

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

JAMAICA PRADO

**IMPACTOS DA ESTRUTURA DEMOGRÁFICA NAS EMISSÕES DE CO₂
ASSOCIADAS AO CONSUMO DE ENERGIA NO BRASIL (2002-2016)**

Varginha/MG
2020

JAMAICA PRADO

**IMPACTOS DA ESTRUTURA DEMOGRÁFICA NAS EMISSÕES DE CO₂
ASSOCIADAS AO CONSUMO DE ENERGIA NO BRASIL (2002-2016)**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Economia pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Economia Aplicada.

Orientador: Prof. Dr. Alain Hernández Santoyo

Coorientador: Prof. Dr. Thiago Costa Soares

Varginha / MG
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca *campus* Varginha

P896i Prado, Jamaika.
Impactos da estrutura demográfica nas emissões de CO₂ associadas ao consumo de energia no Brasil (2002-2016) / Jamaika Prado. - Varginha, MG, 2020.
130 f. : il. -

Orientador: Alain Hernández Santoyo.
Dissertação (mestrado em Economia) - Universidade Federal de Alfenas, *campus* Varginha, 2020.

Bibliografia.

1. Demografia - Desenvolvimento econômico. 2. Energia - Consumo. 3. Dióxido de carbono. I. Santoyo, Alain Hernández. II. Título.

CDD – 304.6

JAMAICA PRADO

IMPACTOS DA ESTRUTURA DEMOGRÁFICA NAS EMISSÕES DE CO₂ ASSOCIADAS AO CONSUMO DE ENERGIA NO BRASIL (2002-2016)

A banca examinadora abaixo-assinada, aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Economia pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Economia Aplicada.

Aprovada em: 10 de julho de 2020

Prof. Dr. Alain Hernández Santoyo - Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Profa. Dra. Pamila Cristina Lima Siviero - Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Christian Luiz da Silva - Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Documento assinado eletronicamente por **Alain Hernandez Santoyo, Professor do Magistério Superior**, em 10/07/2020, às 18:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Christian Luiz da Silva, Usuário Externo**, em 13/07/2020, às 08:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Pamila Cristina Lima Siviero, Professor do Magistério Superior**, em 13/07/2020, às 10:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0331133** e o código CRC **155FC779**.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela vida e pelo cuidado em todo o meu percurso acadêmico.

À Universidade Federal de Alfenas, juntamente com o Programa de Pós-graduação em Economia (PPGE), pela formação acadêmica. Aos professores e técnicos do Instituto de Ciências Sociais Aplicadas (ICSA), pela competência e boa vontade em auxiliar, sempre que necessário.

Ao prof. Michel Deliberali Marson, por sua busca pela melhoria do Programa de Pós-Graduação.

Aos membros da banca de qualificação e defesa, professores Pamila Cristina Lima Siviero e Christian Luiz da Silva, pelo tempo disponibilizado para avaliar e propor contribuições que puderam enriquecer este trabalho.

Ao prof. Thiago Costa Soares, pela coorientação, ensinamentos, conselhos e contribuição para minha formação acadêmica, desde a graduação.

Ao meu orientador prof. Alain Hernández Santoyo, pelos ensinamentos acadêmicos, dedicação e todo o apoio dado a mim, ao longo desta pesquisa.

Aos amigos do mestrado, pela convivência, ensinamentos e pelos momentos de descontração.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro, tornando possível a produção desta dissertação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Aos meus pais, Adiel e Eni, e aos meus irmãos, Mirianrios, Fernando e Layde Dayane, pelo carinho e apoio.

Agradeço aos meus amigos pela amizade, carinho e compreensão.

A todos que contribuíram de alguma forma, meus sinceros agradecimentos.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que devia ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes.”

(Martin Luther King)

RESUMO

As mudanças na estrutura demográfica e seus efeitos sobre a economia despertaram interesse da comunidade científica e da sociedade nos últimos anos. A discussão se dá sob a perspectiva de que as mudanças demográficas devem impactar o crescimento econômico, o mercado de trabalho, os sistemas de saúde e previdenciário, além de influenciar o consumo, sobretudo, o consumo de energia. Estas transformações, na estrutura etária da população, estão ocorrendo em diferentes partes do mundo e seus impactos sobre o consumo de energia e emissões de poluentes têm sido debatidos entre pesquisadores. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo analisar os impactos da estrutura demográfica nas emissões de dióxido de carbono (CO₂), associados ao consumo de energia no Brasil, através de um painel de dados com as 27 unidades federativas, entre os anos de 2002-2016. Para tanto, foi utilizado um modelo de regressão em dois estágios que permitiu que o efeito total da estrutura etária nas emissões fosse dividido em efeito direto e efeito indireto. Esse procedimento possibilitou a aplicação do método *Generalized Method of Moments* (GMM), o qual foi utilizado para controlar aspectos relacionados à endogeneidade das variáveis do modelo. Os resultados obtidos demonstram que as *proxys* das variáveis de estoque de capital físico *per capita* e estoque de capital humano contribuem para o crescimento econômico, por outro lado, a relação entre a proporção da população em idade ativa (PIA) e o crescimento econômico foi negativa. Com relação a função de emissões de dióxido de carbono, a PIA se relaciona negativamente com as emissões, enquanto a relação do crescimento econômico, consumo de energia e desmatamento com as emissões de CO₂ foi positiva. Portanto, o efeito direto da população em idade ativa (PIA) nas emissões de CO₂ foi negativo, enquanto o efeito indireto depende do nível de renda *per capita*, uma vez que há evidências da Curva Ambiental de Kuznets (CAK) para emissões para a amostra analisada. Para o atual estágio de crescimento econômico, o efeito total está associado positivamente com a PIA, uma vez que as emissões relacionadas à PIA se apresentam como uma curva crescente e monotônica com o crescimento da renda *per capita*.

Palavras-chave: Estrutura demográfica. Consumo de energia. Emissões de CO₂. Modelo GMM. Brasil.

ABSTRACT

Demographic structure changes and its effects on economy have attracted interest from the scientific community and society in recent years. Discussion is based on the perspective that demographic changes not only affect the economic growth, the labor market, health and social security systems, but also influence consumption, especially energy consumption. Transformations in population age structure are taking place in different parts of the world, and their impacts on energy consumption and pollutant emissions have not yet been clarified. In this sense, the present study aimed to analyze the demographic structure impacts on carbon dioxide emissions (CO_2) associated to energy consumption in Brazil, using a panel data with the 27 federative units for the period between 2002 and 2016. For this, a two-stage regression model was used that allowed the total effect of the age structure on emissions to be divided into direct and indirect effects. This procedure made it possible to apply the Generalized Method of Moments (GMM) method, which was used to control aspects related to the endogeneity of the model variables. The results obtained demonstrate that the proxies of the variables of physical capital stock per capita and human capital stock contribute to economic growth, on the other hand, the relationship between the proportion of the working-age population (WAP) and economic growth was negative. With regard to the role of carbon dioxide emissions, WAP is negatively related to emissions, while the relationship between economic growth, energy consumption and deforestation with CO_2 emissions was positive. Therefore, the direct effect of the working-age population (WAP) on CO_2 emissions was negative, while the indirect effect depends on the level of per capita income, since there is evidence of the Environmental Kuznets Curve (ECK) for emissions for the sample. analyzed. For the current stage of economic growth, the total effect is positively associated with WAP, since WAP-related emissions are presented as a growing and monotonic curve with the growth of per capita income.

Keywords: Demographic structure. Energy consumption. (CO_2) Emissions. GMM model. Brazil.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Distribuição por sexo e idade da população mundial: 1950, 2017 e 2050 (em milhões de pessoas)..... | 34 |
| Figura 2 - Distribuição por sexo e idade da população brasileira: 1950, 2017 e 2050 (em milhões de pessoas)..... | 37 |
| Figura 3 - Procedimentos de coleta e análise de dados da pesquisa | 81 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 - Transição Demográfica | 28 |
| Gráfico 2 - Transição demográfica no Brasil: 1872-2050 | 36 |
| Gráfico 3 - Brasil: Razão de Dependência das Crianças, Idosos e Total 1950-2050. | 38 |
| Gráfico 4 - Relação entre a proporção da PIA, consumo de energia e emissões de dióxido de carbono e suas taxas no período de 2002-2016..... | 56 |
| Gráfico 5 - Proporção da população total do Brasil por faixa etária, 2002-2016..... | 58 |
| Gráfico 6 - Composição demográfica interna da população em idade ativa do Brasil, 2002-2016..... | 58 |
| Gráfico 7 - Relação entre renda per capita e população em idade ativa, no período de 2002-2016..... | 59 |
| Gráfico 8 - Evolução da demanda de energia e da taxa de crescimento econômico: 1970-2018..... | 63 |
| Gráfico 9 - Evolução da população brasileira e taxa de crescimento populacional | 63 |
| Gráfico 10 - Projeções da taxa de urbanização no período de 2010-2050..... | 64 |
| Gráfico 11 - Bandas para a Taxa de Crescimento do PIB doméstico do Brasil. | 65 |
| Gráfico 12 - Bandas para a taxa de crescimento do PIB per capita do Brasil..... | 65 |
| Gráfico 13 - Emissões de GEE no Brasil e no Mundo entre 1990 e 2016 (MtCO ₂ e) | 67 |
| Gráfico 14 - Emissões de GEE no Brasil (exceto mudança de uso do solo e florestas) entre 1970 e 2016 (MtCO ₂ e). | 67 |
| Gráfico 15 - Emissões de CO ₂ e do Setor de Energia por segmento de atividade (1990-2016) | 68 |
| Gráfico 16 - Emissões de CO ₂ e do Setor de Energia por fonte primária (1990-2016) | 69 |
| Gráfico 17 - Evolução do consumo de energia por setor (em milhões de tep) do Brasil, entre 1970-2018..... | 70 |
| Gráfico 18 - Evolução da participação setorial no consumo total de energia no Brasil entre 2013- 2050..... | 72 |
| Gráfico 19 - A evolução da média do PIB per capita (em mil R\$, a preços de 2010), durante o período de 2002-2016 | 93 |
| Gráfico 20 - Média do PIB per capita por grupos de renda no período de 2002-2016 | 94 |

| | |
|--|-----|
| Gráfico 21 - Evolução das importações e das exportações no período de 2002-2016 (bilhões de US\$)..... | 95 |
| Gráfico 22 - Médias do grau de abertura por grupos de renda no período de 2002-2016.. | 96 |
| Gráfico 23 - Evolução do logaritmo do consumo de energia elétrica e da formação bruta de capital fixo para o Brasil no período de 2002-2016..... | 97 |
| Gráfico 24 - Médias do Consumo de energia elétrica per capita por grupos de renda no período de 2002-2016 | 97 |
| Gráfico 25 - Médias do estoque de capital humano por grupos de renda no período de 2002-2014..... | 98 |
| Gráfico 26 - Evolução da população total e da PIA no período de 2002-2016 (em milhões) | 99 |
| Gráfico 27 - Médias da PIA por grupos de renda no período de 2002-2016..... | 100 |
| Gráfico 28 - Médias das emissões de dióxido de carbono por grupos de renda no período de 2002-2016..... | 101 |
| Gráfico 29 - Evolução da proxy do desmatamento no período de 2002-2016..... | 102 |
| Gráfico 30 - Médias de desmatamento por grupos de renda no período de 2002-2016.... | 102 |
| Gráfico 31 - Efeito total, efeito direto e efeito indireto da estrutura etária nas emissões de CO ₂ | 110 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Aplicações empíricas de estudos sobre estrutura demográfica, crescimento econômico, consumo de energia e emissões de CO ₂ | 51 |
| Quadro 2 - Resumo dos procedimentos metodológicos | 78 |
| Quadro 3 - Principais referências pesquisadas sobre mudanças demográficas, envelhecimento, emissões de dióxido de carbono | 79 |
| Quadro 4 - Instituições utilizadas na pesquisa documental relacionadas a demografia, energia e qualidade ambiental | 80 |
| Quadro 5 - Principais documentos utilizados na pesquisa | 81 |
| Quadro 8 - Variáveis e fonte de dados da pesquisa | 84 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1 - Distribuição dos gastos das famílias segundo tipos de domicílio no Brasil, agregada para 15 produtos (em %) | 55 |
| Tabela 2 - Taxas de crescimento médias das variáveis (% a.a.) do Brasil | 61 |
| Tabela 3 - Estatísticas descritivas das variáveis utilizadas no estudo no período de 2002-2016..... | 92 |
| Tabela 4 - Estimativas do crescimento econômico | 104 |
| Tabela 5 - Estimativas das emissões de dióxido de carbono | 107 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABER - Abertura comercial
BEN - Balanço Energético Nacional
CAFE - Comunidade Acadêmica Federada
CAK - Curva Ambiental de Kuznets
CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CO₂ - Dióxido de Carbono
EA – Efeito Aleatório
EF - Efeito Fixo
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
GEE - Gases de Efeito Estufa
GMM - Generalized Method of Moments
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEDI - Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial
IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change
MME - Ministério de Minas e Energia
MQO - Mínimos Quadrados Ordinários
MS - Ministério da Saúde
NO_x - Número de Oxidação
OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU - Organização das Nações Unidas
PIA - População em Idade Ativa
PIB - Produto Interno Bruto
PROALCOOL - Programa Nacional do Alcool
RDT - Razão de Dependência Total
SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões de Gases
TBM - Taxa Bruta de Mortalidade
TBN - Taxa Bruta de Natalidade
TEE - Transição da Estrutura Etária
TEP - Toneladas Equivalentes de Petróleo
UNIFAL - Universidade Federal de Alfenas

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 17 |
| 1.1 | CONTEXTO E JUSTIFICATIVA..... | 17 |
| 1.2 | PROBLEMA..... | 20 |
| 1.3 | HIPÓTESES | 21 |
| 1.4 | OBJETIVOS | 21 |
| 1.4.1 | Objetivos Geral | 21 |
| 1.4.2 | Objetivos Específicos | 21 |
| 1.5 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 22 |
| 1.6 | ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO | 23 |
| 2 | ESTRUTURA DEMOGRÁFICA E EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO..... | 25 |
| 2.1 | ORIGEM E EVOLUÇÃO DA TRANSIÇÃO DEMOGRÁFICA | 25 |
| 2.2 | ESTRUTURA DEMOGRÁFICA E O PROCESSO DO ENVELHECIMENTO POPULACIONAL | 32 |
| 2.3 | CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA DEMOGRÁFICA | 33 |
| 2.4 | IMPACTOS DA ESTRUTURA ETÁRIA NAS EMISSÕES DE CO ₂ | 40 |
| 2.4.1 | O EFEITO DIRETO DA ESTRUTURA ETÁRIA NAS EMISSÕES DE CO ₂ | 41 |
| 2.4.2 | O EFEITO INDIRETO DA ESTRUTURA ETÁRIA NAS EMISSÕES DE CO ₂ 44 | |
| 2.4.2.1 | O impacto da estrutura etária no crescimento econômico..... | 44 |
| 2.4.2.2 | O impacto do crescimento econômico no consumo de energia e nas emissões de CO ₂ | 47 |
| 3 | CONSUMO ENERGÉTICO, CRESCIMENTO ECONÔMICO E ESTRUTURA DEMOGRÁFICA NO BRASIL | 54 |
| 3.1 | RELAÇÃO ENTRE ESTRUTURA DEMOGRÁFICA E CONSUMO DE ENERGIA..... | 54 |
| 3.2 | ESTRUTURA DEMOGRÁFICA E CRESCIMENTO ECONÔMICO | 57 |
| 3.3 | CRESCIMENTO ECONÔMICO E CONSUMO DE ENERGIA..... | 62 |
| 3.4 | CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÕES DE CO ₂ | 66 |
| 3.5 | CONSUMO DE ENERGIA POR SETORES | 70 |
| 4 | METODOLOGIA | 77 |
| 4.1 | CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA..... | 77 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.2 | PESQUISA BIBLIOGRÁFICA E DOCUMENTAL | 78 |
| 4.3 | PROCEDIMENTOS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS | 81 |
| 4.4 | DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS..... | 82 |
| 4.5 | TIPOLOGIA E FONTES DE DADOS | 84 |
| 4.6 | TÉCNICAS DE ANÁLISE | 85 |
| 4.6.1 | MÉTODO GENERALIZADO DOS MOMENTOS OU GENERALIZED METHOD OF MOMENTS (GMM) | 86 |
| 4.6.2 | MODELOS | 88 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 92 |
| 5.1 | ANÁLISE DESCRITVA..... | 92 |
| 5.1.1 | Produto Interno Bruto <i>per capita</i> | 93 |
| 5.1.2 | Abertura Comercial | 95 |
| 5.1.3 | Consumo de energia <i>per capita</i> e estoque de capital <i>per capita</i> | 96 |
| 5.1.4 | Estoque de capital humano | 98 |
| 5.1.5 | Proporção da População em Idade Ativa..... | 99 |
| 5.1.6 | Emissões de dióxido de carbono <i>per capita</i> | 100 |
| 5.1.7 | <i>Proxy</i> de desmatamento..... | 101 |
| 5.2 | INFERÊNCIAS ESTATÍSTICAS | 103 |
| 5.2.1 | MODELO DE CRESCIMENTO ECONÔMICO | 103 |
| 5.2.2 | MODELO DE EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO | 106 |
| 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 114 |
| | REFERÊNCIAS | 117 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

As transformações na estrutura demográfica vêm ocorrendo e sendo estudadas em diferentes regiões do mundo. E, de modo especial, foram observadas mudanças no conjunto populacional com o aumento do processo de envelhecimento que passa a ser considerado como um fenômeno que ocorre em diferentes partes do mundo, devido a uma maior taxa de crescimento do grupo etário de idosos em relação aos grupos mais jovens (ZHANG *et al.*, 2018).

A maior proporção de idosos no conjunto da população deve-se às mudanças na estrutura etária, ocorridas ao longo do tempo, anteriormente marcado por altas taxas de fecundidade, passou a ser predominantemente caracterizado por apresentar redução das taxas de mortalidade, principalmente nas últimas décadas, com aumento importante e significativo na expectativa de vida (GAVRILOV; HEUVELINE, 2003).

Inicialmente essas mudanças foram observadas nos países desenvolvidos, ainda no século XIX. Nestes países o aumento da população idosa ocorreu de forma mais lenta do que está acontecendo nos países em desenvolvimento. Como exemplo de países desenvolvidos, na França o aumento da proporção de idosos de 7% para 14% no total da população levou 115 anos, na Suécia, o tempo para alcançar esta proporção foi de 85 anos e nos Estados Unidos, de 69 anos. Enquanto na China, o tempo foi estimado em 26 anos, no Brasil, em 21 anos e na Colômbia, em 20 anos, sendo estes países subdesenvolvidos (KINSELLA; PHILLIPS, 2005).

No Brasil, essas transformações passam a ser evidenciadas a partir da década de 1960. Em 1960, a população com idade superior a 60 anos representava 4,7% da população total e, em 1996, passou a responder por 8%. A tendência de envelhecimento da população brasileira se manteve ao longo dos anos e, em 2012, os idosos correspondiam a 10,6% da população. Já em 2017, o percentual de idosos alcançou 12,5%. Entre os anos de 2012 e 2017 a população idosa apresentou crescimento de 18%. Posto isto, o envelhecimento populacional está ocorrendo de forma mais intensa nos últimos anos (IBGE, 2019; PARADELLA, 2019). Em 2016, o Brasil passou a ocupar a quinta posição no ranking de países com maior população idosa (BRASIL, 2018).

A tendência demográfica brasileira apresenta uma redução contínua da população em idades mais jovens (entre 0-14 anos) e uma concentração de pessoas em idade ativa¹ (entre 15 e 64 anos). De acordo com as projeções realizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2060 o grupo de idosos com idade superior a 65 anos corresponderá a 25,5% do total da população. De modo geral, a tendência é que as taxas de crescimento da população brasileira se tornem decrescentes ou mesmo negativas até a década de 2060 (IBGE, 2018).

Essas transformações na estrutura da população tendem a modificar quase todos os aspectos da sociedade. O avanço do envelhecimento populacional não leva somente ao aumento do número de idosos. Também altera a vida dos demais indivíduos, os arranjos familiares, a força de trabalho, consumo, poupança, renda, crescimento econômico, a demanda por serviços públicos e a distribuição de recursos. Desse modo, o envelhecimento pode gerar pressões sobre o sistema de serviços públicos como serviços de saúde; no mercado de trabalho pode levar a uma redução da mão de obra; no setor previdenciário, devido à maior demanda por aposentadoria; no crescimento econômico pela produtividade dos trabalhadores e; sobre o meio ambiente, através das mudanças no comportamento de consumo (CARVALHO *et al.*, 2017; SIMÕES, 2016; YORK, 2007).

Dentre esses aspectos, os efeitos das mudanças na estrutura da população sobre o consumo têm ganhado pouca atenção na literatura. Os estudos que abordam as mudanças da estrutura etária têm-se concentrado nas questões relacionadas ao mercado de trabalho, previdência, saúde e ao aumento da população idosa (ALVES, 2015; ALVES, 2016; CAMARANO, 2014; COSTA, 2018; COSTANZI; ANSILIERO, 2017; LIMA; MATHIAS-PEREIRA, 2015; OSAKI, 2019; PEGORARO, 2019). Sendo assim, o debate sobre as mudanças na estrutura demográfica tem-se limitado aos efeitos diretos no tamanho da população, e poucos se atentam em como a estrutura etária pode influenciar o crescimento econômico e o consumo (O'NEIL *et al.*, 2010; PARK; HEWINGS, 2007).

Durante o ciclo de vida, o comportamento econômico e os hábitos de consumo dos indivíduos apresentam ser heterogêneos, sobretudo, do consumo de energia (BANCO MUNDIAL, 2011; CARVALHO *et al.*, 2017; YORK, 2007; ZHANG *et al.*, 2018). As mudanças na composição da população podem afetar a demanda de energia de forma direta, pelas mudanças nos hábitos de consumo e de forma indireta pelos setores da economia,

¹ Para Alves (2004) população em idade ativa é a parcela da população em idade de trabalhar.

segundo as atividades produtivas (BIN; DOUWLATABADI, 2005; YAMASAKI; TOMINAGA, 1997).

O aumento gradativo do consumo de energia tem-se manifestado como um dos principais fatores dentro do setor de energia que impulsionam as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), em especial, as emissões de Dióxido de Carbono (CO₂) nas últimas décadas, promovidas pelo uso de fontes de energia fósseis. Entre os anos de 1990 e 2016, o incremento das emissões de GEE foi de 32% no Brasil. Nesse mesmo período, observa-se que as emissões de CO₂ do setor de energia incluindo a produção, o consumo de combustíveis e de energia elétrica, apresentaram crescimento de 120% (SEEG, 2018).

As análises sobre as mudanças na composição da estrutura etária nas emissões apontam que as emissões de CO₂ são influenciadas pelo consumo de energia e que outros fatores como a urbanização, composição familiar, o envelhecimento e o crescimento econômico podem afetar no consumo de energia e, conseqüentemente, nas emissões de dióxido de carbono (BIRDSALL *et al.*, 2001; COLE; NEUMAYER, 2004; DIETZ; ROSA, 1997; FAN *et al.*, 2006). Não obstante, O'Neill *et al.* (2010) e Zhang *et al.* (2018) mostram que os estudos que investigam a relação entre estrutura demográfica e emissões consideraram que os efeitos da estrutura etária nas emissões são mistos e seus resultados não foram conclusivos. Todavia, a estrutura etária possui efeito direto e indireto nas emissões, através do consumo de energia.

O efeito direto da estrutura etária nas emissões ocorre através de mudanças nos hábitos e preferências dos indivíduos quando a estrutura demográfica se altera, pois, os idosos demandam mais energia para aquecimento e resfriamento e possuem menor demanda por viagens. Enquanto entre os mais jovens a demanda por viagem é maior. Já o efeito indireto consiste na influência que a estrutura demográfica exerce nas emissões, através do consumo de energia utilizado para impulsionar o crescimento econômico supondo que a relação entre renda e emissões é não linear.

Para o caso brasileiro, Carvalho *et al.* (2017) verificaram que há heterogeneidade no consumo de energia entre jovens e idosos. O consumo médio de energia dos idosos aparenta ser maior que nos grupos mais jovens. Também indicam que o envelhecimento da população não levará a um padrão de consumo menos intensivo em emissões.

Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo analisar os impactos das mudanças da estrutura demográfica nas emissões de CO₂ associadas ao consumo de energia no Brasil. Considera-se um conjunto de variáveis socioeconômicas, demográficas e de

degradação ambiental das unidades federativas, separando o efeito total da estrutura etária nas emissões, em efeito direto e indireto, em um modelo de regressão de dois estágios, estimados pelo método *Generalized Method of Moments* (GMM), para controlar a endogeneidade das variáveis e introduzir dinâmica. No primeiro estágio, estima-se o efeito parcial da estrutura etária no crescimento econômico. Já no segundo estágio, estima-se e calcula-se o efeito direto da estrutura etária nas emissões de CO₂ e o efeito indireto da estrutura etária nas emissões de CO₂. Por fim, são analisados os efeitos separadamente e em conjunto.

A análise desagregada das emissões no Brasil é importante por três motivos: Em primeiro lugar, as características demográficas, socioeconômicas e ambientais são heterogêneas entre as unidades federativas. Em segundo lugar, a análise desagregada das emissões pode apresentar uma relação não linear com o crescimento econômico e trazer novas evidências para a literatura. Por fim, a literatura nacional carece de estudos empíricos que envolvem a relação entre estrutura demográfica e emissões de poluentes. De acordo com Zhang *et al.* (2018) a maior parte dos estudos sobre o tema consideram apenas algum aspecto da estrutura etária no crescimento ou na qualidade do meio ambiente. Ressaltam ainda que há poucos trabalhos que captam o efeito direto e indireto da estrutura etária nas emissões e que a metodologia utilizada muitas das vezes não se mostra adequada para capturar tais efeitos.

1.2 PROBLEMA

Para o Brasil, as mudanças na estrutura etária estão ocorrendo de forma mais rápida e intensa que nos países desenvolvidos. Esta alteração na composição da população faz com que a proporção de idosos sobre o total da população se torne cada vez mais elevada em um espaço mais curto de tempo quando comparada aos países desenvolvidos. No ano de 2016, a população brasileira com 60 anos ou mais representava 13,6% da população total, e o Brasil passou a ter a quinta população mais envelhecida do mundo. As projeções para o ano de 2030 é de que o número de idosos ultrapasse o de jovens de até 14 anos e, em 2060, os idosos devem responder por 25,5% do total da população brasileira (BRASIL, 2018).

Portanto as alterações na estrutura demográfica devem modificar o comportamento econômico e os hábitos de consumo, principalmente do consumo de energia havendo efeitos sobre as emissões de poluentes, uma vez que consumo de energia está diretamente

relacionado às emissões de dióxido de carbono, sendo este o principal gás de efeito estufa. O Brasil é o sexto país que mais emite GEE, com uma participação de 3,4 % das emissões globais (SEEG, 2018). Com o gradativo aumento das emissões de GEE, em especial do dióxido de carbono, existe uma preocupação quanto às mudanças climáticas provocadas por esses poluentes.

Diante do exposto, revela-se a importância de analisar a relação entre a estrutura etária e a qualidade do meio ambiente, para que sejam propostas políticas que direcionem o comportamento de consumo para a mitigação das emissões de dióxido de carbono. Dessa forma, o problema de pesquisa que orientou esta dissertação foi: **quais são os impactos da estrutura demográfica nas emissões de CO₂ associados ao consumo de energia no Brasil durante o período de 2002 a 2016?**

1.3 HIPÓTESES

As hipóteses científicas adotadas nesta pesquisa são: a existência de um efeito direto positivo da proporção da População em Idade Ativa (PIA) nas emissões de CO₂; A existência da Curva Ambiental de Kuznets (CAK), na forma de U invertido, que demonstra uma relação positiva do nível de renda *per capita* com as emissões de CO₂; a presença de uma associação positiva do efeito total com a PIA.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivos Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar os impactos da estrutura demográfica nas emissões de CO₂ associados ao consumo de energia no Brasil durante o período de 2002 a 2016.

1.4.2 Objetivos Específicos

- a) discutir o impacto direto e indireto das mudanças da estrutura demográfica nas emissões de CO₂;

- b) verificar a relação entre a estrutura demográfica, o consumo energético e o crescimento econômico no Brasil;
- c) apresentar as principais variáveis que impactam nas emissões de CO₂ como resultado das mudanças da estrutura demográfica;
- d) estimar os impactos da estrutura demográfica nas emissões de dióxido de carbono pelo consumo de energia.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A proposição desta pesquisa se encontra no Programa de Pós-Graduação em Economia (PPGE) e na linha de pesquisa de economia aplicada. Para Gil (2017), a pesquisa aplicada busca a aquisição de conhecimentos através da aplicação em determinada situação. A ideia desse trabalho é investigar um problema que envolve a dinâmica da estrutura etária, o crescimento econômico, o consumo de energia e emissões de CO₂ cujo resultado pretende apoiar futuras políticas públicas sustentáveis para o setor de planejamento energético brasileiro. Para cumprir os objetivos propostos, o aprofundamento de estudos em diferentes áreas do conhecimento como economia, economia da energia, meio ambiente e demografia se faz necessário.

Alguns procedimentos metodológicos serão adotados para a realização desta pesquisa. Será realizado um levantamento bibliográfico e documental de estudos relevantes, tanto de conceitos e referências, como também de métodos que têm sido utilizados nesse tipo de análise, através de artigos científicos, livros, revistas, periódicos e sites. Os dados a serem utilizados para análises e inferências estatísticas são secundários, obtidos no Instituto Brasileiro de Pesquisa e Geografia (IBGE) que é vinculado ao Ministério da Economia para PIB *per capita*, proporção da população em idade ativa, importação e exportação (Abertura comercial), *proxy* do estoque de capital humano, consumo energia. Com relação às emissões de CO₂, estes dados são provenientes do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases (SEEG) de competência do Observatório do Clima. Os dados para *proxy* do desmatamento foram compilados no Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

Para analisar os impactos nas emissões de dióxido de carbono pelas mudanças demográficas no consumo de energia no Brasil, será utilizado um painel de dados para os 26 estados e o Distrito Federal (DF). A metodologia se baseia no modelo de regressão em dois estágios para capturar o efeito direto e o efeito indireto da estrutura demográfica nas emissões

de CO₂, utilizando o método *Generalized Method of Moments (GMM)*, que permite controlar possíveis problemas de endogeneidade e introduzir dinâmicas.

A principal contribuição trazida por essa pesquisa é investigar os efeitos diretos e indiretos da estrutura etária nas emissões de CO₂, através de uma estrutura que permite controlar problemas de ordem empírica. Além disso, não foram encontrados estudos dessa natureza aplicados ao cenário brasileiro a nível desagregado. Espera-se que esse trabalho possa orientar os decisores em minimizar impactos das decisões relacionadas às mudanças demográficas e emissões de poluentes.

1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação possui seis capítulos sendo eles intitulados: 1) Introdução; 2) Estrutura demográfica e o meio ambiente; 3) Estrutura demográfica, consumo energético e crescimento econômico no Brasil; 4) Metodologia; 5) Resultados e discussões; 6) Considerações finais.

O capítulo 1 refere-se à presente introdução onde são apresentados o contexto e a justificativa, o problema, o objetivo geral, os objetivos específicos, os procedimentos metodológicos e a estrutura da dissertação.

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica dividida em quatro seções. A primeira, baseada nos estudos que deram origem às pesquisas que relacionam população às variáveis econômicas – como Malthus (1798), com a obra *Ensaio sobre o princípio da População*. Em seguida traz os principais clássicos da teoria da transição demográfica, como Thompson (1929), o primeiro a identificar o crescimento desigual da população. Notestein (1945), com a *Teoria da Modernização*. Os críticos da Teoria da Modernização Coale e Hoover (1966) e Knodel e Van de Walle (1979) e de relatos da teoria da transição demográfica como Kirk (1996) e Szreter (1993).

A Segunda seção trata da estrutura demográfica e o processo de envelhecimento populacional e seus conceitos. A terceira apresenta uma caracterização da estrutura demográfica no mundo e no Brasil. A quarta seção enfatiza os impactos no meio ambiente relacionados às mudanças na estrutura etária e subdivide em duas subseções. Uma subseção apresenta estudos que examinam o efeito direto da estrutura etária nas emissões de CO₂, através das mudanças no padrão de consumo durante o ciclo de vida. Outra subseção apresenta os efeitos indiretos da estrutura etária nas emissões de CO₂, sob a perspectiva dos

impactos da estrutura etária no crescimento econômico e deste sobre do consumo de energia e as emissões de CO₂.

No capítulo 3 é feita uma relação entre estrutura demográfica, consumo energético e crescimento econômico no Brasil através de cinco seções. Elas apresentam as relações entre estrutura demográfica e o consumo de energia; a estrutura demográfica e o crescimento econômico; o crescimento econômico e o consumo de energia; a interação entre consumo de energia e emissões de dióxido de carbono; o consumo de energia por setores da economia.

O capítulo 4, referente à metodologia, está dividido em oito seções apresentando: a classificação da pesquisa; a abordagem da pesquisa; o resumo dos procedimentos metodológicos; as variáveis; a tipologia e fonte dos dados; as técnicas de análise; o método utilizado e a apresentação do modelo.

O capítulo 5, referente aos resultados, está dividido em três seções: análise descritiva das variáveis; os resultados das estimativas dos modelos propostos; discussões sobre os resultados encontrados. No sexto e último capítulo, são apresentadas as considerações finais, abordando os principais pontos da pesquisa, resultados obtidos e possíveis aplicações.

2 ESTRUTURA DEMOGRÁFICA E EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO

2.1 ORIGEM E EVOLUÇÃO DA TRANSIÇÃO DEMOGRÁFICA

O estudo da relação entre população e crescimento econômico está presente na literatura, mesmo antes do reconhecimento da demografia enquanto ciência². Como pode ser observado, em *Muqaddimah* de Ibn Khaldun (1332-1406) e em *A Riqueza das Nações* de Adam Smith publicada em 1776, em ambas nota-se a importância da estrutura populacional no crescimento econômico.

Ainda que a percepção da importância da estrutura populacional e a economia apareçam anteriormente nas obras apresentadas como exemplo, este debate foi estabelecido com a publicação, em 1798, de “O Ensaio Sobre a População”, pelo britânico Thomas Malthus. O autor, que além de economista era também pastor anglicano, propõe a tese de que o aumento exponencial da população levaria a um aumento da pobreza, assim, passa a ser considerado pioneiro nos estudos populacionais. Ademais, deve ser ressaltado que a tese malthusiana foi formulada em período de transformações econômicas e sociais ocorridas após a segunda metade do século XVIII, e a publicação de sua obra ocorre no período entre a Revolução Industrial e a Revolução Francesa, além da influência do pensamento religioso na formulação de sua tese (SOUZA, 2006).

Porquanto, ideias semelhantes às de Thomas Malthus estão contidas na obra *Della Cause grandezza e magnificenza delle città*, publicada em 1589, pelo pensador e padre italiano Giovanni Botero. Para o padre, há duas virtudes acerca do crescimento da população, sendo a “virtude generativa” em que se considera a possibilidade de expansão da população até o máximo de sua capacidade de reprodução, ou seja, no limite da fecundidade, e a “virtude nutritiva”, que está relacionada à capacidade de produção de alimentos. Assim, o crescimento populacional ocorrerá quando a virtude nutritiva for superior à generativa, entretanto, no momento em que essas virtudes estiverem invertidas, tende a ocorrer um aumento da mortalidade.

Para mais, há estudos anteriores à publicação do *Ensaio* de Malthus que também discutem as relações entre o crescimento econômico e o crescimento populacional, como o

² A demografia aparece como ciência na metade do século XIX. A primeira obra a utilizar o termo “demografia” foi desenvolvida pelo francês Achille Guillard, *Éléments de statistique humaine ou démographie comparée*, de 1855.

trabalho de Willian Godin em seu livro *Political Justice*, publicado em 1793. Nele o autor considera existir pressão demográfica, uma vez que partes do mundo não haviam sido povoadas, a solução proposta seria a criação de mecanismos de autorregulação da população e produção, sem a participação do Estado. Em 1794, Condorcet, através do seu *Esboço do progresso do espírito humano*, discute essa questão. Ainda que ele acreditasse que o crescimento populacional fosse capaz de comprometer o progresso humano, considerava tal possibilidade como remota, apontando a inovação tecnológica e a adoção de métodos contraceptivos como solução para o problema apresentado.

Diante deste debate, Malthus lança o *Ensaio sobre a população*, em 7 de junho de 1798, como uma crítica aos estudos de Godin e Condorcet que consideravam o crescimento populacional como benéfico ao crescimento do produto econômico. No ensaio, busca tratar de problemas relacionados às transformações sociais ocorridas no período da Revolução Francesa e da má distribuição de riqueza no contexto da Revolução Industrial. Para Malthus, havia diferenças no ritmo de crescimento da população e do produto. “A população, quando não controlada, cresce numa progressão geométrica. Os meios de subsistências crescem apenas numa progressão aritmética” (MALTHUS, 1982, cap. 1, p. 282).

Dessa forma, Malthus (1982) apresenta uma visão pessimista da capacidade produtiva frente ao crescimento populacional. Porquanto, acreditava haver escassez dos meios de produção, e a ausência de mecanismos capazes de conter o crescimento da população teria como resultado um maior número de pobres, o aumento da mortalidade e a desaceleração do crescimento econômico. Também, era contrário à adoção de métodos contraceptivos e, para conter o “excedente populacional”, sugeriu que fosse adotada a abstinência sexual, segundo seu critério moral e religioso; além disso, acreditava serem a fome e a peste, instrumentos naturais capazes de conter o aumento da população.

