleo, da tarifa média de Energia Elétrica e do Índice de Preço ao Consumidor Amplo – IPCA.

Fonte: Elaboração Própria com base em ANP (2020), ANEEL (2020) e IBGE (2020).

Ao contrário do que ocorre com o gás natural e os derivados de petróleo, as tarifas de energia elétrica atingiram níveis elevados. Isso pode explicar, porque a eletricidade apresentou um efeito estrutural negativo (setores produtivos intensivos em eletricidade perderam espaço pelo aumento de preço da energia elétrica) e reafirma o efeito estrutura positivo para gás natural e derivados de petróleo (setores produtivos intensivos em fontes fósseis ganharam espaço).

Segundo dados da ANEEL (2020), as tarifas de energia elétrica cresceram aproximadamente 52,4% entre janeiro de 2003 e janeiro de 2009. Os maiores responsáveis pelo aumento da tarifa de energia elétrica entre 2003 e 2008 foram a Carga Tributária (composta por impostos e encargos sobre o setor elétrico) que apresentou aumento de 67% no período, e os Custo de Geração que aumentaram 46% no período, segundo o INSTITUTO ACENDE BRASIL (2009).

Em relação às carga tributária, o aumento da tarifa de energia elétrica se deveu devido a encargos existentes para cobrir os custos do Programa Luz para Todos, Tarifa Baixa Renda, a Conta de Combustíveis para sistemas isolados – CCC como citado anteriormente e do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica –

PROINFA. Já os maiores custos de geração, se deveram à elevação do preço médio dos contratos de compra de energia fechados nos leilões (principalmente de 2005 a 2009), fazendo com o preço médio da energia contratada subisse de R$58/MWh para R$75/MWh (+29,3%) no período. Além disso, no período, ainda como uma herança das medidas emergências e do Programa Prioritário de Termeletricidade (PPT) a operação do sistema para garantir o abastecimento da população e reduzir o risco de racionamento precisou recorrer mais do que previsto a usinas termelétricas fora de mérito (principalmente a diesel, óleo combustível e gás natural), que apesar de apresentarem custo variável unitário (CVU) mais alto garantiam carga e flexibilidade ao sistema interligado nacional. (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2009).

Voltando ao "efeito cesta", determinado pela composição da cesta básica de bens e serviços consumidos pelas famílias, analisando a **Figura 20** é possível verificar que apesar de ter se mostrado significativo para a variação do consumo de energia indireta para as classes de baixa e média renda (**Figura 19**), este efeito foi o que apresentou menor oscilação de fontes energéticas. O efeito cesta apresentou basicamente mudanças significativas em termos do consumo indireto de derivados de petróleo por todas as classes de renda e de eletricidade pela classe de renda mais alta.

No caso dos domicílios pertencentes às classes de renda mais baixa e média, o efeito cesta foi significativamente positivo e intenso, considerando o baixo conteúdo energético indireto por que respondem essas classes de renda em função do seu modesto nível de despesas. O efeito cesta para essas classes foi dominado pelo aumento do consumo indireto de derivados de petróleo. Isso significa que essas famílias passaram a consumir uma cesta de conteúdo energético maior, composta por produtos e serviços que trazem embutido (ou demandam para ser produzidos e/ou ofertados aos consumidores) principalmente derivados do petróleo (**Figura 20**), como transporte coletivo de passageiros, transporte de carga e bem como produtos agropecuários para alimentação (**Figura 22**).

Já, no caso das famílias pertencentes à classe de renda mais alta, a **Figura 20** também mostra que o efeito da cesta não foi significativo devido à substituição de produtos mais intensivos em petróleo e derivados por produtos mais intensivos em eletricidade principalmente. Desta forma, analisando os resultados da decomposição estrutural e os dados de despesas da POF (IBGE, 2018a; IBGE 2018b), é possível afirmar que serviços relativos ao transporte urbano e fretes intensivos no consumo de derivados de petróleo perderam espaço na cesta de consumo das famílias pertencentes à classe de

renda mais alta, em detrimento de bens como eletrodomésticos, veículos e peças de automóveis, cuja produção é intensiva em eletricidade. Esse resultado é consistente com o aumento do consumo de produtos de cana devido à aquisição de veículos novos do tipo *flex fuel* (**Figura 22**).

É interessante destacar também um outro comportamento no que tange ao conteúdo energético da cesta de consumo das famílias pertencentes às classe de renda mais alta e média, revelado pela **Figura 22**. Ao passo que houve aumento da participação na cesta de consumo destas famílias de serviços de transporte intensivos em produtos da cana, alimentos intensivos em produto da cana perderam espaço. Logo, é possível associar esse efeito a mudanças nos estilos de vida dessas famílias com um maior consumo de serviços de transporte urbanos, como táxis, e a adoção de hábitos alimentares mais saudáveis, como uma dieta menos intensiva em açúcares.

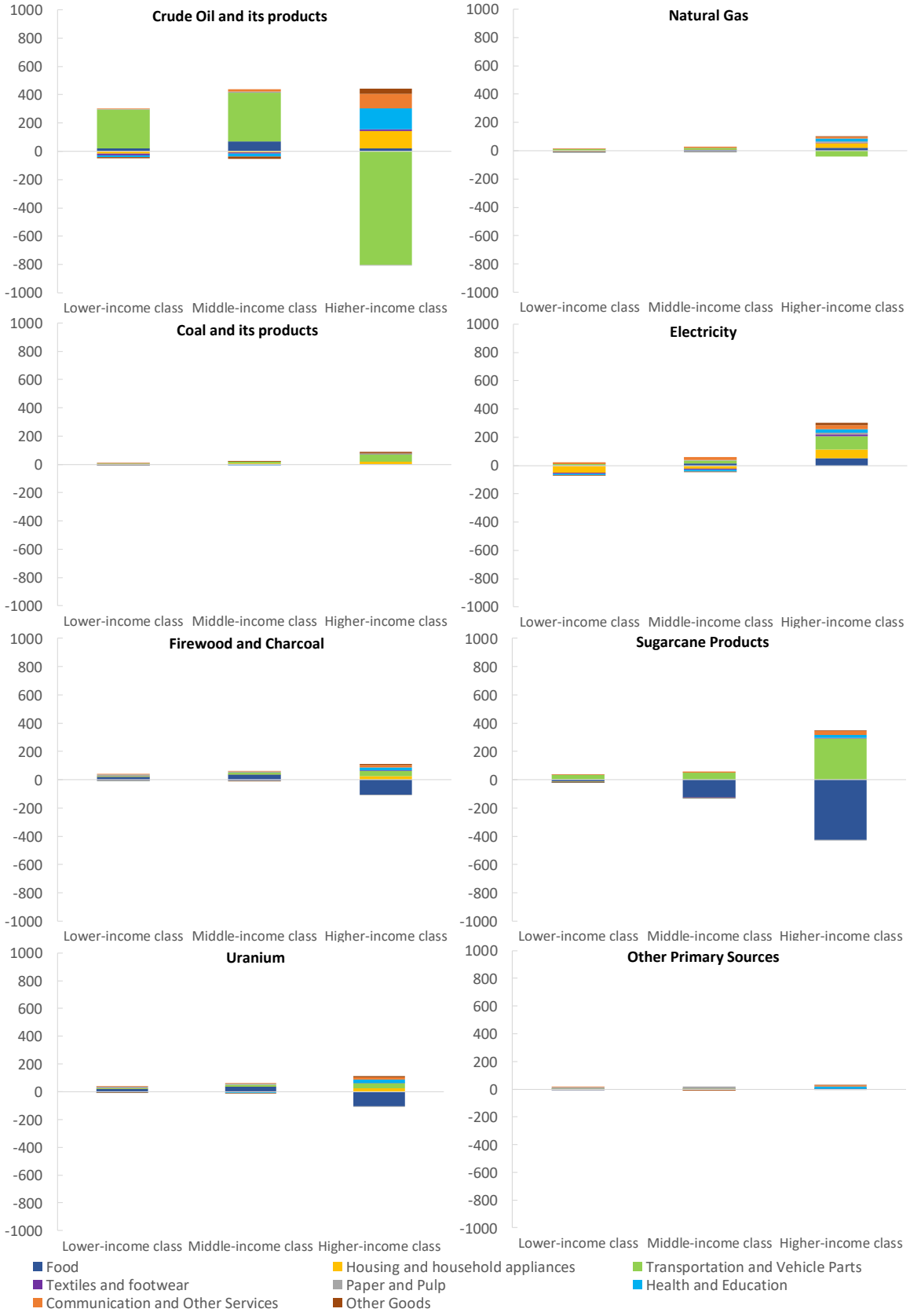

Figura 22. Efeito Cesta Detalhada por classes de renda, energéticos e produtos - Brasil - 2002/2008.

Fonte: Elaboração Própria.

4.2. Discussão dos Resultados da Análise Empírica

Os resultados da análise de decomposição estrutural evidenciam que, entre 2002 e 2008, as famílias brasileiras experimentaram mudanças no seu padrão de consumo de energia e uma ligeira redução da desigualdade na distribuição de renda principalmente devido ao crescimento da renda *per capita* e programas de distribuição de renda. Tais mudanças no padrão de consumo de energia das famílias brasileiras foi acompanhada com uma melhoria na distribuição do consumo de energia entre as classes de renda, reforçando que ao longo desse período o país vivenciou uma trajetória de desenvolvimento sustentável em termos de questões energéticas, de acordo com os indicadores energéticos para desenvolvimento sustentável propostos por VERA & LANGLOIS, 2007) e apresentados na **Tabela 2**.

A melhoria na distribuição do consumo de energia por faixas de renda evidenciou a melhoria dos indicadores energéticos para desenvolvimento sustentável, principalmente com foco em equidade com destaque para o indicador "uso de energia por faixa de renda" - SOC 3.

Além disso, o Brasil apresentou avanços significativos em seu desenvolvimento sustentável em termos energéticos. De acordo com dados do WBG (2019), a porcentagem dos domicílios brasileiros com acesso à eletricidade passou de 96,7%, em 2002, para 98,90%, em 2009, em decorrência do programa Luz para Todos (MME, 2019) e com acesso a fontes limpas e modernas para cocção de alimentos saltou de 88,0%, em 2002, para 93,30%, resultando no declínio no consumo per capita de lenha e carvão. Isso evidenciou a melhoria do indicador energético para desenvolvimento sustentável "Porcentagem de domicílios com acesso à eletricidade e a energias modernas e limpas para cocção de alimentos" - SOC 1 (**Tabela 2**).

Apesar de o consumo de lenha ter levado à substituição por GLP principalmente devido ao aumento de poder aquisitivo da população no período, isso não resultou em um aumento *per capita* de GLP. Isso pode ser explicado pela implementação do Programa Brasileiro de Etiquetagem oriundo da Lei de Eficiência Energética implementada em 2001 (Lei no. 10.295). O selo do Programa Nacional da Racionalização do uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural - CONPET, assim como selo do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL, foi uma iniciativa do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO de catalogar os produtos e equipamentos com base em sua eficiência energética como forma de informar a

população quanto ao seu consumo de energia e colaborar para o aumento da eficiência energética no Brasil. Em 2006, o rendimento mínimo exigido para que um fogão fosse comercializado no mercado passou a ser 52% e para obter selo "A" de grau de eficiência energética passou a ser 61%[20].

O aumento do poder aquisitivo das classes mais baixas em conjunto com algumas políticas energéticas provocaram uma (ainda mais) ligeira (porém real) melhoria na distribuição do consumo de energia entre as classes de renda (benefícios do Luz para Todos) e o acesso a fontes de energia mais limpas, como a redução do consumo de lenha e substituição pelo GLP e/ou Gás Natural para cocção e aumento do consumo de etanol substituindo a gasolina. Essas transições energéticas demonstram avanços quanto à sustentabilidade do processo de desenvolvimento brasileiro no que tange ao consumo de energia, também em termos do indicador energético para desenvolvimento sustentável "uso de energia por faixa de renda e a proporção correspondente de cada fonte" - SOC 3.

Entre 2002 e 2008, é possível verificar que na classe de renda mais baixa houve redução do peso do gasto com eletricidade e gás para uso doméstico em seu orçamento familiar, passando de 5,7% em 2002 para 5,3% em 2008. Porém, ainda nesta classe, aumentou a participação na renda do gasto com gasolina e álcool para fins de transporte (de 1,2% para 1,7%), devido principalmente à aquisição de veículos ou mesmo aumento da intensidade de uso de meios de transporte particulares. Nas demais classes de renda, a proporção da renda gasta com consumo de energia foi reduzida para todas as fontes consideradas. De qualquer forma, como houve ganhos de poder aquisitivo em todas as classes de renda no período, isso representa melhorias em termos do indicador energético para desenvolvimento sustentável "Proporção da renda gasta com consumo de energia por faixas de renda" – SOC 2.

Tabela 8. Proporção da Renda Gasta com Consumo de Energia – Brasil – 2002/2008.

Fontes Energéticas	2002			2008		
	Classe de Renda mais Baixa	Classe de Renda Média	Classe de Renda mais Alta	Classe de Renda mais Baixa	Classe de Renda Média	Classe de Renda mais Alta
Eletricidade e gás para Uso Doméstico	5,7%	4,2%	2,1%	5,3%	3,9%	2,0%
Gasolina e Álcool para Transporte	1,2%	3,0%	3,9%	1,7%	3,1%	3,5%
Total	**7,0%**	**7,2%**	**6,0%**	**7,1%**	**6,9%**	**5,5%**

Fonte: Elaboração própria com base em IBGE (2018a, 2018b).

[20] http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/noticia/fogoes-fornos-e-aquecedores-de-agua-a-gas-terao-que-ser-mais-eficientes.shtml.

O consumo de energia per capita ou por família (indicador energético para desenvolvimento sustentável ECO1) aumentou como um todo em todas as faixas de renda também, passando de 2,46 tep por família para 2,64 entre 2002 e 2008. Apenas na classe de renda mais baixa que houve queda do consumo *per capita* de lenha e na classe de renda mais alta que reduziu seu consumo per capita de derivados de petróleo devido à substituição por fontes energéticas mais limpas, responsáveis por um menor potencial de emissões de gases de gases de efeito estufa. Desta forma, a queda do consumo per capita dessas fontes se mostra na verdade como positivos em teremos de sustentabilidade.

Apesar das melhorias em termos de consumo de energia per capita, houve aumento da intensidade energética na economia brasileira ao longo do período (indicador energético de desenvolvimento sustentável ECO2). Porém, como ressalta REISTER (1987), o aumento da intensidade energética é coerente com o processo de desenvolvimento socioeconômico de países em desenvolvimento e pode ser mais do que justificado no caso brasileiro dado que apresenta como causas o aumento do acesso à eletricidade decorrente do programa Luz para Todos e do aumento do consumo de etanol em detrimento da redução do consumo de gasolina devido à política energética de incentivos à introdução de carros *flex fuel* no mercado.

Portanto, o aumento da intensidade energética no Brasil entre 2002 e 2008 não estaria relacionada a perdas de eficiência energética, mas sim à expansão de mercado e transição energética no setor de mobilidade. Logo, não é que houve uma piora do indicador "intensidade energética" ECO2, na verdade houve melhorias nos indicadores "Percentual de residências sem acesso a eletricidade" SOC1 e "Participação de combustíveis na matriz energética" (ECO11) e "participação de renováveis na matriz elétrica" (ECO 13), devido ao lançamento de programas de promoção de fontes renováveis, tais como, o PROINFA que impulsou os investimentos em usinas eólicas, termelétricas a bagaço de cana e pequena centrais hidrelétricas (PCHs).

Além disso, a análise empírica histórica evidenciou que a parte mais significativa do aumento da demanda de energia está ligada ao aquecimento da demanda interna por bens e serviços não energéticos, ou seja, ao consumo indireto de energia pelas famílias. Apesar de não energéticos, esses produtos e serviços demandam energia para serem produzidos ou ofertados. Logo, desconsiderando-se a parcela da produção que é

exportada[21], os setores produtivos (agropecuária, indústria e serviços) tomam suas decisões acerca de sua produção com base no comportamento das famílias, responsável pela maior parte da demanda interna. Como defendia KEYNES (1936), a demanda define a oferta e, com isso, as famílias influenciarão as decisões de consumo de energia e produção de bens e prestação de serviços das atividades econômicas, quer de forma direta, quer indireta.

A análise da cesta de consumo das famílias pode ainda ser muito interessante caso o país tenha interesse em desenvolver sua economia interna, indústria e setor de serviços – processo decisivo para a trajetória de desenvolvimento socioeconômico. Porque a metodologia de decomposição estrutural adapta-se ao conjunto de dados de outros países (e outros anos), não há necessidade de serem considerados 72 produtos, por exemplo, como foi feito na análise empírica para o Brasil. A metodologia correta vem em auxílio da identificação dos itens da cesta de consumo mais importantes a serem analisados com maior número de detalhes quando à demanda de energia indireta das famílias.

Adicionalmente, a metodologia de decomposição estrutural proposta mostra-se interessante para analisar os determinantes do consumo indireto de energia (efeito atividade, efeito estrutura, efeito cesta e efeito intensidade), muito embora seja um pouco limitada para entender os determinantes do consumo de energia direto das famílias, os quais exigem o uso de modelos de híbridos de base *Top Down* ou TD+BU, por possibilitarem, inclusive, o cálculo de parâmetros próprios para o país em análise, tais como: elasticidades de substituição de tecnologia, elasticidades-renda e elasticidades-preço e índice de eficiência energética autônoma. Essa medida tem a vantagem de evitar possíveis problemas decorrentes do uso de parâmetros calculados com base em séries históricas de outros países (HORNE *et al*, 2005; BATAILLE *et al* 2006). A estimativa de índices de comportamento microeconômico como esses contribuem para o aumento significativo da eficácia e eficiência do planejamento energético, reduzindo o risco de erros de projeção e o custo total da energia, a ser, em grande parte, repassado aos consumidores.