A tese de Thomas Malthus foi capaz de chegar ao século XX, com a reintrodução de seu pensamento pelos demógrafos neomalthusianos nos anos de 1950, após um período de aceleração do crescimento populacional. A questão central trazida pelos neomalthusianos estava na possibilidade de que um crescimento populacional desequilibrado impactaria negativamente o bem-estar com agravamento de problemas sociais. Assim, para neomalthusianos, uma população em crescimento comprometeria o crescimento econômico com o esgotamento dos recursos naturais e o aumento do desemprego e da pobreza. Portanto, a solução proposta pelos neomalthusianos com o objetivo de evitar uma possível explosão da

população consiste na adoção de políticas de controle de natalidade em países com maiores taxas de crescimento populacional.

O constante declínio da mortalidade e um aumento da natalidade nos países europeus, durante o século XIX levou a crer que uma explosão demográfica seria inevitável até que as transformações sociais reduzissem as taxas de natalidade. A partir da metade do século XX, passou-se a observar quedas na mortalidade em países subdesenvolvidos em um ritmo mais acelerado que antes observado. O declínio da natalidade foi percebido a partir da década de 1960. Com a queda da taxa da fecundidade e da mortalidade, o medo de uma possível “bomba demográfica” foi deixado de lado (SATHLER, 2016).

Com o abandono da ideia de que haveria uma explosão demográfica, os estudos populacionais da demografia moderna se concentram no fenômeno da transição demográfica, iniciada no século XIX. A primeira formulação do modelo de transição demográfica, segundo Kirk (1996), foi publicada por Warren Thompson, em 1929. Em seu estudo Thompson (1929) classifica os países em três grupos A, B e C com diferentes taxas de crescimento populacional. O grupo A é representado pelos países³ que passaram por um rápido declínio da natalidade e mortalidade, cujo crescimento poderia se tornar estacionário ou até mesmo declinante. O grupo B é caracterizado por países que experimentaram quedas nas taxas de natalidade e mortalidade, o declínio da mortalidade nesses países⁴ precede ao da natalidade, além de ter ocorrido com maior intensidade. Como resultado, inicialmente as populações cresciam rapidamente com a queda da mortalidade e, em seguida, passaram por um declínio da taxa de crescimento populacional, com a queda da taxa de natalidade. Os países⁵ do grupo C não tinham suas taxas de natalidade e mortalidade controladas, denominadas como populações “Malthusianas” que crescem junto com os meios de subsistência.

Assim, a transição demográfica pode ser definida como processo de mudança gradual de altas taxas de fecundidade para baixas taxas de fecundidade e mortalidade (KINSELLA; PHILLIPS, 2005). Esse movimento ocorre em quase toda a parte do mundo, embora sua extensão e velocidade variem. Nos países desenvolvidos esse fenômeno já acontece há mais

³ Kirk (1996) países da Europa Ocidental e os países ultramarinos que foram colonizados por imigrantes europeus.

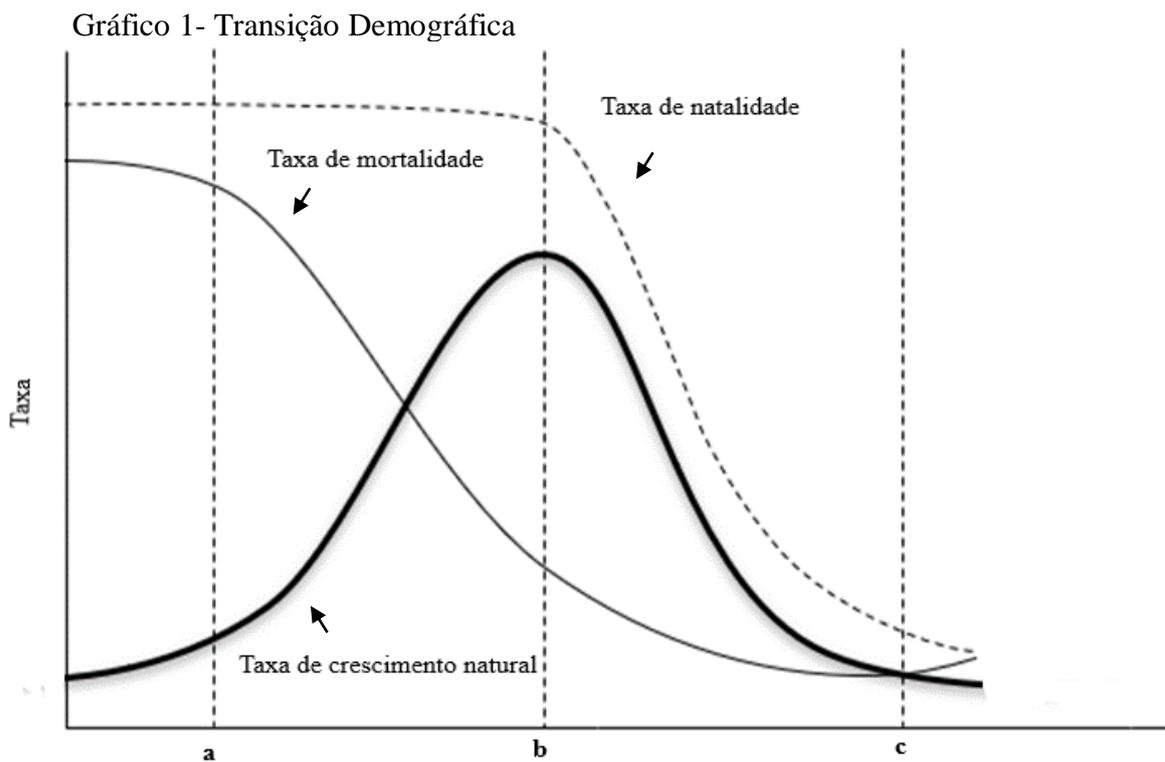
⁴ Países da Europa Oriental e Meridional.

⁵ Japão, Índia e Rússia.

tempo, enquanto nos países em desenvolvimento passou a ser observado nas últimas oito décadas (UNITED NATIONS, 2013).

Kirk (1996) ao tratar da Teoria da Transição Demográfica demonstra que sociedades desenvolvidas avançam de um regime pré-moderno com alta fecundidade e alta mortalidade para um pós-moderno em que ambos são baixos e normalmente a queda na mortalidade ocorre primeiro que a da fecundidade.

Pelo exposto, a teoria da transição demográfica contradiz o princípio malthusiano sobre o crescimento populacional à progressão geométrica e, aos neomalthusianos, com a ideia de uma explosão exponencial do tamanho da população. A teoria da transição sugere que a taxa de crescimento da população ao longo do processo de desenvolvimento é desigual. Dessa forma, o desenvolvimento econômico promove o controle da natalidade (SOUZA, 2006). O modelo de transição demográfica pode ser ilustrado na Gráfico 1.



Fonte: Adaptado de Rollet (2007)

Nota: **a**, início da transição demográfica; **b**, diferença máxima entre natalidade e mortalidade; **c**, fim da transição.

O modelo inicia com altas taxas de natalidade e mortalidade, resultando em um excedente natural baixo. Na fase **a** do processo de transição demográfica a taxa de natalidade permanece elevada e o nível de mortalidade começa a diminuir. Essas mudanças resultam de

melhorias na educação, saúde, saneamento e dos avanços tecnológicos que aumentam a expectativa de vida, produzindo um excedente natural crescente. Na fase **b**, a mortalidade continua declinando e a natalidade começa reduzindo de forma lenta e depois de forma mais rápida, provocando um excedente natural decrescente, essa queda da natalidade ocorre devido ao maior acesso dos métodos contraceptivos, do acesso da mulher à educação e sua inserção no mercado de trabalho, dentre outros. Por último, na fase **c** o excedente natural tende a zero (ROLLET, 2007; SOUZA, 2006).

Desse modo, os efeitos das mudanças na taxa de mortalidade são mais intuitivos que as mudanças na taxa de fecundidade. Para Kirk (1996), a transição da mortalidade⁶ pode ser explicada em três estágios. O primeiro ocorreu entre o final do século XVIII e início do século XIX, de forma que um aumento dos rendimentos contribuiu positivamente para uma redução da mortalidade. Porém, considera o desenvolvimento do Estado como fator mais decisivo que atuou de forma direta por meio do estabelecimento da ordem pública e indireta pela modernização da infraestrutura de transporte e comércio, o que permitiu uma redução da fome e epidemias, além de melhorias na agricultura.

O segundo estágio ocorreu desde o último terço do século XIX até a Primeira Guerra Mundial, onde houve uma revolução da medicina, o que resultou em uma redução da mortalidade infantil, em específico, as que tinham como causas doenças como diarreia e tuberculose. No período entre guerras, um dos avanços da medicina estava relacionado à educação para a saúde. Por último, o terceiro estágio ocorreu durante e após a Segunda Guerra mundial, com o crescimento do uso de antibióticos e, conseqüentemente, as doenças epidêmicas e contagiosas tiveram uma redução significativa.

De outro modo, para a transição da fecundidade há uma ampla discussão com diferentes abordagens acerca de suas causas. Notestein (1945), através da Teoria da Modernização, uma das primeiras abordagens macroeconômicas sobre o tema, argumenta que o processo de modernização na Europa Ocidental, América do Norte e Oceania resultou em melhorias do padrão de vida e que esse processo se deu por meio dos ganhos de produtividade. Com a urbanização e a industrialização, os indivíduos mudaram o comportamento (atitudes, crenças e tradições) com relação ao número de filhos e ao uso de métodos de controle de fecundidade. Em síntese, a queda da fecundidade ocorre pelas mesmas forças responsáveis pela queda da mortalidade (NOTESTEIN, 1945).

⁶ Em países desenvolvidos que são pioneiros no processo de transição demográfica.

Por outro lado, Coale e Hoover (1966), em uma abordagem neomalthusiana, argumentam que para reduzir a fecundidade seria necessário atingir, primeiro, certo nível de desenvolvimento. Knodel e Van de Walle (1979) fazem uma crítica à modernização ao opor a ideia de que o desenvolvimento promove o controle da fecundidade e defendem a abordagem inovação-difusão. A redução da fecundidade independe do contexto socioeconômico, ou seja, existe mais influência cultural da inovação e da difusão do método de limitação do tamanho das famílias que influências econômicas.

Em uma abordagem microeconômica, Becker (1960) e Schultz (1972) foram os primeiros a enfatizar o comportamento reprodutivo através das escolhas racionais. Assim, para esses autores, a transição da fecundidade é determinada pela demanda por crianças *versus* bens de consumo, pela renda dos pais e preferências.

Caldwell (1976) busca integrar as principais teorias econômicas, culturais e institucionais para explicar o declínio da fecundidade. Assim o autor entende como sendo racional o comportamento da fecundidade no período pré-transição. Todavia, em contradição com a teoria econômica, afirma que tal comportamento seria racional apenas dentro de determinada estrutura com fins sociais. Além disso, este autor não considera haver relação da queda nas taxas de fecundidade com o processo de modernização econômica.

Outras contribuições importantes sobre os determinantes da redução da fecundidade estão fundamentadas no aspecto histórico, na atuação do Estado e na difusão de informações. De acordo com Kirk (1996), os historiadores da população criticam as contribuições de outros campos da demografia que consideram apenas fatores econômicos e sociais. Nestas análises argumentam que as mudanças nos padrões familiares quanto ao número de filhos possuem relação com o aumento dos custos de criação e das mudanças ocorridas no mercado de trabalho, como a idade mínima para trabalhar e a inserção da mulher no mercado de trabalho, da obrigatoriedade de a criança frequentar a escola e das mudanças na responsabilidade dos pais para com os filhos. Destacam ainda o papel do governo nessas mudanças através de melhorias dos serviços oferecidos, programas de planejamento familiar e da intervenção direta no controle da natalidade. Além disso, ressalta-se a importância da difusão de informações em acelerar o processo de transição em áreas menos desenvolvidas, através do compartilhamento de ideias, hábitos e rotinas.

Szreter (1993) afirma que as forças econômicas e políticas no estudo demográfico são importantes na compreensão do comportamento da fecundidade. Afirma ainda que é necessária uma reconstrução histórica em cada contexto para entender essas mudanças.

Nas abordagens sobre o processo histórico de transição da fecundidade também se analisa a possível relação entre os diferentes padrões de quedas ocorridas nos anos de 1870 e 1930 com as ocorridas a partir de 1960. O processo de transição demográfica em curso, desde o século XIX, nos países ocidentais foi interrompida por um súbito aumento da natalidade na metade do século XX (SÁNCHEZ-BARRICARTE, 2018).

Para Notestein et al (1944), nenhum cientista ou demógrafo conseguiu prever esse crescimento inesperado da taxa de natalidade. Esse fenômeno de altas taxas de natalidade ficou conhecido como “*baby boom*”, apesar de ter havido uma expectativa duradoura desse fato, não levou mais que duas décadas para que ocorresse uma queda acelerada e sustentada da fecundidade, acompanhada da redução da mortalidade. As primeiras explicações para o fenômeno foram baseadas em um aumento de nascimentos após a Segunda Guerra Mundial, além disso, existe uma vasta literatura que busca elucidar as causas (ALBANESI; OLIVETTI, 2014; CALDWELL, 2006; CHESNAIS 1992; EMEKA, 2006; MACUNOVICH, 2002; REHER, 2015; REHER; REQUENA, 2015; SARDON, 2006; SANDSTRÖM, 2014; VAN BAVEL; REHER, 2013) ainda não esclarecidas. Já, Sánchez-Barricarte (2018) sugere que as origens do fenômeno remetem aos anos de 1930 e 1940 e não pode ser entendido apenas com um fenômeno lógico do período pós-guerra.

Como exposto, a evolução temporal desse debate foi marcada por muitas controvérsias. Ainda assim, a transição demográfica foi acompanhada por mudanças como a urbanização, a migração e o envelhecimento da população. Essas transformações são importantes dadas suas consequências para as sociedades e a economia. A urbanização e a migração fazem parte de um mesmo processo que evidenciam as relações entre espaço, capital e trabalho, o aumento da migração das áreas rurais para ambientes urbanos gerou um crescimento populacional, a princípio na Europa, com a Revolução Industrial, com o tempo foram observados esses movimentos em outras partes do mundo. Diante das transformações sociais causadas pela industrialização e urbanização, as taxas de fecundidade e mortalidade caíram e foram observados aumentos na expectativa de vida (SILVA; MONTE-MÓR, 2016).

De modo geral, o envelhecimento populacional é o produto das baixas taxas de fecundidade e do aumento da expectativa de vida. Uma vez apresentadas as principais causas e consequências da transição demográfica, a literatura recente tem discutido os desafios trazidos por essa nova dinâmica, em específico, o fenômeno do envelhecimento populacional mundial.

2.2 ESTRUTURA DEMOGRÁFICA E O PROCESSO DO ENVELHECIMENTO POPULACIONAL

O envelhecimento é entendido como uma mudança na estrutura etária de uma população, com aumento na participação relativa dos idosos⁷ (GAVRILOV; HEUVELINE, 2003). O termo Transição da Estrutura Etária (TEE) foi inicialmente empregado por Pool (2000), compreendendo as mudanças provocadas pelo declínio da fecundidade e que posteriormente afetam o tamanho das coortes⁸.

De acordo com Carvalho e Garcia (2003), muitas pessoas atribuem o aumento do envelhecimento populacional à queda da mortalidade. No entanto, as baixas taxas de mortalidade têm efeito contrário no início do processo, ou seja, com o declínio da mortalidade as populações tornam-se mais jovens, uma vez que essa queda ocorre, em sua maioria, nas faixas etárias inferiores, com aumento da população feminina em idades reprodutivas, o que conduz ao maior número de nascimentos resultando em uma população com maior concentração de jovens. No entanto, para que o envelhecimento seja fruto da queda da mortalidade, essa redução deve ocorrer de forma concentrada na população idosa (COALE, 1972; KEYFITZ, 1968).

Nesse sentido, De Melo Moreira (2015) argumenta que o processo de envelhecimento geralmente ocorre pela base, com a queda da fecundidade há uma redução no grupo etário jovem e uma ampliação do peso relativo da população idosa. E como alternativa, o envelhecimento pelo topo ocorre pelo crescimento do grupo de idosos devido à queda da mortalidade, independente da redução da população jovem. Diante disso, o envelhecimento pela base está relacionado à queda da fecundidade, típico de países desenvolvidos e atualmente ocorre nos países subdesenvolvidos. Já o envelhecimento pelo topo é característica de uma população que alcançou maturidade demográfica, com baixos níveis de fecundidade e declínio permanente das taxas de mortalidade.

No Brasil, nas últimas décadas, tem-se observado uma queda na mortalidade no grupo de idosos. Como observado por Carvalho (1993), o envelhecimento da população brasileira

⁷ Segue-se o padrão United Nations (2013), em que se definem idosos as pessoas com 65 anos ou mais em países desenvolvidos e 60 anos para países em desenvolvimento.

⁸ Para Riley (1973) coorte é a formação de um grupo de pessoas que passam por uma sequência de papéis como criança, estudante, trabalhador e aposentado em uma mesma sequência de eventos. Do nascimento à morte compartilham experiências, vivenciam os mesmos fatos relevantes em etapas similares de vida, e, por terem experiências compartilhadas, apresentam características comuns, aprendendo a desempenhar novos papéis e ceder outros, acumulando conhecimento e experiências sociais.

deve-se ao declínio da fecundidade, iniciada nos anos de 1960. Destaca-se ainda que a queda significativa da mortalidade entre 1940 e 1960 resultou no crescimento da população, porém, este crescimento sozinho não foi capaz de gerar mudanças significativas na estrutura demográfica. Porquanto, tais mudanças começam a ser observadas a partir de 1960, com a redução da fecundidade o crescimento populacional passou a ser menor.

Ademais, a redução na mortalidade nos grupos etários mais velhos tem proporcionado um aumento na longevidade, em especial no grupo de mulheres, o que pode ser atribuído às melhores condições de vida desses grupos (CAMPOS, 2004). Contudo, o aumento da longevidade não deve ser confundido com o envelhecimento populacional, pois, como observado por Wong (2001) a maior longevidade é devido ao aumento do número de pessoas com idades avançadas que sobrevivem.

Em síntese, o envelhecimento populacional é um processo complexo, resultado da combinação de múltiplos fatores com consequências em diferentes setores. Portanto, torna-se necessária a elaboração de estudos interdisciplinares para compreensão desse processo. Além disso, a combinação de uma população envelhecida sobrevivendo por mais tempo requer atenção na formulação de políticas que visam atender as demandas dessa sociedade (WONG, 2001).

2.3 CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA DEMOGRÁFICA

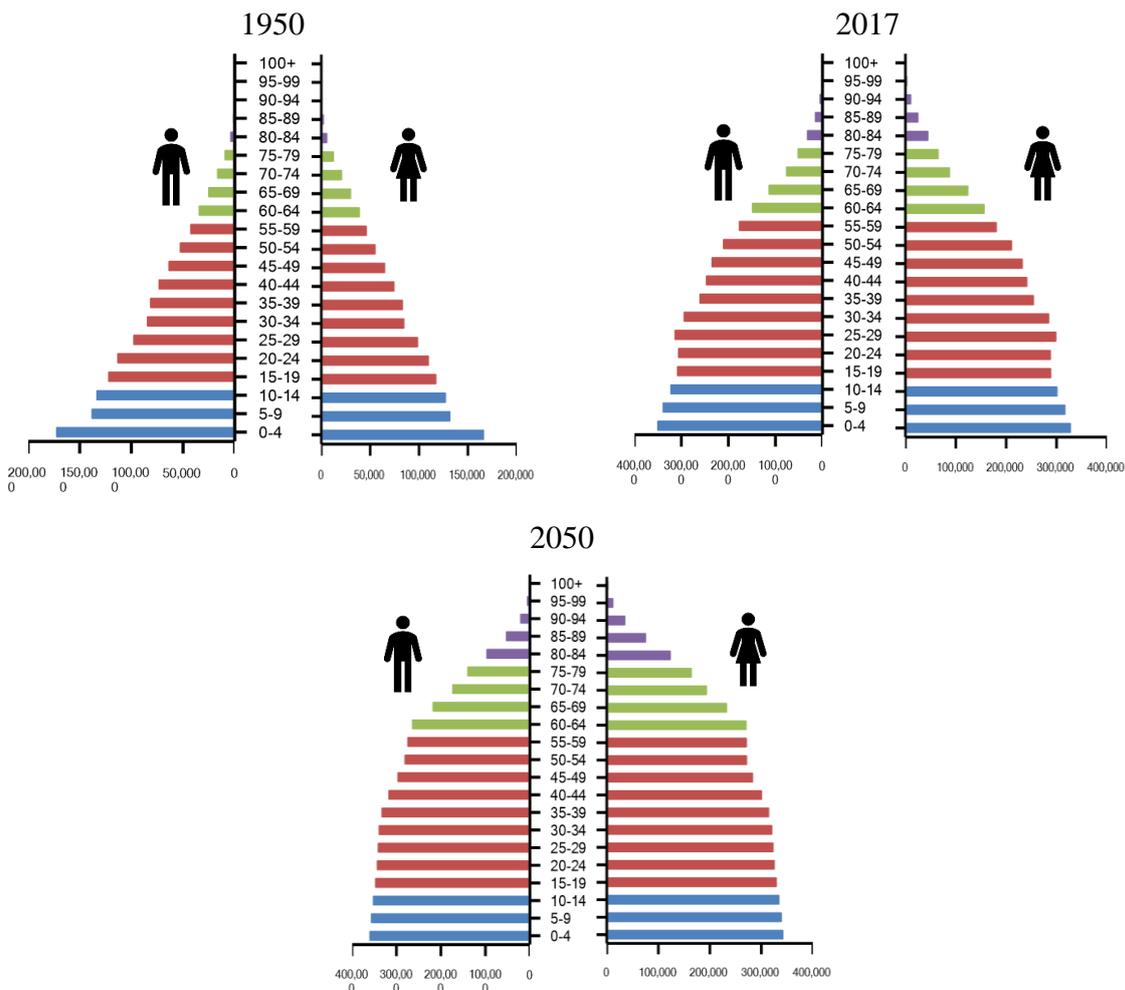
A questão do envelhecimento tem sido vista como um problema para os formuladores de políticas públicas e estudiosos, dado que a distribuição dos recursos pode ser afetada devido a um crescimento mais acelerado da parcela da população dependente em comparação à população com idade ativa. Coale e Hoover (1958) observaram impactos da redução da fecundidade na estrutura etária. Em um primeiro momento há redução da população jovem ou dependente com aumento da população em idade ativa reduzindo a relação de dependência. Porém, essa vantagem é apenas passageira porque, com uma baixa fecundidade associada ao aumento da longevidade, a proporção de pessoas em idades mais avançadas aumenta em relação aos mais jovens e aos adultos.

Entre os anos de 1950 e 2010 houve uma redução sem precedentes na taxa de fecundidade no mundo, que passou de 5 para 2,5 filhos por mulher, e em conjunto com o declínio da mortalidade, a expectativa de vida mundial saltou de 48 para 68 anos neste

período, o que resultou no aumento na proporção da população idosa (UNITED NATIONS, 2012).

Em relatório publicado pela United Nations (2017), a população de idosos no mundo com 60 anos ou mais, em 2017, totalizou 962 milhões, o que representou mais que o dobro da população idosa no mundo em 1980, que foi de 382 milhões. Além disso, as projeções apresentadas apontam que até 2050, a população idosa deverá dobrar novamente e alcançar 2,1 bilhões de pessoas. Ainda de acordo com a United Nations, em 2017, a cada oito pessoas em todo o mundo, uma tinha 60 anos ou mais. Para 2050, espera-se uma proporção de um idoso a cada cinco não idosos. A partir da Figura 1, observa-se a dinâmica da estrutura etária da população mundial em 1950, 2017 e as previsões para 2050.

Figura 1 - Distribuição por sexo e idade da população mundial: 1950, 2017 e 2050 (em milhões de pessoas).



Fonte: United Nations (2017)

De acordo com as estruturas demográficas apresentadas, percebe-se que o crescimento do número de idosos em todo o mundo aumenta mais rápido que o de pessoas com idades inferiores. Também, as projeções para 2050 indicam ainda que a população com 60 anos ou mais deve ser maior que a de adolescentes e jovens entre 10 e 24 anos. Além disso, espera-se que a população com idade superior a 80 anos triplique entre 2017 e 2050, de um total de 137 milhões para 425 milhões de pessoas (UNITED NATIONS, 2017).

No Brasil, a transição demográfica está ocorrendo de forma mais rápida e generalizada que em países desenvolvidos (Brito, 2007). Nesse sentido, Kinsella e Phillips (2005) demonstraram que a França levou 115 anos para aumentar a proporção de idosos de 7% para 14%, na Suécia esse tempo foi de 85 anos e nos Estados Unidos de 69 anos. Por outro lado, esse tempo na China foi estimado em 26 anos, no Brasil 21 anos e na Colômbia 20 anos. Esses números demonstram que o envelhecimento populacional no Brasil tem ocorrido mais rapidamente do que ocorreu nos países desenvolvidos.

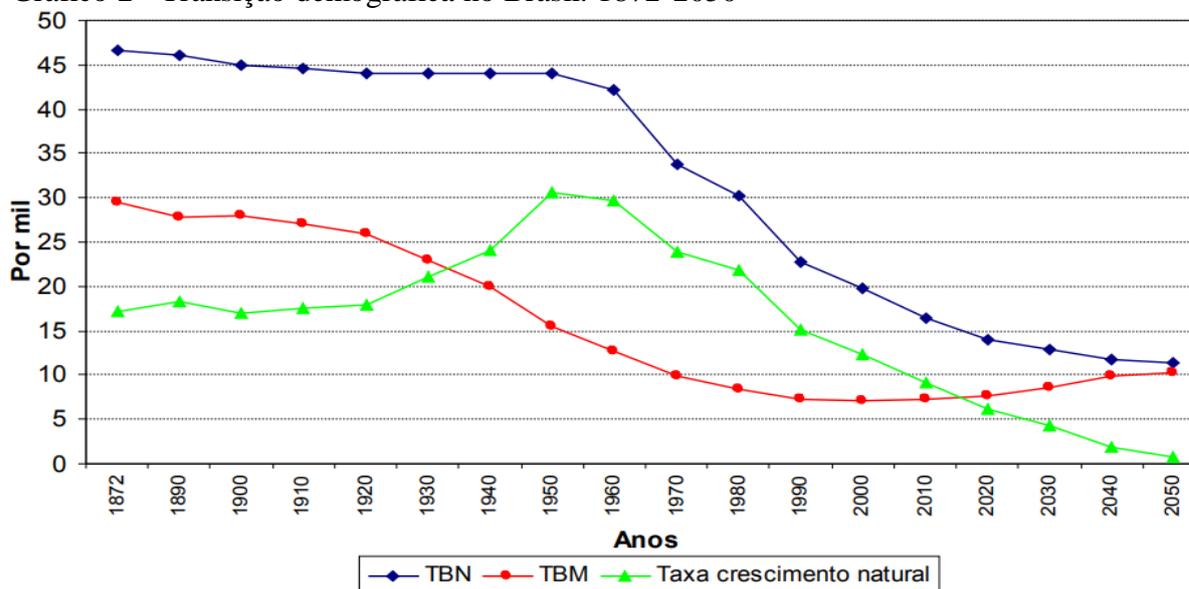
O padrão demográfico brasileiro apresenta cinco características principais: o processo de transição demográfica se encontra numa fase mais avançada que outros países da América Latina; a taxa de fecundidade é baixa e está declinando mais rapidamente que o observado em países europeus; a redução da mortalidade não ocorre de forma rápida e profunda como a da fecundidade e a expectativa de vida ao nascer é menor se comparada a outros países da América Latina; a estrutura etária tem-se modificado rapidamente e a estrutura etária atual é muito favorável, com uma concentração da população em idade ativa, que é denominado como “bônus demográfico” (BANCO MUNDIAL, 2011).

Até a década de 1960, o país apresentava uma estrutura etária praticamente constante. Constituída em sua maioria por jovens, em torno de 52% da população tinha abaixo de 20 anos de idade, e menos de 3% acima de 65 anos. Nesse período, a mortalidade declinou expressivamente e a fecundidade apresentou uma leve queda, com a redução do número de filhos por mulher de 6,1 para 5,8 na década de 1970. A queda da mortalidade foi compensada pela fecundidade, o que promoveu o rejuvenescimento da população e manteve constante a estrutura etária. Nesse período houve um significativo aumento da taxa de crescimento da população, de 2,4% na década 1940 para 2,9% na década de 1960 (CARVALHO; GARCIA, 2003). Após esse período, a fecundidade declinou significativamente, o número médio de filhos por mulher que se apresentava acima de 6, reduziu para 1,7 em 2018, ficando abaixo

da taxa de fecundidade de reposição⁹, que é de 2,09 filhos por mulher (IBGE, 2018). Aliado a isso, os níveis de mortalidade têm-se reduzido nos grupos etários mais velhos.

De acordo com Brito (2007), o padrão demográfico brasileiro apresenta características de uma transição da estrutura etária e pode ser apresentado em duas fases. Até meados dos anos 1970 observa-se um crescimento acelerado da população, aliado a quedas na mortalidade e a alta fecundidade, a população apresentava perfil jovem. Em seguida, com o declínio da fecundidade, a taxa de crescimento desacelera e ocorrem mudanças na estrutura etária. O padrão demográfico brasileiro está representado na Gráfico 2.

Gráfico 2 - Transição demográfica no Brasil: 1872-2050



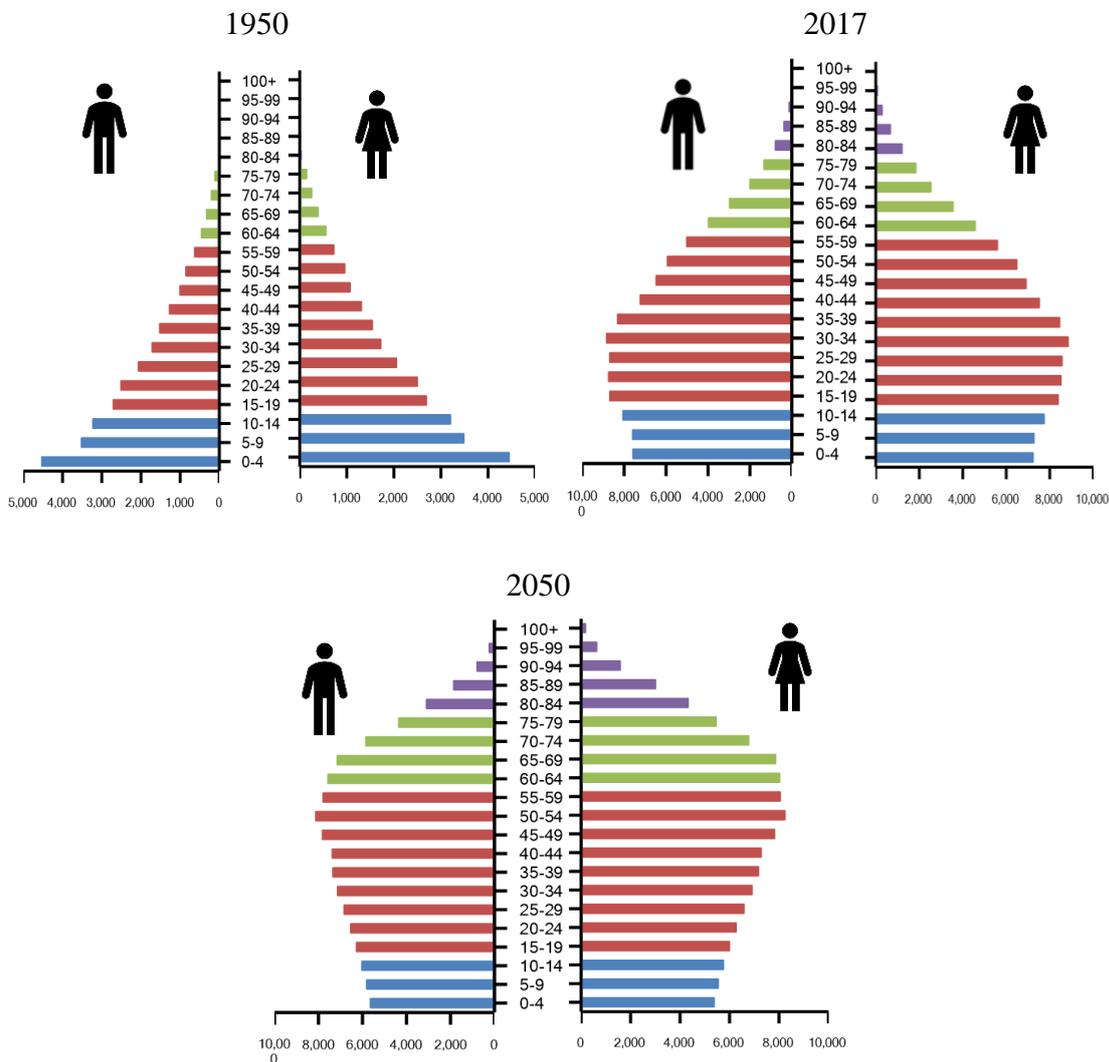
Fonte: Alves (2008)

Notas: TBN é a Taxa Bruta de Natalidade; TBM é a Taxa Bruta de Mortalidade. A partir de 2008 tem-se as projeções para as três taxas.

Nota-se que até a década de 1960, a Taxa Bruta de Natalidade (TBN) se manteve elevada. A Taxa Bruta de Mortalidade (TBM) também se apresentava alta, com cerca de 30 óbitos para cada mil habitantes, mas reverteu sua tendência entre o final do século XIX e o início do século XX. De acordo com Alves (2008), o aumento da taxa da mortalidade após 2010 não está relacionada a uma piora da qualidade da saúde, mas em função do envelhecimento. A Figura 2 apresenta a estrutura etária brasileira por sexo e idade para os anos 1950, 2017 e a projeção para 2050.

⁹ Refere-se a taxa de fecundidade para que a reposição populacional seja assegurada.

Figura 2 - Distribuição por sexo e idade da população brasileira: 1950, 2017 e 2050 (em milhões de pessoas)



Fonte: United Nations (2017).

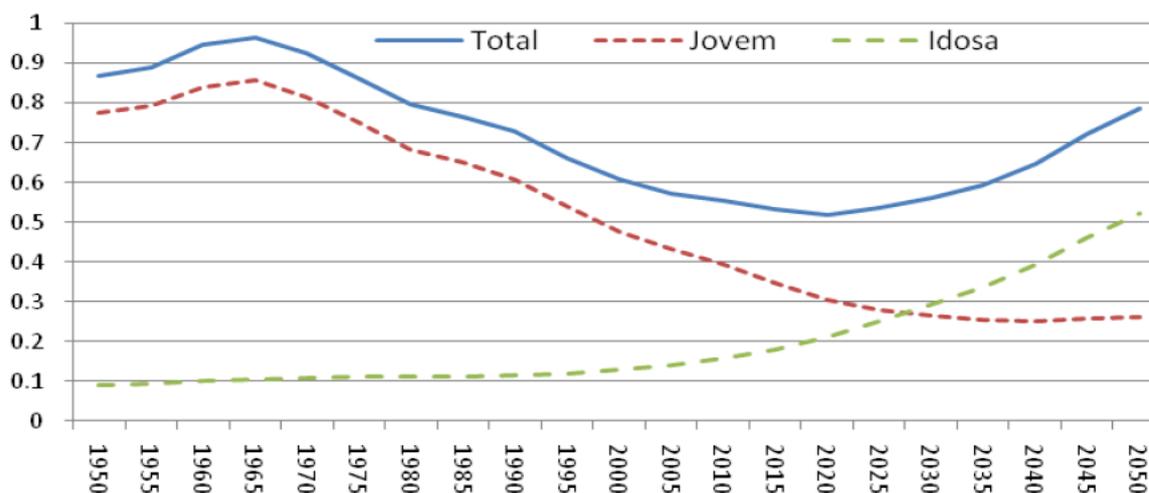
Por meio da análise da Figura 4, percebe-se de forma geral, que entre 1950 e 2050, há um estreitamento da base da pirâmide e um alargamento do topo, indicando o processo de envelhecimento da estrutura etária brasileira. Atualmente o Brasil está passando pelo chamado “bônus demográfico” ou “janela de oportunidade” que constitui a dinâmica da estrutura etária em que a percentagem de pessoas em idade ativa é igual ou maior que a percentagem da razão de dependência (ALVES, 2008).

A razão de dependência é definida pela literatura como a soma da população de crianças, adolescentes e idosos, dividida pela População em Idade Ativa (PIA). A soma das coortes de 0 a 14 anos pertence ao grupo de crianças e adolescentes, a soma das coortes de

15 a 64 anos compõe o grupo de adultos, e os idosos são a soma das coortes acima de 65 anos. Os grupos de 0 a 14 e acima de 65 anos são considerados como “dependentes”, enquanto o grupo entre 15 e 64 anos são aqueles considerados potencialmente produtivos e que compõem a PIA (ALVES, 2008).

Essas modificações na estrutura populacional podem levar a um crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* acima da produtividade, com efeito positivo na economia, caso esse bônus seja bem aproveitado do ponto de vista econômico. Além disso, a previsão da pirâmide etária para 2050 indica uma inversão da relação de dependência, devido ao declínio constante da taxa de natalidade, resultando em um crescimento decrescente da força de trabalho. E em associação, a queda da taxa de mortalidade provocará um crescimento da população idosa e, portanto, elevando a razão de dependência, conforme a Gráfico 3.