Com respeito à representação do comportamento do consumidor, esse estudo mostra quão importante é a desagregação dos modelos de projeção de demanda de energia por faixas de renda, pois evita que o planejador trabalhe apenas com médias e,

[21] As exportações, além de apresentarem uma participação menor na demanda final e um consumo de energia total menor do que as famílias, ainda dependem de muitos fatores externos, que podem ser um pouco mais complicados de serem explicados ou previstos.

consequentemente, perca a sensibilidade para projetar como a demanda de energia evolui para parcelas mais carentes da população, em meio ao processo de desenvolvimento socioeconômico. Por exemplo, entre 2002 e 2008, o consumo de energia cresceu em média 675 tep, por famílias. Se apenas esse valor fosse considerado, o planejador poderia pensar que todas as famílias tiveram um aumento de consumo de energia dessa dimensão; contudo, esse valor mostrou-se acima da média da variação do consumo de mais de 60% das famílias brasileiras. Logo, concentrar-se apenas para média, impede que se enxergue os detalhes e as sequelas acerca do consumo de energia das classes mais baixas e até mesmo de uma parcela da classe de renda média, que são justamente para as quais a maioria das políticas setoriais são endereçadas.

Por meio do modelo insumo-produto híbrido proposto neste trabalho, é possível calcular a elasticidade-renda do consumo de energia direto de bens e serviços não energéticos dispostos na metodologia insumo-produto híbrida. A estimativa de elasticidades é possibilitada pelo fato de que, comparando-se matrizes híbridas de dois anos diferentes, se consegue saber quanto variou o consumo de energia direta, bens e serviços frente à variação de renda.

A **Tabela 9** apresenta exemplos de elasticidades-renda estimadas para o consumo direto de fontes de energia, por classes de renda, estimadas pelas matrizes insumo-produto híbridas, construídas para esta análise empírica, por meio do método do ponto médio (**Equação 59**) (VARIAN, 2006). As elasticidades-renda encontradas não coincidem com as estimadas por COHEN et al. (2005) para o consumo direto de energia, se mostram muito menores. Porém, as elasticidade-renda estimadas para o consumo direto de eletricidades apresentam comportamento parecido com o estimado por SILVA et al. (2012). Vale frisar que, caso a matriz de preços básicos de energia tivesse sido construída, seria possível ainda calcular a elasticidade-preço referente ao consumo direto de energia.

$$\varepsilon_{Cd,Y_{f,h}} = \frac{\frac{\Delta Cd_{f,h_{2002,2008}}}{\overline{Cd_{f,h_{2002}}}}}{\frac{\Delta Y_{h_{2002,2008}}}{\overline{Y_{h_{2002}}}}} = \frac{\frac{\left(Cd_{f,h_{2008}} - Cd_{f,h_{2002}}\right)}{\left[\left(Cd_{f,h_{2008}} + Cd_{f,h_{2002}}\right)/_{2}\right]}}{\frac{\left(Y_{h_{2008}} - \Delta Y_{h_{2002}}\right)}{\left[\left(Y_{h_{2008}} + Y_{h_{2002}}\right)/_{2}\right]}} \quad \textbf{(59)}$$

Onde:

$\Delta Cd_{f,h_{2002,2008}}$= Variação do consumo de energia direto d a fonte de energia *f* e classe de renda *h*, entre o ano 2002 e 2008;

$\overline{Cd_{f,h_{2002}}}$= Consumo médio de energia direto da fonte de energia *f* pela classe de renda *h*, no ano 2002;

$\Delta Y_{h_{2002,2008}}$= Variação da renda real média familiar da classe de renda *h*, entre 2002 e 2008;

$\overline{Y_{h_{2002}}}$= Renda média familiar da classe de renda *h*, em 2002

f = Fonte de energia = 1, .., 8; *h* = Classes de renda = 1, .., 3.

Tabela 9. Elasticidades-Renda Estimadas para o Consumo Direto de Fontes de Energia por Classes de Renda através de Matrizes Insumo-Produto Híbridas.

Fontes de Energia	Classe de Renda Baixa	Classe de Renda Média	Classe de Renda Alta	Total
Petróleo e Derivados	0,001	-0,015	-0,448	-0,192
Gás Natural	0,659	0,746	1,194	0,919
Eletricidade	0,376	0,230	0,135	0,260
Lenha e Carvão Vegetal	-0,417	-0,178	0,362	-0,421
Produtos de Cana	0,768	0,602	1,476	1,064
Total	**-0,120**	**0,112**	**0,225**	**0,084**

Fonte: Elaboração Própria.

No caso do consumo indireto, são estimadas as elasticidade-renda para as fontes de energia e classes de renda, com a ressalva da obrigatoriedade de uso da variação do consumo de energia referente apenas ao efeito atividade, desconsiderando as variações decorrentes do efeito intensidade energética e do efeito estrutura. A **Equação 60** mostra como seria possível calcular a elasticidade-renda do consumo de indireto das fontes energéticas por classes de renda, com base no efeito atividade desagregado pela metodologia análise de decomposição estrutural na análise empírica para as famílias brasileiras, a partir de uma adaptação para fórmula de elasticidade-renda proposta por VARIAN (2006). A **Tabela 10** apresenta as elasticidades-renda do consumo indireto, estimadas para fontes de energia e classes de renda pelo método do ponto médio utilizando o efeito atividade estimado pelo método de decomposição estrutural (**Equação 60**). Estas também não coincidem com as elasticidades-renda estimadas por COHEN *et al*. (2005).

$$\varepsilon_{Ci,Y_{f,h}} = \frac{\frac{\Delta Ci_{f,h_{2002,2008}}}{\overline{Ci_{f,h_{2002}}}}}{\frac{\Delta Y_{h_{2002,2008}}}{\overline{Y_{h_{2002}}}}} = \frac{\frac{\left(Ci_{f,h_{2008}} - Ci_{f,h_{2002}}\right)}{\left[\left(Ci_{f,h_{2008}} + Ci_{f,h_{2002}}\right)/_{2}\right]}}{\frac{\left(Y_{h_{2008}} - \Delta Y_{h_{2002}}\right)}{\left[\left(Y_{h_{2008}} + Y_{h_{2002}}\right)/_{2}\right]}} \qquad \textbf{(60)}$$

Onde:

$\Delta N_{f,h_{2002,2008}}$= Variação do consumo de energia indireto referente ao efeito atividade para a fonte de energia *f* e classe de renda *h* entre o ano 2002 e 2008;

$\overline{Ci_{f,h_{2002}}}$ = Consumo médio de energia indireto referente ao efeito atividade para a fonte de energia *f* e classe de renda *h* entre o ano 2002 e 2008;

$\Delta Y_{h_{2002,2008}}$= Variação da renda real média familiar da classe de renda *h*, entre 2002 e 2008;

$\overline{Y_{h_{2002}}}$= Renda média familiar da classe de renda *h*, em 2002

f = Fonte de energia = 1, .., 8; *h* = Classes de renda = 1, .., 3.

Tabela 10. Elasticidades-Renda do Consumo Indireto Estimadas para Fontes de Energia e Classes de Renda Estimadas pelo Método SDA.

Fontes de Energia	Classe de Renda Baixa	Classe de Renda Média	Classe de Renda Alta	Total
Petróleo e Derivados	0,100	0,104	0,288	0,186
Gás Natural	0,107	0,111	0,266	0,179
Carvão e Derivados	0,109	0,112	0,268	0,184
Urânio	0,103	0,105	0,285	0,181
Eletricidade	0,109	0,112	0,265	0,175
Lenha e Carvão Vegetal	0,100	0,103	0,285	0,177
Produtos de Cana	0,092	0,103	0,291	0,180
Outras Fontes Primárias	0,097	0,103	0,283	0,180
Total	**0,101**	**0,106**	**0,281**	**0,181**

Fonte: Elaboração Própria.

A estimativa de elasticidades-renda, através das matrizes insumo-produto híbridas, possibilita a atualização e maior precisão dos dados para essa variável, que é essencial aos modelos de projeção de demanda energética. Esse método de cálculo permite que todos os países sejam habilitados a calcularem suas próprias elasticidades-renda para o consumo de energia e bens e serviços não energéticos e, consequentemente, a construírem modelos de projeção de demanda que represente, de fato, o comportamento da sua economia. A metodologia apresentada neste trabalho explica como o sistema de contas nacionais e os dados dos balanços energéticos podem ser adaptados na construção de matrizes insumo-produto híbridas. Como a maioria dos países conta com a publicação no mínimo anual dessas duas bases de dados para fins de cálculo do PIB e planejamento energético, a metodologia aqui proposta permite que estimem as próprias elasticidades-renda – a princípio, anualmente –, de forma a aprimorarem seus modelos de projeção de demanda de energia.

A desagregação por classes de renda, no entanto, poderia continuar a apresentar desafio para ser atualizada com a frequência necessária. Isso se deve ao fato de as pesquisas de orçamento familiar serem realizadas com periodicidade menos intensa devido ao alto custo. Uma possível solução seria a realização de uma pesquisa simplificada amostral anual, nos moldes da Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílio – PNAD.

Independentemente deste trabalho propor soluções para melhorar os modelos de projeção de demanda, a medida requer bancos de dados atualizados sobre padrões de consumo das famílias e de outros setores energéticos, bem como as relações intersetoriais entre eles. O problema é que muitos dos países em desenvolvimento apresentam carência desses dados atualizados e periódicos, o que implica investimentos constantes em ferramentas e metodologias de coleta e sistematização de dados, bem como instituições sólidas de monitoramento e supervisão e um bom relacionamentos entre os órgãos responsáveis, de forma a manter estruturas de dados padronizadas para facilitar sua compilação e agregação para uso nos estudos de planejamento energético e econômico.

Portanto, as principais propostas de melhoria para o planejamento energético aqui discutidas desdobram-se em um desenho de políticas energéticas mais eficazes, focadas nos ODS, em países em desenvolvimento, e em uma análise por faixas de renda e por cestas de consumo das famílias, por meio de modelos de equilíbrio geral computável que apresentem (ou estejam ligados a outros modelos que apresentem) detalhamento tecnológico.

5. Conclusões

Nos exercícios de planejamento energético, dificilmente as análises de projeção de demanda detalham os impactos do desenvolvimento socioeconômico de um país, como ganho de poder aquisitivo e melhoria na distribuição de renda, sobre padrão de consumo das famílias e seus respectivos efeitos sobre o setor de energia e a economia. Isso ocorre porque, muitas vezes, os países em desenvolvimento utilizam modelos de projeção de demanda não adequados para tratar de desafios como altos índices de extrema pobreza, grande desigualdade na distribuição de renda, diferenças marcantes entre regiões geográficas e áreas urbana e rurais.

Este trabalho, portanto, voltou-se para a proposta de uma metodologia de análise de decomposição estrutural para identificar os principais componentes das variações no consumo de energia das famílias, desagregadas por classes de renda, ao longo do processo de crescimento socioeconômico, de modo a sugerir recomendações de aprimoramentos para modelos de projeção de demanda, com foco em países em desenvolvimento.

Inicialmente, foi discutida a forma como a redução da desigualdade na distribuição de renda e outras questões socioambientais são determinantes para a compreensão do processo por que passam esses países e como o planejamento energético associado ao planejamento econômico é uma ferramenta essencial para o alcance dos objetivos de desenvolvimento sustentável da Agenda 2030. Destacaram-se ainda os modelos de projeção de demanda como um dos pontos mais críticos relacionados ao planejamento energético e como o seu aprimoramento personalizado para cada país em desenvolvimento pode resultar no aumento da eficiência do setor energético e redução do custo da energia.

O primeiro capítulo descreveu as principais categorias de modelos de projeção de demanda de energia: Modelos *Bottom-up* (BU), Modelos *Top-Down* (TD) e Modelos Híbridos. Após ressaltarem-se vantagens e desvantagens, foram feitas algumas recomendações acerca de que modelos seriam mais adequados para o planejamento energético de países em desenvolvimento. Segundo essa análise, a princípio, os modelos híbridos do tipo BU+TD, conectados por um *soft link*, seriam os mais indicados. Apesar de requererem uma melhor coordenação de análise, os modelos BU+TD oferecem o detalhamento tecnológico necessário para a análise de políticas setoriais (como políticas de eficiência energética e de mitigação de gases de efeito estufa) e para a representação das relações intersetoriais e do comportamento das famílias, ao mesmo tempo que seriam

matematicamente mais simplificados do que os modelos híbridos de base TD – um ponto importante a ser considerado quando se trata da primeira iniciativa de desenvolvimento de modelos.

No entanto, independentemente do modelo híbrido adotado, os países devem fazer sempre uso de dados e informações próprias, de forma a representar adequadamente seu setor energético, sua economia e as disparidades no comportamento de famílias de diferentes classes de renda. Dentre os dados necessários para a construção dos modelos, sobressaem as elasticidades renda, preço e de substituição das tecnologias; fontes energéticas devem ser estimadas de forma específica para o país e não adaptadas de outros países.

As principais hipóteses levantadas acerca de como aprimorar os modelos de projeção de demanda de energia com foco em países em desenvolvimento envolvem a representação das desigualdades socioeconômicas e uma representação mais realista das relações entre o setor energético e os demais setores econômicos, considerando-se a demanda direta de energia família para atender serviços energéticos, bem como a de energia indireta, decorrente dos bens e serviços consumidos.

Visando a responder a tais hipóteses, foi proposto um método de construção de matrizes insumo-produtos híbridas, em que os fluxos energéticos da economia vêm em unidades monetárias e físicas de energia. Tais matrizes, ao servirem de insumo para os modelos de planejamento energético, tornam-no capaz de analisar os determinantes do consumo de energia direto e indireto das famílias e como tal demanda influencia os setores produtivos da economia e a oferta interna de energia. O principal desafio dessa parte da metodologia foi a compatibilização de diferentes bases de dados.

Uma vez construídas as matrizes insumo-produto, uma metodologia de análise de decomposição estrutural foi desenvolvida para auxiliar a identificação dos determinantes das mudanças no padrão de consumo energético das famílias, frente ao desenvolvimento socioeconômico, assim como validar a hipótese de que é importante incluir a análise das cestas de consumo das famílias no planejamento energético.

A análise empírica para o Brasil objetivou demonstrar a aplicabilidade da metodologia e propor recomendações de políticas públicas e de aprimoramento de modelos de projeção de demanda. Optou-se por fazer a análise empírica para o Brasil por esta Nação ter vivenciado um processo de desenvolvimento econômico entre 2002 e 2008, por ser um dos países em desenvolvimento com maior índice de desigualdade

socioeconômica e por apresentar bases de dados fartas e bem detalhadas acerca de padrões de consumo de energia.

Como resultado, detectou-se no Brasil, entre 2002 e 2008, que o aumento da renda *per capita* levou a mudanças positivas na demanda por energia, seja para seu uso final direto, seja para o indireto, em todas as classes de renda. A desagregação por classes de renda possibilitou visualizar que houve a redução da desigualdade na distribuição de renda, seguida pela distribuição do consumo de energia entre as classes de renda. Sem a desagregação de renda não seria possível observarem-se as disparidades nos padrões de consumo de energia das famílias de diferentes classes de renda e de que modo elas responderiam ao crescimento do poder de compra.

Somente devido à análise por classe de renda, foi possível enxergar que o Brasil possuía uma demanda reprimida por fontes de energia modernas. A eletricidade cresceu em consumo direto *per capita* em todas as classes de renda. No entanto, foi possível observar que alguns energéticos, apesar de terem absolutamente aumentado sua participação frente ao crescimento populacional, sofreram queda no seu consumo *per capita* – dado verificado na classe de baixa renda para lenha e carvão vegetal, os quais foram substituídos principalmente por GLP para cocção, como resultado do crescimento da renda. Na classe de renda alta, o consumo de petróleo bruto e seus produtos foi substituído pelo etanol devido à entrada de carros *flex fuel* no mercado brasileiro e ao maior percentual de etanol anidro na gasolina.

Por outro lado, em relação ao aumento do consumo de energia indireta, observou-se, igualmente, uma demanda reprimida por bens e serviços não energéticos, característica típica de um país em desenvolvimento. A procura suprimida foi evidenciada pelo enorme crescimento das despesas das famílias (apresentado pelo efeito atividade), pelo crescimento da intensidade energética (efeito intensidade) e pelas alterações significativas nos padrões de consumo das famílias (efeito cesta), em especial para as duas classes de rendimento mais baixo.

O efeito positivo da intensidade significa que a economia brasileira passou a usar mais energia por cada unidade monetária produzida, o que poderia ser de início interpretado como uma redução da eficiência energética. Mas, analisando esse efeito por energético, é possível observar que, na verdade, houve uma enorme diminuição na intensidade do petróleo bruto e seus produtos, enquanto a intensidade dos produtos da cana-de-açúcar e da eletricidade aumentou, num movimento promovido pelas políticas

públicas setoriais, no sentido de traçar um caminho para o desenvolvimento sustentável, através da disseminação de fontes de energia mais limpas.

Em relação ao efeito cesta, as alterações no consumo de energia indireto decorrentes de mudanças na composição das cestas de consumo dependeram muito da classe de rendimento. As famílias de baixa e média renda aumentaram significativamente a energia embutida em sua cesta, devido ao crescimento significativo das despesas com serviços de transporte intensivos em petróleo. Por outro lado, na classe de renda alta, o efeito cesta foi quase inócuo; o consumo de energia do petróleo bruto e seus produtos embutidos nos serviços de transporte foi substituído por produtos intensivos em eletricidade, especialmente veículos particulares. Esses resultados também destacam a importância da análise da composição do consumo de cestas básicas por classes de renda nos estudos de previsão de demanda.