Gráfico 3 - Brasil: Razão de Dependência das Crianças, Idosos e Total 1950-2050.



Fonte: United Nations (2008).

Nota: A partir do ano de 2008 foram feitas projeções dos dados.

Segundo Brito (2008) até os anos de 1970, a Razão de Dependência Total (RDT) que mede a proporção de jovens e idosos em relação à PIA era elevada. Como exemplo disso, observa-se que RDT em 1960 era composta em sua maioria por jovens, cerca de 30 milhões, enquanto os idosos representavam apenas 1,9 milhões na RDT. Em 2000 a razão de dependência dos jovens era quase seis vezes maior que a de idosos. Com o processo de transição da estrutura demográfica em curso, a razão de dependência dos jovens e a dos idosos deverá ser praticamente idêntica até 2050.

Do ponto de vista demográfico, o momento em que o Brasil está passando ainda é favorável, uma vez que a maior parte da PIA é composta por pessoas que trabalham, geram receita, transferem renda por meio de impostos e contribuições, além de tecnicamente ser a parcela capaz de aumentar a poupança, pois produzem mais do que consomem. Entretanto, a realidade da economia brasileira é outra, pois existe uma quantidade expressiva de pessoas desocupadas. Dessa forma, a carga econômica dos ocupados é maior do que revela a razão de dependência demográfica. Todavia, se o bônus demográfico tivesse seguido as tendências observadas do período entre 1970-2010, poderia ser estendido até 2030, mas a condução das políticas macroeconômicas parece estar contribuindo para o fim precoce desse bônus (ALVES, 2015; ALVES; CAVENAGHI, 2019; BRITO, 2008; BRITO, 2014).

De acordo com o relatório do Banco Mundial (2011), essas mudanças na estrutura etária da população são importantes, uma vez que o comportamento econômico dos indivíduos varia de acordo com a idade. Assim, os padrões de consumo, a poupança, a renda e o trabalho dos indivíduos podem ser explicados pela teoria do ciclo de vida (MODIGLIANI, 1986). O ciclo de vida é dividido em três fases: na primeira, que é a pré-trabalho, os indivíduos consomem mais do que produzem; a segunda é a fase de trabalho, na qual os indivíduos produzem mais do que consomem e a última é a pós-trabalho, onde os indivíduos voltam a consumir mais do que produzem. Entretanto, as alterações na estrutura etária da população geram pressões sobre diferentes setores da economia, como no sistema de serviços públicos de saúde e previdência, oferta de mão de obra, investimento em capital humano, produtividade e previdência pública, consumo, crescimento econômico, além de pressões ambientais (CARVALHO *et al.*, 2017).

Dentre os fatores que compõem o comportamento econômico, as mudanças no padrão de consumo e seus efeitos é o que menos tem sido analisado (CARVALHO *et al.*, 2017), sobretudo quando esses efeitos causam impactos sobre o meio ambiente.

Uma importante linha de pesquisa tem buscado analisar essas mudanças no padrão de consumo, em específico, do setor de energia para verificar os possíveis impactos das mudanças na estrutura demográfica no crescimento econômico e, conseqüentemente, na qualidade ambiental. Tem-se como foco o consumo de energia devido às demandas diretas que esse impõe aos recursos naturais e serve como um indicador das pressões que as sociedades exercem na qualidade do meio ambiente.

2.4 IMPACTOS DA ESTRUTURA ETÁRIA NAS EMISSÕES DE CO₂

O consumo de energia tem sido utilizado como um indicador de pressões que a sociedade exerce sobre o meio ambiente, sobretudo os fatores que impulsionam as emissões de dióxido de carbono.

A preocupação inicial relacionada ao consumo de energia estava concentrada no crescimento populacional e na possível escassez do petróleo, principal fonte energética (HOLDREN, 1991; MAZUR, 1994). Com o passar do tempo, o foco passa para os fatores que impulsionam as emissões de poluentes, principalmente o dióxido de carbono, sendo este intimamente ligado ao consumo de energia (YORK, 2007).

Diante das mudanças na estrutura demográfica de diferentes países, os estudos têm se concentrado nas duas últimas décadas na forma em que os fatores subjacentes a essas mudanças (composição da estrutura etária da população, idade, tamanho do domicílio, envelhecimento, população em idade ativa, dentre outros) podem afetar o consumo de energia e a qualidade do meio ambiente. Nestes estudos, observa-se uma heterogeneidade no padrão de consumo de energia entre grupos etários de jovens e idosos de uma mesma população. Assim, Yamasaki e Tominaga (1997) analisaram os fatores que determinam o consumo de energia das famílias idosas do Japão, comparando-o com o consumo das famílias dos países Ocidentais e descobriram que o envelhecimento possui influência direta no consumo de energia, uma vez que a demanda por energia varia de acordo com a idade dos indivíduos.

Ademais, estudos realizados sobre diferentes países acerca das mudanças na estrutura demográfica indicam que o envelhecimento da população pode reduzir o consumo de energia e as pressões sobre o meio ambiente (DALTON *et al.*, 2007; GARAU *et al.*, 2013; KRONENBERG, 2011; O'NEILL *et al.*, 2012). Por outro lado, existem evidências de que o crescimento da população idosa pode aumentar o consumo de bens intensivos em energia e contribuir para uma piora da qualidade ambiental (CARVALHO *et al.*, 2017; HAMZA; GILROY, 2011; KRONENBERG, 2009).

Diante do exposto parece não haver consenso na literatura sobre os efeitos das mudanças na estrutura etária sobre o consumo de energia e as emissões de dióxido de carbono. Para Zhang *et al.* (2018), os diferentes resultados encontrados sobre os impactos da estrutura etária ocorreram porque os trabalhos anteriores não levaram em consideração o efeito direto e indireto dessa variável sobre o consumo de energia e a qualidade ambiental.

Assim, a fim de estimar tais efeitos, utilizaram o método de dois estágios, pois esse método estatístico permite separar o efeito total em efeito direto e efeito indireto. Dessa forma, os resultados encontrados sugerem que o efeito direto da estrutura etária sobre a qualidade ambiental é causado pelas mudanças no comportamento e nos hábitos de consumo de energia dos indivíduos durante o ciclo de vida. Já o efeito indireto da estrutura etária ocorre por meio da pressão que o crescimento econômico exerce sobre o meio ambiente.

2.4.1 O EFEITO DIRETO DA ESTRUTURA ETÁRIA NAS EMISSÕES DE CO₂

O efeito direto representa o impacto direto da estrutura etária no meio ambiente. Esse impacto ocorre quando a composição demográfica sofre alterações e há mudanças nos hábitos e preferências dos indivíduos (ZHANG *et al.*, 2018).

A heterogeneidade no padrão de consumo de energia entre jovens e idosos tem ganhado destaque na literatura. Hagemann e Nicoletti (1989) argumentam que alterações na estrutura etária provocam mudanças na estrutura de consumo e que a idade é um dos fatores determinantes das preferências. Alegam ainda que o processo de envelhecimento reduz a demanda por transportes, educação, bens duráveis, recreação e serviços domésticos, enquanto os gastos com alimentação e serviços de saúde aumentam. O relatório das Nações Unidas também caminha nesse sentido e ressalta que a demanda dos idosos por serviços de saúde, moradia e energia devem aumentar com o envelhecimento populacional. Enquanto gastos com bens de consumo básicos, alimentos e vestuário devem permanecer estáveis (UNITED NATIONS, 2007). Já os mais jovens e as gerações *baby boomers* são mais propensos ao consumo de bens duráveis, viagens e educação (HAMZA; GILROY, 2011).

Os estudos que relacionam consumo de energia a fatores demográficos têm encontrado evidências de que uma população envelhecida altera os níveis de consumo de energia, com isso os níveis de emissões de dióxido de carbono também se alteram. Para O'Neill e Chen (2002a) o consumo de energia doméstico para aquecimento, resfriamento, iluminação, uso de eletrodomésticos, transportes e outros serviços são influenciados diretamente por uma série de fatores demográficos como o tamanho da população, estrutura etária e o grau de urbanização. Outro fator que impacta diretamente o consumo de energia é o envelhecimento populacional (YAMASAKI; TOMINAGA, 1997).

Nessa direção, O'Neill e Chen (2002b) analisaram os efeitos de composição de domicílio e idade no consumo energia e de transportes para o caso dos Estados Unidos da

América (EUA), baseados em dados transversais dos anos 1993/1994. Encontraram evidências de que a composição do domicílio altera a demanda por energia. Em domicílios com número menor de moradores, o consumo de energia *per capita* é relativamente maior que em domicílios compostos por mais pessoas. Observaram ainda que o consumo de energia relacionado ao transporte é maior entre os indivíduos com idade entre 40 e 65 anos, após essa faixa de idade o consumo começa a reduzir. Em direção oposta, Liddle (2004) verificou que mudanças na demanda foram mais importantes que o efeito composição para explicar o consumo de energia e transportes nos EUA. Entretanto, mudanças na demanda de energia alteram os níveis de emissões e impactam a qualidade do meio ambiente.

Para Shi (2003), os impactos de variáveis demográficas sobre o consumo de energia na qualidade ambiental são óbvios, pois os indivíduos possuem demandas de energia para os elementos essenciais à vida. Além disso, quanto maior a população, maior deve ser o consumo de energia. Para comprovar sua teoria, realizou um estudo empírico com informações de 93 países, no período de 1975 a 1996, através do modelo de Impactos Estocásticos por Regressão na População, Afluência e Tecnologia (STIRPAT) e concluiu que mudanças na estrutura da população estão mais do que proporcionalmente associadas ao aumento das emissões de dióxido de carbono nas últimas décadas e que esse impacto é maior nos países em desenvolvimento que nos países desenvolvidos.

Nessa mesma linha, Cole e Neumayer (2004) examinaram o impacto de fatores demográficos nas emissões de dióxido de carbono para 86 países no período de 1975- 1998, através da versão estocástica IPAT, do modelo STIRPAT. Para medir esses impactos utilizaram a taxa de urbanização e o tamanho médio das famílias que até então eram negligenciadas nesse tipo de análise. Concluíram que o aumento da população causa um aumento proporcional nas emissões, enquanto um aumento da taxa de urbanização associado a uma redução no tamanho médio das famílias eleva os níveis de emissões. Além disso, encontraram evidências de que os países em desenvolvimento serão responsáveis por uma grande parcela das emissões globais.

Ao longo dos anos, os trabalhos passaram a desagregar a população e analisar como o envelhecimento altera o consumo de energia e emissões de poluentes, além de introduzir novas abordagens metodológicas. O estudo realizado por Kronenberg (2009) parte da premissa de que há mudanças no padrão geral de consumo com uma proporção maior de idosos, dado que há diferenças de comportamento entre os consumidores deste grupo etário em relação aos grupos mais jovens. Realizou-se a estimação de um o modelo de Insumo-

Produto para identificar o impacto das mudanças demográficas no consumo de energia e nas emissões de gases de efeito estufa na Alemanha, com recorte do perfil de consumo por faixa etária. Os resultados encontrados evidenciam que mudanças no padrão de consumo das famílias mais velhas aumentam a participação total das emissões de GEE até 2030, sendo assim, tais mudanças não vão contribuir para a redução do consumo de energia.

O trabalho de Okada (2012) analisa os efeitos de um aumento da população idosa no meio ambiente relacionado ao transporte rodoviário para 25 países da OCDE, no período de 1978-2008, para isso aplicou uma função quadrática na equação diferencial de primeira ordem. Os resultados indicam a existência de uma relação quadrática entre emissões de CO₂ *per capita* e a parcela da população idosa, isso significa que um aumento relativo da população idosa nos países membros da OCDE está associado à redução nas emissões de dióxido de carbono, quando a população idosa for superior a 16% do total da população. Também, Menz e Welsch (2012) investigaram a relação do envelhecimento populacional com as emissões de dióxido de carbono para 26 países da OCDE entre 1960 e 2005. Para tanto, foi utilizado o método EF e incluíram variáveis de composição etária e de coortes da população. Concluíram que o envelhecimento da população, as mudanças na composição da estrutura etária e das coortes contribuíram para o aumento das emissões de CO₂ nos países analisados.

Para o caso brasileiro, Pessanha e Leon (2013) relacionaram o consumo de energia elétrica às mudanças na estrutura demográfica por idade do chefe do domicílio, no período de 1994 a 2018, valendo-se de um modelo de regressão multinomial para gerar previsões. Observaram que a maior difusão dos eletrodomésticos e o envelhecimento da população contribuíram para o aumento da demanda *per capita* na classe residencial, enquanto domicílios com menor número de moradores apresentaram uma redução na demanda de energia.

Ainda sobre o Brasil, Carvalho *et al.* (2017) examinaram os impactos das mudanças demográficas nas emissões de gases de efeito estufa, através de uma análise insumo-produto para quinze setores produtivos, utilizando os dados da Pesquisa de Orçamento Familiar (POF), de 2008/2009, e dividiram a população em seis grupos etários. As informações da POF mostram que o consumo entre os jovens e idosos é heterogêneo, os gastos dos idosos com saúde, alimentação, energia e serviços relacionados a cuidados do idoso são relativamente maiores que entre os grupos mais jovens. Nos grupos mais jovens, a demanda maior é por educação, transporte, produtos têxteis e vestuário. Além disso, as projeções para

2050 indicam que as mudanças no padrão levarão ao consumo mais intensivo em poluição, em especial dos grupos de idosos.

Do exposto, poucos estudos têm considerado os efeitos das mudanças na estrutura etária no consumo de energia e nas emissões de dióxido de carbono, sobretudo o efeito direto e o efeito indireto. Outra questão levantada está relacionada aos métodos utilizados que muitas vezes não são apropriados para separar os efeitos, gerando estimativas enviesadas e inconsistentes dos resultados (ZHANG *et al.*, 2018).

2.4.2 O EFEITO INDIRETO DA ESTRUTURA ETÁRIA NAS EMISSÕES DE CO₂

O efeito indireto da estrutura etária nas emissões de CO₂ se dá por meio do crescimento econômico, assim a relação entre o crescimento econômico e emissões pode apresentar uma relação não linear.

De acordo com Zhang *et al.* (2018), o efeito indireto da estrutura etária sobre as emissões de CO₂, ocorre por meio de diferentes níveis de renda e da relação entre crescimento econômico e emissões de poluentes. Porquanto, transformações na estrutura etária de uma população afetam o crescimento econômico, por conseguinte, modifica o consumo de energia e o aumento da poluição. Este tema será abordado na subseção a seguir.

2.4.2.1 O impacto da estrutura etária no crescimento econômico

O comportamento de consumo das pessoas varia dentro do ciclo de vida e as mudanças na composição etária de uma população são capazes de influenciar de modo significativo o crescimento econômico, conforme a literatura analisada. Segundo Bongaarts (2009) para avaliar estes impactos é importante considerar a razão de dependência na estrutura etária, pois um aumento no número de jovens e idosos pode desacelerar o ritmo do crescimento econômico, enquanto um aumento das coortes em idade ativa pode acelerá-lo.

Um importante estudo a relacionar os efeitos da estrutura etária com variáveis econômicas foi desenvolvido por Fair e Dominguez (1987). Neste trabalho os autores investigam as influências da estrutura etária dos Estados Unidos no consumo, investimento em moradia, demanda por moeda e participação na força de trabalho. A hipótese de que a idade é importante para explicar mudanças no padrão de consumo é consistente com a teoria do ciclo de vida. Assim, as pessoas consomem menos renda durante a idade ativa, por outro

lado, os mais jovens e os idosos consomem mais do que são capazes de produzir. Esta relação também ocorre com o investimento em habitação, além disto, os mais idosos costumam guardar dinheiro em espécie o que aumenta o custo das transições que realizam.

Bloom e Williamson (1998) observaram que a transição demográfica da Ásia Oriental contribuiu para as transformações econômicas, ampliando a capacidade produtiva *per capita* do Leste Asiático, uma vez que o aumento da população em idade ativa foi maior que o da população dependente no período de 1965 a 1990. Ainda argumentam que um aumento crescente da população em idade ativa reduz a renda *per capita* nessa faixa etária. Por outro lado, a maior proporção de ativos na população total reduz a razão de dependência, enquanto uma redução da taxa de dependência aumenta a poupança agregada (BLOOM *et al.*, 2003). Nessa mesma perspectiva Bloom e Canning (1999) sugerem que o boom econômico no Leste Asiático foi possível devido ao crescimento da população em idade ativa da Ásia Ocidental superar em cerca de dez vezes a população dependente.

Contudo, Bloom e Finlay (2009) verificaram que as transformações econômicas do Leste Asiático, não são explicadas apenas pela dinâmica demográfica, outros fatores como a abertura comercial, as taxas de poupança, a acumulação de capital e política macroeconômica contribuíram para o desempenho econômico de Leste Asiático. Além disso, afirmam serem necessárias políticas públicas para compensar o efeito negativo do envelhecimento populacional no crescimento econômico, uma vez que o aumento da expectativa de vida gera demanda por renda de aposentadoria. O estudo de Mason *et al.* (2009) sugere que em certas condições o aumento da demanda por renda pode levar ao aumento do capital por trabalhador e ao maior consumo *per capita*.

Bloom *et al.* (2010) investigaram a contribuição das mudanças demográficas no crescimento econômico da China e da Índia entre 1960 e 2000. Os resultados mostram que o aumento da população acima de 60 anos de idade irá reduzir a participação da força de trabalho e as taxas de poupança, o que pode levar a uma desaceleração do crescimento econômico. Golley e Tyers (2013) também examinaram o comportamento demográfico no desempenho econômico da China e da Índia no período de 2000-2030. Para gerar cenários alternativos de fecundidade utilizaram um modelo econômico global que incorpora o comportamento demográfico total e medidas de dependência. Assim, observaram que uma redução da dependência na renda real dos jovens na China não será compensada, pois haverá um aumento da dependência dos idosos. Na Índia, o índice de dependência será ainda menor,

apesar do aumento inicial da fecundidade ter efeito positivo sobre o PIB, ela também reduz a renda *per capita*.

A China se tornou referência nos estudos que examinam as implicações demográficas no crescimento econômico. Os trabalhos mais recentes têm explorado essa relação utilizando dados desagregados a nível provincial. Além disso, para representar a estrutura demográfica utilizam a proporção da população em idade ativa para verificar o efeito da estrutura etária no crescimento econômico, pois parece haver correlação positiva entre população em idade ativa e crescimento econômico.

Wei e Hao (2010) analisam o efeito das mudanças demográficas sobre o crescimento na China para o período de 1989 a 2004, incorporando a estrutura etária para cada província. Assim, encontraram evidências de que a redução do número de dependentes mais jovens ocasionados pelo declínio da fecundidade impulsionou o crescimento econômico, a partir de 1989. Observaram também que o efeito da mudança demográfica no crescimento econômico é ainda maior em províncias mais abertas às forças de trabalho. Liu e Hu (2013) também examinam essa relação para o período de 1983-2008. Os resultados encontrados mostram que a participação da população em idade ativa e o crescimento econômico são positivamente correlacionados, enquanto a taxa de natalidade apresentou uma correlação negativa. O efeito conjunto de redução nas taxas de natalidade e aumento da população em idade ativa proporcionou elevação 19,5% nas taxas de crescimento econômico da China, no período analisado. Nesse sentido, Zhang *et al.* (2015 a) ao estudarem o papel da estrutura demográfica para 28 províncias no período de 1990-2005, descobriram que tanto o tamanho quanto a composição demográfica da população em idade ativa se correlacionam de forma positiva com as taxas de crescimento econômico. Também, quase um quinto do crescimento do PIB *per capita* da China foi resultado das modificações da estrutura etária, em sua maior parte das mudanças na composição. Zhang *et al.* (2015b) alertam para a necessidade de planejamento que leve em consideração o ciclo de vida, porquanto este pode afetar o consumo de energia e a qualidade ambiental.

Ao considerarem os possíveis impactos do consumo de energia sobre a qualidade do meio ambiente, Zhang *et al.* (2018) utilizaram a proporção da população em idade ativa para verificar o efeito da estrutura etária nas emissões de CO₂ da China, o efeito total foi dividido em efeito direto e indireto. Os resultados mostram que o efeito direto da participação da população em idade ativa se relaciona positivamente com as emissões de dióxido de carbono, enquanto o efeito indireto depende do nível de renda, uma vez que parece haver uma relação

na forma de U invertido entre emissões e renda. O efeito total do crescimento econômico está positivamente correlacionado com as emissões de CO₂ de proporção da população em idade ativa. Dessa forma, o envelhecimento populacional é prejudicial ao crescimento econômico no longo prazo, mas pode aliviar em certa medida as pressões ambientais da China.

Como observado nos estudos supracitados, a população em idade ativa tem um papel importante no crescimento econômico. Em direção oposta, o envelhecimento parece ter uma correlação negativa com o crescimento econômico, como sugere a teoria do ciclo de vida, os idosos consomem mais do que sua capacidade de produção. Do ponto de vista da qualidade do meio ambiente, ainda não há um consenso dos efeitos do envelhecimento nas emissões de dióxido de carbono. Para Zhang *et al.* (2015 a) e Golley e Zheng (2015), ao verificar a relação entre estrutura etária e crescimento econômico, a população em idade ativa deve ser utilizada para representar a estrutura da população, pois reflete com precisão a população dependente. Além disso, estudar impactos de uma população em envelhecimento sem levar em consideração a PIA, pode gerar resultados tendenciosos (PENG, 2011). Diante disso, esta pesquisa irá utilizar a proporção da população em idade ativa como uma medida de dependência para verificar o efeito das mudanças demográficas sobre o crescimento econômico e sobre emissões de CO₂ para o caso do Brasil.

2.4.2.2 O impacto do crescimento econômico no consumo de energia e nas emissões de CO₂

Os efeitos adversos do crescimento econômico sobre o consumo de energia e nas emissões têm sido explorados por pesquisadores em diferentes partes do mundo. Os estudos empíricos têm-se baseado em uma importante linha de pesquisa que se desenvolveu nas últimas décadas, que é a da “Curva Ambiental de Kuznets - CAK”. A hipótese apresentada nesta teoria sugere que nos estágios iniciais do desenvolvimento econômico as emissões são crescentes, contudo, após atingir determinado nível de renda elas passam a ser decrescentes em termos *per capita*.

A origem da CAK parte do estudo desenvolvido por Kuznets (1955) em que analisa a relação entre crescimento econômico e a desigualdade de renda entre países. Conforme a teoria desenvolvida, a desigualdade aumenta no período de transição de economias agrícolas para industriais, com o aumento da renda nas economias industriais essa tendência seria invertida.

O primeiro estudo a partir da CAK, proposto por Grossman e Krueger (1991), utilizaram um painel de dados para vários países e três poluentes e concluiu que as emissões podem não apresentar uma relação linear com a renda. Assim, os poluentes utilizados no estudo responderam positivamente ao crescimento da renda até US\$ 10,800, após atingir esse valor observou-se que as emissões declinaram. Em suma, a hipótese da CAK sugere que a relação entre poluição ambiental e crescimento econômico se assemelha ao formato de U invertido. A explicação para essa relação se baseia na transição dos padrões produtivos agrícolas considerados limpos nos estágios iniciais do crescimento, para padrões intensivos em poluentes no modelo industrial, quando as emissões aumentam. As emissões passam a decrescer após atingir um novo estágio de desenvolvimento, quando a conscientização da população relacionada à qualidade do meio ambiente aumenta. De acordo com Selden e Song (1994), outros fatores que contribuem para explicar esta relação são as alterações nas estruturas produtivas e de consumo, abertura comercial, tecnologia e o surgimento de leis ambientais.

A partir dos achados de Grossman e Krueger (1991), outros pesquisadores examinaram a relação empírica entre poluentes e renda e encontraram resultados similares. Shafik e Bandyopadhyay (1992) utilizaram dez indicadores para medir a qualidade da água e do ar e concluíram que um aumento da renda poderia reduzir as emissões de dióxido de carbono, quando fossem alcançados US\$ 8.600 *per capita*. Panayotou (1993) examinou a relação entre a renda, desmatamento e emissões de poluentes e encontrou evidências de pontos de inflexão para as variáveis ambientais. Selden e Song (1994), ao analisar quatro poluentes para países com diferentes níveis de renda, descobriram que as emissões de dióxido de carbono poderiam ser reduzidas com o crescimento da renda.

Embora diversos estudos tenham encontrado evidências da CAK na relação entre poluentes e renda, Stern *et al.* (1996) apresenta críticas aos estudos por não considerar o efeito feedback da poluição para a renda¹⁰. Além disso, consideraram que as estimativas poderiam estar enviesadas pela limitação dos dados utilizados e pela ausência de variáveis como comércio internacional e o consumo de energia no modelo. A partir de então, as pesquisas passaram a incorporar novas variáveis como o consumo de energia, abertura comercial e outras, para testar a validade da CAK.

¹⁰ A renda *per capita* pode ser endógena na função CAK.

Suri e Chapman (1998) testaram a validade da CAK para a relação entre o crescimento econômico, o comércio e consumo de energia. Observaram que a variável de comércio eleva o ponto de inflexão dos poluentes pelo consumo de energia. O aumento do consumo de energia nos países em industrialização foi maior que nos países industrializados, por causa das exportações de produtos manufaturados do primeiro grupo para o segundo grupo de países, ocasionando elevação nas emissões de poluentes dos países em processo de industrialização.

Muhammad *et al.* (2012) estudaram a relação da renda e do consumo de energia com as emissões de poluentes na Romênia, concluíram que a renda e o consumo de energia foram importantes para explicar as emissões no país. Lau, Chong e Eng (2014) encontraram evidências da CAK para o efeito da renda e do comércio sobre as emissões da Malásia. Descobriram ainda que a qualidade ambiental do país piorou devida à intensidade do comércio. Muitos outros trabalhos (APERGIS, 2016; AUFFHAMMER; CARSON, 2008; LI *et al.*, 2016; MUHAMMAD; SHAHBAZ *et al.*, 2012; SUGIAWAN; MANAGI, 2016; TIWARI, 2012; TAO *et al.*, 2008; YOU, 2013; ZHANG *et al.*, 2015a; ZHANG *et al.*, 2015a; ZHANG *et al.*, 2018) buscaram relacionar essas variáveis de poluentes, crescimento econômico, abertura comercial e consumo de energia para diversos países. Contudo, mesmo existindo uma gama de estudos que buscam verificar a existência da CAK, as estimativas dos resultados muitas das vezes são enviesadas e inconsistentes, seja pela utilização de técnicas inapropriadas e ou pela limitação dos dados disponíveis (DINDA, 2004; STERN, 2004).

Para Stefanski (2013) atribuir todas as causas da poluição ao crescimento econômico pode ser errôneo, devem ser incorporadas outras variáveis capazes de afetar a estrutura econômica de um país. Nesse sentido, Zhang *et al.* (2018) salientam que quando se trata da CAK, outros fatores devem ser incorporados na análise como as mudanças demográficas, reestruturação econômica e a qualidade ambiental. Nesta pesquisa, busca-se explorar os impactos das mudanças demográficas no meio ambiente utilizando a proporção da população em idade ativa.

Sabe-se que embora a literatura internacional tenha avançado nos estudos que exploram a relação da população com o meio ambiente, a literatura nacional apresenta escassez de trabalho. Não há estudos empíricos para o Brasil com níveis de desagregação que relacionem a proporção da população em idade ativa com as emissões de dióxido de carbono pelo consumo de energia. Os poucos estudos encontrados apresentam lacunas, pois consideram apenas algum aspecto da estrutura demográfica no crescimento econômico ou na

qualidade ambiental (ALVES, 2004; ALVES; BRUNO, 2006; CARVALHO *et al.*, 2017; LAZARETTI; SOUZA, 2018; PAIVA; WAJNMAN, 2005; SATHLER, 2016). Em específico, a hipótese da CAK foi verificada apenas a nível nacional ou para determinado local no Brasil (ALAM *et al.*, 2016; PAO; TSIA, 2011; ZAMBRANO-MONSERRATE *et al.*, 2016). De acordo com Zhang *et al.* (2018), ainda são escassos estudos que abordam os efeitos diretos e indiretos da população no meio ambiente. Além disso, as metodologias empregadas nestes estudos nem sempre são capazes de capturar tais efeitos.

Dessa forma, este estudo busca investigar a relação entre população em idade ativa e as emissões de dióxido de carbono pelo consumo de energia no Brasil, através de uma estrutura empírica adequada para verificar os efeitos diretos e indiretos da estrutura demográfica na qualidade do meio ambiente, porque está em curso um processo rápido de envelhecimento da população brasileira, o que justifica a necessidade de estudos que abordam essa relação de dependência e seu impacto sobre a poluição.

A Quadro 1 apresenta um resumo das aplicações empíricas dos estudos sobre a estrutura demográfica, o crescimento econômico, o consumo de energia e emissões de CO₂.

Quadro 1 - Aplicações empíricas de estudos sobre estrutura demográfica, crescimento econômico, consumo de energia e emissões de CO₂

(continua)

| Autores | Variáveis | Regiões e períodos | Técnicas econométricas | Resultados |
|-------------------------------|---|-------------------------------|---|--|
| Efeito Direto | | | | |
| Carvalho <i>et al.</i> (2017) | Emissões de CO ₂ , setores produtivos da economia e estrutura demográfica por faixa de idade. | Brasil (2008/2009) | Matriz insumo produto. | A relação entre envelhecimento, consumo de energia e emissões de CO ₂ é positiva. |
| Pessanha e Leon (2013) | Renda média domiciliar, consumo de energia elétrica, número de domicílios e idade do chefe do domicílio. | Brasil (1994-2018) | Modelo <i>ordered logit</i> . | Aumento da população idosa se relaciona positivamente com o consumo de energia elétrica. |
| Menz e Welsch (2012) | Emissões de dióxido carbono, renda <i>per capita</i> , tamanho da população, composição etária (idade e coortes), taxa de urbanização. | 26 países da OCDE (1960-2005) | Modelo de regressão quadrático, método de MQO. | Relação positiva das mudanças na idade e coortes com as emissões de dióxido de carbono. |
| Okada (2012) | Emissões de CO ₂ <i>per capita</i> , parcela da população idosa, renda <i>per capita</i> , indicador de preços de combustível. | 25 países da OCDE (1978-2008) | Método de Mínimos Quadrados Ordinário, modelo de efeitos fixos. | Associação negativa do crescimento da população idosa com as emissões. |
| Kronenberg (2009) | Emissões de CO ₂ , emissões de CH ₄ , emissões de N ₂ O, setores de produção da economia, consumo por faixa etária da família. | Alemanha (2006-2030) | Modelo de insumo-produto. | Efeito positivo do aumento da população com a emissões de poluentes. |
| Cole e Neumayer (2004) | Emissões de CO ₂ , emissões de SO ₂ , taxa de urbanização, tamanho médio das famílias, intensidade de energia, PIB <i>per capita</i> , manufatura (% PIB), população total, % população <14 anos, população entre 15-64 anos. | 86 países (1975- 1998) | IPAT do modelo STIRPAT. | Efeito positivo da PIA, PIB <i>per capita</i> e intensidade energética nas emissões. |

Quadro 1 - Aplicações empíricas de estudos sobre estrutura demográfica, crescimento econômico, consumo de energia e emissões de CO₂

(continuação)

| Autores | Variáveis | Regiões e períodos | Técnicas econométricas | Resultados |
|--|--|----------------------------|---|---|
| Efeito Direto | | | | |
| Shi (2003) | Emissões de CO ₂ , PIB <i>per capita</i> , manufatura (% PIB), serviços (% PIB), Não comercializáveis (% PIB), população total e PIA. | 93 países (1975-1996) | Modelo STIRPAT. | PIA positivamente relacionada as emissões. |
| O'neill e Chen (2002b) | Número de moradores, idade, consumo de energia elétrica, consumo de combustível. | Estados Unidos (1993/1994) | IPAT do modelo STIRPAT. | Consumo de energia maior em domicílios com menor número de moradores e menor consumo de combustível no grupo de pessoas com idade acima de 65 anos. |
| Efeito Indireto | | | | |
| Impactos da estrutura etária nas emissões de CO₂ | | | | |
| Zhang <i>et al.</i> (2018) | Emissões de CO ₂ <i>per capita</i> , taxa de urbanização, densidade demográfica, valor adicionado da indústria, abertura comercial estoque de capital <i>per capita</i> . | China (1995-2012) | Modelo de regressão de dois estágios, método GMM. | PIA se relaciona negativamente com o crescimento econômico. A relação entre emissões e crescimento econômico possui a forma de U invertido. |
| Zhang <i>et al.</i> (2015 a) | Razão idade coorte, PIA, renda <i>per capita</i> , coeficiente de Gini, abertura comercial e densidade de entrada. | China (1990-2005) | Modelo de crescimento econômico, método de variáveis instrumentais. | Tamanho e composição da PIA se relaciona positivamente com o crescimento econômico. |
| Golley e Tyers (2013) | Estoque de capital, força de trabalho, fecundidade, salário real, abertura comercial e renda real <i>per capita</i> . | China e Índia (2000-2030) | Modelo de crescimento de Solow-Swan, | O aumento da fecundidade eleva o PIB, mas reduz a renda <i>per capita</i> . |
| Bloom <i>et al.</i> (2010) | População idosa, taxa de poupança, força de trabalho e renda. | China e Índia (1960-2000) | Modelo de crescimento, método de MQO. | Aumento da população idosa se relaciona negativamente com o crescimento econômico. |

Quadro 1 - Aplicações empíricas de estudos sobre estrutura demográfica, crescimento econômico, consumo de energia e emissões de CO₂

(conclusão)

| Autores | Variáveis | Regiões e períodos | Técnicas econométricas | Resultados |
|---|---|--|---|---|
| Efeito Indireto | | | | |
| Impactos da estrutura etária nas emissões de CO ₂ | | | | |
| Bloom e Williamson (1998) | Taxa de crescimento populacional, taxa de crescimento por faixa de idade, taxa de natalidade, taxa de mortalidade, renda <i>per capita</i> , escolaridade, expectativa de vida, exportação de produtos primários, poupança do governo, qualidade das instituições governamentais e acesso ao litoral. | Leste Asiático (1965-1990) | Modelo de crescimento Solow-Swan, método de Mínimos Quadrados Ordinários. | Mudanças demográficas impactam o crescimento econômico. O rápido crescimento da PIA reduz a renda <i>per capita</i> dessa faixa etária. |
| Impactos do crescimento econômico no consumo de energia e nas emissões de CO ₂ | | | | |
| Alam <i>et al.</i> (2016) | Emissões de CO ₂ , renda (PIB) <i>per capita</i> ; uso de energia <i>per capita</i> . | Índia, Indonésia, China e Brasil (1970-2012) | Modelo Autoregressive distributed lag (ARDL). | Relação monotônica crescente para a Índia. Relação monotônica decrescente para Brasil, China e Indonésia. |
| Zambrano-Monserrate <i>et al.</i> (2016) | Emissões de CO ₂ , PIB <i>per capita</i> , produção de energia pelas hidrelétricas e uso de energia. | Brasil (1971-2011) | Modelo Autoregressive distributed lag (ARDL). | Relação entre emissões de CO ₂ tem forma de U invertido. |
| Pao e Tsia (2011) | Emissões de CO ₂ , PIB real, consumo de energia. | Brasil (1980 -2007) | Modelo autoregressive integrated moving average (ARIMA) | Relação entre emissões de CO ₂ tem forma de U invertido. |

Fonte: Elaborado pela autora.

3 CONSUMO ENERGÉTICO, CRESCIMENTO ECONÔMICO E ESTRUTURA DEMOGRÁFICA NO BRASIL

3.1 RELAÇÃO ENTRE ESTRUTURA DEMOGRÁFICA E CONSUMO DE ENERGIA

A estrutura demográfica brasileira tem apresentado importantes alterações nas últimas décadas. A tendência demográfica observada consiste na redução contínua da população mais jovem e no aumento da concentração da população em idade ativa. Com relação à população idosa, as baixas taxas de fecundidade aliadas ao aumento da expectativa de vida indicam uma maior taxa de crescimento do grupo de idosos em relação aos demais grupos etários. No geral, a população brasileira exibe uma taxa de crescimento cada vez menor e poderá se tornar negativa nas próximas décadas. De acordo com York (2007), essa tendência certamente deixará poucos aspectos da sociedade inalterados.

Essas mudanças estão ocorrendo em diversas partes do mundo em diferentes níveis. Nos países que compõem a União Europeia, nos quais as mudanças na estrutura demográfica tiveram início, o envelhecimento populacional tem gerado preocupações sobre as demandas de uma população envelhecida, uma vez que o comportamento e os hábitos de consumo se modificaram junto com essas mudanças na estrutura etária desses países.

Para York (2007) as mudanças na estrutura demográfica apresentam-se como o principal impulsionador do consumo de energia. Para demonstrar essa relação, analisou as modificações na estrutura demográfica e o consumo de energia para quatorze países da União Europeia no período de 1960 a 2000. Os resultados mostram que o tamanho da população e a estrutura etária possuem efeitos diretos no consumo de energia. Além disso, argumenta que existem razões que levam a crer que uma população com alta proporção no número de idosos consome mais energia que uma denominada jovem. Assim como York, O'neill e Chen (2002 a) atribuem o maior consumo de energia por parte dos idosos aos tamanhos menores dos domicílios e ao consumo de produtos intensivos em energia.

Zhang *et al.* (2018), ao estudar os efeitos da estrutura demográfica nas emissões de CO₂ da China, encontraram evidências de que a composição da estrutura demográfica e as mudanças nos hábitos de consumo entre as diferentes faixas etárias são capazes de influenciar diretamente o consumo de energia. A estrutura etária da população pode ainda afetar a estrutura da economia e gerar consequências sobre o consumo de energia e, por fim, afetar a

qualidade ambiental, especialmente pelas emissões de dióxido de carbono, principal gás de efeito estufa.