A análise da evolução do consumo *per capita* de energia, em conjunto com a análise do efeito atividade, intensidade e cesta, sinaliza que as famílias de menor renda apresentavam uma demanda reprimida por fontes de energia modernas (ex. eletricidade) e produtos e serviços (ex. eletrodomésticos e serviços de transporte), devido à capacidade menor de compra, que lhe rendia um baixo nível de bem-estar social e acesso limitado a oportunidades para desenvolver capacidades. Um exemplo comparativo de como a desigualdade na distribuição do consumo de energia é significativamente maior em países em desenvolvimento é apresentado por GROTTERA et al. (2018). Mesmo não desconsiderando os possíveis casos de furto de energia, as famílias brasileiras pertencentes ao decil mais pobre da população consumiam 33% a menos de energia elétrica do que as famílias pertencentes ao decil mais pobre da França, ao passo que, em ambos os países, os dois decis mais ricos apresentavam totais equivalentes de consumo de energia.

Tais condições comprovam a necessidade da criação de políticas públicas para impulsionar o consumo de energia das classes mais baixas, conferindo maior bem-estar para essas famílias e maior movimento para a economia. Se os dados aqui apresentados apontam para elasticidades-renda significativamente baixas para consumo direto de eletricidade e derivados de petróleo e para o consumo indireto de todas as fontes de energia, são esperadas elasticidades-preço no mesmo patamar ou ainda menores, como ocorreu em SILVA *et al.* (2012) e SANTOS *et al.* (2019). Desta forma, cabe-se defender a adoção de políticas de tarifas subsidiadas para consumo de energia direto de energia elétrica e GLP, bem como para consumo de serviços de transporte, sem abandonar as

outras políticas de transferência de renda (como por exemplo o Bolsa Família) já implantadas, cujos resultados positivos não implicariam em altos custos, principalmente se repartidos entre os decis mais ricos da população. Essa argumentação foi confirmada pelo cálculo de elasticidades-renda para o consumo direto e indireto de energia. Algumas opções de políticas públicas, que poderiam ser consideradas e analisadas em estudos futuros, tendem a aumentar o bem-estar da população mais pobres, como a adoção de tarifas subsidiadas de energia elétrica, adoção do vale gás e adoção de políticas de vale transporte e/ou passe livre para transportes públicos.

Este estudo confirmou as alterações estruturais na economia, influenciadas não só pelo crescimento do rendimento, mas também pelas políticas setoriais. O uso de modelos matrizes insumo-produto híbridas energéticas é, portanto, importante para analisar os possíveis impactos de cada política nos custos de produção, geração de empregos, bem-estar social, emissões de gases de efeito estufa e níveis de poluição, a fim de propor um caminho coerente para o desenvolvimento sustentável.

O uso das matrizes insumo-produto híbridas energéticas apresenta ainda inúmeras vantagens para os modelos de projeção de demanda, como o detalhamento da cesta de consumo das famílias, a interação entre atividades econômicas e demanda final das famílias, a possibilidade cálculo periódico de elasticidades-renda (e possivelmente de elasticidades-preço) para o consumo de energia indireta, bens e serviços e consumo de energia indireto.

Um dos principais desafios dessas metodologias está relacionado à disposição de bases de dados para a construção de modelos insumo-produtos híbridos. Logo, a estruturação de bases de dados como matrizes insumo-produto, balanços energéticos e pesquisa de orçamento familiar apresentam-se como o primeiro passo para o desenvolvimento de modelos de um planejamento energético adequado aos países em questão.

Reforça-se que a necessidade de que essas bases de dados sejam publicadas frequentemente, de preferência, no mínimo, anualmente. Com relação à publicação do sistema de contas nacionais e do balanço energético, acredita-se que seja mais fácil atingir tal periodicidade, diante da necessidade anual de estimar o PIB e de realizar o planejamento energético. Porém, no caso pesquisas de orçamento familiar, pode ser um desafio maior manter essa periodicidade. Por exemplo, no Brasil, a última pesquisa de orçamento familiar que inclui dados sobre posse de equipamentos e detalha as despesas domésticas por classe de renda data de 2008-2009, enquanto a última pesquisa de posse

e hábitos de consumo de energia foi realizada em 2005; desde então, essas bases de dados não foram atualizadas. Sugere-se o desenvolvimento de uma pesquisa amostral simplificada para coletar as informações de despesas das famílias, de modo a torná-la mais viável.

A título de aprimoramento da análise energética, impõe-se a construção das Contas Econômicas Ambientais de Energia (CEAE) para os países em desenvolvimento, que integram dados monetários advindos do Sistema de Contas Nacionais (SCN) aos fluxos físicos de consumo de produtos energéticos, pelos agentes econômicos, e especificam o detalhamento do padrão de consumo das famílias por classes de renda. Conforme detalhado em GIZ (2019), as CEAE podem contribuir para construção de diversos indicadores que subsidiam a implementação e o monitoramento de políticas energéticas e setoriais, possibilitando análises de acoplamento e desacoplamento dos setores econômicos em relação ao uso dos recursos energéticos renováveis e não renováveis. Essa medida reduziria significativamente a incerteza inerente ao método de compatibilização entre as diferentes bases de dados necessárias para estruturar matrizes insumo-produtos híbridas, conforme este presente estudo, e facilitaria o monitoramento dos indicadores energéticos para desenvolvimento energético propostos por VER & LANGLOIS (2007). Essa compatibilização e unificação de bases de dados, no entanto, exigiria esforço político e a existência de uma boa interlocução entre as instituições nacionais ou governamentais que produzem os dados estatístico econômicos e energéticos.

Finalmente, as melhorias nos métodos de projeção de demanda de energia propostas no presente estudo podem contribuir para que países em desenvolvimento possam usufruir de um sistema energético mais confiável e eficiente em termos de custos. Logo, tais medidas indiretamente contribuiriam para o aumento da competitividade econômica desses países e ainda os ajudariam a reduzir as suas desigualdades socioeconômicas, permanecendo dentro das metas para desenvolvimento sustentável.

Referências Bibliográficas

ACHÃO, C.; SCHAEFFER, R. (2009) Decomposition analysis of the variations in residential electricity consumption in Brazil for the 1980–2007 period: Measuring the activity, intensity and structure effects. Energy Policy. V. 37, n. 12, p. 5208-5220, December. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.07.043

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. (2020) Relatórios de Consumo e Receita de Distribuição. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/relatorios-de-consumo-e-receita

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL e BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. (2020) Série histórica do levantamento de preços e de margens de comercialização de combustíveis. Disponível em: http://www.anp.gov.br/precos-e-defesa-da-concorrencia/precos/levantamento-de-precos/serie-historica-do-levantamento-de-precos-e-de-margens-de-comercializacao-de-combustiveis

ANDRADE, T. A.; LOBÃO, W. J. A. (1997) Elasticidade-renda e preço da demanda residencial de Eenrgia Ele´trica no Brasil. Rio d eJaneiro: IPEA.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – ANFAVEA. (2018) Anuário da Indústria Automobilístico.

ANG, B. W. (2015) LMDI decomposition approach: A guide for implementation. Energy Policy, v. 86, p. 233-238. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enpol. 2015.07.007.

ANG, B. W. (2004) Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? Energy policy, v. 32, n. 9, p. 1131-1139. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00076-4.

ANG, B. W.; LIU, F. L. A. (2001) A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation. Energy, v. 26, n. 6, p. 537-548. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0360-5442(01)00022-6.

ANG, B. W., ZHANG, F. Q.; CHOI, K. H. (1998) Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition. Energy, v. 23, n. 6, p. 489-495. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544298000164.

AROUCA, M.C. (1982) Análise da Demanda de Energia no Setor Residencial no Brasil. Master’s Dissertation. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ/PPE.

ARTO, I., CAPELLÁN-PÉREZ, I., LAGO, R., BUENO, G., BERMEJO, R. (2016). The energy requirements of a developed world. Energy for Sustainable Development, v. 33, p. 1–13. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.esd.2016.04.001

BATAILLE, C., JACCARD, M., NYBOER, J., RIVERS, N. (2006) Towards General Equilibrium in a Technology-Rich Model with Empirically Estimated Behavioral Parameters. The Energy Journal. Special Issue: Hybrid Modeling of Energy-Environment Policies: Reconciling Bottom-up and Top-down, v.27, pp. 93-112.

BHATIA, S. C. (2014) Advanced Renewable Energy Systems. Woodhead Publishing India. Disponível em: https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-269-3.50028-0.

BHATIA, M., ANGELOU, N. (2015). Beyond Connections - Energy Access Redefined. Sustainable Energy for All (SE4ALL) Technical Report 008/15. Washsington DC: World Bank Group/ESMAP.

BHATTACHARYYA, S.C. (2011) Energy economics: concepts, issues, markets and governance. Springer Science & Business Media. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.08.037

BHATTACHARYYA, S. C., TIMILSINA, G. R. (2010). Modelling energy demand of developing countries: Are the specific features adequately captured? Energy Policy, 38(4), 1979–1990. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.11.079.

BIBAS, R., CASSEN, C., CRASSOUS, R., GUIVARCH, C., HAMDI-CHERIF, M., HOURCADE, J.-C., LEBLANC, F.,M´EJEAN, A., O'BROIN, E., ROZENBERG, J., SASSI, O., VOGT-SCHILB, A.,WAISMAN, H.-D. (2016). IMpact Assessment of CLIMate policies with IMACLIM-R 1.1. Model documentation version 1.1. CIRED-CNRS, France.

BIELCHOWSKY, R. (2000). Cinquenta Anos de Pensamento na CEPAL – Uma Resenha. In: BIELCHOWSKY, R. (org.). (2000) Cinquenta anos de pensamento na CEPAL – Volume 1. Tradução de Vera Ribeiro – Rio de Janeiro: Record.

BÔA NOVA, A.C. (1985). Energia e Classes Sociais no Brasil. Ed. Loyola, São Paulo, SP, Brasil.

BOYD, G.; MCDONALD J.F.; ROSS, M; HANSON, D.A. (1987) Separating the changing composition of US manufacturing production from energy efficiency improvements: a Divisia index approach. The Energy Journal, p. 77-96.

BRASIL. (2002) Lei nº 10.438, de 26 de abril 2002. It provides for the expansion of the emergency electric power supply, extraordinary tariff recompositing, creates the Program for Incentive to Alternative Sources of Electricity (Proinfa), the Energy

Development Account (CDE), provides for the universalization of the public electricity service, and more. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2002/L10438.htm.

BRESSER-PEREIRA, L. C. (2008). Crescimento e Desenvolvimento Econômico. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas.

CHAI, J., GUO, J.E., WANG, S.Y., LAI, K.K. (2009). Why does energy intensity fluctuate in China? Energy Policy, v. 37, n. 12, p. 5717–5731. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.08.037.

COHEN, C., LENZEN, M., SCHAEFFER, R. (2005) Energy requirements of households in Brazil. Energy Policy, v.33, n. 4, p. 555-562. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.08.021.

COMBET, E. (2013). Fiscalité carbone et progrès social. Application au cas français. Tese de Doutorado em Economia e finanças. École des Hautes Études en Sciences Sociales (EHESS).

COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE – CEPAL. (2016). Horizontes 2030: a igualdade no centro do desenvolvimento sustentável (LC/G.2660/Rev.1), Santiago.

CODONI, R.; PARK, H.C.; RAMANI, K.V. (1985) Integrated energy planning: a manual. Asian and Pacific Development Centre, Kuala Lumpur.

DELGADO, F.; SOUSA, Milas Evangelista de; ROITMAN, Tamar. (2017). Caderno de Biocombustíveis. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/publicacoes/cadernos-fgv-energia.

DIAS, T. F. Elasticidades-preço e renda da Demanda Domiciliar de Eletricidade: Estimação econométrica com dados da POF 2008/2009. Dissertação de Mestrado. Dissertação de Mestrado. Juiz de Fora: Faculdade de Economia/Universidade Federal de Juiz de Fora.

EARP, F. S.; PRADO, Luiz Carlos Delorme. (2009). O milagre brasileiro: crescimento acelerado, integração internacional e concentração de renda (1967-1973). In: FERREIRA, Jorge Delgado; NEVES, Lucília de Almeida (orgs). O Brasil republicano. O tempo da ditadura: regime militar e movimentos sociais em fins do século XX, volume 4. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira.

ELETROBRAS. (2013). Luz para Todos - Relatório Síntese 10 ans. Diretoria de Geração. Superintendência de Gestão de Programas Setoriais. Departamento de Coordenação de Programas Setoriais.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. (2017) Série Histórica do Balanço Energético Nacional.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. (2012) Consolidação de Bases de Dados do Setor Transporte: 1970-2010. Estudo Associado ao Plano Decenal de Energia – P2021. Nota Técnica SDB-Abast n.1.

FERREIRA, D. V. (2016) Determinantes da Evolução do Consumo de Diesel no Brasil entre 2000 e 2008. Master's dissertation. Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ.

FISHLOW, A. (1972). Origens e Conseqüências da Substituição de Importações no Brasil. Estudos Econômicos, São Paulo, v. 2, n. 6, p. 7, dezembro.

FURTADO, C. (1961). Desenvolvimento e Subdesenvolvimento. In: BIELCHOWSKY, R. (org.). (2000) Cinquenta anos de pensamento na CEPAL – Volume 1. Tradução de Vera Ribeiro – Rio de Janeiro: Record.

GHERSI, F. et J.-C. HOURCADE (2006), Macroeconomic Consistency Issues in E3 Modeling : The Continued Fable of the Elephant and the Rabbit, The Energy Journal, numéro spécial Hybrid Modeling of Energy Environment Policies : reconciling Bottom-up and Top-down, p. 39-62.

GIODA, A. (2019a). Residential fuelwood consumption in Brazil: Environmental and social implications. Biomass and Bioenergy, v. 120, p.367-75. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.11.014

GIODA, A. (2019b). Características e procedência da lenha usada na cocção no Brasil. Estudos Avancados, vol.33 no.95 São Paulo Jan./Apr. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/s0103-4014.2019.3395.0009

GIODA, A.; TONIETTO, G.; DE LEON, A. P. (2017) Exposição ao uso da lenha para cocção no Brasil e sua relação com os agravos à saúde da população. Ciências & Saude Coletiva. Disponível em: <http://www.cienciaesaudecoletiva.com.br/artigos/exposicao-ao-uso-da-lenha-para-coccao-no-brasil-e-sua-relacao-com-os-agravos-a-saude-dapopulacao/16532?id=16532&id=16532&id=16532>. Acesso em: 20 maio 2018.

GIZ (2019) A contribuição das Contas Econômicas Ambientais nas políticas públicas no Brasil: energia.Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Brasília/DF: 2019. 92 p.

GOLDEMBERG, J.; LA ROVERE, E. L.; COELHO, S. T. (2004) Expanding access to electricity in Brazil. Energy for Sustainable Development, v. 8, n. 4, p. 86-94.

GRAMKOW, C. L. (2019) O Big Push Ambiental no Brasil Investimentos coordenados para um estilo de desenvolvimento sustentável. Perspectivas n. 20/2019. Fundação Friedrich Ebert Stiftung Brasil – FES, Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe – CEPAL, Nações Unidas.

GRAMKOW, C. L. (2011) Da restrição externa às emissões de gases do efeito estufa: uma análise da insustentabilidade econômica e ambiental do atual modelo econômico brasileiro. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: Instituto de Economia/Universidade Federal do Rio de Janeiro.

GROTTERA, C., BARBIER, C., SANCHES-PEREIRA, A., WEISS DE ABREU,M. , UCHÔA, C., TUDESCHINI, L. G., CAYLA, J. , NADAUD, F., PEREIRA JR, A. O., COHEN, C., COELHO, S. T. (2018). Linking electricity consumption of home appliances and standard of living: A comparison between Brazilian and French households. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 94(June), 877–888. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.063.

GUILHOTO, J.J.M. (2011). Análise de Insumo-Produto: Teoria e Fundamentos. Departamento de Economia. FEA-USP.

GUILHOTO, J.J.M.; SESSO FILHO, U.A. (2010) Estimação da Matriz Insumo-Produto Utilizando Dados Preliminares das Contas Nacionais: Aplicação e Análise de Indicadores Econômicos para o Brasil em 2005. Economia & Tecnologia. UFPR/TECPAR. Ano 6, Vol 23, Out./Dez. ISSN 1809-080X.

GUILHOTO, J.J.M.; SESSO FILHO, U. A. (2005) "Estimação da Matriz Insumo-Produto a Partir de Dados Preliminares das Contas Nacionais". Economia Aplicada. Vol. 9. N. 2. Abril-Junho. p. 277-299.

HAQ, M. U. (1995). Reflections on Human Development. Nova York: Oxford University Press. ISBN 0195101936.

HOEKSTRA, R.; BERGH, J. C. J. M. V. D. (2003) Comparing structural decomposition analysis and index. Energy Economics, v. 25, n. 1, p. 39-64, January. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0140-9883(02)00059-2.

HOFFMANN, R. (2000). Mensuração da desigualdade e da pobreza no Brasil. In: HENRIQUESs, R. (org.) Desigualdade e Pobreza no Brasil, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).

HOFFMANN, R. (2006). Transferências de Renda e Redução da Desigualdade no Brasil e em 5 Regiões, entre 1997 e 2005. In: BARROS, R. P., FOGUEL, M. N.,

ULYSSEA, G. Desigualdade de renda no Brasil: uma análise da queda recente – Volume II. Brasília: IPEA, 2006.

HOFFMANN, R.; NEY, M. G. (2008) A recente queda da desigualdade de renda no Brasil: análise de dados da PNAD, do Censo Demográfico e das Contas Nacionais. Econômica (UFF), v. 10, n. 1, pág. 7-39. Niterói, junho de 2008.

HORNE, M.; JACCARD, M.; TIEDEMANN, K. (2005) Improving behavioral realism in hybrid energy-economy models using discrete choice studies of personal transportation decisions. Energy Economics, v.27, p.59-77.