Para verificar os impactos da estrutura etária relacionados ao padrão de consumo nas emissões de dióxido de carbono no Brasil, Carvalho *et al.* (2017) utilizaram os dados da Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) de 2008/2009. Para tanto, os dados da população foram desagregados em seis grupos etários e analisaram-se os gastos das famílias para quinze produtos, conforme pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição dos gastos das famílias segundo tipos de domicílio no Brasil, agregada para 15 produtos (em %)

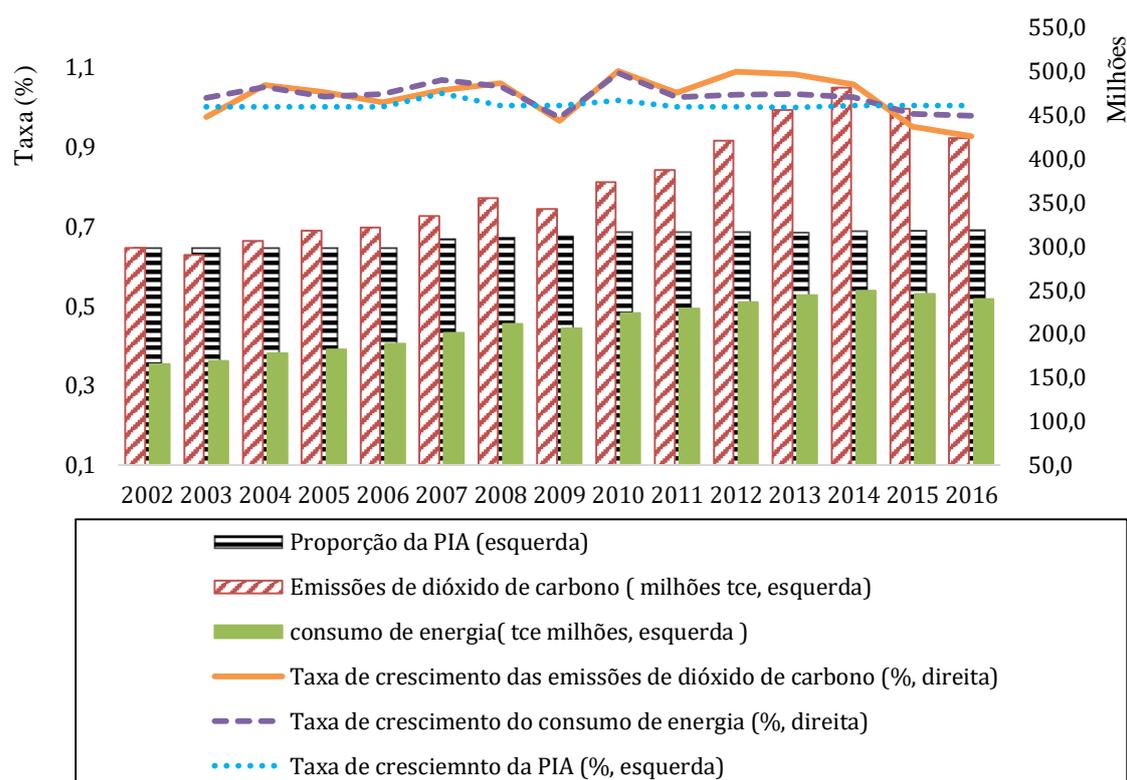
| Produtos | Grupos etários | | | | | |
|--------------------------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | <=29 | 30-39 | 40-49 | 50-59 | 60-69 | 70+ |
| Alimentos | 14.29 | 14.25 | 13.93 | 14.02 | 15.70 | 18.69 |
| Texteis e vestuário | 7.48 | 6.66 | 6.71 | 5.68 | 5.39 | 5.03 |
| Combustíveis | 9.65 | 9.67 | 9.66 | 9.83 | 9.02 | 7.66 |
| Etanol | 0.49 | 0.57 | 0.74 | 0.76 | 0.66 | 0.40 |
| Transporte | 4.72 | 4.17 | 4.13 | 4.08 | 3.48 | 2.94 |
| Saúde | 3.44 | 3.52 | 4.23 | 4.98 | 8.10 | 11.06 |
| Duráveis | 24.25 | 25.22 | 23.80 | 22.32 | 20.05 | 15.61 |
| Outras indústrias | 8.73 | 8.03 | 7.41 | 6.84 | 6.93 | 6.98 |
| Energia | 2.82 | 3.10 | 3.32 | 3.44 | 3.81 | 4.43 |
| Água | 1.14 | 1.11 | 1.15 | 1.20 | 1.43 | 1.77 |
| Educação | 2.12 | 2.58 | 3.20 | 3.09 | 2.05 | 0.99 |
| Intermediação financeira e seguros | 2.15 | 2.88 | 3.32 | 4.54 | 5.67 | 7.10 |
| Serviços | 8.44 | 8.97 | 10.15 | 10.94 | 10.86 | 11.28 |
| Serviços de alojamento e alimentação | 9.16 | 8.42 | 7.42 | 7.52 | 6.15 | 5.33 |
| Serviços imobiliários e aluguel | 1.13 | 0.86 | 0.84 | 0.77 | 0.70 | 0.73 |
| Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

Fonte: Carvalho *et al.* (2017)

Observa-se uma maior participação dos alimentos (em média 17,2% do orçamento), cuidados de saúde (11,06%), energia (4,43 %) e serviços (11,28 %) para os grupos etários mais velhos. Já os grupos mais jovens, alocam maior parte de suas despesas com produtos têxteis e vestuários, transporte e educação. As projeções para 2050 indicam que o envelhecimento populacional levará a um consumo mais intensivo em emissões por parte dos idosos. Enquanto os grupos etários com 39 anos ou menos devem responder apenas por 13% das emissões totais (CARVALHO *et al.*, 2017).

Como exposto, nota-se uma heterogeneidade no padrão de consumo entre os grupos etários. Além disso, os grupos idosos parecem ter consumo médio de energia maior que os demais grupos. Diante do objetivo desta pesquisa, o Gráfico 4 apresenta de forma simultânea a proporção da população em idade ativa, o consumo de energia e as emissões de dióxido de carbono e suas taxas de crescimento anual para o Brasil no período de 2002-2016.

Gráfico 4 - Relação entre a proporção da PIA, consumo de energia e emissões de dióxido de carbono e suas taxas no período de 2002-2016.



Fonte: Elaborado a partir dos dados do IBGE (2019), SEEG e EPE (2018).

Notas: Os dados referentes a proporção da população em idade ativa foram compilados no IBGE vinculado ao Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Os dados sobre o consumo de energia foram obtidos através da Empresa de Pesquisa Energética. Os dados sobre emissões de dióxido de carbono foram coletados no Sistema de Estimativas de Emissões de Gases. As taxas de crescimento anual foram calculadas pela autora.

Nota-se no Gráfico 4 uma tendência semelhante das taxas de crescimento das três variáveis. Como salientado por Zhang *et al.* (2018), a população em idade ativa parece estar intimamente relacionada às emissões de dióxido de carbono, por meio do crescimento econômico e das mudanças nos padrões de consumo de energia. A partir de 2009 observa-se um aumento das emissões pelo consumo de energia, ano em foi aprovada a Política Nacional sobre Mudança do Clima, quando o Brasil, de forma voluntária, assumiu o compromisso de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em quase 40% das emissões projetadas até o

ano de 2020. O crescimento das emissões nesse período se deve especialmente ao aumento do consumo de gasolina e diesel, além da expansão na geração termelétrica. No período de 2010 a 2014, a crise hídrica junto à política de preços de combustíveis que desestimulou o consumo de etanol foram os principais responsáveis pelo crescimento das emissões. Nos dois últimos anos da série verifica-se uma redução das emissões, com o desaquecimento da economia, a geração de eletricidade foi reduzida e houve um aumento da participação de fontes de energia renovável (SEEG, 2018).

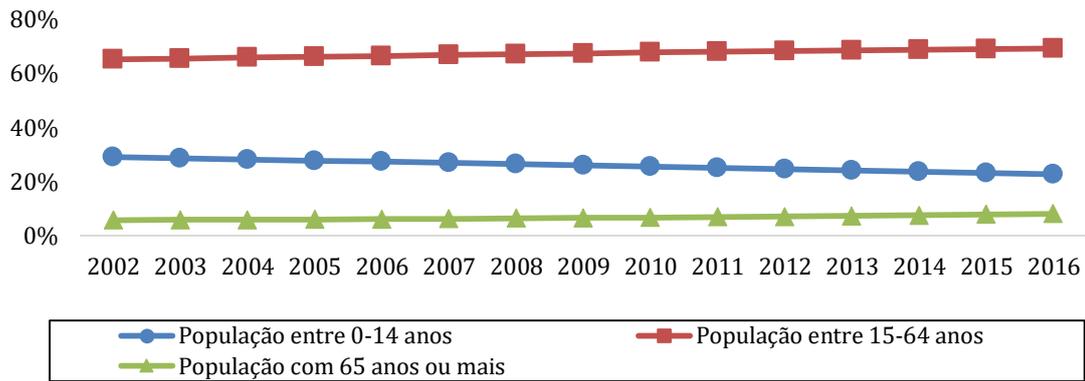
3.2 ESTRUTURA DEMOGRÁFICA E CRESCIMENTO ECONÔMICO

Zhang *et al.* (2015a) argumentam que os estudos sobre dinâmica demográfica e crescimento econômico têm falhado ao analisar apenas o efeito do crescimento populacional e negligenciado os componentes demográficos, especificamente as mudanças na estrutura etária. Tendo em vista que as profundas mudanças na estrutura etária, subjacentes da transição demográfica, podem afetar o desempenho econômico através da produção *per capita* por três motivos. Sendo o primeiro, onde a mudança no número de indivíduos em idade ativa tem efeito contábil no produto *per capita*. O segundo, as mudanças na estrutura etária podem afetar o produto *per capita* através do capital humano, da participação da força de trabalho e do consumo que são comportamentos inerentes à idade. Já, o terceiro, a estrutura etária da força de trabalho pode afetar a produtividade média por trabalhador, através do capital humano direcionado à modernização da indústria (BLOOM *et al.*, 2003; HAN; SUEN, 2011; KELLEY; SCHMIDT, 2005).

Para verificar os efeitos da transição demográfica no crescimento econômico, estudiosos realizaram pesquisas em diferentes países e encontraram evidências de que a população em idade ativa possui correlação positiva com o crescimento econômico (BLOOM *et al.*, 2010; BLOOM; WILLIAMSON, 1998; FEYRER, 2007; GOLLEY; ZHENG, 2015; GÓMEZ; DE COS, 2008; LINDH; MALMBERG, 1999; ZHANG *et al.*, 2015a; ZHANG *et al.*, 2018).

A estrutura demográfica do Brasil nas últimas décadas tem apresentado importantes mudanças. O Gráfico 5 ilustra a evolução da população brasileira jovem de 0-14 anos, em idade ativa entre 15 - 64 anos e de idosos com 65 anos ou mais para o período de 2002 a 2016.

Gráfico 5 - Proporção da população total do Brasil por faixa etária, 2002-2016

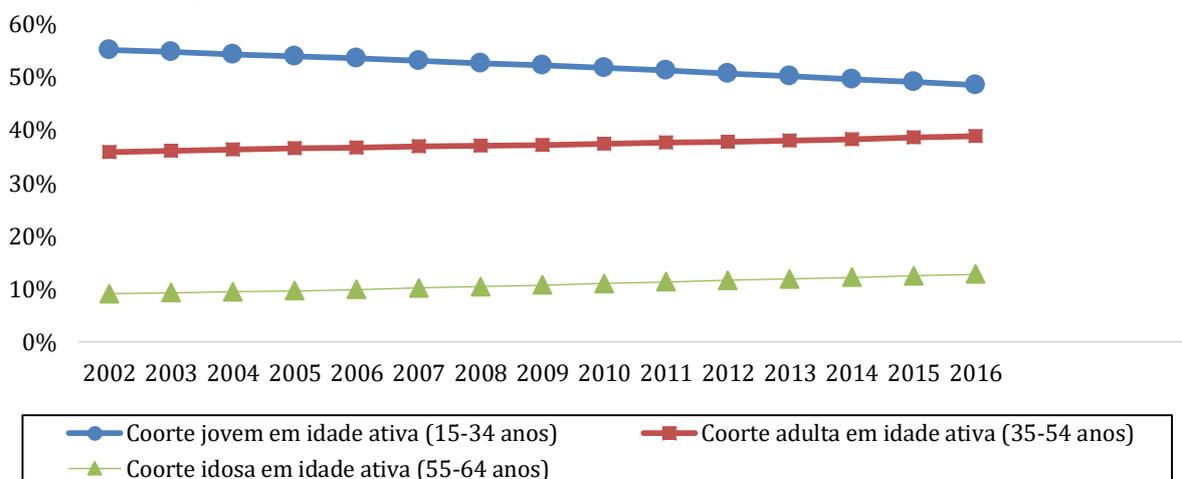


Fonte: Elaborado a partir dos dados do IBGE (2019).

Nota: As proporções foram calculadas pela autora.

A população em idade ativa apresentou crescimento, passando de 65,1%, em 2002, para 69,1%, em 2016, levando ao declínio na razão de dependência de 35% para 31%, no mesmo período. Em direção oposta, a população entre 0 e 14 anos passou de 29,1% para 22,6%, uma redução de quase 7% em apenas 20 anos. Com relação à população idosa, observa-se um crescimento, pois em 2002 os idosos representavam pouco mais de 5% da população chegando a 8,2% em 2016. Um fato que chama a atenção na evolução dos grupos etários é o aumento da população em idade ativa aliado ao crescimento da população idosa. De certo modo, isso indica que a composição interna da população em idade ativa está concentrada em idades mais avançadas. O Gráfico ilustra a evolução da composição demográfica interna da população em idade ativa do Brasil, no período de 2002 a 2016.

Gráfico 6 - Composição demográfica interna da população em idade ativa do Brasil, 2002-2016



Fonte: Elaborado a partir dos dados do IBGE (2019).

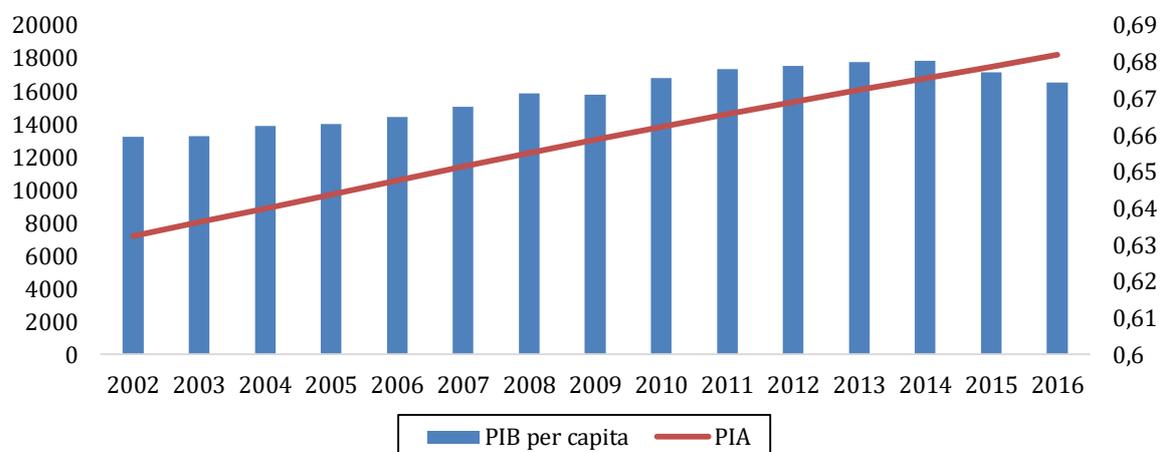
Nota: As proporções foram calculadas pela autora.

Nota-se uma semelhança nos padrões de transição demográfica dos grupos em idade ativa com a transição da população em geral. No Gráfico 6, observa-se um declínio da coorte jovem em idade ativa (15-34 anos) de 6,7% (55%, em 2002, para 48,3%, em 2016), acompanhada de um aumento de 3,1% da coorte de 35 a 54 anos no período (35,7% em 2002 para 38,8% em 2016) e de 3,6 % da coorte idosa em idade ativa (9,1% em 2002 para 12,7% em 2016). Com isso, pode perceber claramente que a população brasileira caminha para um processo de envelhecimento profundo.

Do ponto de vista econômico, o envelhecimento da população pode ser considerado prejudicial ao crescimento econômico, uma vez que a oferta de trabalho decresce e há um aumento da população dependente em relação à população em idade ativa. Como exemplo, a China tem vivido essa experiência. A partir do aumento de idosos e uma população em idade ativa decrescente, o país passou a encontrar dificuldades para manter seu nível de crescimento econômico. Para tentar corrigir esse problema futuramente, a política do filho único foi flexibilizada para dois filhos, com a intenção de permitir o aumento da força de trabalho nas próximas décadas.

Com relação à PIA, o Brasil ainda possui vantagens econômicas temporárias, pois ainda existe uma maior concentração de pessoas entre 15 e 64 anos. Por outro lado, um maior nível de atividade econômica exige um maior consumo de energia para atender a demanda. A Figura 10 mostra a relação entre a renda *per capita* e a população em idade ativa do Brasil, no período de 2002-2016.

Gráfico 7 - Relação entre renda per capita e população em idade ativa, no período de 2002-2016



Fonte: Elaborado a partir dos dados do IBGE (2019).

Notas: O PIB *per capita* (R\$ a preços de 2010, esquerda) e a PIA (% , direita).

Como se observa no Gráfico 7, a população em idade ativa apresenta uma relação positiva com a renda. Com exceção dos períodos de desaceleração econômica, a renda apresentou crescimento. Nota-se ainda que a população entre 15-64 anos representa mais de 68% do total da população em 2016.

Kelley e Schmidt (2005) chamam atenção para a associação de uma maior população em idade ativa a maiores taxas de crescimento econômico, sendo necessário considerar a velocidade em que a população produtiva aumenta. Assim, quando o crescimento da PIA ocorre de forma mais lenta e a taxa de investimento é maior que a taxa de crescimento dessa população, o capital por trabalhador aumenta. Por outro lado, quando o crescimento da PIA ocorre de forma mais rápida do que o crescimento do investimento, o impacto da população produtiva na renda é negativo, uma vez que a produtividade por trabalhador se reduz. Isso significa que o aumento da população em idade ativa pode não garantir os benefícios que muitos estudos sugerem, depende da capacidade de cada país de absorver um maior número de trabalhadores na economia (BLOOM *et al.*, 2010).

Para entender a questão da produtividade por trabalhador no período em análise, torna-se necessário tratar das políticas de incentivo ao crescimento econômico. Em 2002 a taxa de crescimento da economia foi de 3,05%, com a instabilidade política devido às eleições presidenciais, o crescimento do PIB, em 2003, ficou comprometido e cresceu apenas 1,14%. Com um baixo desempenho da economia e uma taxa de desemprego aberto de 12%¹¹, foram adotadas políticas de expansão da demanda. Essas políticas visavam o aumento da utilização da capacidade ociosa e a redução do desemprego. Para isso, foram utilizados mecanismos fiscais e monetários, dentre eles: aumento dos gastos públicos; aumento significativo do salário mínimo real, acima do crescimento da produtividade; redução das taxas de juros e expansão do crédito. A Tabela 2 mostra as taxas de variação média por períodos da PIA, População Economicamente Ativa (PEA) e da população ocupada e crescimento do PIB, a fim de capturar o incremento da produtividade por trabalhador ocupado.

¹¹Taxa de desemprego aberto contabiliza pessoas que procuraram trabalho nos últimos 30 dias e não exerceram nenhum trabalho nos últimos sete dias anteriores à entrevista.

Tabela 2 - Taxas de crescimento médias das variáveis (% a.a.) do Brasil

| Período | PIA | PEA | População ocupada | PIB | Produto por trabalhador |
|-----------|------|------|-------------------|------|-------------------------|
| 2004/2010 | 1,71 | 1,71 | 2,62 | 4,47 | 1,80 |
| 2011/2015 | 1,19 | 0,70 | 0,68 | 0,98 | 0,30 |

Fonte: Adaptado de Giambiagi (2016)

Como pode ser observado na Tabela 2, as políticas de incentivo à demanda deram certo no período de 2004-2010, a taxa de crescimento apresentou um aumento de 4,47%, mesmo com o baixo desempenho da economia em 2003 e 2009. Para Giambiagi (2016) na equação “Produto = Emprego X Produtividade por trabalhador” o fator que mais contribuiu para o crescimento foi o expressivo aumento da população ocupada de 2,62% a.a. Já a produtividade por trabalhador apresentou um crescimento de 1,8% a.a., considerado bom para o período, mas não suficiente para manter os níveis de crescimento nos próximos anos.

No período 2011-2015 percebe-se um baixo crescimento da economia de 0,98% a.a. Com uma taxa de desemprego da ordem de metade da verificada em 2003, a população ocupada cresceu a taxas inferiores ao período anterior. Já a produtividade por trabalhador apresentou um crescimento de apenas 0,30%.

O bom desempenho da economia no primeiro período foi baseado na redução da capacidade ociosa, ou seja, a produtividade por trabalhador cresceu devido às altas taxas de desemprego. A partir de 2011, nota-se que a taxa de desemprego havia caído pela metade e que tais políticas de expansão da demanda já não eram mais suficientes para a manutenção das taxas de crescimento. De acordo com Giambiagi (2016), as políticas de expansão da demanda devem ser acompanhadas de políticas de expansão da oferta, caso contrário o crescimento não será consolidado. Para Giambiagi (2016):

[...] quando os fatores responsáveis pelo crescimento começam a se esgotar, em particular o estoque de trabalhadores subempregados se exaure e os salários passam a se elevar, reduzindo a competitividade de bens intensivos em mão de obra. Os ganhos de produtividade associados à realocação de recursos entre setores e à adoção de tecnologias importadas também tendem a diminuir e o crescimento passa a depender cada vez mais de aumentos de produtividade dentro dos setores, principalmente no setor de serviços, que se torna progressivamente preponderante na produção do emprego total.

Diante da falta de investimentos pelo lado da oferta (educação, infraestrutura, poupanças dentre outros fatores), o Brasil passou a apresentar um crescimento cada vez menor. Além disso, a taxa de desemprego aberto superou a taxa do período inicial, com uma taxa de 13,5%, em 2016 (IBGE, 2019).

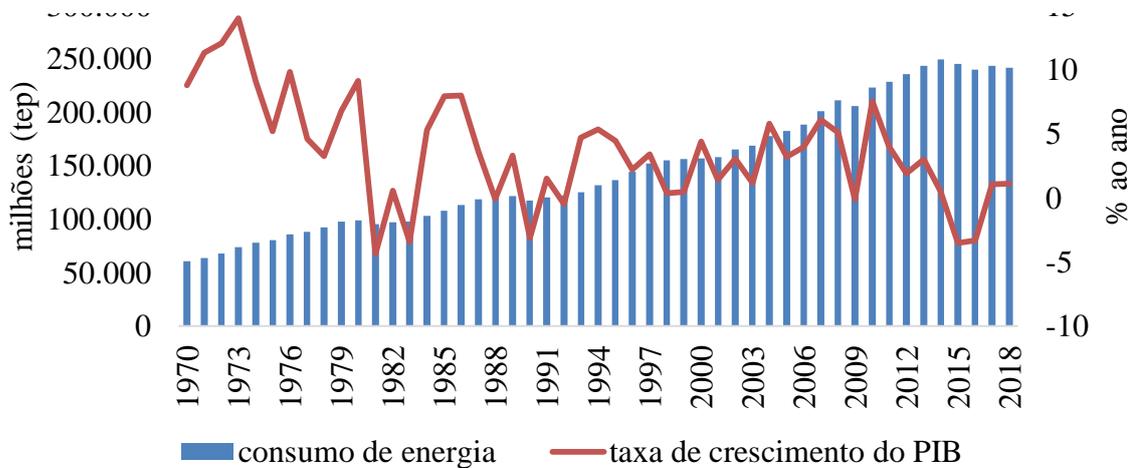
3.3 CRESCIMENTO ECONÔMICO E CONSUMO DE ENERGIA

O consumo de energia é considerado um dos principais indicadores do grau de crescimento econômico e do nível de qualidade de vida de uma sociedade, pois retrata o ritmo de atividade dos setores da economia e a capacidade da população para adquirir bens e serviços.

O Brasil experimentou um processo de crescimento econômico, ao longo do século XX, que resultou no aumento da demanda por energia primária. Esse crescimento se deu pelo processo de industrialização, pela expansão demográfica e pelo processo de urbanização. A evolução histórica do consumo de energia e do crescimento da população revela que, em 1970, a demanda de energia era abaixo de 70 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo), enquanto a população alcançava 93 milhões de pessoas. No ano 2000, a demanda de energia atingia 190 milhões de tep, quase o triplo do período anterior, e a população havia ultrapassado 170 milhões de pessoas. Nesse período o crescimento econômico apresentou volatilidade em meio às crises econômicas (crise da dívida externa e da hiperinflação). Mesmo em períodos que as taxas de crescimento apresentavam quedas, houve expansão do consumo de energia (TOLMASQUIM *et al.*, 2007).

No período de 1970 a 2018, o consumo de energia apresentou tendência de crescimento global. Nem mesmo em 2001, diante da crise energética, com o racionamento de energia elétrica, o consumo global apresentou recuo, exibiu um aumento de 0,14%, acompanhado pela taxa de crescimento do PIB de 1,3%, em 2009, com a queda da taxa de crescimento da economia devido à crise no comércio internacional e a restrição de crédito no fim de 2008. A crise do período afetou o setor industrial, as importações e as exportações, além de ter causado queda significativa de investimentos. Com isso, o consumo final de energia também sofreu queda, mas com a recuperação da economia nos próximos anos, voltou a crescer. Nos últimos anos as expectativas de crescimento econômico têm se revertido para baixo. A taxa de crescimento do período 2013-2017 foi de -0,5% devido à lenta recuperação da economia e o consumo de energia, recuou de 243.643 milhões de tep, em 2013, para 243.348 milhões de tep, em 2017, enquanto a população em 2017 ultrapassou 208 milhões de pessoas (EPE, 2018). A evolução do consumo de energia e da taxa de crescimento econômico, desde 1970 até 2018, está representada na Gráfico 8.

Gráfico 8 - Evolução da demanda de energia e da taxa de crescimento econômico: 1970-2018

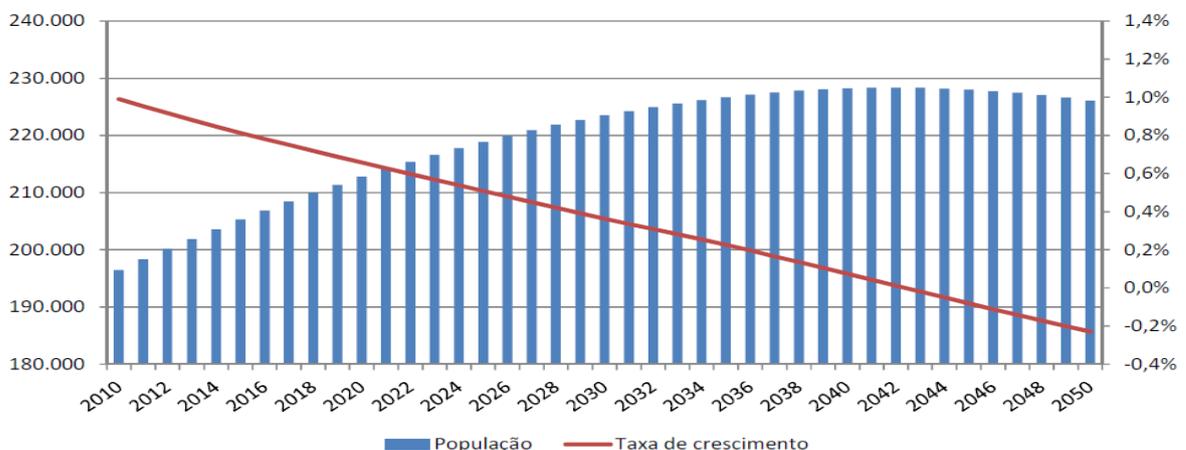


Fonte: Elaborado a partir dos dados da EPE (2019).

Nota: Consumo de energia (em tonelada equivalentes de petróleo) e a Taxa de crescimento no período (% ano).

As projeções da EPE (2015) indicam que a taxa de crescimento populacional brasileira crescerá em um ritmo cada vez menor e começará a declinar a partir de 2048 e, até a década de 2050, esse crescimento apresentará taxas negativas. As estimativas mostram que no ano de 2030 a população alcançará o total de 224 milhões de pessoas, o que representará um crescimento médio anual de 0,6%. Para o ano de 2040, espera-se que a taxa de crescimento chegue a 0,2 % e um total de 228 milhões de pessoas e, em 2050, com um crescimento médio de -0,1% ao ano, totalizando 226 milhões pessoas. A evolução da população e taxa de crescimento populacional e suas projeções podem ser verificadas na Gráfico 9.

Gráfico 9 - Evolução da população brasileira e taxa de crescimento populacional

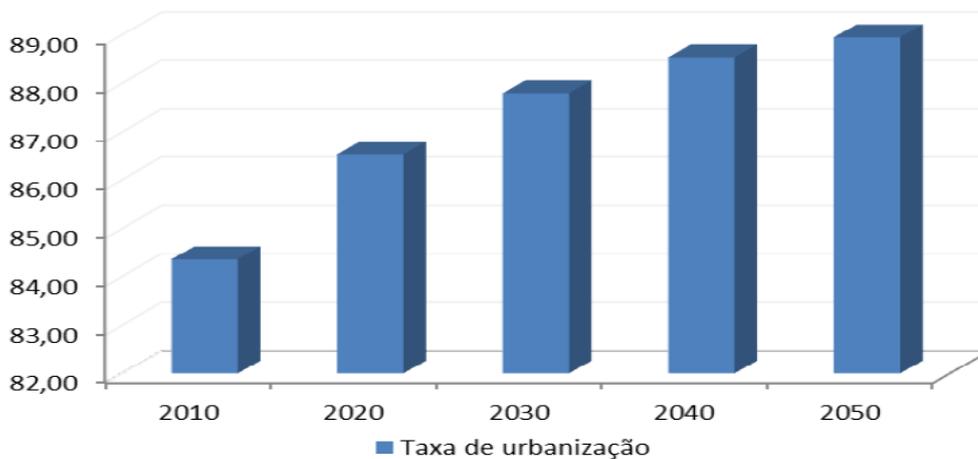


Fonte: EPE (2015)

Nota: População (milhões, esquerda) e taxa de crescimento (% , direita). Os dados a partir de 2015 são projeções.

Outro elemento demográfico que afetará o padrão de consumo econômico e energético nos próximos anos está relacionado à urbanização. As estimativas apontam que em 2050, a população urbana deve aumentar em 30 milhões de pessoas. Assim, a população urbana, em 2050, será o equivalente à população brasileira no ano de 2010. O aumento previsto na taxa de urbanização se deve ao processo de transição das pessoas para centros urbanos e também de mudanças no perfil dos municípios do país, o que pode influenciar diretamente o perfil de consumo dessas áreas (EPE, 2015). As projeções para a taxa de urbanização podem ser vistas na Gráfico 10.

Gráfico 10 - Projeções da taxa de urbanização no período de 2010-2050

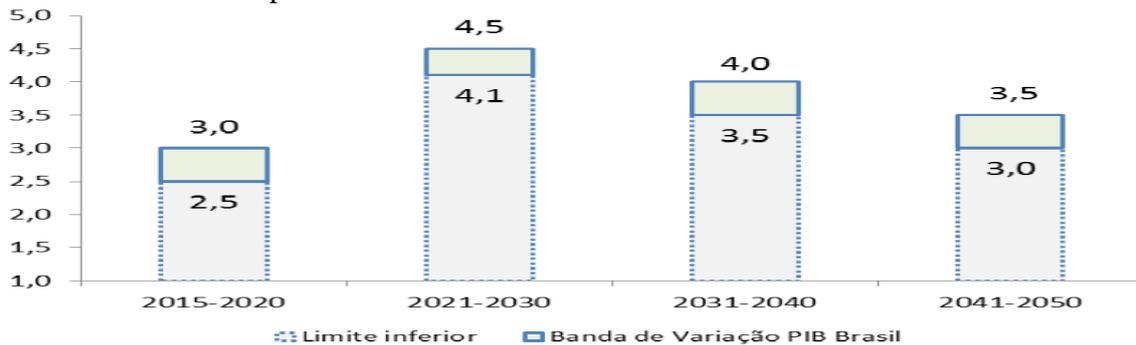


Fonte: EPE (2015).

Nota: A partir de 2010 os dados são referentes a projeções da taxa de urbanização.

No contexto das questões socioeconômicas, alguns desafios devem ser enfrentados como os gargalos de infraestrutura e educação, saneamento e déficit habitacional. Apenas com a minimização desses problemas, será possível alcançar crescimento sustentado ao longo prazo. Com isso, cria-se um ambiente econômico favorável junto aos avanços institucionais. Portanto, são esperados aumento dos investimentos em infraestrutura e da produtividade, o que possibilitará aumento da competitividade do país. Do ponto de vista regional, o crescimento econômico ocorre de forma lenta, ainda que o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* regional apresente melhoras. A distribuição de renda se apresenta heterogênea dentro e entre as regiões, mesmo que o crescimento da renda se apresente maior nas regiões menos desenvolvidas, mesmo assim, não sendo suficiente para redução das disparidades existentes. Também, as projeções apontam para crescimento médio do Brasil acima do crescimento médio mundial, até 2050. As taxas de crescimento para o PIB são apresentadas em formato de bandas, conforme o Gráfico 11.

Gráfico 11 - Bandas para a Taxa de Crescimento do PIB doméstico do Brasil.

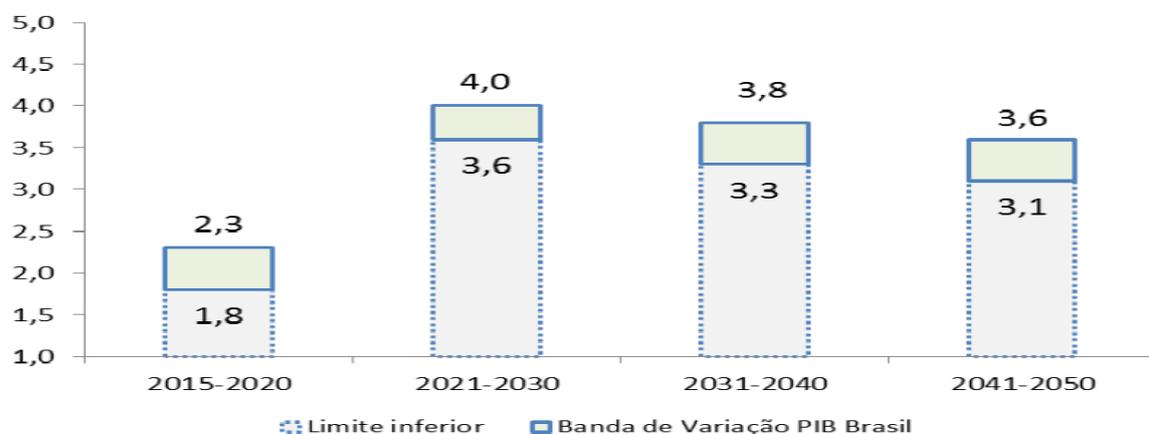


Fonte: EPE (2015)

Notas: Os valores representam as taxas de crescimento em %.

De acordo com os cenários traçados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o período de 2015-2020 é marcado por ajustes nos primeiros anos, seguidos da retomada gradual dos investimentos, em específico, da infraestrutura, ainda que os gargalos da economia impeçam o crescimento da economia nacional. Para a segunda década do século XXI, espera-se um desempenho mais expressivo dos investimentos, bem como a maturação dos investimentos realizados anteriormente e que estes proporcionem um ritmo mais acelerado da economia brasileira. Para as décadas de 2030 e 2040, espera-se que a economia esteja mais competitiva, com maiores taxas de crescimento do produto. Além disso, com o declínio populacional e um menor crescimento da economia mundial, as taxas de crescimento serão pressionadas para baixo (EPE, 2015). A partir da projeção do PIB e da trajetória da população, o Gráfico 12 apresenta a evolução do PIB *per capita*.

Gráfico 12 - Bandas para a taxa de crescimento do PIB per capita do Brasil.



Fonte: EPE (2015).

Nota: Os valores representam as taxas de crescimento em %.

A banda inferior mostra que o poder aquisitivo da população crescerá a uma taxa média anual de 3,3%, alcançando nos próximos anos US\$32,2 mil dólares a preços de constantes de 2012. Enquanto na banda superior a taxa média de crescimento entre 2015-2050 é de 3,5%, resultando num PIB *per capita* de US\$ 38 mil dólares a preços de 2012, no ano de 2050. Com isso, em 2050 o PIB *per capita* do Brasil deverá ficar entre o da Espanha e o da França, em 2012. Caso o processo de distribuição de renda acompanhe o forte crescimento do PIB ao longo dos anos, haverá um aumento da demanda por bens de consumo, serviços e energias, o que poderá impactar positivamente alguns setores da economia.

De acordo com o Plano Nacional de Energia, até 2050 o Brasil alcança o padrão de consumo de energia dos países desenvolvidos e elasticidade-renda entre 2040 e 2050, equivalente à de países da união europeia. A taxa de crescimento do consumo de energia entre 2013 e 2050 será de 2,2% ao ano, ou seja, com uma taxa de crescimento econômico em 3,5% no período, o consumo de energia crescerá menos que o PIB (EPE, 2014).

3.4 CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÕES DE CO₂

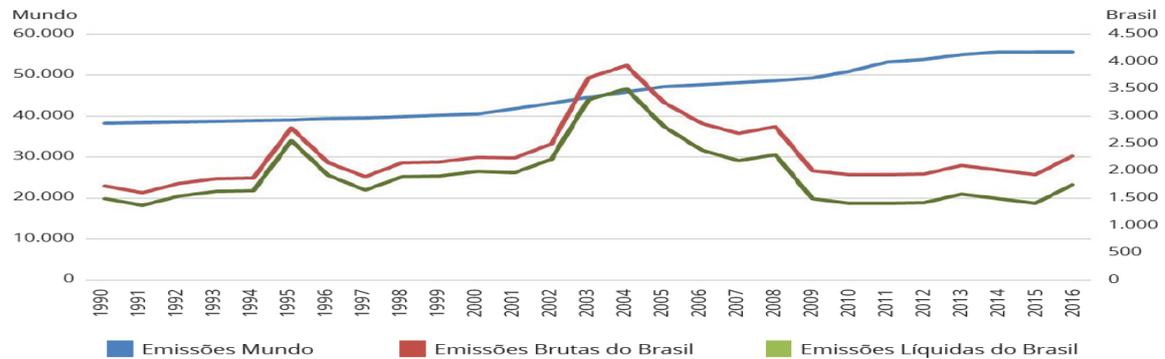
De acordo com as informações do *Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC (2013) o dióxido de carbono possui a maior participação relativa nos GEE, contribuindo com 56,6% do total dessas emissões. O maior volume deste poluente ocorre principalmente pelo uso de combustíveis fósseis como o petróleo, o carvão e o gás natural, estes contribuem para a degradação da qualidade ambiental.

De acordo com dados do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa, SEEG (2018), o Brasil se apresenta como o sexto país que mais emite GEE, com uma participação de 3,4% das emissões globais. No período de 1990 a 2016, as emissões brutas de GEE no Brasil apresentaram crescimento de 32%, passaram de 1,72 bilhões de gás carbônico equivalente (GtCO₂e), para 2,27 bilhões de GtCO₂e. Esse crescimento fez com que as emissões de gases de estufa *per capita* ficassem acima da média global, em alguns períodos, as emissões ficaram próximas ao triplo da média global. Após o lançamento da Política Nacional de Mudanças Climáticas, em 2009, as emissões *per capita* líquidas equiparam-se à média global com aproximadamente 7,5 toneladas de GtCO₂e e ao ano, exceto para o ano de 2016, quando as emissões *per capita* voltaram a crescer chegando a 8,5 toneladas por habitantes, o que não acontecia desde o ano de 2008.

A trajetória das emissões de GEE no Brasil em relação ao mundo está representada na Gráfico 13. No período de 1990 a 2016, a participação das emissões brasileiras nas

emissões globais foi de 4% a 5%, apresentando uma maior variação de 8%, nos anos de 2003 e 2004.

Gráfico 13 - Emissões de GEE no Brasil e no Mundo entre 1990 e 2016 (MtCO₂e)

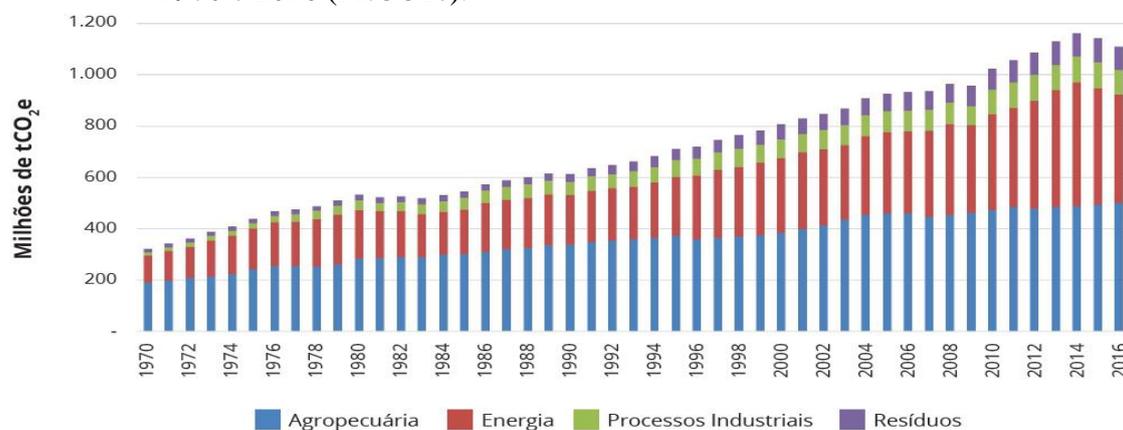


Fonte: SEEG (2018).

Nota: Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) medidos em milhões de toneladas equivalente de gás carbônico (MtCO₂e).

Embora as emissões brasileiras tenham apresentado uma redução nos últimos anos, as estimativas geradas pelo SEEG (2018) indicam que há tendência de crescimento das emissões nos setores de agropecuária, energia, processos industriais e resíduos, há exceção do uso da terra que tem apresentado redução significativa nas emissões desde o ano de 2005, com redução do desmatamento da Amazônia. Dentre esses setores, o que mais emite GEE é o de mudanças no uso da terra, seguido pelo setor agropecuário, em terceiro está o setor de energia que apresenta maior crescimento das emissões no período de 1970 a 2016, aumentando em quase quatro vezes. A evolução histórica das emissões brasileiras por setores pode ser observada nano Gráfico 14.

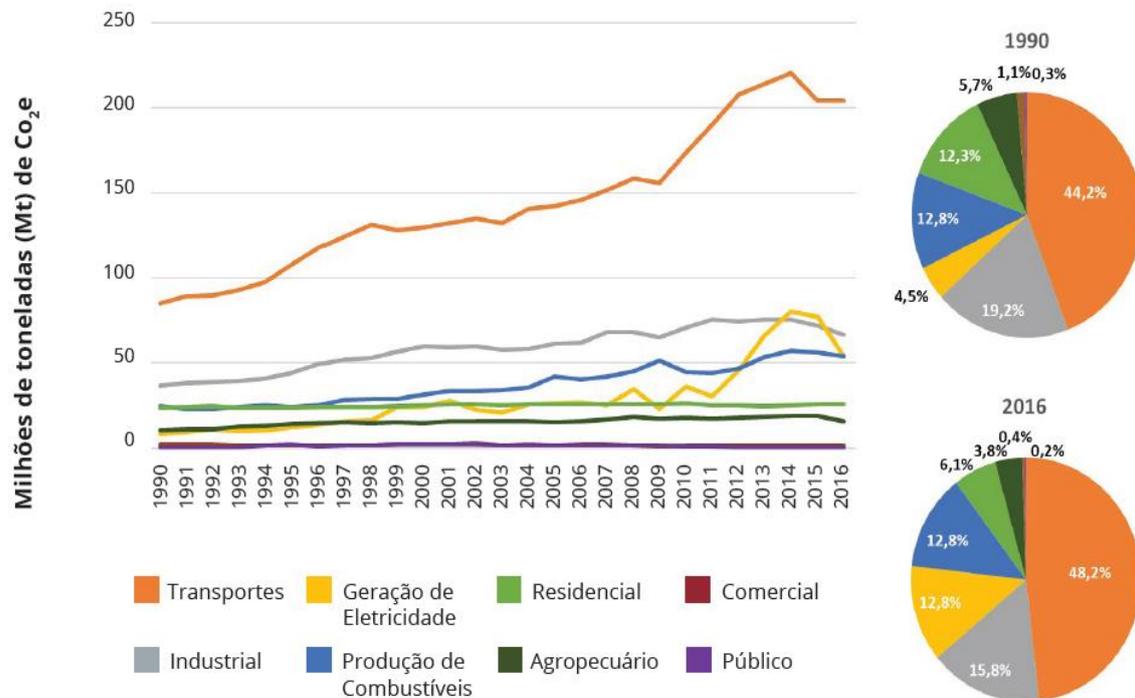
Gráfico 14 - Emissões de GEE no Brasil (exceto mudança de uso do solo e florestas) entre 1970 e 2016 (MtCO₂e).



Fonte: SEEG (2018).

Como o objetivo desta pesquisa é estudar acerca do aumento significativo das emissões pelo uso de energia, aqui serão tratadas apenas sobre as emissões que estão relacionadas ao setor de energia. Em 2016, o setor de energia que inclui a produção, o consumo e a energia elétrica foi o responsável por 19% das emissões brutas de GEE no Brasil, o que representou 423,4 milhões de toneladas de CO₂. Isso foi devido ao aumento do consumo de gasolina e diesel e à expansão na geração de energia por termelétricas. Desde 2009 as emissões apresentaram crescimento de 23%. Entre o período de 2010 e 2014, a crise hídrica e o desestímulo ao consumo de etanol foram os principais responsáveis por esse aumento. Já entre o período de 2015 e 2016, as emissões pelo uso de energia tiveram uma redução de 7,3% por conta do desaquecimento da economia, resultando em redução na geração da eletricidade, além da redução de 23% nas emissões deste segmento. Também houve aumento na participação de fontes renováveis e a redução no consumo industrial que gerou declínio de 5,3% nas emissões, no segmento agropecuário a queda foi de 3,2%. Por outro lado, o setor de transportes, principal emissor de poluentes pelo uso de combustíveis fósseis, não apresentou variações significativas (SEEG, 2018b). No Gráfico 15 são apresentadas as emissões do setor de energia por segmento de atividade.

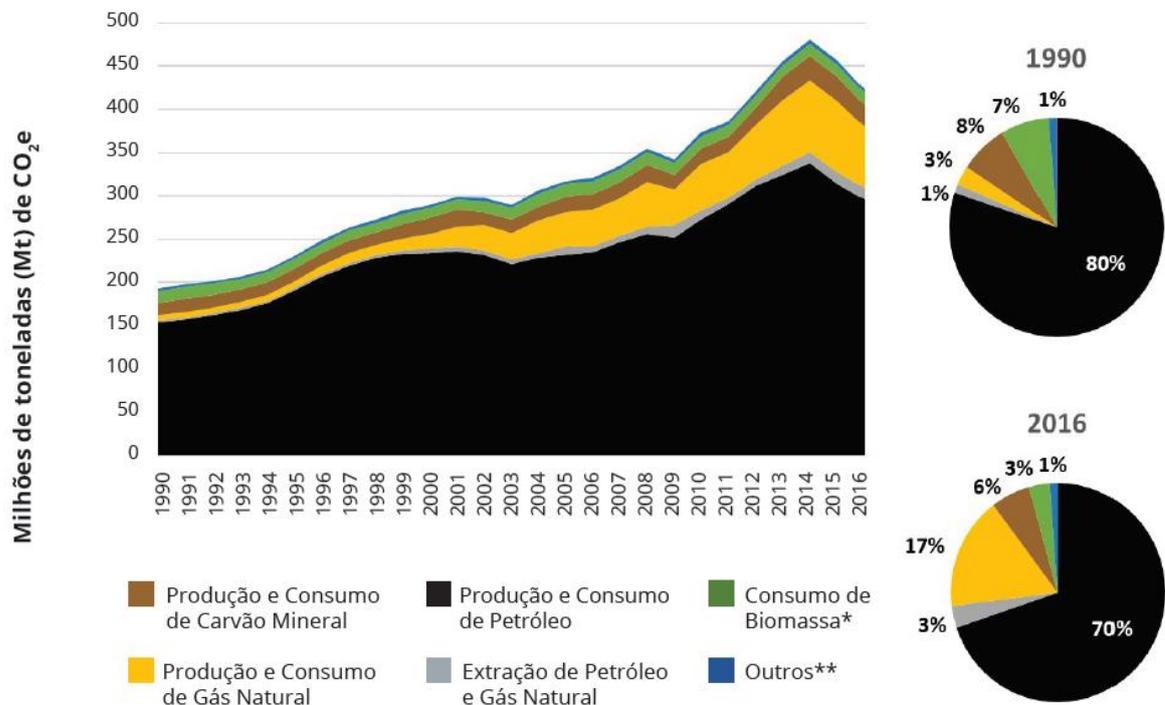
Gráfico 15 - Emissões de CO₂ e do Setor de Energia por segmento de atividade (1990-2016)



Fonte: SEEG (2018).

Como exposto, o segmento de transportes apresenta as maiores emissões de poluentes de energia. As emissões de CO₂ desse segmento passaram de 85,2 milhões de toneladas, em 1990, para 204 milhões, em 2016, crescimento de 139%. O forte crescimento das emissões, a partir de 2009, deve-se ao uso de transportes de cargas e transporte individual de passageiros. Cabe destacar que o aumento das emissões, devido ao transporte individual, se deu por dois fatores: pelo aumento da quilometragem dos veículos e pela redução no consumo de álcool, devido à política de desestímulo ao consumo desse combustível o que levou ao aumento da demanda por gasolina (SEEG, 2018). Com a recuperação da indústria de etanol as emissões começaram a cair entre 2015 e 2016. Seguido pelo setor de transportes, o setor industrial é o segundo maior emissor, em 1990 foi responsável por 19,2% das emissões, durante todo o período apresentou crescimento, embora tenha chegado em 2016 com 15,8% das emissões devido ao desaquecimento da economia e ao aumento do uso de combustíveis renováveis. No Gráfico 16, observa-se a evolução das emissões por fonte primária.

Gráfico 16 - Emissões de CO₂ e do Setor de Energia por fonte primária (1990-2016)



Fonte: SEEG (2018)

Nota: * As emissões de CO₂ e geradas pelo consumo de biomassa correspondem às emissões de CH₄ e N₂O (as emissões líquidas de CO₂ desses combustíveis são consideradas nulas).

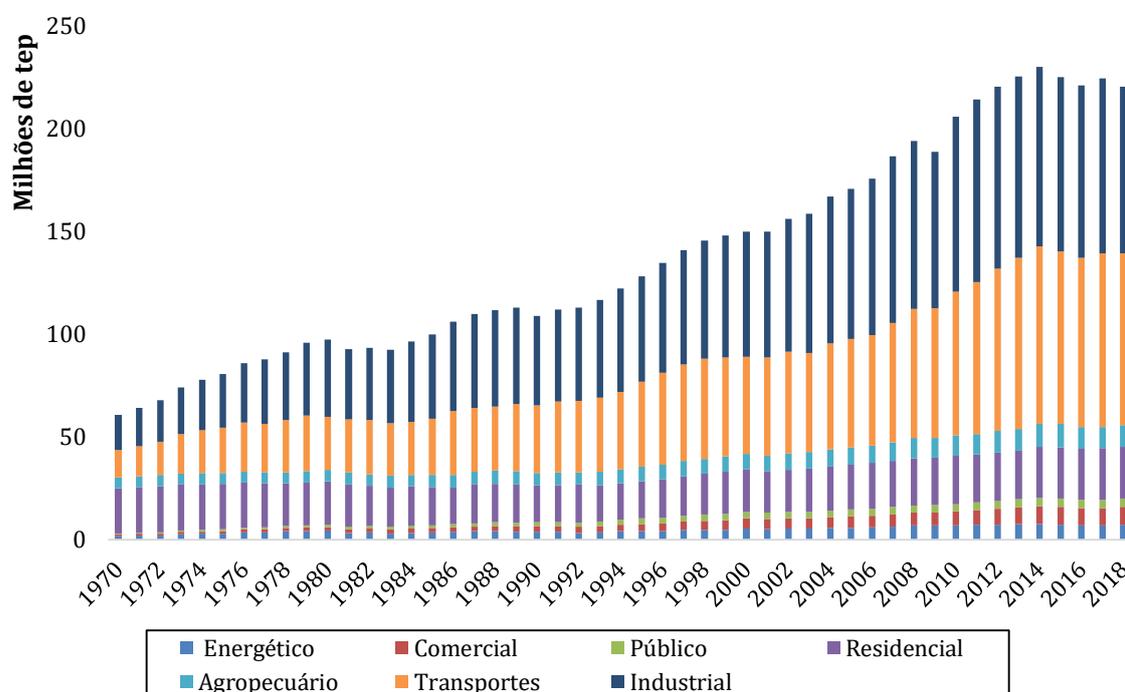
** Trata-se das emissões de CH₄ e N₂O das misturas de gasolina automotiva com etanol anidro (gasolina C) e de diesel mineral com biodiesel (óleo diesel).

O petróleo destaca-se como a fonte que mais emite CO₂, em 2015, foi responsável por 70% das emissões, já o gás natural e o carvão responderam por 17% e 6%, respectivamente. Embora a participação nas emissões do gás natural seja pequena, em relação às demais fontes, apresentou um aumento nas emissões de CO₂ de quase seis vezes no período de 1990 a 2016, enquanto o petróleo declinou.

3.5 CONSUMO DE ENERGIA POR SETORES

A expansão acentuada do consumo de energia reflete o aquecimento da economia. A economia brasileira é composta por sete setores, sendo eles: energético, residencial, industrial, comercial, agropecuário, público e de transportes. Desde meados de 1970, o setor industrial apresenta maior participação no consumo de energia, seguido pelo setor de transportes. Em 2017, a demanda de energia nestes dois setores ficou acima de 64%. A evolução do consumo de energia por setor pode ser vista no Gráfico 17.

Gráfico 17 - Evolução do consumo de energia por setor (em milhões de tep) do Brasil, entre 1970-2018



Fonte: Elaborado a partir dos dados da EPE (2019)

Nota: Consumo de energia medida em milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep).

No Gráfico 20 é possível observar um crescimento do consumo de energia ao longo do tempo dos setores industrial, transportes e energético, além de perda na participação do consumo residencial que antes era o setor de maior participação. Os setores que possuem menor participação no consumo final energético são o agropecuário, o comercial e o público.

Embora o setor industrial seja protagonista na demanda total de energia, ele vem perdendo participação relativa na economia, desde a década de 1970. Essa perda foi provocada pela crise da dívida externa e pela hiperinflação ocorrida no período, que levou a adoção de políticas macroeconômicas e tomadas de decisões de curto prazo, em um ambiente desfavorável à política industrial. Como consequência disso, a indústria apresenta estagnação desde a década de 90, com crescimento quase nulo da produtividade da mão de obra (EPE, 2015).

Nas décadas seguintes, a indústria continuou perdendo participação no PIB, ainda que essa queda ocorra com menor intensidade. Nesse período o setor industrial cresceu abaixo da média do PIB, mas com a abertura comercial no início dos anos de 1990 e do ambiente de negócios mais estáveis a partir da introdução do plano real, a indústria apresentou ganhos de produtividade, dada a maior exposição à concorrência internacional (EPE, 2015)

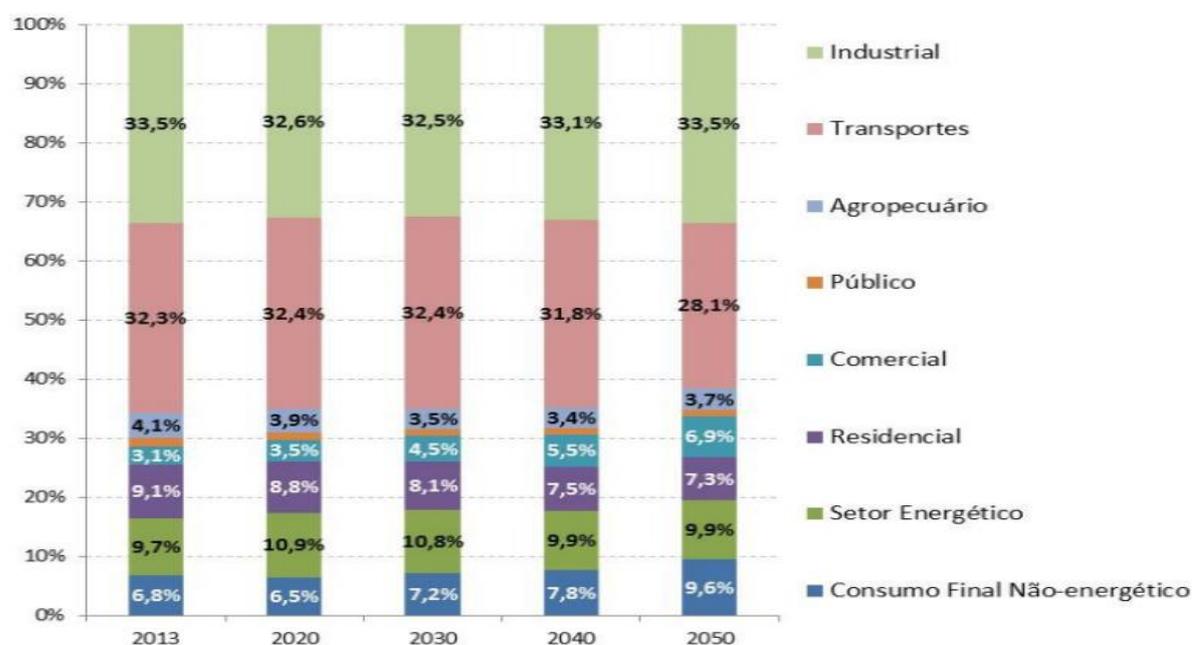
Após a crise financeira internacional iniciada em 2008, a retração das principais economias impactou de forma significativa a demanda externa de produtos nacionais, principalmente de produtos manufaturados, dado à baixa competitividade nos mercados internacionais. De acordo com IEDI (2015a), os fatores que contribuem para a baixa competitividade da indústria estão relacionados ao aumento da tributação, à falta de infraestrutura, à baixa qualidade da mão de obra e ao elevado custo de capital. Outro fator que contribui para essa baixa está associado ao câmbio valorizado ao longo da década anterior (IEDI, 2015b). Esses fatores aliados à fragilidade das políticas industriais e de inovação tecnológica levaram a indústria a perder participação no valor adicionado do PIB entre o período de 1996 e 2016, passando de 29,8% para 25,1% (EPE, 2017).

Para o ano de 2016, observou-se melhora na expectativa dos agentes econômicos em relação aos indicadores de confiança dos consumidores e da indústria. Porém, essa melhora não foi refletida nos indicadores da situação econômica, mostrando que não há sinais de recuperação da economia brasileira, percebida na retração de todos os setores da economia. A produção industrial registrou queda de 6,6%, com destaque para os bens de consumo duráveis, com redução de 14,7% e de 11,1% para os bens de capital (EPE, 2018).

As projeções para as próximas décadas apresentam uma recuperação gradual da indústria, principalmente pela melhora no desempenho da indústria extrativa mineral, em que há expectativas na manutenção dos preços favoráveis das commodities, que poderão resultar na recuperação de toda a cadeia produtiva. A partir de 2025 a indústria deverá crescer em um ritmo menor que a economia, aproximando-se dos padrões de países desenvolvidos.

De acordo com as projeções da EPE (2016), em 2050, a indústria deve responder por uma parcela significativa do valor adicionado nacional, embora as estimativas indiquem que a participação no PIB seja decrescente. Com uma menor participação na economia, o crescimento industrial impacta o consumo de energia no horizonte de tempo, assim nota-se no Gráfico 18, ligeira queda na participação total do consumo de energia.

Gráfico 18 - Evolução da participação setorial no consumo total de energia no Brasil entre 2013- 2050



Fonte: EPE (2016).

Notas: A partir do ano de 2016 os dados são referentes as projeções do consumo total de energia por setores.

De acordo com dados da EPE (2014), o setor de transportes ocupa a segunda posição em termos de consumo de energia final, sendo este sistema essencial para alavancar a economia do país, pois viabiliza as atividades dos demais setores da economia. Contudo, a matriz de transportes adotada no país gera perdas de competitividade devido a seu custo elevado, sendo um fator limitante do crescimento econômico (ERHART; PALMEIRA, 2006).

De acordo com Barat (1978), o setor de transportes foi responsável por cerca de 6% do PIB. Entre as décadas de 60 e 70, houve aumento na proporção de investimentos em transportes no Brasil em relação a outros países. No período de 1950 a 1970 o setor apresenta crescimento acima do produto real, esse dinamismo parece ser o resultado do estrangulamento da capacidade de oferta de serviço de transportes brasileiro.

O primeiro choque do petróleo, em 1973, evidenciou a dependência do Brasil por energia importada. Como o consumo do modal rodoviário apresentava baixa eficiência, surgiu a necessidade de equilibrar a repartição modal dos transportes e alocar os investimentos entre os demais modais. Em 1974 foi criado o Fundo Nacional de Desenvolvimento (FND), a fim de adequar a economia aos custos do petróleo. Para tanto, buscou-se dar prioridade ao uso de ferrovias e à ampliação dos investimentos em meios de transportes menos intensivos em energia importada.

Dessa forma, a modalidade ferroviária obteve um salto de 17%, em 1970, para 25%, em 1980. Por outro lado, o transporte rodoviário reduziu de 70%, em 1970, para um pouco mais de 59%, em 1980. A tendência foi revertida a partir da crise da década de 1980, e a estagnação da economia, o setor de transportes cresceu apenas 2,8% ao ano, e o PIB apresentou crescimento de 1,5%. Ao final dos anos 80, o país não conseguiu completar o plano de mudança para uma matriz de transportes equilibrada e eficiente. Além disso, o parque rodoviário sofria grave deterioração com falta de recursos para sua manutenção (GEIPOT, 1994).

Ainda que os investimentos em infraestrutura do transporte rodoviário tenham sido reduzidos após a primeira crise do petróleo, a estrutura de transportes no Brasil é predominantemente rodoviária e a que mais consome energia final no setor. Demais modais como ferroviário, hidroviário e aeroviário em conjunto, representaram, em 2012, apenas 8% da demanda de energia do setor de transportes. A participação no consumo de energia final do setor de transportes passou de 25,8%, em 1990, para 31,3%, em 2012, o que significa um crescimento anual médio de 4,1% nesse período (EPE, 2014).

O setor de transportes responde por 33% do consumo de energia final. É responsável também por 46% das emissões de CO₂. Conforme o Gráfico 18, as projeções para o setor apontam uma leve queda no consumo final de energia, essa redução pode estar associada às transformações de variáveis socioeconômicas e à eletrificação do sistema de transportes, nas próximas décadas (EPE, 2014).

Seguido pelo setor industrial e de transportes, o setor energético se apresenta como o terceiro maior consumidor de energia final. A partir dos anos 80, o setor energético vem aumentando seu ganho de participação no consumo de energia. Na década de 2000 o setor obteve um crescimento de 6,6% ao ano, e um acumulado de 88,9%, em dez anos. O segmento que mais contribuiu para esse aumento foi o sucroalcooleiro que apresentou um crescimento de 238%, nesse período (EPE, 2014).

Em 2010, a indústria de petróleo e gás natural foi responsável por 37% do consumo do setor energético. Apesar do aumento do consumo de óleo diesel, devido às atividades de exploração e produção de petróleo para exploração do Pré-Sal, a participação desses segmentos apresentou uma redução relativa, uma vez que em 2000 esse consumo era de 51%. Por outro lado, as destilarias apresentaram um crescimento médio anual de 9% em valores absolutos na década, sendo o segmento com maior participação no consumo do setor, com 55% no ano de 2010. Outro segmento importante para o setor energético é o de geração de eletricidade que passou de 236 mil tep, em 2000, para 464 mil tep, em 2010 (EPE, 2014).

De acordo com estudos da EPE (2016), o cenário de crescimento econômico do país para 2050 resultará em um maior consumo de energia. Por isso, o setor energético deverá aumentar a produção cada vez mais para suprir essa demanda. Aliado a isso, o autoconsumo deve aumentar no período e o setor tornar-se-á importante no consumo final de energia, em especial pelo aumento da produção do pré-sal e do setor sucroalcooleiro.

O setor residencial possui importância média no setor energético por não gerar produto próprio. Além disso, o consumo de energia residencial exerce um papel social, ao proporcionar maior bem-estar, uma vez que a energia é um bem essencial para atender as necessidades da vida moderna.

De acordo com dados da EPE (2019), o setor residencial tem perdido participação percentual no consumo de energia frente aos demais setores, ao longo dos anos. Em 1970, o consumo final de energia foi de 22.058 milhões de tep, o equivalente a 36% do consumo global e, em 2016, apresentou um consumo de 24.849 milhões de tep, com participação de apenas 10% do consumo final. A queda verificada da participação do setor pode ser o reflexo do aumento da urbanização associado ao uso de fontes de energia mais eficientes e da dinamização e crescimento de outros setores (ACHÃO, 2003).

A eletricidade constitui a principal fonte de energia do setor residencial. Essa maior participação da eletricidade pode ser atribuída à universalização do serviço de distribuição, além do aumento da renda média das famílias e de novos domicílios, acrescentando assim a

utilização de eletrodomésticos. As projeções, para 2050, do setor indicam crescimento do segmento elétrico para iluminação e refrigeração. A partir da substituição de fontes energéticas nas últimas décadas, há também tendência de crescimento do consumo de gás natural e GLP. O consumo global do setor residencial deve apresentar crescimento entre 1,2% e 1,7%, no período de 2015 a 2050 (EPE, 2018).

O setor agropecuário, por sua vez, apresenta pequena participação no consumo final de energia, à frente apenas do setor comercial e público. A participação relativa do setor na matriz energética brasileira, entre os anos de 1990 e 2012, manteve-se estável em cerca de 4%, embora tenha apresentado crescimento médio anual de 3,2% na demanda total de energia em valores absolutos, passando de 7.332 mil tep, em 2000, para 10.029, em 2010 (EPE, 2014).

De acordo com a EPE (2014), as principais fontes de energia utilizadas pelo setor são o óleo diesel, a eletricidade e a lenha. As demais fontes possuem uma pequena participação no setor. O óleo diesel lidera o consumo com uma participação de 58%, em 2010. O uso desse combustível serve para atender a demanda de abastecimento das máquinas agrícolas que, com o crescimento da produção da pecuária, a necessidade delas tem resultado na necessidade do aumento da frota. Já o consumo da lenha é utilizado na produção agrícola para secagem de grãos e na pecuária para aquecimento. Em 2000, a participação da lenha no setor foi de 22%, chegando a 25%, em 2010. A demanda por eletricidade no setor teve um incremento de 15%, em 2000, e de 16%, em 2010. A principal finalidade da eletricidade no setor consiste na irrigação e na refrigeração. No horizonte temporal o consumo de energia deve apresentar uma taxa de crescimento superior à do crescimento do PIB (EPE, 2018).

O setor comercial tem uma pequena participação no consumo de energia. Mesmo que tenha apresentado crescimento durante todo o período analisado. A principal fonte de energia utilizada pelo setor é a de eletricidade. Em 1970, o consumo de energia era de 844 mil tep, atingindo 8.514 mil tep, em 2018, as projeções para os próximos anos indicam que o setor apresentara crescimento, ainda que este crescimento deva ser modesto se comparado ao ritmo de crescimento recente (EPE, 2018).

Por fim, o setor que tem a menor participação no consumo de energia é o setor público. Em princípio a lenha era a principal fonte de energia, com o aumento da capacidade de geração de energia elétrica, a lenha foi substituída pela eletricidade. Em 1970, o consumo de energia pelo setor era de apenas 417 tep, mesmo tendo apresentado crescimento durante o período, o consumo de energia, em 2018, ainda foi de 4.097 mil tep (EPE, 2018).

O setor agropecuário, por sua vez, apresenta pequena participação no consumo final de energia, à frente apenas do setor comercial e público. A participação relativa do setor na matriz energética brasileira entre os anos de 1990 e 2012 se manteve estável em cerca de 4%. Embora tenha apresentado crescimento médio anual de 3,2% na demanda total de energia em valores absolutos, passando de 7.332 mil tep, em 2000, para 10.029, em 2010 (EPE, 2014).

De acordo com a EPE (2014) as principais fontes de energia utilizadas pelo setor é o óleo diesel, eletricidade e a lenha. As demais fontes possuem uma pequena participação no setor. O óleo diesel lidera o consumo com uma participação de 58% em 2010. O uso desse combustível serve para atender a demanda de abastecimento das máquinas agrícolas, com o crescimento da produção da pecuária a frota destas máquinas tem resultado na necessidade do aumento da frota. Já o consumo da lenha é utilizado na produção agrícola para secagem de grãos e na pecuária para aquecimento. Em 2000 a participação da lenha no setor foi de 22% chegando a 25% em 2010. A demanda por eletricidade no setor teve um incremento de 15%, em 2000, e de 16% em 2010. A principal finalidade da eletricidade no setor consiste na irrigação e refrigeração. No horizonte temporal o consumo de energia deve apresentar uma taxa de crescimento superior à do crescimento do PIB (EPE, 2018).

O setor comercial tem uma pequena participação no consumo de energia. Mesmo que tenha apresentado crescimento durante todo o período analisado. A principal fonte de energia utilizada pelo setor é a de eletricidade. Em 1970, o consumo de energia era de 844 mil tep, atingindo 8.514 mil tep, em 2018, as projeções para os próximos anos indicam que o setor apresentara crescimento, ainda que este crescimento deva ser modesto se comparado ao ritmo de crescimento recente (EPE, 2018).

Por fim, o setor que tem a menor participação no consumo de energia é o setor público. Em princípio a lenha era a principal fonte de energia, com o aumento da capacidade de geração de energia elétrica, a lenha foi substituída pela eletricidade. Em 1970 o consumo de energia pelo setor era de apenas 417 tep, mesmo tendo apresentado crescimento durante o período o consumo de energia em 2018 ainda foi de 4.097 mil tep (EPE, 2018).

4 METODOLOGIA

4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Existem diferentes formas de classificar pesquisas científicas. De acordo com Silva e Menezes (2005), as formas mais utilizadas para classificar uma pesquisa são: quanto à natureza, à abordagem, aos objetivos e às técnicas de análise.

Quanto à sua natureza, o presente estudo busca analisar os impactos causados pelas mudanças demográficas através do consumo de energia nas emissões de dióxido de carbono. Dessa forma, esta pesquisa pode ser classificada como aplicada, pois os resultados possuem aplicação prática e podem ser utilizados para solucionar problemas reais (MARCONI; LAKATOS, 2012).

Para a abordagem do problema, realiza-se uma análise quantitativa. Para Richardson *et al.* (1999), a pesquisa quantitativa é caracterizada pela quantificação tanto na coleta de dados, quanto no tratamento deles através de procedimentos técnicos. O método pode ser caracterizado ainda, pela objetividade e impessoalidade, para testar hipótese, estabelecer padrões e comprovar teorias (SAMPIERI *et al.*, 2013).

Em relação aos objetivos, a pesquisa pode ser classificada como exploratória, bibliográfica e documental. De acordo com Sampieri *et al.* (2013), o objetivo da pesquisa exploratória é investigar um tema ou um problema de pesquisa que tenha sido pouco estudado ou que ainda apresenta lacunas. Em geral, os estudos exploratórios assumem as formas de pesquisa bibliográfica, estudos de caso e levantamento de campo (GIL, 2017). A pesquisa bibliográfica se refere a toda bibliografia referente ao tema de estudo que já tenha se tornado público por meio de boletins, revistas, jornais, livros, pesquisas, monografias, artigo, cartografia e meios de comunicação (MARCONI; LAKATOS 2017). A partir do levantamento bibliográfico realizado, observou-se que há poucos estudos que abordam conjuntamente os efeitos da estrutura etária na qualidade do meio ambiente, além disso, foram levantados conceitos e variáveis relevantes para a presente análise.

Desta forma, no tocante aos procedimentos técnicos, empregou-se o estudo bibliográfico e documental. O levantamento bibliográfico e documental está fundamentado em artigos científicos, livros, jornais, publicações de revistas, boletins, anuários estatísticos, documentos publicados por fonte oficial do governo brasileiro, Banco Mundial e institutos de pesquisas.

No que diz respeito às técnicas de coleta de dados, os dados utilizados são secundários e foram compilados em bases oficiais como o Instituto Brasileiro de Pesquisa e Geografia (IBGE) e do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases (SEEG). Já as técnicas de análise destes dados estão baseadas na inferência estatística para estimação do modelo de regressão em dois estágios, para capturar os efeitos da estrutura etária na qualidade ambiental, através do método *Generalized Method of Moments (GMM)*.

Quadro 2 - Resumo dos procedimentos metodológicos

| Classificação da natureza da pesquisa | Classificação dos objetivos da pesquisa | Classificação da abordagem do problema | Classificação das técnicas de coleta de dados | Classificação das técnicas de análise |
|--|---|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Aplicada | <ul style="list-style-type: none"> • Bibliográfica • Documental • Exploratória | <ul style="list-style-type: none"> • Quantitativa | <ul style="list-style-type: none"> • Dados secundários | <ul style="list-style-type: none"> • Inferencial |

Fonte: Elaborado pela autora.

4.2 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA E DOCUMENTAL

A pesquisa bibliográfica parte da contribuição dos estudos sobre determinado tema e são classificados como secundários (PRODANOV; FREITAS, 2013). A finalidade do levantamento bibliográfico é fornecer suprimento para a estruturação das bases teóricas do estudo sendo indispensável à condução de todas as análises científicas (THEÓPHILO; MARTINS, 2016). Neste estudo, o levantamento bibliográfico foi utilizado para compreender o fenômeno em análise, de modo que as informações oriundas da literatura disponível possibilitaram a identificação dos principais conceitos, a determinação das variáveis relevantes e a formulação das hipóteses a serem testadas.