HOWARTH R. B.; SCHIPPER, L; DUERR, A. D.; STROM, S. (1991) Manufacturing energy use eight OECD countries: Decomposing the impacts of changes in output, industry structure and energy intensity. Energy Economics, v. 13, n. 2, p. 135-142. Disponível em: https://doi.org/10.1016/0140-9883(91)90046-3.

INSTITUTO ACENDE BRASIL. (2009) Realidade das Tarifas de Energia Elétrica no Brasil. Participação como especialista em audiência da "CPI da Conta de Luz" realizada no dia 18 de agosto de 2009. Local: Câmara dos Deputados em Brasília. Disponível em: http://www.acendebrasil.com.br/media/eventos/20090818_CPI_rev12.pdf

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (2020) Índice de Preços ao Consumidor Ampliado (IPCA). Sistema Nacional de Índices de Preços ao Consumidor (IBGE/SNIPC). Disponível em: http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=38391INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (2019a) Pesquisa de Orçamentos Familiares 2002-2003. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/xml/pof_2002_2003.shtm. Acessado em: March 20, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (2019b) Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/xml/pof_2008_2009.shtm . Acessado em: March 20, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (2018a) Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílio 2002. Disponível em: https://ww2.ibge.gov.br/english/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2002/default.shtm. Acessado em: December 15, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (2018b) Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílio 2008. Disponível em:

https://ww2.ibge.gov.br/english/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2008/default.shtm. Acessado em: December 15, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (2008) Matriz Insumo-Produto Brasil 2000/2005 – Contas Nacionais número 23. Rio de Janeiro: IBGE.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. (2012) A Década Inclusiva (2001-2011): Desigualdade, Pobreza e Políticas de Renda. 2012. Comunicado n 155. 25 de September 2012.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. (2019). Electricity Consumption per capita. Disponível em: https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20consumption&indicator=Electricity%20consumption%20per%20capita.

IRFFI, G.; CASTELAR, I.; SIQUEIRA, M. L.; LINHARES F. C. (2009) Previsão da Demanda por Energia Elétrica para classes de consumo na região Nordeste, usando OLS dinâmico e mudança de regime. Economia Aplicada, v. 13, n. 1, p. 69-98.

JACCARD, M.; BAILIE, A.; NYBOER, J. (1996) CO2 Emission Reduction Costs in the Residential Sector: Behavioral Parameters in a Bottom-up Simulation Model. The Energy Journal. V. 17, n. 4, p. 107-134.

JACKSON, R.; SØRENSEN, G. (2007) Introdução às Relações Internacionais. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed.

JANARDHANAN, N.; PANT, G.; GROVER, R. D. (2017) Resurgence of Nuclear Power. Challenges and Opportunities for Asia. Singapore: Springer Nature. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-10-5029-9.

JANUZZI, G.;SWISHER, J. (1997) Planejamento Integrado de Recursos Energéticos: meio ambiente, conservação de energia e fontes renováveis. Campinas: Autores Associados. 1997.

JENNE, C. A., CATTELL, R. K. (1983) Structural change and energy efficiency in industry. Energy Economics, v. 5, n. 2, p. 114-123. https://doi.org/10.1016/0140-9883(83)90018-X.

KEYNES, J. M. (1936) Teoria geral do emprego, do juro e da moeda (General theory of employment, interest and money).

KORKOVELOS, A., KHAVARI, B., SAHLBRTG, A., HOWELLS, M., ARDENE, C. (2019). The Role of Open Access Data in Geospatial Electrification Planning and

the Achievement of SDG7. An OnSSET-Based Case Study for Malawi. Energies v. 12, n. 1395. doi:10.3390/en12071395.

LENZEN, M.; COHEN, C; DEY, Christopher; FORAN B.; SCHAEFFER, R. (2014). Research on Sustainable Consumption using input-output analysis. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/253583304_Research_on_Sustainable_Consumption_using_input-output_analysis.

LENZEN, M.; SCHAEFFER, R.; KARSTENSEN, J.; PETERS, G. (2013) Drivers of change in Brazil's carbon dioxide emissions. Climatic Change, v 121, p. 815-824. Doi: 10.1007/s10584-013-0930-1.

LENZEN, M.; WIER, M.; COHEN, C.; HAYAMI, H.; PACHAURI, S.; SCHAEFFER, R. (2006) A Comparative multivariate analysis of household energy requirements in Australia, Brazil, Denmark, India and Japan. Energy, v. 31, p. 181 – 207. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.01.009.

LIN, B., XIE, X. (2016) CO2 emissions of China's food industry: an input–output approach. Journal of Cleaner Production, v. 112 (Part 2), p. 1410–1421.

LINS, M.P. (1988) Estrutura do Consumo Energético Residencial no Estado do Rio de Janeiro – Informação Técnica AESP 0-001/88. Rio de Janeiro: LIGHT.

LIU, H.T.; XI, Y.M.; GUO, J.E., LI, X. (2010) Energy embodied in the international trade of China: an energy input-output analysis. Energy Policy 38, v. 8, p. 3957–3964.

LOFGREN, H.; HARRIS, R. L.; ROBINSON, S.; THOMAS, M.; EL-SAID, M.. (2002) A standard computable general equilibrium (CGE) model in GAMS. Washington D.C.: International Food Policy Research Institute.

MACHADO, G., SCHAEFFER, R., WORRELL, E., (2001) Energy and carbon embodied in the international trade of Brazil: an input-output approach. Ecological Economics, v.39, n. 3, p. 409–424, December. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00230-0.

MACROTRENDS. (2020) Crude Oil Price History Chart. Disponível em: https://www.macrotrends.net/1369/crude-oil-price-history-chart Acessado em: 16 de abril de 2020.

MANKIW, N. G. (2009) Introdução à economia. São Paulo: Cengage Learning.

MARLAY, R. C. (1984) Trends in industrial use of energy. Science, v. 226, n. 4680, p.1277-1283. DOI: 10.1126/science.226.4680.1277

MATTOS, L. B.; LIMA, J. E. (2005) Damanda residencial de energia elétrica em Minas Gerais: 1970-2002. Nova Economia, v. 15, n.3, p. 31-52.

MILLER, R.E.; BLAIR, P.D. (2009) Input-output analysis: foundations and extensions. Reino Unido: Cambridge University Press, 2ª ed.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL E COMBATE À FOME - MDS. (2015) Bolsa Família: Transferência de renda e apoio à família no acesso à saúde, à educação e à assistência social.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. (2019) Programa Luz para Todos. Disponível em: http://eletrobras.com/pt/Paginas/Luz-para-Todos.aspx Accessed on 20 de fevereiro 2019.

MODIANO, E. M.. (1984) Elasticidades-renda e preços da Demanda de Energia Elétrica no Brasil. PUC-Rio: Departamento de Economia, Texto para Discussão n° 68.

MONTOYA, M. A.; LOPES, R. L.; GUILHOTO, J. J. M. (2013) Desagregação Setorial do Balanço Energético Nacional a partir dos Dados da Matriz Insumo-Produto: uma avaliação metodológica. TD Nereus, v. 5, São Paulo: NEREUS.

MORELLO, T. F.; SCHMID, V.; ABRAMOVAY, R. (2011) Rompendo com o trade-off entre combate à pobreza e mitigação do efeito estufa: o caso do consumo domiciliar de energéticos no Brasil. In: SEROA DA MOTTA, R.; HARGRAVE, J.; LUEDEMANN, G.; GUTIERREZ, M. B. S.(editores). Mudança do Clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios. Brasília: IPEA.

MORELLO, T. F. (2010) Consumo de lenha e distribuição de renda. Informações FIPE – Temas de economia aplicada, Rio de Janeiro, September.

NERI, M. (2011) A Nova Classe Média: o lado brilhante da base da pirâmide. São Paulo: Saraiva.

NILSSON, L. J. (1992) Energy intensity trends in 31 industria and developing countries 1950- 1988. Energy, v. 18, n. 4, p. 309–322.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO – OCDE. (2003) Poverty and Climate Change Reducing the Vulnerability of the Poor through Adaptation.

ORGANIZAÇÃO LATINO AMERICANA DE ENERGIA – OLADE. (2017). Energy Planning Manual – 2017.

OLIVEIRA, P.V. S. C. (2015) Impactos da política de preços da gasolina, diesel e GLP na indústria de petróleo: opções de política. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de Pós-Graduação em Economia.

PEROBELLI, F. S. FARIA, W. R.; VALE, V. A. (2015). The increase in Brazilian household income and its impacto on CO2 emissions: Evidence for 2003 and 2009 from input-output tables. Energy Economics, v. 52, p. 228-239.

PIKETTY, T. (2014) O capital no século XXI. Rio de Janeiro: Intrínseca.