Para realizar a pesquisa bibliográfica foi utilizado o portal de periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) via plataforma CAFE (Comunidade Acadêmica Federada), disponibilizado na plataforma da UNIFAL-MG (Universidade Federal de Alfenas). O uso dessa ferramenta permite realizar pesquisas em periódicos nacionais e internacionais, em diversas bases de dados, de maneira integrada. Dentre elas estão: OneFile (GALE), Springer (CrossRef), Advanced Technologies & Aerospace Database, Materials Science & Engineering Database, ScienceDirect Journals (Elsevier), SpringerLink, Elsevier (CrossRef), Wiley Online Library, *e-book*, Google Scholar, SciELO, EBSCO e o repositório institucional da UNIFAL.

Os termos utilizados para elaboração desta dissertação estão em conformidade com o tema de pesquisa e em palavras-chave, sendo elas: “Mudanças demográficas”, “envelhecimento populacional”, “emissões de dióxido de carbono” e “qualidade ambiental”. Em princípio foram inseridas separadamente e depois relacionadas a variáveis demográficas, e a variáveis ambientais, através do operador booleano “and”. Para que a pesquisa realizada fosse mais completa, como a maior parte dos estudos sobre o tema são da literatura internacional, pesquisou-se em português, inglês, francês e alemão.

Após a realização destas pesquisas e conforme o tema e as palavras-chave, foram necessários alguns procedimentos para que a pesquisa cumprisse seu objetivo proposto. Em princípio eliminaram-se conteúdos não relacionados à área desta pesquisa. Por fim, realizou-se a verificação da importância de cada estudo para esta dissertação, bem como o número de citações que estes apresentam.

Desse modo, o Quadro 3 traz as principais referências selecionadas na pesquisa bibliográfica, de acordo com sua importância para esta análise e o número de citações.

Quadro 3 - Principais referências pesquisadas sobre mudanças demográficas, envelhecimento, emissões de dióxido de carbono

| (Continua) | | |
|------------|---|-----------------|
| Ano | Referências | Citações |
| 2018 | ZHANG, Zongyong <i>et al.</i> How does demographic structure affect environmental quality? Empirical evidence from China. | 6 |
| 2016 | ALAM, M. M. <i>et al.</i> Relationships among carbon emissions, economic growth, energy consumption and population growth: Testing Environmental Kuznets Curve hypothesis for Brazil, China, India and Indonesia. | 260 |
| 2013 | GOLLEY, J.; TYERS, R.; Contrasting giants: demographic change and economic performance in China and India. | 30 |
| 2012 | MENZ, T.; WELSCH, H.; Population aging and carbon emissions in OECD countries: Accounting for life-cycle and cohort effects. | 80 |
| 2011 | PAO, H-T.; TSAI, C-M. Modeling and forecasting the CO2 emissions, energy consumption, and economic growth in Brazil. | 429 |
| 2010 | O'NEILL, B. C. <i>et al.</i> Global demographic trends and future carbon emissions. | 320 |
| 2009 | KRONENBERG, T. The impact of demographic change on energy use and greenhouse gas emissions in Germany. | 59 |

Quadro 3 - Principais referências pesquisadas sobre mudanças demográficas, envelhecimento, emissões de dióxido de carbono

| | | (conclusão) |
|------------|---|-----------------|
| Ano | Referências | Citações |
| 2003 | GAVRILOV, L. A.; HEUVELINE, P. Aging of population. | 318 |
| 2000 | POOL, I. Age-structural transitions and policy: towards frameworks. | 39 |
| 1996 | KIRK, D. Demographic transition theory. | 943 |
| 1991 | GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. Environmental impacts of a North American free trade agreement. | 5.835 |
| 1955 | KUZNETS, S. Economic growth and income inequality. | 13.497 |
| 1798 | MALTHUS, T. An essay on the principle of population. | 7019 |

Fonte: Elaborado a partir da literatura pesquisada.

Além das referências apresentadas no Quadro 5, também se utilizou grande número de artigos, livros, teses/dissertações que mesmo não possuindo grande volume de citações, mostraram-se relevantes para este estudo.

Após o levantamento bibliográfico, foram identificadas as instituições importantes de produção de dados demográficos e econômicos do setor de energia e da qualidade ambiental. Assim, a pesquisa documental foi utilizada para caracterizar e obter informações sobre o envelhecimento populacional, bem como do setor de energia no Brasil, com base em relatórios, textos publicados em sites oficiais do governo, organizações e instituições.

No Quadro 4 podem ser verificadas as fontes utilizadas na pesquisa documental e seus respectivos endereços eletrônicos.

Quadro 4 - Instituições utilizadas na pesquisa documental relacionadas a demografia, energia e qualidade ambiental

| Sigla | Instituição | Website |
|--------------|--|--|
| EPE | Empresa de Pesquisa Energética | www.epe.gov.br |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística | www.ibge.gov.br |
| IEDI | Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial | www.iedi.org.br |
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change | www.ipcc.ch |
| MS | Ministério da Saúde | www.saude.gov.br |
| ONU | Organização das Nações Unidas | www.un.org |
| SEEG | Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa | www.seeg.eco.br |

Fonte: Elaborado pela autora.

Após a identificação, na pesquisa documental, das principais instituições que abordaram o tema da pesquisa, realizou-se a seleção dos documentos de maior relevância. Os principais documentos utilizados na pesquisa estão apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 - Principais documentos utilizados na pesquisa

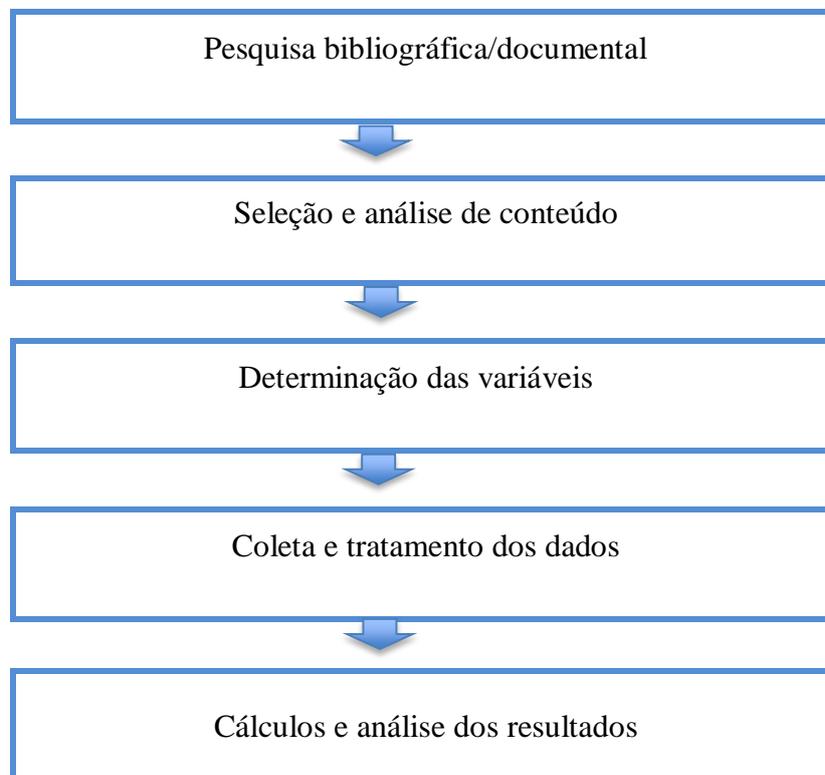
| Ano | Nome | Instituição |
|------|--|----------------|
| 2019 | Resenha energética brasileira | MME |
| 2018 | Balanco Energético Nacional | EPE |
| 2017 | Relatório do envelhecimento da população mundial | UNITED NATIONS |
| 2014 | Consumo de energia no Brasil | EPE |

Fonte: Elaborado pela autora.

4.3 PROCEDIMENTOS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Os procedimentos realizados a partir do levantamento bibliográfico e documental para selecionar conteúdo e identificar as instituições envolvidas na produção das variáveis demográficas, econômicas, energéticas e ambientais, bem como os procedimentos técnicos, resumidos na Figura 3.

Figura 3 - Procedimentos de coleta e análise de dados da pesquisa



Fonte: Elaborada pela autora.

4.4 DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS

Existem diferentes formas para estruturar modelos, mas o objetivo de todas é selecionar as variáveis que melhor representem o fenômeno estudado, para que o modelo seja o mais adequado. De acordo com Hosmer e Lemeshow (2013), o sucesso da modelagem de um conjunto de dados complexos possui relação com a delimitação da pesquisa, com os métodos estatísticos e com a experiência e o bom senso do pesquisador.

Para Ander-Egg (1971), a pesquisa pode ser delimitada quanto ao objeto (determinar variáveis e fatores que influenciam o fenômeno em análise), quanto ao campo de investigação (limite de tempo e geográfico) e quanto ao nível de investigação (alcance da investigação).

O objeto de estudo desta pesquisa consiste em analisar os impactos das mudanças na estrutura etária nas emissões de dióxido de carbono pelo consumo de energia, separando os efeitos em efeito direto e indireto. Antes da apresentação das variáveis, faz-se necessária a apresentação dos conceitos teóricos da pesquisa. Os efeitos da estrutura demográfica sobre a qualidade ambiental são distinguidos e estimados separadamente. Logo, os efeitos podem ser assim explicados: o efeito direto constitui o impacto direto da estrutura demográfica sobre o meio ambiente, gerada por mudanças nos hábitos e preferências dos indivíduos, quando a composição demográfica é alterada (a demanda dos idosos é menor por viagens e maior por aquecimento e resfriamento – energia térmica). Por outro lado, o efeito indireto diz respeito à influência indireta que a estrutura demográfica exerce sobre o meio ambiente, por meio de seus efeitos no crescimento econômico, uma vez que a relação entre qualidade ambiental e crescimento econômico pode ser não linear CAK.

Nesta pesquisa, a parcela da população em idade ativa representada pelo grupo composto por pessoas entre 15 e 64 anos foi utilizada para caracterizar a estrutura da população. Conforme os estudos recentes (GOLLEY; ZHENG, 2015; ZHANG *et al.*, 2015a, ZHANG *et al.*, 2015b; ZHANG *et al.*, 2018), a parcela da população em idade ativa pode representar a relação entre a população em idade ativa e a população dependente. Além disso, desconsiderar a população em idade ativa, quando estuda os impactos de uma população que está envelhecendo pode gerar resultados tendenciosos (LIU; HU, 2013; PENG, 2011; ZHANG *et al.*, 2018).

Seguindo a literatura (GROSSMAN; KRUEGER, 1991; MUHAMMAD *et al.*, 2012; PANAYOTOU, 1993; SELDEN; SONG, 1994; SHAFIK; BANDYOPADHYAY, 1992; SURI; CHAPMAN, 1998; ZHANG *et al.*, 2018), o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita*

corresponde ao nível de crescimento econômico. A abertura comercial, medida pela soma das importações e as exportações dividida pelo PIB, foi adicionada para verificar o impacto do comércio exterior (BLOOM; FINLAY, 2009; BLOOM *et al.*, 2010). Para medir a produtividade da economia, foi utilizada a média de anos de estudos das pessoas com 25 anos ou mais, como *proxy* do estoque de capital humano (CANGUSSU *et al.*, 2010; COELHO; FIGUEIREDO, 2007; MANKIW *et al.*, 1992; SILVA; RESENDE, 2009; SOLOW, 1956; LUCAS ER, 1988). Devido à indisponibilidade de dados de estoque de capital físico para as unidades federativas, utilizou-se o consumo de energia elétrica como uma *proxy*. O consumo de energia elétrica como *proxy* do estoque de capital físico encontra justificativas no estudo de Pinheiro e Veloso (2015), neste estudo argumentam que o consumo de energia elétrica é a principal força motriz dos equipamentos em uma economia, setor, estado ou região. O consumo de energia elétrica se relaciona tanto como impulsionador da produção como das emissões de dióxido de carbono; outro elemento que contribui para as emissões de poluentes é o desmatamento. Conforme Arraes *et al.* (2012), as queimadas são uma das principais causas do desmatamento, como os dados são escassos para desmatamento, foi empregado o número de focos de incêndio por km² como *proxy*. As emissões de dióxido de carbono *per capita* foram introduzidas como medida da qualidade do meio ambiente (ZHANG *et al.*, 2018).

Quanto ao campo de investigação, a pesquisa se limita ao Brasil, utilizando dados das unidades federativas, durante o período de 2002 a 2016. A escolha do Brasil se deve ao rápido e generalizado crescimento da população idosa em relação aos demais grupos etários.

Esse fenômeno gera pressões sobre diferentes setores da economia, através das mudanças no padrão de consumo, uma vez que os idosos demandam bens e serviços diferentes das demais faixas etárias. Essas alterações no comportamento econômico dos indivíduos alteram o consumo de energia, levando a diferentes níveis de emissões de dióxido de carbono. A desagregação por unidades federativas permite observar a heterogeneidade das características demográficas, socioeconômicas e ambientais. Outra vantagem de utilizar os dados desagregados é a possibilidade de verificar que as emissões podem apresentar uma relação não linear com o crescimento econômico e trazer novas evidências para a literatura. Além disso, a literatura nacional se encontra escassa no que se refere a estudos empíricos que relacionam estrutura etária e emissões de CO₂. Quanto ao período da análise, como há limitação de dados relacionados a algumas variáveis, foi escolhida a que apresentou disponibilidade conjunta dos dados sobre todas as variáveis utilizadas.

4.5 TIPOLOGIA E FONTES DE DADOS

Os dados utilizados na pesquisa são quantitativos e secundários. A periodicidade dos dados é anual, compreendendo o período entre 2002 e 2016. Os dados referentes ao PIB *per capita* foram construídos a partir do PIB, a preços correntes, obtidos no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e foram deflacionados pelo deflator implícito do PIB, nivelados aos preços de 2010 (em R\$) e divididos pelo número total de habitantes. A variável PIA foi retirada do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) em números de pessoas com idade entre 15 e 64 anos e dividida pelo total da população, para obter a proporção (em %); A variável de abertura comercial foi criada a partir da soma dos dados de importações e exportações a preços correntes (medidos em mil U\$), que foram convertidos (em mil R\$ a preços de 2010) e divididos pelo PIB (a preços de 2010); Os dados de consumo de energia elétrica em Megawatt-hora (MWH) *per capita* foram construídos a partir do consumo de energia em MWH retirados do IBGE e divididos pelo total de habitantes; A *proxy* para o estoque de capital físico *per capita* é o consumo de energia elétrica *per capita* em MWH; a *proxy* para o estoque de capital humano é a média de anos de estudos das pessoas com 25 anos ou mais, obtidas no IBGE; a variável de emissões totais de CO₂ *per capita* foi construída a partir dos dados de emissões totais de CO₂, medidas em toneladas e são provenientes do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases (SEEG), as emissões foram convertidas em Kg e divididas pelo total de habitantes; a *proxy* para desmatamento foi criada a partir do número de focos de incêndio, esses dados foram coletados no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e divididos pela área em km². As variáveis utilizadas na pesquisa e suas fontes de dados estão apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6 - Variáveis e fonte de dados da pesquisa

| Siglas | Variáveis | Unidade de medida | Fonte de dados |
|----------------------|--|----------------------|----------------|
| PIBpc | Produto Interno Bruto <i>per capita</i> | R\$ a preços de 2010 | IBGE |
| ABERT | Abertura comercial | R\$ a preços de 2010 | IBGE |
| DESM | Desmatamento (<i>proxy</i>) | Km ² | INPE |
| HUM | Estoque de capital humano (<i>proxy</i>) | Unidade | IBGE |
| CAPpc | Estoque de capital físico <i>per capita</i> (<i>proxy</i>) | MWH | IBGE |
| ENERpc | Consumo de energia elétrica <i>per capita</i> | MWH | IBGE |
| PIA | Proporção da População em Idade Ativa | % | IBGE |
| CO ₂ perc | Emissões de dióxido de carbono <i>per capita</i> | Kg | SEEG |

Fonte: Elaborado pela autora.

4.6 TÉCNICAS DE ANÁLISE

Tendo em vista os objetivos específicos desta pesquisa, faz-se necessária a escolha do método de análise a ser aplicado. A escolha foi feita com base nas características amostrais dos dados utilizados, que possuem dimensão transversal e dimensão temporal, uma vez que a amostra de unidades federativas ($i = 1, 2, 3, \dots, 27$) será observada ao longo do tempo ($t = 2002, 2003, \dots, 2016$). Essa combinação de dados transversais no tempo é conhecida na literatura como dados em painel ou longitudinais.

De acordo com Wooldridge (2016), o uso de dados em painel permite observar ao longo do tempo as influências das variáveis explicativas sobre a variável a ser explicada. Além disso, é possível resolver questões de variáveis omitidas. Para Cameron e Trivedi (2005) a principal vantagem está na maior precisão das estimativas.

Outra questão a ser definida consiste na escolha do modelo que mais se adequa ao problema de pesquisa. Os modelos que utilizam dados em painel se diferenciam pela presença de Efeitos Fixos (EF) ou Efeitos Aleatórios (EA). A principal diferença entre eles está na relação entre a heterogeneidade não observada e as variáveis explicativas. De acordo com Wooldridge (2016) no estimador de efeitos fixos, o efeito não observado é eliminado antes da estimação, de forma que são removidas todas as variáveis explicativas constantes no tempo. Já o estimador de efeitos aleatórios presume que o efeito não observado não possui correlação com as variáveis explicativas.

Os dados em painel podem ainda ser classificados como balanceado ou desbalanceado. No painel balanceado, o número de observações para cada unidade de corte transversal deve ser o mesmo. Enquanto no painel desbalanceado, para cada unidade existe um número de observações diferentes. Nesta pesquisa, o número de observações para cada unidade federativa foram os mesmos, o painel de dados foi balanceado.

As pesquisas empíricas que utilizam dados em painel, geralmente estimam seus parâmetros pelo método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) ou pelo método de EF e EA. No método de MQO observam-se as unidades de corte transversal em um único período do tempo e assume o pressuposto de que as observações são independentes entre si. Para que os coeficientes estimados sejam consistentes, não pode haver correlação contemporânea entre o termo de erro e as variáveis explicativas (WOODRIDGE, 2016), enquanto os estimadores de efeitos fixos e aleatórios permitem a relação dinâmica entre as variáveis e controla os fatores não observáveis nas unidades de cortes transversais (unidades

federativas). A pressuposição dos modelos de EF e EA é que não exista correlação entre as variáveis explicativas e o termo de erro em nenhum momento do tempo, ou seja, a condição de exogeneidade estrita. Dessa forma, para que os resultados das estimações sejam válidos, é necessário que o pressuposto de homogeneidade e da ausência de autocorrelação seja atendido.

Na literatura, encontram-se referências em estudos que realizaram estimativas para análises semelhantes à proposta desta pesquisa, pelo método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) como Grossman e Krueger (1991), Panayotou (1993), Selden e Song (1994), Taskim e Zaim (2001) entre outros. No entanto, as estimativas resultantes de tal procedimento podem conter viés e inconsistência. O estudo de Halkos e Paizanos (2013) estima a função pelo método de Efeitos Fixos (FE), mas conforme Wooldridge (2016) expõe, embora se mostre adequado para o controle da heterogeneidade entre os diferentes estados, não é capaz de lidar com a endogeneidade. Stern *et al.* (1996) pontua que pode haver endogeneidade na renda *per capita* na função CAK, pois o possível efeito *feedback* do meio ambiente não pode ser descartado.

O problema de endogeneidade das variáveis explicativas pode ser resolvido através do uso de variáveis instrumentais. Para isso, a variável a ser utilizada como um regressor exógeno, precisa ser não correlacionada com o termo de erro e ser parcialmente correlacionada com o regressor endógeno (WOODRIGE, 2016).

Um método que tem se destacado na literatura por permitir controlar os problemas de endogeneidade da variável explicativa e a heterocedasticidade do termo de erro é o *Generalized Method of Moments* (GMM). Dessa forma, o GMM será utilizado nesta pesquisa a fim de controlar problemas de ordem empírica.

4.6.1 MÉTODO GENERALIZADO DOS MOMENTOS OU GENERALIZED METHOD OF MOMENTS (GMM)

Proposto por Hansen (1982), o GMM trata-se de um método mais robusto, baseado em instrumentos exógenos obtidos através de seus próprios regressores para controlar o problema da endogeneidade das variáveis explicativas.

Com base no estimador GMM, Arellano e Bond (1991) propuseram o GMM em diferenças, que utiliza series de tempo defasada como instrumento das variáveis em primeira

diferença. Esse método exige apenas que os regressores sejam exógenos, flexibilizando o pressuposto de exogeneidade estrita¹².

O GMM em diferenças se apoia na transformação do modelo através da defasagem da variável dependente e das defasagens das variáveis endógenas e nas diferenças das variáveis que são estritamente exógenas. A estimação por GMM em diferenças para os determinantes do crescimento econômico e emissões de CO₂ permite controlar a persistência da variável dependente no tempo.

A equação geral do modelo em painel dinâmico, estimado por GMM em diferenças, pode ser escrita da seguinte forma:

$$y_{it} = \delta y_{i,t-1} + x_{it}\beta + u_{it}, \text{ com } i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (1)$$

onde, δ é um escalar; x_{it} é o vetor de variáveis independentes $1 \times k$; β é o vetor de coeficientes $k \times 1$; $i = 1, \dots, N$ é dimensão transversal; $t = 1, \dots, T$ é a dimensão temporal; o termo $u_{it} = \mu_i + v_{it}$ com $\mu_i \sim IID(0, \sigma_\mu^2)$ e $v_{it} \sim IID(0, \sigma_v^2)$. O componente μ_i são os efeitos fixos individuais (específicos de cada unidade federativa) e invariantes no tempo. Enquanto, v_{it} são as perturbações específicas de cada unidade federativa e que variam no tempo, sendo v_{it} heterocedásticos e correlacionados no tempo. Dessa forma, pressupõe que:

$$\begin{aligned} E(\mu_i) &= E(v_{it}) = E(\mu_i \cdot v_{it}) = 0 \\ E(v_i \cdot v_{it}) &= 0 \text{ para cada } i, j, t, s \text{ com } i \neq j \end{aligned} \quad (2)$$

O estimador GMM em diferenças é obtido em dois estágios. No primeiro estágio assume-se o pressuposto de independência dos erros e homocedasticidade entre as unidades transversais e no tempo. No segundo estágio utiliza-se os resíduos obtidos no primeiro estágio para calcular de forma consistente a matriz de variância e covariância, assim a hipótese de que os erros são independentes e homocedásticos é relaxada.

Para verificar a validade das hipóteses do modelo estimado são aplicados dois testes: Autocorrelação de Primeira e de Segunda ordem e Teste de Restrição sobre identificadoras de Hansen/ Sargan. O primeiro teste, proposto por Arellano e Bond (1991), testa a

¹² Exogeneidade estrita considera que o regressor independe dos erros contemporâneos, futuros e passados.

autocorrelação de Primeira e Segunda ordem nos resíduos em diferenças. Assim, espera-se rejeitar a hipótese nula de que os erros transformados não são correlacionados de primeira ordem. Já no teste de autocorrelação de segunda ordem, espera-se que os erros sejam não correlacionados, ou seja, que a estatística seja não significativa.

O segundo teste serve para verificar a validade dos instrumentos utilizados. Para que os instrumentos sejam válidos, é necessário que duas condições sejam satisfeitas: 1) que os instrumentos sejam correlacionados com os regressores endógenos; 2) de ortogonalidade, ou seja, que os instrumentos obtidos não sejam correlacionados com o erro. Esta condição pode ser verificada pela estatística J de Sargan (1982) que testa a hipótese de validade dos instrumentos para obter os estimadores com mínima variância assintótica, contra a de não adequação dos instrumentos, quando a variância assintótica não é mínima.

4.6.2 MODELOS

Conforme destacado por Zhang *et al.* (2018) e O’neill *et al.* (2010), os estudos que relacionam as questões demográficas às ambientais, em geral se limitam na análise do efeito direto. Nesta pesquisa é estimado o efeito direto e indireto conjuntamente. A escolha do modelo de regressão utilizado tem como base os estudos (COLE, 2007; HALKOS; PAIZANOS, 2013; WELSCH, 2004; ZHANG *et al.*, 2018). Dessa forma, o modelo pode ser descrito através da função de produção estendida (SOLOW, 1956), comumente utilizada em análises de crescimento econômico, que pode ser escrita da seguinte maneira:

$$\ln PIBpc_{i,t} = \alpha + \beta_0 \ln PIBpc_{i,t-1} + \beta_1 \ln PIA_{i,t} + \beta_2 \ln CAPpc_{i,t} + \beta_3 \ln HUM_{i,t} + \beta_4 \ln ABER_{i,t} + \eta_i + \mu_{i,t} \quad (3)$$

Onde:

α : é o intercepto comum;

$\ln PIBpc_{i,t}$: representa o logaritmo da renda *per capita*;

$\ln PIBpc_{i,t-1}$: corresponde o logaritmo da renda *per capita* defasada;

$\ln PIA_{i,t}$: é o logaritmo da parcela da população em idade ativa;

$\ln CAPpc$: representa o logaritmo do estoque de capital *per capita* (consumo de energia elétrica *per capita*);

$\ln HUM_{i,t}$: é o logaritmo do estoque de capital humano;

$\ln ABER_{i,t}$: é o logaritmo do grau de abertura comercial medido pela razão das importações e exportações pelo PIB;

η_i : corresponde aos efeitos específicos não observáveis de cada estado;

i : representa as unidades federativas ($i = 1, 2, \dots, 27$);

t : é o número de anos ($t = 2002, 2003, \dots, 2016$).

As variáveis de estoque de capital foram introduzidas para controlar o efeito da renda.

Dado que o Brasil possui 27 unidades federativas, ao longo de 15 anos, tem-se um total de 405 observações.

No modelo de crescimento econômico, espera-se que a relação entre crescimento e PIA seja positiva, uma vez que as pessoas em idade ativa tecnicamente contribuem mais para o crescimento que a população dependente. Tem-se observado que os estoques de capital físico e humano têm sido associados positivamente com o crescimento econômico. Em relação à abertura comercial, uma economia mais aberta pode proporcionar um crescimento mais rápido.

O modelo empírico de emissões de dióxido de carbono busca verificar quais fatores influenciam estas emissões, assumindo a seguinte forma:

$$\ln CO_2 pc_{i,t} = \alpha + \beta_5 \ln CO_2 pc_{i,t-1} + \beta_6 \ln PIA_{i,t} + \beta_7 E \ln PIB pc_{i,t} + \beta_8 E \ln PIB pc_{i,t}^2 + \beta_9 \ln DESM_{i,t} + \beta_{10} \ln ENER pc_{i,t} + \lambda_i + \epsilon_{i,t} \quad (4)$$

Onde:

α é o intercepto comum;

$\ln CO_2 pc_{i,t}$ representa o logaritmo das emissões totais de dióxido de carbono *per capita*;

$\ln CO_2 pc_{i,t-1}$ equivale ao logaritmo das emissões totais de dióxido de carbono *per capita* defasada;

$\ln PIA_{i,t}$ é o logaritmo da parcela da população em idade ativa;

$E \ln PIB pc_{i,t}$ é o valor ajustado do PIB *per capita* da equação 1;

$E \ln PIB pc_{i,t}^2$ é o quadrado do PIB ajustado; $\ln ENER pc_{i,t}$

$\ln DESM_{i,t}$ é o logaritmo da *proxy* de desmatamento;

$\ln ENER pc_{i,t}$ é o logaritmo do consumo de energia elétrica.

λ_i corresponde aos efeitos específicos não observáveis de cada estado;

As variáveis de controle (desmatamento e consumo de energia) foram introduzidas para distinguir os efeitos diretos da estrutura etária na qualidade ambiental, diante de outros elementos que podem influenciar as emissões (WOOLDRIDGE, 2016).

No modelo de emissões de dióxido de carbono, espera-se que a relação entre emissões e crescimento econômico seja quadrática. Essa relação caracteriza a CAK, que tem por hipótese que nos estágios iniciais do crescimento econômico, as emissões tendem a aumentar até atingir um determinado nível de renda, após começa a declinar. Com relação ao desmatamento, tem-se observado que este tem contribuído positivamente para o aumento das emissões de poluentes. Espera-se ainda que o consumo de energia esteja associado de forma positiva com as emissões devido à produção e consumo.

Quando os demais fatores são bem controlados, o coeficiente β_6 estimado na equação 4 irá refletir o efeito puro direto da estrutura demográfica nas emissões de CO₂ (ZHANG *et al.*, 2018). Considerando que o envelhecimento populacional altera o comportamento relacionado ao uso de energia, uma vez que os idosos demandam mais energia para aquecimento e resfriamento e menos energia para viagens, o que resulta no menor consumo de fontes de energia fósseis. Por outro lado, o consumo de energético por esse grupo etário pode apresentar aumento devido ao maior tempo que os idosos despendem em suas residências em relação aos demais grupos, com isso, o mix de energia pode ser afetado e, por sua vez, gerar impactos no meio ambiente.

O efeito indireto da estrutura etária nas emissões de CO₂ pode ocorrer por meio do crescimento econômico, uma vez que modificações na estrutura demográfica podem impactar a renda. Porém, o efeito indireto não parece ser fácil de encontrar como o efeito direto, o que exige maior rigor nos procedimentos empíricos. Por isso, o crescimento econômico será utilizado como uma variável intermediária para encontrar o efeito indireto da estrutura demográfica nas emissões de dióxido de carbono, seguindo os estudos de Cole (2007), Halkos e Paizanos (2013) e Zhang *et al.* (2018).

Na Equação 4, espera-se que a relação entre emissões e crescimento econômico, ambos *per capita*, seja quadrática. Para isso, foi introduzido o termo quadrático no PIB *per capita*. A hipótese da CAK pressupõe que com a transição do modo agrícola para o industrial, a degradação ambiental aumenta, devido ao uso intensivo de recursos naturais. Com o aumento da renda, em um determinado momento as emissões chegam a um nível máximo ou ponto de inflexão e começa a declinar, isso ocorre devido às transformações sociais e tecnológicas, instituição de leis e de uma maior consciência ambiental.

Os procedimentos consistem em estimar a equação 3, para obter o efeito parcial da estrutura etária no crescimento econômico. Na equação 4, utiliza-se o valor ajustado da renda obtido na equação anterior para estimar o efeito indireto, através da função CAK. Além disso, na segunda equação também é obtido o efeito direto puro da estrutura demográfica nas emissões de CO₂.

A estimação em dois estágios permite separar o efeito líquido da estrutura etária da população sobre as emissões de dióxido de carbono (COLE, 2007; GUAN *et al.*, 2009; HALKOS; PAIZANOS, 2013; LEE; SCHMIDT, 1993; ZHANG *et al.*, 2018). A principal vantagem de utilizar esta metodologia, segundo Zhang *et al.* (2018), consiste na decomposição dos efeitos direto e indireto da estrutura demográfica nas emissões de dióxido de carbono e ainda conseguir obter o efeito direto puro, por meio de instrumentos adequados de estimação.

Este estudo buscou avançar controlando de forma adequada os problemas de ordem empírica. Em síntese, primeiro foi realizada a estimação do efeito parcial da estrutura etária no crescimento econômico. Em seguida, os parâmetros do modelo emissões foram estimados consistentemente através do GMM, em diferenças para obter o efeito indireto da estrutura etária nas emissões de dióxido de carbono por meio do crescimento econômico e o efeito direto puro da estrutura etária nas emissões de CO₂.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ANÁLISE DESCRITIVA

Nesta seção serão apresentadas as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas no estudo, bem como a análise de cada uma delas durante o período observado. A Tabela 3 mostra o resumo de algumas estatísticas descritivas para as variáveis utilizadas no período de 2002-2016.

Tabela 3 - Estatísticas descritivas das variáveis utilizadas no estudo no período de 2002-2016

| Variáveis | Obs. | Média | Desvio Padrão | Mín | Máx |
|--|------|---------|---------------|---------|---------|
| Abertura comercial | 405 | 0.15578 | 0.12592 | 0.00316 | 0.58626 |
| Proporção da População em Idade ativa | 405 | 0.65797 | 0.0335 | 0.57655 | 0.72658 |
| <i>Proxy</i> de Desmatamento | 405 | 0.02848 | 0.0261 | 0.00323 | 0.17517 |
| Emissões de dióxido de carbono <i>per capita</i> | 405 | 23448.4 | 40878.5 | 2004.02 | 389461 |
| PIB <i>per capita</i> | 405 | 15751.4 | 9128.33 | 4593.62 | 55340.5 |
| Consumo de energia elétrica <i>per capita</i> | 405 | 1.63925 | 0.65512 | 0.44632 | 3.537 |
| <i>Proxy</i> de estoque de capital físico | 405 | 1.63925 | 0.65512 | 0.44632 | 3.537 |
| <i>Proxy</i> de estoque de capital humano | 351 | 6.60788 | 1.18651 | 3.98239 | 10.082 |

Fonte: Elaborada a partir dos resultados do estudo.

A pesquisa utiliza sete variáveis durante o período de 2002 a 2016, para as 27 unidades federativas do Brasil. Nota-se um total de 405 observações para variáveis de grau de abertura entre os estados, proporção da população em idade ativa, *proxy* desmatamento, emissões de CO₂ renda e consumo de energia. Já a *proxy* da variável de estoque de capital humano possui um total de 351 observações, devido ao encerramento desta série no ano de 2014.

Os desvios apresentados mostram que há forte heterogeneidade no PIB *per capita*, nas emissões de CO₂ e no estoque de capital humano entre as UFs. Como se pode observar, essa heterogeneidade é ainda maior nas emissões com valor mínimo de 2004,02 kg por habitante e o valor máximo chega a 389.461 kg por habitante. Já o PIB *per capita* apresenta um valor de mínimo de R\$ 4.593,62 (a preços de 2010) e um valor de máximo de R\$ 55.340,50 (a preços de 2010). O estoque de capital humano apresenta uma média de 6,6 anos

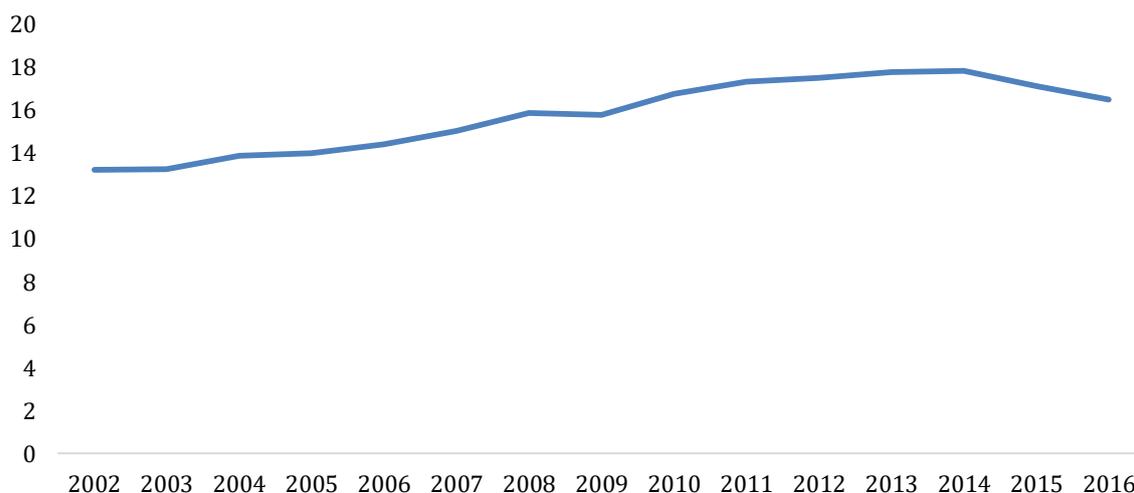
de estudos, com valor de mínimo de 3,9 anos de estudos e valor máximo de 10 anos de estudos da população com 25 anos ou mais.

Para melhor compreensão do comportamento de cada uma das variáveis, a análise descritiva será feita em subseções.

5.1.1 Produto Interno Bruto *per capita*

O Produto Interno Bruto representa a soma de todos os bens e serviços finais produzidos em uma região. Nesta pesquisa é utilizada como uma *proxy* da renda para determinar o nível de crescimento econômico. O Gráfico 19 apresenta a evolução da média do PIB *per capita* a preços de 2010, durante o período de 2002-2016.

Gráfico 19 - A evolução da média do PIB per capita (em mil R\$, a preços de 2010), durante o período de 2002-2016



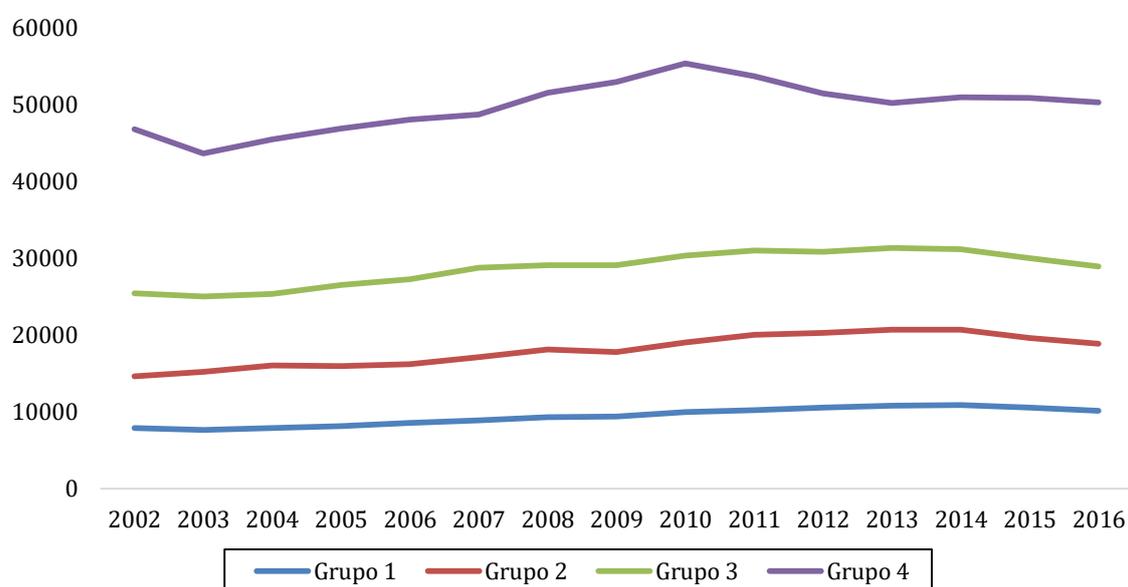
Fonte: Elaborado a partir dos dados do estudo.