PREBISH, R. (1952). Problemas Teóricos e Práticos do Crescimento Econômico. In: BIELCHOWSKY, R. (org.). (2000) Cinquenta anos de pensamento na CEPAL – Volume 1. Tradução de Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Record.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO – PNUD. (1990). Human Development Report 1990. Nova York: UNPD.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO – PNUD. (2010). Human Development Report 2010 – 20th Anniversary Edition. The Real Wealth of Nations: Pathways to Human Development. Nova York: UNPD.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO – PNUD. (2019). Human Development Report 2019. Beyond Income, Beyonde Averages, Beyonde Today: Inequalities in Human Development in the 21st century. Nova York: UNPD.

PYE, S., BATAILLE, C. (2016) Improving deep decarbonization modelling capacity for developed and developing country contexts, Climate Policy, v. 16, sup1, S27-S46. DOI: 10.1080/14693062.2016.1173004

RAZMJOO, A. A.; SUMPER, A.; DAVARPANAH, A. (2019). Development of sustainable energy indexes by the utilization of new indicators: A comparative study. Energy Reports, v. 5, p. 375-383.

REITLER, W.; RUDOLPH, M.; SCHAEFER, H. (1987) Analysis of the factors influencing energy consumption in industry: a revised method. Energy Economics, v. 9, n. 3, p. 145-148. Disponível em: https://doi.org/10.1016/0140-9883(87)90019-3.

REISTER, D.B. (1987) The link between energy and GDP in developing countries. Energy, v. 6, n. 12, p. 427−433.

SACHS, I. 2009. “Revisiting development in the twenty-first century”. International Journal of Political Economy, v. 38, n. 3, p. 5-21, Autumn.

SANTOS, C.; WEISS DE ABREU, M.; ZIMMERMANN, G. (2019) Heterogeneity and the Energy Consumption of Brazilian Households: A Structural Analysis. Brazilian Review of Econometrics. vol. 39, n. 1, p. 59-84, Junho.

SCHIMIDT, C. A.; LIMA, M. A. (2004) A Demanda por Energia Elétrica no Brasil. Revista Brasileira de Economia, v. 58, p. 67-98.

SEN, A. (1999a). The possibility of Social Choice. American Economic Review, v. 89, July, 1999.

SEN, A. (1999b). Development as Freedom. Nova York: Anchor Books.

SEN, A. (2006). Development as Freedom: An Indian Perspective. Indian Journal of Industrial Relations, v. 42, n. 2, p. 157-169, outubro.

SILVA, N. R; FÉRES, J.; LÍRIO, V. (2012) Demanda de energia elétrica residencial no Brasil segundo os quantis de consumo. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/radar/121114_radar22_cap6.pdf

SINGER, P. I. (1972). O "milagre brasileiro": causas e consequências. São Paulo: CEBRAP.

SOARES, S. A. (2011) desigualdade de renda de 1995 a 2009 e tendências recentes. Texto para discussão do CEDE/UFF n.51. Niterói, agosto.

STECKEL, J. C.; BRECHA, R. J.; JAKOB, M.; STREFLER, J. LUDERER, G. (2013). Development without energy? Assessing future scenarios of energy consumption in developing countries. Ecological Economics, v. 90, p. 53-67. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.02.006.

SU, B.; ANG, B. W. (2012) Structural decomposition analysis applied to energy and emissions: some methodological developments. Energy Economics, v. 34, n. 1, p. 177-188. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.10.009.

SUN, J. 1998. Changes in energy consumption and energy intensity: a complete decomposition model. Energy Economics, v. 20, n. 1, p. 85-100. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0140-9883(97)00012-1.

TAVARES, M. C.; SERRA, J. (1964). Auge e Declínio do Processo de Substituição de Importações no Brasil. In: BIELCHOWSKY, R. (org.). (2000) Cinquenta anos de pensamento na CEPAL – Volume 2. Tradução de Vera Ribeiro – Rio de Janeiro: Record.

TAVARES, M. C.; SERRA, J. (1970). Além da Estagnação: uma Discussão sobre o Estilo de Desenvolvimento Recente do Brasil. In: BIELCHOWSKY, R. (org.). (2000) Cinquenta anos de pensamento na CEPAL – Volume 2. Tradução de Vera Ribeiro – Rio de Janeiro: Record.

UCHÔA, C. ; PEREIRA JUNIOR, A. O. ; COHEN, C. ; GROTTERA, C. ; PEDREIRA, N. M. S. ; WEISS, M. ; SANTOS, L. ; FERREIRA, D. (2015) Análise do Padrão de Consumo de Energia por Classe de Renda nos Domicílios – Brasil – 2008-2009. In: XVI Congresso Brasileiro de Energia, 2015, Rio de Janeiro. MEIO AMBIENTE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, v. E. p. 1-17.

UCHÔA, C.B.E. (2014) Introduzindo a perspectiva do estilo de vida no debate sobre a assim chamada nova classe média no Brasil. PhD thesis. Niterói:PPGE/UFF.

UHLIG DE OLIVEIRA, A. (2008) Lenha e carvão vegetal no Brasil: balanço oferta-demanda e métodos para a estimação do consumo. Tese de Doutorado. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo.

UNITED STATES CONGRESS, Office of Technology Assessment – U.S CONGRESS-OTA. (1991). Energy in Developing Countries - OTA-E-486. Washington - DC: U.S. Government Printing Office, January.

UNITED NATIONS – UN. (2019) Sustainable Development. Disponível em: https://www.un.org/sustainabledevelopment/. Acessado em: July 13th 2019.

UNITED NATIONS – UN. (2003) System of National Accounts 1993. Rev. 4. New York: United Nations, Statistics Division. Disponível em: http://unstats.un.org/unsd/nationalaccount/sna1993.asp.

UNITED NATIONS – UN. (1974) Declaration for the Establishment of a New International Economic Order. United Nations General Assembly document A/RES/S-6/3201 of 1 May 1974.

URBAN, F., Benders, R. M. J., & Moll, H. C. (2007). Modelling energy systems for developing countries. Energy Policy, v. 35, n. 6, 3473–3482. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.12.025.

VANIN, V. R.; GRAÇA, M. G.; GOLDEMBERG, J. (1981) Padrões de consumo de energia – Brasil 1970. Ciência e Cultura, v.33, v.4, p. 477-486, abril.

VARIAN, H. R. (2006) Microeconomia: Conceitos Básicos. 7ª Ed. Rio de Janeiro: Elsevier.

VERA, I.; LANGLOIS, L. (2007). Enegru Indicators for Sustainable Development. Energy, v. 32, p. 875-882.

WACHSMANN, U., WOOD, R., LENZEN, M., SCHAEFFER, R. (2009). Structural decomposition of energy use in Brazil from 1970 to 1996. Applied Energy, 86(4), 578–587. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.08.003.

WEBER, C., PERRELS, A., (2000). Modeling lifestyle effects on energy and related emissions. Energy Policy 28, 549–566

WEISS DE ABREU, M.; (2015). Análise do Consumo de Energia Direta e Indireta das Famílias Brasileiras por Faixa de Renda. Dissertação de Mestrado, PPE/COPPE/UFRJ.

WILTING, H.C. (1996) An Energy Perspective on Economic Activities. Tese de Doutorado. Universidade de Groningen.

WILLS, W. (2013) Modelagem dos efeitos de longo prazo de políticas de mitigação de emissão de gases de efeito estufa na economia do Brasil. Tese de Doutorado. Programa de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

WINROCK. (2007) Brazil market analysis for improved stoves: final report – stage 2. London: Shell Foundation.

WOOD, R.; LENZEN, M. (2009) Structural path decomposition. Energy Economics, v. 31, n. 3, p. 335-341. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.11.003.

WOOD, R.; LENZEN, M. (2006) Zero-value problems of the logarithmic mean divisia index decomposition method. Energy Policy, v. 34, n. 12, p. 1326-1331. 2006. doi:10.1016/j.enpol.2004.11.010.

WORLD BANK GROUP -WBG (2019a) Households and NPISHs final consumption expenditure (% of GDP). World Bank national accounts data, and OECD National Accounts data files. Disponível em: https://data.worldbank.org/indicator/NE.CON.PRVT.ZS. Acessado em: June 24th, 2019.

WORLD BANK GROUP -WBG. (2019b). Access to Electricity (% of Population). World Bank national accounts data, and OECD National Accounts data files. Disponível em: https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS. Acessado em: Dezembro 24th, 2019.

WORRELL, E.; PRICE, L.; MARTIN, N.; FARLA, J.; SCHAEFFER, R. (1997). Energy intensity in the iron and steel industry: a comparison of physical and economic indicators. Energy Policy, v. 25, p. 727–744. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0301-4215(97)00064-5.

WU, Y.; ZHANG, W. Y. (2016) The driving factors behind coal demand in China from 1997 to 2012: an empirical study of input-output structural decomposition analysis. Energy Policy, v. 95, p.126–134. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.05.007.

ZENG, L., XU, M., LIANG, S., ZENG, S.Y., ZHANG, T.Z., (2014). Revisiting drivers of energy intensity in China during 1997–2007: a structural decomposition analysis. Energy Policy 67, 640–647. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.053.

ZHONG, S. (2018). Structural decompositions of energy consumption between 1995 and 2009: Evidence from WIOD. Energy Policy, v. 122, p. 655-667. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.017.