O PIB *per capita* apresentou tendência de crescimento durante o período de 2002 a 2016, passando de R\$ 13.223,26, em 2002, para R\$ 16.497,57, em 2016. O declínio registrado em 2009 foi devido aos efeitos da crise econômica internacional, já a queda a partir de 2014 deve-se ao baixo desempenho da economia brasileira.

Como pode ser observado, através da média do PIB *per capita*, não é possível capturar a heterogeneidade da renda entre as unidades federativas, portanto as análises serão realizadas por quartis com base na média da renda *per capita* de 2016, calculada no período. No primeiro quartil estão as UFs (Acre, Amapá, Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba,

Pará, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe) com renda *per capita* média entre R\$ 0,00 e R\$12.500,00, denominado de Grupo 1. No segundo quartil estão as UFs (Amazonas, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Rondônia, Roraima, Santa Catarina e Tocantins) com renda média *per capita* entre R\$ 12.501,00 e R\$ 25.000,00, denominado de Grupo 2. No terceiro quartil tem-se a UF (São Paulo) com renda média entre R\$ 25.001,00 e R\$ 37.500,00, denominado de Grupo 3 e no quarto quartil a UF (Distrito Federal) com renda média entre R\$ 37.501,00 e R\$ 50.000,00 denominado de Grupo 4. O Gráfico 20 apresenta a média do PIB *per capita* dos grupos de renda das unidades federativas durante o período de 2002-2016.

Gráfico 20 - Média do PIB per capita por grupos de renda no período de 2002-2016



Fonte: Elaborado a partir dos dados da pesquisa.

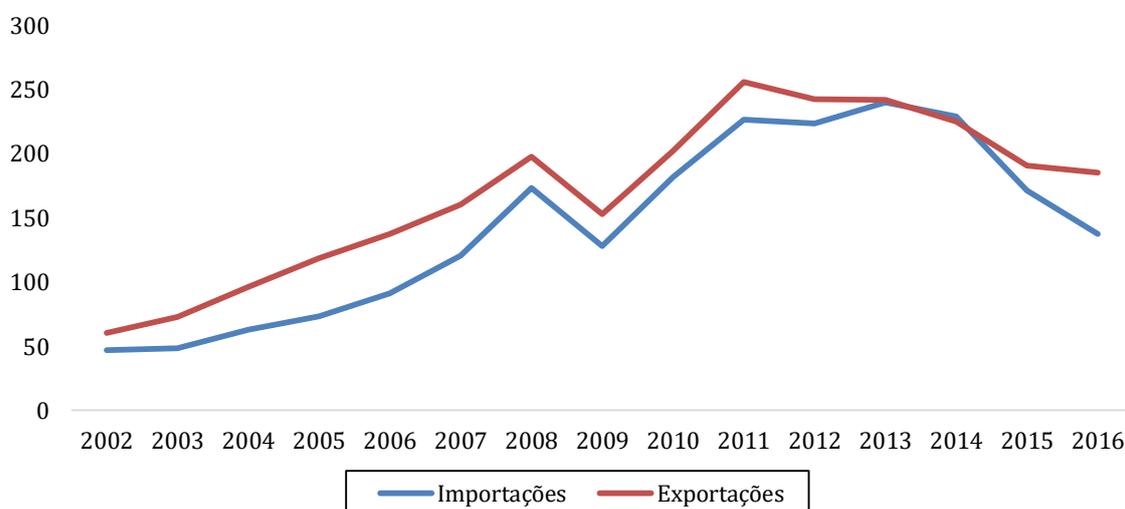
Nota: PIB medido em R\$ *per capita* com base no ano de 2010.

Pelo gráfico apresentado, nota-se tendência de crescimento da renda *per capita* em todos os grupos, ao longo de 2002-2016. O grupo 1 iniciou o período com renda média *per capita* de R\$ 7.856,29, passando para R\$ 10.094,85, em 2016, isso significa que houve aumento de aproximadamente 22% na renda desse grupo. O grupo 2 apresentou crescimento semelhante de R\$ 14.662,20, em 2002, chegando a R\$ 18.853,05, em 2016. O grupo 3 passou de R\$ 25.388,17 em 2002, para renda média de R\$ 28.919,60 em 2016. Por fim, o grupo 4, em 2002 apresentou renda média foi de R\$ 46.755,68, em 2016, atingiu renda média de R\$ 50.286,79. O crescimento da renda média dos grupos 3 e 4 foram idênticos 13%.

5.1.2 Abertura Comercial

A variável abertura comercial mede o grau de abertura das UFs através da soma das importações e exportações dividida pelo PIB. Uma economia mais aberta pode proporcionar um crescimento mais rápido da produtividade, e por fim, um crescimento da renda *per capita*. O Gráfico 21 apresenta a evolução das importações e das exportações no período de 2002-2016.

Gráfico 21 - Evolução das importações e das exportações no período de 2002-2016 (bilhões de US\$)



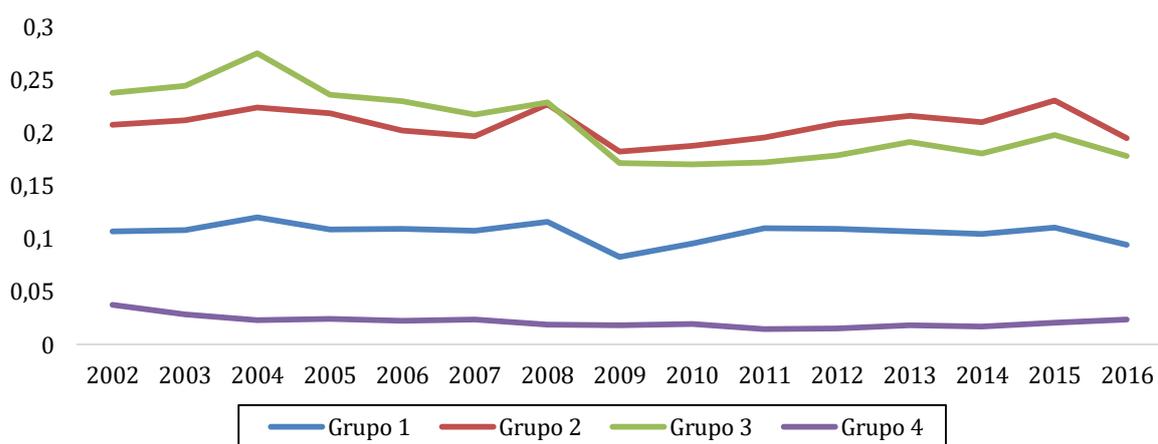
Fonte: Elaborado a partir dos dados do estudo.

As exportações, ao longo de período de analisado 2002 a 2016, apresentam tendência de crescimento, passando de US\$ 60 bilhões, em 2002, para US\$ 185 bilhões, em 2016. A trajetória das exportações mostra que um ano após a crise econômica internacional de 2008, as vendas externas apresentaram forte queda, seguidas por recuperação do crescimento. Contudo, no ano de 2012 houve nova queda devido aos efeitos da crise que reprimiu a demanda global. As unidades federativas que mais exportaram, em média, foram São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e Paraná. Quanto às importações, estas apresentaram tendência de crescimento menos intensa, passando de US\$ 47 bilhões, em 2002, para US\$ 137 bilhões em 2016, a queda registrada nos últimos anos foi em decorrência da crise econômica brasileira. As unidades federativas que mais contribuíram para as

importações, em média, foram São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Rio Grande do Sul e Amazonas.

Para observar o comportamento da abertura comercial entre os grupos de renda, o Gráfico 22 apresenta a média do grau de abertura por grupos de renda durante o período de 2002 a 2016.

Gráfico 22 - Médias do grau de abertura por grupos de renda no período de 2002-2016



Fonte: Elaborado a partir dos dados da pesquisa.

Nota: Abertura comercial está medida em %.

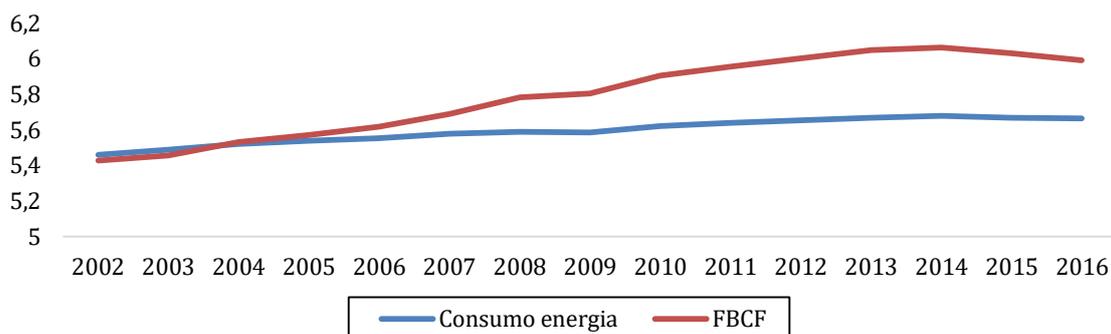
Pela observação do gráfico, nota-se tendência de decréscimo da participação relativa do comércio externo no PIB, a partir do ano de 2004, em todos os grupos. Após a crise de 2008, percebe-se uma melhora na participação relativa das importações e exportações no PIB, com a desaceleração da economia a partir de 2014, essa tendência de melhora foi revertida nos últimos anos da série. O grupo que apresentou maior equilíbrio durante todo o período foi o grupo 4, uma das razões para não haver mudanças significativas nesse grupo pode estar associada às atividades econômicas desenvolvidas no Distrito Federal.

5.1.3 Consumo de energia *per capita* e estoque de capital *per capita*

O consumo de energia elétrica é utilizado para representar o consumo energético e o estoque de capital físico. O consumo de energia elétrica, como variável de estoque de capital, traduz a capacidade de investimentos da economia, uma vez que a energia se apresenta como força motriz do crescimento econômico. O consumo de energia serve ainda para inferir sobre o comportamento de consumo dos indivíduos. Para mostrar a relação entre consumo

energético e estoque de capital físico, o Gráfico 23 apresenta o logaritmo do consumo de energia elétrica e logaritmo da formação bruta de capital fixo para o Brasil, durante o período de 2002-2016.

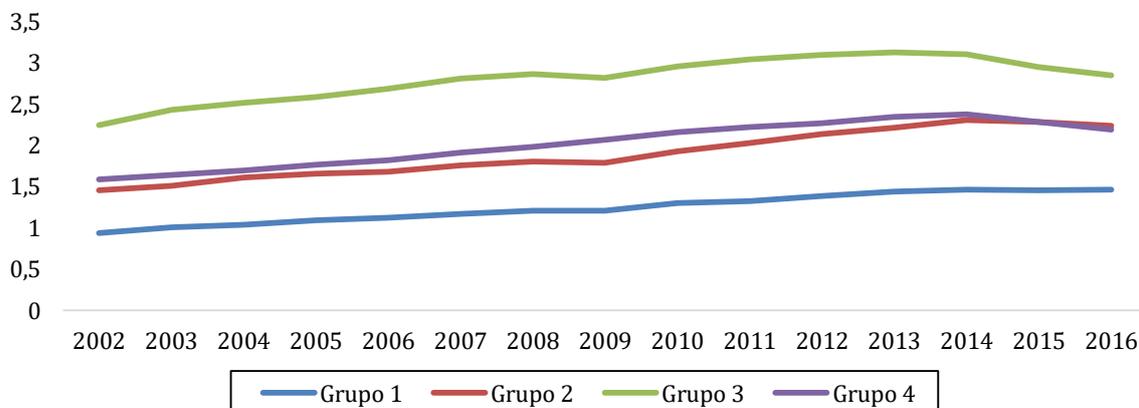
Gráfico 23 - Evolução do logaritmo do consumo de energia elétrica e da formação bruta de capital fixo para o Brasil no período de 2002-2016



Fonte: Elaborado a partir dos dados do estudo.

O padrão de crescimento do logaritmo das variáveis de consumo de energia elétrica e de estoque de capital apresenta semelhanças, ainda que o crescimento do estoque de capital tenha sido em maior nível. Assim como o estoque de capital se apresenta sensível à crise de 2008, e ao baixo desempenho da economia a partir de 2014, o consumo de energia também registrou queda. Para verificar quais grupos apresentam maior consumo de energia elétrica, o Gráfico 24 mostra a média do consumo de energia por grupos de renda, no período de 2002-2016.

Gráfico 24 - Médias do Consumo de energia elétrica per capita por grupos de renda no período de 2002-2016



Fonte: Elaborado a partir dos dados da pesquisa.

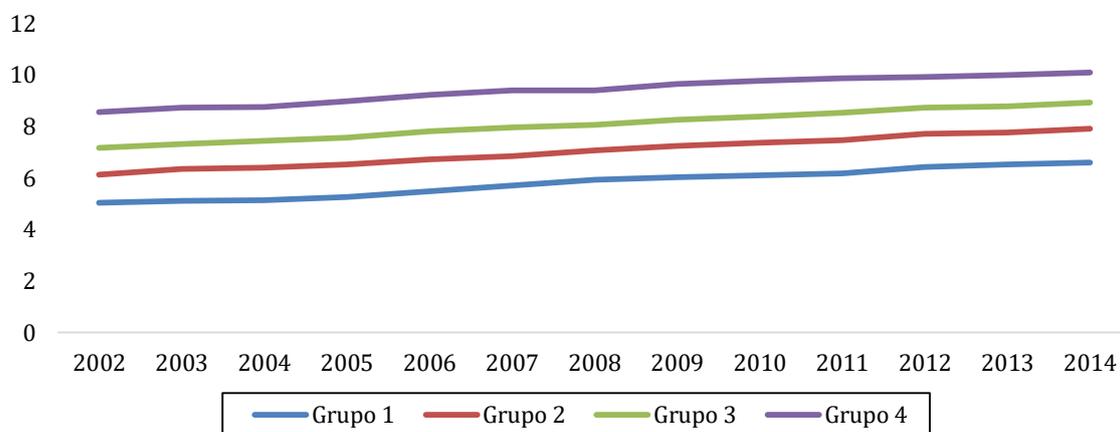
Nota: Consumo de energia medido em MWH *per capita*.

Pelo Gráfico 24, nota-se que o consumo de energia *per capita* apresenta crescimento no período em análise. Em períodos de desaceleração da economia, como em 2008 e a partir de 2014, é possível observar uma queda na demanda energética. O grupo que apresentou o maior consumo de energia em todo período foi o grupo 3, no qual está a unidade da federação de São Paulo que tem alta demanda de energia para o setor da indústria. Já o grupo 1 apresentou o menor consumo de energia, os demais grupos apresentaram crescimento semelhante no período.

5.1.4 Estoque de capital humano

O estoque de capital humano é medido pela capacidade produtiva da força de trabalho. Nesta pesquisa, o estoque de capital humano está representado pela média da escolaridade em anos de estudos das pessoas com 25 anos ou mais. Em geral, maiores níveis educacionais estão associados a maiores níveis de rendimentos. O Gráfico 25 apresenta a média do estoque de capital humano por grupos de renda, no período de 2002 a 2014.

Gráfico 25 - Médias do estoque de capital humano por grupos de renda no período de 2002-2014



Fonte: Elaborado a partir dos dados da pesquisa.

Nota: A *proxy* do estoque de capital humano é a média de anos de estudos de pessoas com 25 anos ou mais.

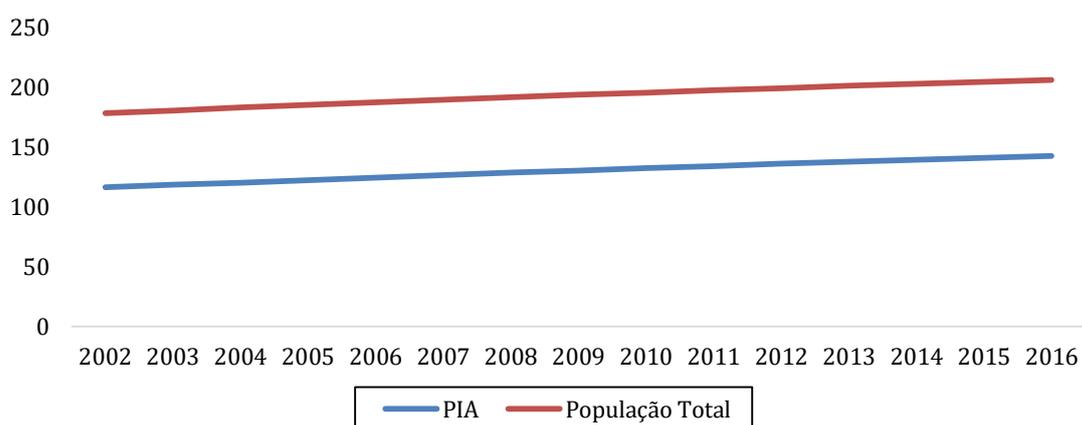
O estoque de capital humano apresentou tendência de crescimento ao longo do período de 2002 a 2014. Como esperado, os grupos de maiores rendas são os que apresentam maiores anos de estudos. Isso indica que a capacidade produtiva dos trabalhadores, através da educação, influencia o crescimento econômico. Durante o período analisado, o grupo de menor renda apresentou aumento de 1,56 anos de estudos, em média. Os grupos 2 e 3

apresentaram aumento, respectivamente de 1,78 e 1,76 anos de estudos, em média. Já o grupo 4, de maior renda, apresentou o menor crescimento em anos de estudos, em média, 1,54 anos.

5.1.5 Proporção da População em Idade Ativa

A população em idade ativa escolhida para representar a estrutura etária da população brasileira serve como um indicativo do tamanho da população produtiva em relação a não produtiva. Nesta pesquisa, a PIA será utilizada para mensurar os efeitos diretos e indiretos da estrutura demográfica nas emissões de CO₂. O Gráfico 26 exibe a evolução da população total e da PIA, no período de 2002-2016.

Gráfico 26 - Evolução da população total e da PIA no período de 2002-2016 (em milhões)

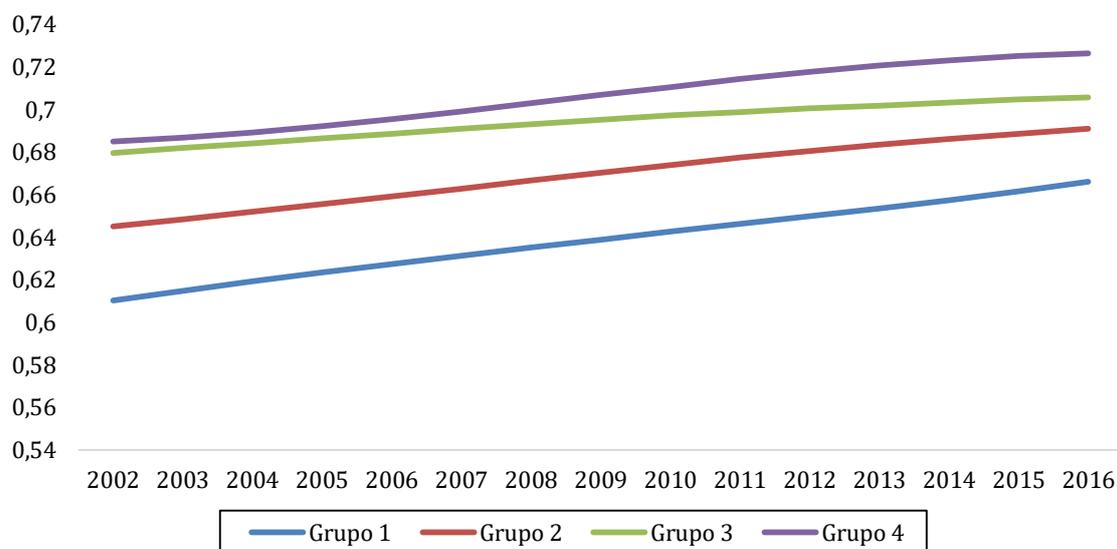


Fonte: Elaborado a partir dos dados do estudo

A população total apresentou um crescimento durante o período analisado, passando de 178 milhões de pessoas, em 2002, para 206 milhões, em 2016. Com relação à população em idade ativa, esta apresentou um comportamento semelhante ao crescimento da população total, passando de 116 milhões de pessoas, em 2002, para 142 milhões, em 2016. Isso significa que no início do período, 62 milhões de pessoas não faziam parte da população produtiva. Já em 2016, esse número cresceu para 64 milhões, esses números mostram que a população brasileira está aumentando a carga sobre o segmento produtivo.

Para observar quais grupos possuem uma maior população em idade produtiva, no Gráfico 27 encontram-se as médias da PIA por grupos de renda, no período de 2002-2016.

Gráfico 27 - Médias da PIA por grupos de renda no período de 2002-2016



Fonte: Elaborado a partir dos dados da pesquisa.

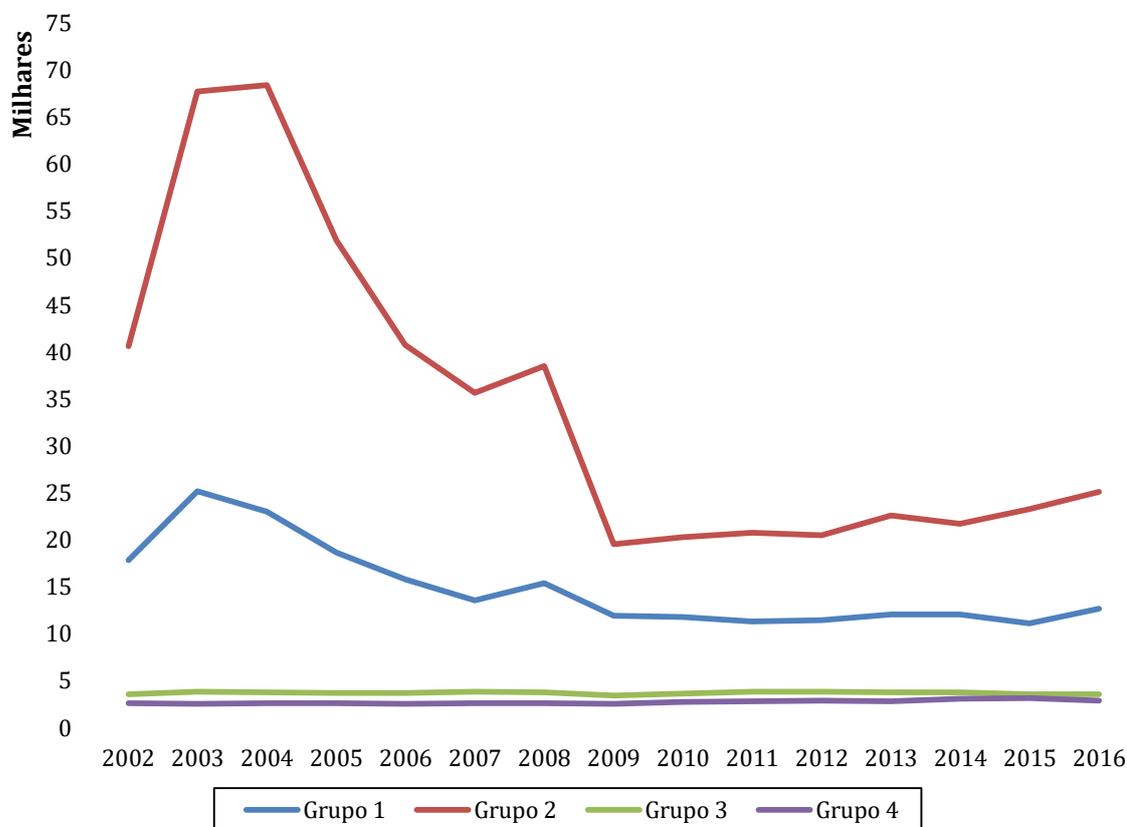
Nota: PIA medida em %.

A população em idade ativa apresentou crescimento em todos os grupos de renda. O grupo 1 possui a menor proporção de pessoas com idade entre 15-64 anos. Em 2002, 61% do total da população desse grupo estava na PIA, passando para 66,6 %, em 2016, um aumento de 5%, em média. O grupo 2 apresentou um crescimento médio na PIA de 4,6%, em 2002 contava com uma PIA de 64,5%, em 2016 passou a representar 69,1% da população. O grupo 3 é o que apresentou o menor crescimento da PIA, em 2002 o percentual era de 67,9% e em 2016 passou a ser de 70,5%, um incremento de apenas 2,6%. O grupo 4, de maior renda, também exibe uma maior participação da população em idade ativa. Em 2002, 68,4% da população estava dentro da PIA e, em 2016, aumentou para 72,6%, isso indica um crescimento médio de 4,2%, no período.

5.1.6 Emissões de dióxido de carbono *per capita*

As emissões de dióxido de carbono servem como uma medida de degradação ambiental, uma vez que o dióxido de carbono é o principal poluente de GEE, grande parte das emissões de CO₂ é proveniente da queima de combustíveis fósseis como petróleo, carvão e gás para as atividades humanas. No Gráfico 28 será apresentada a média das emissões de dióxido de carbono por grupos de renda, no período de 2002-2016.

Gráfico 28 - Médias das emissões de dióxido de carbono por grupos de renda no período de 2002-2016



Fonte: Elaborado a partir dos dados da pesquisa.

Nota: Emissões de dióxido de carbono medido em kg *per capita*.

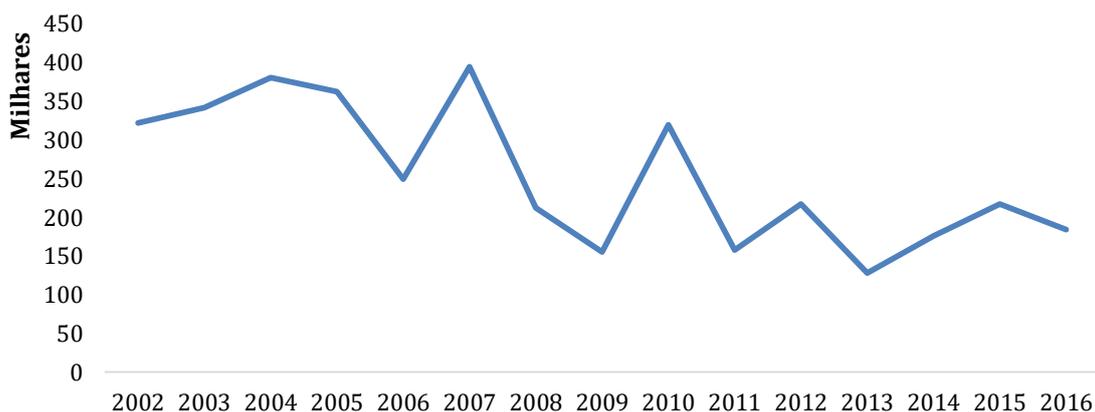
As emissões de dióxido de carbono apresentaram tendência de decréscimo ao longo do período de 2002-2016. Um maior controle das emissões, a partir de 2009, pode ser atribuído ao acordo realizado com instituições internacionais para redução das emissões de poluentes. Os grupos que exibem maiores níveis de emissões *per capita*, são os grupos 1 e 2, em que a maior quantidade média emitida foi de 68.358,03 kg, em 2004, pelo grupo 2. Os grupos 3 e 4 apresentam maior equilíbrio na quantidade média de emissões de CO₂.

5.1.7 Proxy de desmatamento

A *proxy* do desmatamento está representada pelo número de focos de incêndio. As queimadas são uma das principais causas do desmatamento, visto que são utilizadas como uma forma de limpeza de áreas de florestas para expansão da agricultura e da pecuária, pastagens e capoeiras. Quando há queimadas, são liberados gases de efeito estufa, dentre eles está o dióxido de carbono, esses gases são produzidos não só no processo de queima da

biomassa, mas também no processo de decomposição das partes que não são completamente destruídas e que podem ser novamente queimadas. Diante disso, o desmatamento contribui para o aumento das emissões de poluentes, em especial, as emissões de dióxido de carbono. O Gráfico 29 mostra a evolução da *proxy* do desmatamento, no período de 2002-2016.

Gráfico 29 - Evolução da proxy do desmatamento no período de 2002-2016

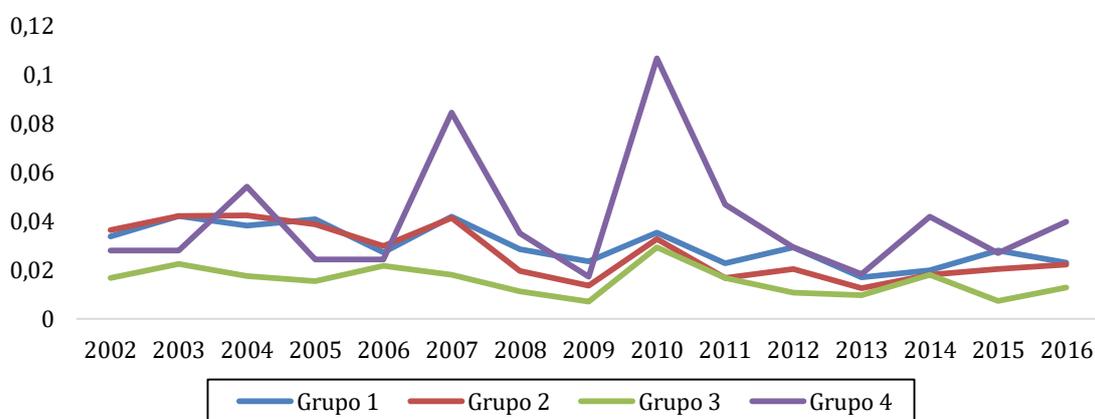


Fonte: Elaborado a partir dos dados do estudo.

O número de focos de incêndio, ao longo do período de 2002-2016, apresentou tendência de decrescimento, passando de 321.416 focos, em 2002, para 184.218 focos de incêndio, em 2016. Os picos apresentados em 2007 e 2010 estão relacionados à expansão da agropecuária e a seca que atingiu o país.

Para visualizar quais grupos apresentaram maiores focos de incêndio por km², no Gráfico 30 será representada a média do desmatamento por grupos de renda, no período de 2002-2016.

Gráfico 30 - Médias de desmatamento por grupos de renda no período de 2002-2016



Fonte: Elaborado a partir dos dados da pesquisa.

Nota: A *proxy* de desmatamento medida pelo número de focos de incêndio por km².

Como pode ser visto no Gráfico 30, o comportamento do número médio de focos de incêndio por km² apresenta oscilação em todo período. Observa-se ainda que o grupo com maior número de foco de incêndio foi o grupo 4, seguido dos grupos 1 e 2. O que apresentou o menor número de focos foi o grupo 3.

5.2 INFERÊNCIAS ESTATÍSTICAS

Para avaliar possíveis impactos da estrutura etária nas emissões de dióxido de carbono para o Brasil, foram consideradas 27 unidades federativas, no período de 2002-2016. Conforme descrito na subseção 4.6.2, as variáveis foram logaritmizadas para que suas elasticidades possam ser obtidas. Devido à heterogeneidade observada entre as UFs brasileiras e os possíveis problemas de endogeneidade das variáveis dos modelos, as estimativas foram obtidas em dois estágios, através do método GMM, em diferenças.

Primeiramente, estimou-se a função de produção para o crescimento econômico, para poder obter o efeito parcial da estrutura etária no crescimento; em seguida, os resultados obtidos foram incluídos na função das emissões de CO₂, para captar o efeito indireto da estrutura etária através do crescimento econômico nas emissões, e o efeito direto da estrutura etária nas emissões. As estimativas dos modelos observados serão apresentadas nas duas próximas subseções.

5.2.1 MODELO DE CRESCIMENTO ECONÔMICO

A função de crescimento, nesta etapa, foi estimada para captar o efeito parcial da estrutura etária no crescimento econômico. Conforme destacado por Zhang *et al.* (2018), a composição demográfica de uma população pode alterar os níveis de crescimento de uma economia.

Para encontrar a estimativa que mais se aproxima aos objetivos da pesquisa, foram testados três modelos. A Tabela 4 apresenta as estimativas dos resultados dos modelos de crescimento econômico. Em todos eles o PIB *per capita* defasado foi considerado como variável endógena, e as demais variáveis, estritamente exógenas.

Tabela 4 - Estimativas do crescimento econômico

| Variáveis | Modelo I | Modelo II | Modelo III |
|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| $\ln PIBpc_{t-1}$ | 0.287*** | 0.297*** | 0.796*** |
| $\ln PIA$ | -0.613** | -0.471NS | -1.320*** |
| $\ln CAPpc$ | 0.223*** | 0.233*** | 0.278*** |
| $\ln HUM$ | 0.745*** | 0.680*** | |
| $\ln ABER$ | 0.008NS | | |
| R^2 | 0,989 | 0,986 | 0,985 |
| Teste AR (1) | 0,001 | 0,001 | 0,0004 |
| Teste AR (2) | 0,164 | 0,189 | 0,544 |
| J Sargan | 23,19 (0,508) | 31,73 (0,134) | 26,00 (0,353) |

Fonte: Elaborada a partir dos resultados da pesquisa obtidos a partir do Eviews 9.

Nota: *** significante a 1%, ** significante a 5%, * significante a 10% e NS não significativo. Os instrumentos utilizados foram: Modelo 1: ($\ln PIBpc$, -2, $\ln PIA$, -1, $\ln CAPpc$, -1 e $\ln ABER$); Modelo 2 e Modelo 3: ($\ln PIBpc$, -2, $\ln PIA$, -1, $\ln CAPpc$, -1).

Ao estimar os modelos¹³ I, II e III verificou-se que os coeficientes estimados apresentaram os mesmos sinais. Entretanto, nem todas as variáveis foram estatisticamente significativas para explicar o crescimento econômico.

Já em relação ao ajustamento dos modelos, aproximadamente 98% do crescimento econômico pode ser atribuído às variáveis explicativas. No que diz respeito à validade dos instrumentos utilizados, em todos os modelos, os instrumentos são válidos, visto que a estatística J de Sargan (1982) não foi significativa, ou seja, não é possível rejeitar a hipótese nula de que os instrumentos são não correlacionados com o termo de erro. Além disso, os testes de autocorrelação de Arellano e Bond (1991) não permitem rejeitar a hipótese nula de que os erros transformados não são correlacionados de primeira ordem, já o teste de autocorrelação de segunda ordem, foi não significativo. Esse resultado é essencial para verificar a consistência do estimador de GMM em diferenças.

Como existe concordância entre os modelos tanto para os sinais dos coeficientes, como para os testes de consistência do estimador, foi escolhido o modelo que se mostrou

¹³ Foi verificada a estacionariedade das séries.

mais completo, que é o Modelo I. Dessa forma, a seguir, todas as análises são referentes ao modelo I.

A partir da estimação do modelo I, observa-se que todas as variáveis foram significantes ao nível de 5%, exceto a variável de abertura que não apresentou significância estatística. Com relação aos sinais, todas as variáveis apresentaram os sinais esperados, exceto a variável que mede a proporção da PIA.

As estimativas indicam que a proporção da população em idade ativa impacta negativamente no crescimento econômico. Em uma análise semelhante para as províncias da China, Golley e Zheng (2015), também encontraram uma relação negativa entre população produtiva e crescimento econômico. Conforme destacado por Bloom e Williamson (1998), ao mesmo tempo em que um crescimento da população em idade ativa promove o crescimento econômico, o aumento da PIA pode levar a uma redução na renda *per capita* dessa faixa etária, como a que ocorreu na Ásia Ocidental, entre 1965 e 1990.

Os resultados para PIA, segundo Kelley e Schmidt (2005), são esperados para países que apresentam um crescimento mais rápido da força de trabalho em relação à taxa de crescimento dos investimentos, gerando impacto negativo no capital por trabalhador. Outro fator que contribui para que esse efeito seja negativo está relacionado à capacidade da economia de absorver novos trabalhadores (BLOMM *et al.*, 2010).

Como esperado, o estoque de capital *per capita* apresenta relação positiva e significativa com o crescimento. Conforme apontado por Golley e Zheng (2015), o aumento do investimento em equipamentos e estruturas eleva a produtividade da economia. Em relação ao estoque de capital humano, os resultados obtidos mostram que o aumento da média dos anos de estudos contribui para o crescimento econômico. Esses resultados em conjunto contribuíram para o aumento da produtividade agregada no país.

Para Golley e Zheng (2015), o efeito negativo da população em idade ativa no crescimento econômico, associado aos efeitos positivos do estoque de capital físico e humano no crescimento, pode levar a duas possibilidades: a primeira delas é que os investimentos no período foram baixos e as taxas de crescimento da força de trabalho cresceram de forma rápida, mas não no mesmo ritmo que as taxas de estoque de capital. Durante o período analisado, a população em idade ativa passou de 116 milhões de pessoas, em 2002, para 142 milhões de pessoas, em 2016, um fator multiplicador de 1,23. Já o estoque de capital passou de 266 milhões de reais para 973 milhões de reais, um fator multiplicador de 3,7. A segunda trata da deterioração da qualidade da força de trabalho. Em relação aos anos médios de

estudos da população brasileira, observou-se um aumento de 5,8 em 2002, para 7,4 anos, em 2016. Entretanto, um aumento expressivo da população não qualificada e inexperiente em relação à população qualificada gera um custo e não um benefício para a produtividade agregada. Esses argumentos aliados aos de Kelley e Schmidt (2005) e Bloom *et al.* (2010) parecem fazer sentido para o Brasil, no período estudado.

Como destacado por Giambiagi (2016), esse período foi marcado por um aumento do custo do trabalho, com um crescimento do salário mínimo real acima do crescimento da produtividade, pela falta de investimentos pelo lado da oferta que inviabilizou a competitividade do país, pelo aumento da ociosidade no final do período e pela baixa produtividade por trabalhador. Diante disso, o “Bônus Demográfico” ou “Janela de Oportunidade” parece não ter sido bem aproveitado. No longo prazo, o fim do “Bônus Demográfico” poderá ser benéfico ao crescimento da produtividade por trabalhador, com uma população envelhecida, a força de trabalho crescerá a uma velocidade menor, de modo que o investimento em educação, em infraestrutura, dentre outros, poderá crescer a uma velocidade superior ao da PIA e a economia consiga absorver os novos trabalhadores e aumentar o capital por trabalhador.

Quanto à abertura comercial, apesar de apresentar um sinal positivo, não foram encontradas evidências de que o grau de abertura comercial influencia o crescimento econômico. Resultados semelhantes para a significância do grau de abertura foram encontrados por Jayanthakumaran e Liu (2012), Shahbaz *et al.* (2012) e Golley e Zheng (2015).

5.2.2 MODELO DE EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO

Neste modelo busca-se verificar o efeito direto e o efeito indireto da estrutura etária nas emissões de dióxido de carbono, pelo consumo de energia. Como já observado, o efeito direto da estrutura etária nas emissões ocorre devido às mudanças nos hábitos de consumo dos indivíduos, durante o ciclo de vida. Enquanto o efeito indireto está relacionado às influências que a estrutura etária exerce sobre o meio ambiente, por meio do crescimento econômico.

De modo semelhante ao modelo de crescimento econômico, foram testados três modelos para a função de emissões de dióxido de carbono. Nesta etapa, o valor do PIB *per*

capita, obtido no Modelo I, foi introduzido para verificar a existência de um efeito indireto da estrutura etária nas emissões por meio do crescimento econômico, através da CAK.

A Tabela 5 apresenta as estimativas dos resultados dos modelos de emissões de dióxido de carbono e dos *turning points*¹⁴ calculados. As emissões de CO₂ *per capita* defasadas foram utilizadas como variável endógena e, as demais variáveis são estritamente exógenas.

Tabela 5 - Estimativas das emissões de dióxido de carbono

| Variáveis | Modelo 1 | Modelo 2 | Modelo 3 |
|----------------------|------------------|------------------|------------------|
| $\ln CO_2 pc_{t-1}$ | 0.216*** | 0.236*** | 0.222*** |
| $\ln PIA$ | -7.523*** | -4.426*** | -4.676*** |
| $\ln PIBpc$ | 5.658*** | 3.970*** | 4.068*** |
| $\ln PIBpc^2$ | -0.315*** | -0.217*** | -0.228*** |
| $\ln DES$ | 0.055*** | 0.056*** | |
| $\ln ENERpc$ | 0.557*** | | |
| <i>Turning point</i> | R\$ 8.047 | R\$ 9.200 | R\$ 7.623 |
| R^2 | 0,963 | 0,962 | 0,962 |
| <i>Teste AR (1)</i> | 0,100 | 0,092 | 0,098 |
| <i>Teste AR (2)</i> | 0,578 | 0,481 | 0,598 |
| <i>J Sargan</i> | 29,94 (0,120) | 26,68 (0,223) | 26,94 (0,258) |

Fonte: Elaborada a partir dos resultados da pesquisa obtidos a partir do Eviews 9.

Nota: *** significante a 1%. Os instrumentos utilizados foram: Modelo 1: ($\ln CO_2 pc$, -2, $\ln PIBpc$, $\ln PIA$, $\ln DES$ e $\ln ENERpc$, -1); Modelo 2: ($\ln CO_2 pc$, -2, $\ln PIBpc$, $\ln PIA$ e $\ln DES$); Modelo 3: ($\ln CO_2 pc$, -2, $\ln PIBpc$ e $\ln PIA$).

Ao estimar os modelos¹⁵ I, II e III para emissões de dióxido de carbono, observou-se que a concordância entre os modelos e a consistência do estimador de GMM permanecem válidas. De forma análoga, o Modelo I será analisado nesta etapa.

A partir da estimação do modelo I para emissões, observa-se que todas as variáveis foram significantes ao nível de 1%. Com relação aos sinais esperados, apenas a variável que mede a proporção da população em idade ativa apresentou sinal negativo, diferente do esperado.

Partindo para análise das estimativas, o coeficiente da população em idade ativa sugere que a relação entre PIA e emissões CO₂ é negativa. Esse resultado nos leva a rejeitar

¹⁴ Pontos de Inflexão.

¹⁵ Foi verificada a estacionariedade das séries.

a hipótese da existência de um efeito direto positivo da população em idade ativa nas emissões de dióxido de carbono. Conforme Liddle e Lung (2010) argumentam, os resultados encontrados não devem surpreender, pois quando se utilizam emissões totais nas análises, estas podem sofrer mais influências de outros setores da economia, do que pela soma do comportamento individual.

As emissões foram elásticas ao crescimento da renda. Já o sinal negativo do termo quadrático do PIB, *per capita*, sugere que as emissões crescem a taxas decrescentes. Esse resultado indica que a relação entre o PIB *per capita* e as emissões de CO₂ é não linear na forma logarítmica, ou seja, apresenta evidências da CAK na forma de U invertido, com isso a hipótese da existência de um efeito indireto positivo do nível de renda com as emissões de CO₂, se verifica. Em particular, esse achado representa um avanço literário para o país, uma vez que não há evidências da existência da CAK a nível desagregado por unidade federativa para o caso do Brasil (MORAIS,2019).

Por meio da expressão $\exp\left(\frac{-\beta_7}{2\beta_8}\right)$ é possível demonstrar que o *turning point* para emissões nesta pesquisa foi de R\$ 8.047,00, a preços de 2010. No caso das unidades federativas brasileiras, apenas Maranhão e Piauí apresentam uma renda média *per capita* abaixo do ponto de inflexão encontrado.

A ideia aqui exposta é de que, nos estágios iniciais do crescimento econômico, as emissões aumentam devido às mudanças dos padrões produtivos agrícolas para um modelo industrial intensivo em poluentes. Após atingir um determinado nível de crescimento, a trajetória das emissões decresce. Entretanto, a mudança na trajetória das emissões não acontece de forma automática com o crescimento da renda, depende também de fatores sociais, institucionais, políticos e culturais (EKINS,1997).

O desmatamento se mostrou importante para explicar as emissões de dióxido de carbono ao apresentar um coeficiente positivo e significativo. Em uma análise para diferentes países, incluindo o Brasil, o estudo de Baccini *et al.* (2012) mostra que o desmatamento é responsável por um percentual entre 6 e 17% das emissões globais de dióxido de carbono, entre o período de 2000 e 2010.

Conforme apontado na subseção 5.1.7, em geral, os grupos que apresentam as menores rendas estão associados a maiores níveis de desmatamento, esses grupos estão localizados principalmente em regiões com alta concentração de florestas. A conversão de

florestas em pastos ou campos para plantação tem sido os principais responsáveis pelo aumento das emissões de CO₂ no setor agropecuário (SEEG, 2018).

Como esperado, o consumo de energia elétrica *per capita* se mostrou relevante para o aumento das emissões de dióxido de carbono no período analisado. O aumento do consumo energético ocorreu principalmente nos grupos que concentram as maiores rendas, isso mostra que parece haver um efeito *feedback* entre consumo de energia e emissões, uma vez que o crescimento das emissões está diretamente relacionado ao consumo de energia.

O efeito positivo na relação entre consumo de energia elétrica e emissões de CO₂, também foi verificado por Sanquetta *et al.* (2017), em uma análise para o estado do Paraná, no período de 2010-2014. Os resultados encontrados por Souza *et al.* (2017) revelam que o consumo de energia contribuiu para o aumento das emissões no Brasil, entre 1960 e 2015.

A partir das estimações apresentadas na Tabela 4 e na Tabela 5, tornou-se possível o cálculo dos efeitos da estrutura etária sobre as emissões de CO₂. O método utilizado para os cálculos tem como base os estudos de Cole (2007), Halkos e Paizanos (2013) e Zhang *et al.* (2018). Inicia-se pelo efeito direto da estrutura etária nas emissões de dióxido de carbono, este efeito foi obtido através do coeficiente β_6 estimado em longo prazo da Equação 4.

Com relação ao efeito indireto da estrutura etária nas emissões de dióxido de carbono, o cálculo foi feito pelo produto do impacto parcial do PIB *per capita* nas emissões de CO₂ *per capita*, estimadas na Equação 4 e o impacto parcial da estrutura demográfica no PIB *per capita*, estimados na Equação 3. Dessa forma o efeito indireto de longo prazo é calculado como:

$$\text{Efeito Indireto: } \frac{\partial \ln CO_2 pc}{\partial \ln PIB pc} * \frac{\partial \ln PIB pc}{\partial \ln PIA} \quad (5)$$

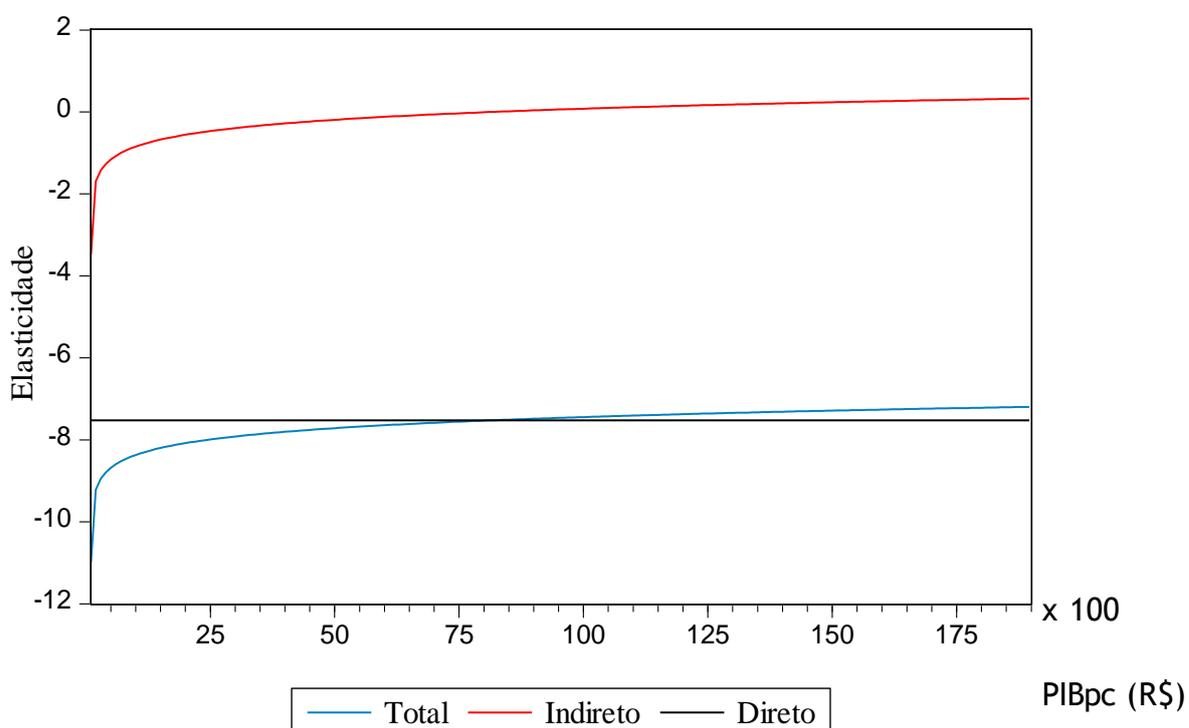
Por último, o efeito total é a soma do efeito direto e do efeito indireto, escrito da seguinte forma:

$$\text{Efeito Total: } \beta_7 + \frac{\partial \ln CO_2 pc}{\partial \ln PIB pc} * \frac{\partial \ln PIB pc}{\partial \ln PIA} \quad (6)$$

Com base nos coeficientes estimados na Tabela 8 e na Tabela 9, em números, o efeito total é calculado como: $9,6 - 0,86 * [7,21 + 2 * (- 0,40 \ln PIB pc)] = 0,69 \ln PIB pc - 15,81$. Esse resultado mostra que o efeito total da estrutura etária nas emissões de dióxido de carbono

apresenta um crescimento monotônico, à medida que a renda aumenta. Isso indica que quando o país alcançar um $\ln PIBpc = 22,91$, o $PIBpc \cong 9$ milhões de reais (a preços de 2010), o efeito deixa de ser negativo e torna-se positivo. Ainda que a renda encontrada seja algo inalcançável, é possível verificar a hipótese de que o efeito total se associa positivamente com a população em idade ativa. Para ilustrar os efeitos, o Gráfico 31 apresenta o comportamento do efeito total, efeito indireto e efeito direto da estrutura etária nas emissões.

Gráfico 31 - Efeito total, efeito direto e efeito indireto da estrutura etária nas emissões de CO_2



Fonte: Elaborado a partir dos cálculos dos resultados.

Conforme o Gráfico 31, a elasticidade das emissões de dióxido de carbono atribuídas à estrutura etária é uma função crescente que depende do crescimento do PIB *per capita*. Como resultado, o crescimento econômico das unidades federativas brasileiras é inferior ao limite, no qual a elasticidade se torna positiva, em torno de 9 milhões de reais a preços de 2010. Em uma análise semelhante para 29 províncias chinesas, Zhang *et al.* (2018) verificaram que a elasticidade se torna positiva quando a renda *per capita* alcança 3.905 yuan, a preços de 1978, convertidos em reais, esse valor é de aproximadamente de R\$ 3.120,00.

Como demonstrado, o efeito direto da população em idade ativa sobre as emissões de dióxido de carbono é negativo, ou seja, o crescimento da PIA não gera pressões sobre as

emissões. Os estudos que verificaram essa relação utilizando a população em idade ativa para representar a estrutura etária encontraram diferentes resultados. Como exemplo disso, Shi (2003) analisou os impactos da pressão da população nas emissões totais de dióxido de carbono para um painel de 93 países, durante o período de 1975-1996 e descobriu que a população em idade produtiva impacta, positivamente, as emissões globais de CO₂. Zang *et al.* (2018) também encontraram relação positiva ao estudar os efeitos da estrutura etária nas emissões para 29 províncias da China, entre 1995 e 2012. Já no estudo de Cole e Neumayer (2004) a população em idade ativa não foi relevante para explicar as emissões de poluentes para uma amostra de 86 países, no período de 1975-1998. Por outro lado, os estudos de Fan *et al.* (2006) e Lidlle e Lung (2010) encontraram um efeito negativo assim como o encontrado neste estudo.

Para Lidlle e Lung (2010) os diferentes resultados podem estar associados às políticas ambientais adotadas em cada região estudada, pelo uso das emissões globais e pela mudança no padrão de consumo entre diferentes grupos etários. Esses argumentos parecem fazer sentido para o caso brasileiro. No período analisado, os maiores níveis de emissões de CO₂ foram observados nos setores de mudanças do uso da terra e agropecuário, mesmo que o setor de energia tenha apresentado maior crescimento. Entretanto, foram utilizadas variáveis de controle para verificar os efeitos de outros setores.

Com relação às mudanças no padrão de consumo entre os grupos etários, o estudo de Carvalho *et al.* (2017) analisou 15 setores produtivos da economia brasileira, através de dados da Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) de 2008/2009, para 6 grupos etários (≤ 29 , 30-39, 40-49, 50-59, 60-69 e 70 anos ou +), a fim de analisar os impactos das mudanças demográficas nas emissões de CO₂. Verificaram que os grupos com 60 anos ou mais tendem a alocar uma parcela relativamente maior de suas despesas em alimentos, saúde, energia e serviços. Já a demanda do grupo jovem se concentra em têxteis e vestuários, transporte e educação. Ainda mostram que as projeções realizadas para 2050, com base nos dados da POF, que o consumo de energia será afetado de forma significativa pelo envelhecimento populacional e que o padrão de consumo dos grupos mais velhos será mais intensivo em emissões.

Assim, o argumento de Lidlle e Lung (2010) de que a PIA se relaciona negativamente com as emissões podem estar associadas às mudanças no padrão de consumo entre os diferentes grupos etários.

De acordo com os resultados dos cálculos realizados, o efeito indireto da PIA sobre as emissões de CO₂ se apresenta como uma curva que cresce monotonicamente com o crescimento da renda. Dessa forma, nas unidades federativas que apresentam uma renda menor que o *turning point* encontrado, de R\$ 8.047,00, a população em idade ativa tem um efeito negativo sobre as emissões. Já nas UFs com renda *per capita* superior ao limiar encontrado, a população em idade produtiva possui relação positiva com as emissões de poluentes. Entretanto, as unidades federativas com rendas menores a esse limite possuem mais espaço para o crescimento baseado no uso intensivo de mão de obra, sem se preocupar com a questão ambiental que as UFs que já alcançaram uma elasticidade positiva.

Como observado na seção 5.1, as unidades de federação com rendas mais baixas, possuem uma menor proporção de pessoas em idade ativa, por outro lado, nota-se que as emissões são as mais altas. Uma das causas apontadas para a alta concentração de emissões nessas localidades está relacionada ao desmatamento e às queimadas de florestas destinadas à expansão de áreas para prática de atividades do setor agropecuário. Com relação às UFs de rendas mais elevadas, estas apresentam uma maior proporção da população em idade ativa e exibem um menor nível médio de emissões. Esse resultado indica que nos estágios iniciais do crescimento econômico, as emissões relacionadas à estrutura etária aumentam à medida que o PIB *per capita* aumenta, ou seja, o crescimento nesse estágio depende da mão de obra e do consumo intensivo de energia para produzir. À medida que a renda cresce não é viável manter os níveis de produtividade baseados apenas na força de trabalho. Dessa forma, o capital e a energia se tornam fatores essenciais para manter o nível de crescimento. Em contrapartida, um maior uso de energia e capital eleva as emissões (BIRDSALL; WHEELER, 1993). Para reduzir os níveis de emissões e manter o crescimento econômico, faz-se necessário o uso eficiente dos recursos energéticos, de forma que o mix de energia se torne mais limpo, por meio do progresso tecnológico e de uma maior conscientização por parte da população.

Por fim, o efeito total da população em idade ativa sobre as emissões de dióxido de carbono segue o mesmo padrão de comportamento do efeito indireto. Esse resultado mostra que as emissões de CO₂ relacionadas a PIA crescem monotonicamente com o aumento da renda *per capita*. Mesmo que o efeito total apresente esse comportamento, o crescimento da renda não foi grande o suficiente para que o impacto total se tornasse positivo durante o período. Como o exposto, a análise conjunta dos efeitos não permite observar diretamente as

emissões relacionadas às mudanças no comportamento do consumo dos indivíduos, reflete apenas a tendência das emissões relacionadas ao crescimento econômico.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo dos anos, a relação entre estrutura demográfica e economia ganhou cada vez mais espaço na literatura e intensificou as discussões internacionais sobre as mudanças na estrutura demográfica e suas consequências sobre o crescimento econômico, mercado de trabalho, sistema de saúde e previdenciário. Entretanto, as mudanças na estrutura etária afetam outros aspectos da economia e do meio ambiente, através do padrão de consumo.

No entanto, existe heterogeneidade no padrão de consumo entre os grupos etários mais jovens e os grupos de idosos. Enquanto os mais jovens demandam mais por educação, transportes e têxteis, os idosos gastam grande parcela da renda com saúde, alimentação, energia e serviços relacionados a cuidados pessoais. Entretanto, o envelhecimento da população modifica o padrão de consumo e essas mudanças afetam a qualidade do meio ambiente por meio do consumo de energia e outros produtos intensivos em emissões de GEE.

No Brasil a estrutura demográfica está se modificando de forma mais rápida e generalizada que nos países desenvolvidos. Com o aumento significativo da população idosa, essa pesquisa buscou analisar os impactos da estrutura demográfica nas emissões de CO₂, associados ao consumo de energia no Brasil, durante o período de 2002 a 2016. Para isso, os efeitos totais da estrutura etária nas emissões foram divididos em efeito direto e efeito indireto, através de um modelo de regressão em dois estágios que foram estimados pelo método GMM em diferenças, a fim de obter os efeitos ao longo prazo e controlar possíveis problemas de endogeneidade das variáveis.

Analisou-se, primeiramente, o impacto parcial da estrutura etária sobre o crescimento econômico. A relação encontrada mostra que a estrutura etária tem um efeito negativo no crescimento da renda. Esse comportamento se deve ao baixo investimento no período aliado ao aumento dos custos do trabalho, da baixa produtividade por trabalhador e da capacidade da economia em absorver os novos trabalhadores. Todavia, as políticas macroeconômicas têm contribuído para o fim precoce do bônus demográfico. No longo prazo, um crescimento mais lento da força de trabalho poderá elevar o capital por trabalhador.

Ao considerar um efeito positivo direto da estrutura etária sobre as emissões de CO₂, estas foram elásticas e negativas ao crescimento da população em idade ativa, ou seja, o crescimento da PIA e as emissões de dióxido de carbono. Este resultado indica que o padrão de consumo entre diferentes grupos etários pode ser heterogêneo.

Evidenciou-se também a existência da CAK a nível desagregado. Esse achado representa um avanço para a literatura brasileira, uma vez que não há evidências da hipótese da Curva Ambiental de Kuznets a nível desagregado para o país. Assim, as emissões de dióxido de carbono relacionadas à estrutura etária apresentam relação monotônica crescente e significativa com o crescimento da renda *per capita*. Em outras palavras, existe um efeito indireto da estrutura etária nas emissões de CO₂, dado um nível de renda.

Esta relação sugere que as emissões de dióxido de carbono tendem a se elevar durante o processo de crescimento econômico, após atingir o limiar de renda as emissões começam a declinar. Vale ressaltar que, mesmo tendo sido encontrado um ponto de inflexão, as emissões decaem, não necessariamente de forma automática, pois para que as emissões decresçam é necessária maior consciência ambiental. Nesse sentido, apenas Maranhão e Piauí apresentaram uma renda média *per capita* inferior ao limiar de renda encontrado.

Verificou-se ainda que, no estágio atual de crescimento econômico, o efeito total é positivamente relacionado com a população em idade ativa, uma vez que as emissões relacionadas a PIA se apresentam como uma curva crescente e monotônica com o crescimento da renda *per capita*.

No geral, os resultados encontrados mostram que, a longo prazo, o envelhecimento populacional apesar de ser prejudicial ao crescimento econômico, poderá contribuir para o aumento da renda *per capita* por trabalhador, uma vez que o crescimento mais lento da força de trabalho, aliado às políticas macroeconômicas favoráveis ao aumento da produtividade, poderá elevar o capital por trabalhador. Por outro lado, o crescente número de idosos poderá gerar pressões no meio ambiente, através do consumo de bens intensivos em energia. Além disso, nas unidades federativas com rendas menores, as emissões tendem a se elevar até atingir um grau de desenvolvimento econômico. Diante do exposto, tornam-se necessárias a adoção de políticas de preservação e a conscientização ambiental para mitigar os efeitos das mudanças da estrutura demográfica nas emissões de poluentes.

Cabe ressaltar que existem limitações nesta pesquisa. Tais limitações remetem à disponibilidade dos dados, por exemplo, não foram encontradas informações sobre a formação bruta de estoque de capital para as unidades federativas no período estudado. Também, a série utilizada para a *proxy* de estoque de capital humano apresenta dados faltantes, pois houve encerramento da Pesquisa Nacional de Domicílios para esses dados, em 2014.

Por fim, esta pesquisa não teve a intenção de instituir uma solução única ou definitiva para os problemas relacionados às questões demográficas e à poluição ambiental no Brasil, mas considera-se que os resultados encontrados são importantes para a tomada de decisões referentes ao envelhecimento populacional e ao controle das emissões de GEE. No entanto, novas pesquisas podem ser feitas para preencher as lacunas deste estudo.

REFERÊNCIAS

- ACHÃO, C. C. L. **Análise da estrutura de consumo de energia pelo setor residencial brasileiro**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2003.
- ALAM, M. M. *et al.* Relationships among carbon emissions, economic growth, energy consumption and population growth: Testing Environmental Kuznets Curve hypothesis for Brazil, China, India and Indonesia. **Ecological Indicators**, v. 70, p. 466-479, 2016.
- ALBANESI, S.; OLIVETTI, C.; Maternal health and the baby boom. **Quantitative Economics**, v. 5, n. 2, p. 225-269, 2014.
- ALVES, J. E. D. **A transição demográfica e a janela de oportunidade**. São Paulo: Instituto Fernand Braudel de Economia Mundial, 2008.
- ALVES, J. E. D. **Crise no mercado de trabalho, bônus demográfico e desempoderamento feminino**. [S. l.]: Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 2016. *E-book*.
- ALVES, J. E. D. **O bônus demográfico e o crescimento econômico no Brasil**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2004.
- ALVES, J. E. D. O fim do bônus demográfico e o processo de envelhecimento no Brasil. **Revista Longeviver**, n. 45, 2015.
- ALVES, J. J. E. D.; BRUNO, M. A. P. População e crescimento econômico de longo prazo no Brasil: como aproveitar a janela de oportunidade demográfica?. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 15., 2006, Caxambu. **Anais [...]**. Caxambu, 2006.
- ALVES, J. E. D.; CAVENAGHI, S. Progressos e retrocessos na conquista da equidade de gênero no Brasil. **Revista USP**, n. 122, p. 11-26, 2019.
- ANDER-EGG, E. **Introducción a las técnicas de investigación social**: para trabajadores sociales. 2. ed. Buenos Aires: Humanitas, 1971.
- APERGIS, N. Environmental Kuznets curves: new evidence on both panel and country-level CO₂ emissions. **Energy Economics**, v. 54, p. 263-271, 2016.
- ARELLANO, M.; BOND, S. Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. **The review of economic studies**, v. 58, n. 2, p. 277-297, 1991.
- ARRAES, R. A.; MARIANO, F. Z.; SIMONASSI, A.G. Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 50, n. 1, p. 119-140, 2012.

AUFFHAMMER, M.; CARSON, R. T. Forecasting the path of China's CO₂ emissions using province-level information. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 55, n. 3, p. 229-247, 2008.

BACCINI, A. G. S. J. *et al.* Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. **Nature climate change**, v. 2, n. 3, p. 182-185, 2012.

BANCO MUNDIAL. **Envelhecendo em um Brasil mais velho**. [S. l.]: Banco Mundial/LAC, 2011.

BARAT, J. **A evolução dos transportes no Brasil**. [S. l.]: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Instituto de Planejamento Econômico e Social, 1978.

BECKER, G. S. An economic analysis of fertility. *In*: ROBERTS, G. B. **Demographic and economic change in developed countries**. New York: Columbia University Press, 1960. p. 209-240.

BIN, S.; DOWLATABADI, H. Abordagem do estilo de vida do consumidor para o uso de energia dos EUA e as emissões de CO₂ relacionadas. **Política Energética**, v. 33, n. 2, p. 197-208, 2005.

BIRDSALL, N. *et al.* **Population matters: demographic change, economic growth, and poverty in the developing world**. Oxford: Oxford University Press, 2001.

BLOOM, D. E.; CANNING, D. Economic development and the demographic transition: the role of cumulative causality. **CAER discussion papers**, v. 51, 1999.

BLOOM, D. E.; CANNING, D.; FINK, G. Implications of population ageing for economic growth. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 26, n. 4, p. 583-612, 2010.

BLOOM, D. E.; CANNING, D.; GRAHAM, B. Longevity and life-cycle savings. **Scandinavian Journal of Economics**, v. 105, n. 3, p. 319-338, 2003.

BLOOM, D. E.; FINLAY, J. E. Demographic change and economic growth in Asia. **Asian Economic Policy Review**, v. 4, n. 1, p. 45-64, 2009.

BLOOM, D. E.; WILLIAMSON, J. G. Demographic transitions and economic miracles in emerging Asia. **The World Bank Economic Review**, v. 12, n. 3, p. 419-455, 1998.

BONGAARTS, J. Human population growth and the demographic transition. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1532, p. 2985-2990, 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Ministério recomenda: é preciso envelhecer com saúde**. 2018. Disponível em: <http://www.saude.gov.br>. Acesso em: 23 maio 2019.

BRITO, F. **A transição demográfica no Brasil: as possibilidades e os desafios para a economia e a sociedade**. Minas Gerais: Cedeplar/UFMG, 2007. (Textos para a discussão, 318).

BRITO, F. Transição demográfica e desigualdades sociais no Brasil. **Rev. bras. estud. popul.**, v. 25, n. 1, p. 5-26, 2008.

CALDWELL, J. C. The western fertility decline: Reflections from a chronological perspective. **Journal of Population Research**, v. 23, n. 2, p. 225, 2006.

CALDWELL, J. C. Toward a restatement of demographic transition theory. **Population and development review**, p. 321-366, 1976.

CAMARANO, A.A. *et al.* **Transformações no padrão etário da mortalidade brasileira em 1979-1994 e o seu impacto na força de trabalho.** Brasília, DF: Ipea, 1997.

CAMARANO, A. A. (org.). **Novo regime demográfico: uma nova relação entre população e desenvolvimento?**. Rio de Janeiro: Ipea, 2014.

CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. **Microeconometrics: methods and applications.** Cambridge university press, 2005.

CAMPOS, N. O. B; RODRIGUES, R. do N. Ritmo de declínio nas taxas de mortalidade dos idosos nos estados do Sudeste, 1980-2000. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 21, n. 2, p. 323-342, 2004.

CANGUSSU, R. C.; SALVATO, M. A.; NAKABASHI, L. Uma análise do capital humano sobre o nível de renda dos estados brasileiros: MRW *versus* Mincer. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 40, n. 1, p. 153-183, 2010.

CARVALHO, J. A. M. **Crescimento Populacional e Estrutura Demográfica no Brasil.** Rio de Janeiro: Ministério do Exterior/Agência Brasileira de Cooperação, 1993.

CARVALHO, J. A. M.; GARCIA, R. A. O envelhecimento da população brasileira: um enfoque demográfico. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 19, n. 3, p. 725-733, 2003. Disponível em: <http://www.scielosp.org/pdf/csp/v19n3/15876.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2019.

CARVALHO, T. S.; SANTIAGO, F. S.; PEROBELLI, F. S. **Mudanças demográficas no brasil e seus impactos sobre as emissões de gases de efeito estufa: uma análise de insumo-produto**, 2017. Disponível em: https://www.anpec.org.br/encontro/2017/submissao/files_I/i11-1fc8b5b5cceac736c4b048ab2f193dca.pdf. Acesso em: 1 mar. 2019.

CARVALHO, T. S.; SANTIAGO, F.; PEROBELLI, F. Demographic Changes and its Impacts on Consumption and Greenhouse Gas Emissions in Brazil: a computable general equilibrium model approach. *In: ANNUAL CONFERENCE ON GLOBAL ECONOMIC ANALYSIS*, 21., 2018, Cartagena. **Anais [...]**. Cartagena , 2018.

CHESNAIS, J. C. *et al.* **The demographic transition: stages, patterns, and economic implications.** Oxford: Clarendon Press, 1992.

COALE, A.; HOOVER, E. **População e desenvolvimento econômico**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1966.

COALE, A. J. **growth and structure of human populations**. Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1972.

COALE, A.J.; HOOVER, E.M. **Population growth and economic development: a case study of India's prospects**. Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1958.

COELHO, R. La. P.; FIGUEIREDO, L. Uma análise da hipótese da convergência para os municípios brasileiros. **Revista Brasileira de Economia**, v. 61, n. 3, p. 331-352, 2007.

COLE, M. A. Corruption, income and the environment: an empirical analysis. **Ecological Economics**, v. 62, n. 3-4, p. 637-647, 2007.

COLE, M. A.; NEUMAYER, E.; Examining the impact of demographic factors on air pollution. **Population and Environment**, v. 26, n. 1, p. 5-21, 2004.

COSTA, C. K. F. *et al.* Desafios econômicos decorrentes da dinâmica demográfica brasileira. **A Economia em Revista-AERE**, v. 20, n. 1, p. 1-13, 2018.

COSTANZI, R. N.; ANSILIERO, G. **Impacto fiscal da demografia na previdência social**. Rio de Janeiro: Ipea, 2017.

DALTON, M. et al. Demographic change and future carbon emissions in China and India. In: Unpublished update of the 16 March 2007 draft presented at the Annual Meeting of the Population Association of America, p. 29-31, 2007, New York, 2007. **Anais [...]**. New York, 2007.

DALY, H. E.; Crescimento sustentável? Não, obrigado. **Ambiente & sociedade**, v. 7, n. 2, p. 197-202, 2004.

DIETZ, T.; ROSA, E. A. Effects of population and affluence on CO₂ emissions. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 94, n. 1, p. 175-179, 1997.

DINDA, S. Environmental Kuznets curve hypothesis: a survey. **Ecological economics**, v. 49, n. 4, p. 431-455, 2004.

DONG, F. *et al.* Drivers of carbon emission intensity change in China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 129, p. 187-201, 2018.

EMEKA, A. B. Fortune, and discrepant fertility in twentieth-century America. **Social Science History**, v. 30, n. 3, p. 327-357, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO EM TRANSPORTES. **A evolução recente dos transportes no Brasil e suas perspectivas até o ano de 2010: política, estratégias e processo de mudança**, 1994.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2019.

ERHART, S.; PALMEIRA, E. M. Análise do setor de transportes. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 1, p. 71, 2006.

FAIR, R. C.; DOMINGUEZ, K. M. E. Effects of the changing US age distribution on macroeconomic equations. **The American Economic Review**, v. 81, n. 5, p. 1276-1294, Dec. 1987.

FAN, Y. *et al.* Analyzing impact factors of CO₂ emissions using the STIRPAT model. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 26, n. 4, p. 377-395, 2006.

FEYRER, J. Demographics and productivity. **The Review of Economics and Statistics**, v. 89, n. 1, p. 100-109, 2007.

FUTAGAMI, K.; NAKAJIMA, T. Population aging and economic growth. **Journal of Macroeconomics**, v. 1, n. 23, p. 31-44, 2001.

GARAU, G.; LECCA, P.; MANDRAS, G. The impact of population ageing on energy use: evidence from Italy. **Economic Modelling**, v. 35, p. 970-980, 2013.

GAVRILOV, L. A.; HEUVELINE, P. Aging of population. *In*: DEMENY, P.; McNICOLI, G. (ed.). **The encyclopedia of population**. New York: Macmillan Reference USA, 2003. v. 1, p. 32-37.

GIAMBIAGI, F. Fim do ciclo: O Governo Dilma. *In*: GIAMBIAGI, Fabio; CASTRO, Lavinia Barros de; VILLELA, André Arruda. **Economia Brasileira Contemporânea: (1945-2015)**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. p. 239- 272.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GOLLEY, J.; TYERS, R. Contrasting giants: demographic change and economic performance in China and India. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 77, p. 353-383, 2013.

GOLLEY, J.; ZHENG, W. E. I. Population dynamics and economic growth in China. **China Economic Review**, v. 35, p. 15-32, 2015.

GÓMEZ, R.; DE COS, P. H. The importance of being mature: the effect of demographic maturation on global *per capita* GDP. **Journal of population economics**, v. 21, n. 3, p. 589-608, 2008.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. Environmental impacts of a North American free trade agreement. **National Bureau of Economic Research**, 1991.

HAGEMANN, R.; NICOLETTI, G. Population ageing: economic effects and some policy implications for financing public pensions. **OECD journal: economic studies**, Paris, p. 51-96, 1989.

HALKOS, G. E.; PAIZANOS, E. A. The effect of government expenditure on the environment: an empirical investigation. **Ecological Economics**, v. 91, p. 48-56, 2013.

HAMZA, N.; GILROY, R. The challenge to UK energy policy: An ageing population perspective on energy saving measures and consumption. **Energy Policy**, v. 39, n. 2, p. 782-789, 2011.

HAN, J.; SUEN, W. Age structure of the workforce in growing and declining industries: evidence from Hong Kong. **Journal of Population Economics**, v. 24, n. 1, p. 167-189, 2011.

HANSEN, L. P. Large sample properties of generalized method of moments estimators. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, p. 1029-1054, 1982.

HAO, Y. *et al.* Is CO 2 emission a side effect of financial development? An empirical analysis for China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 20, p. 21041-21057, 2016.

HAYAKAWA, K. *et al.* First difference or forward orthogonal deviation-Which transformation should be used in dynamic panel data models?: a simulation study. **Economics Bulletin**, v. 29, n. 3, p. 2008-2017, 2009.

HOLDREN, J. P.; Population and the energy problem. **Population and environment**, v. 12, n. 3, p. 231-255, 1991.

HOSMER, David W.; LEMESHOW, S.; STURDIVANT, R. X. **Applied logistic regression**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2013.

HUANG, Y.; Political institutions and financial development: an empirical study. **World Development**, v. 38, n. 12, p. 1667-1677, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Projeções da**

População por sexo e idade: 2000-2060. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Projeções da População por sexo e idade:** 1980-2050. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

INSTITUTO DE ESTUDOS DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (IEDI). **Para vencer a crise.** 2015a.

INSTITUTO DE ESTUDOS DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (IEDI). **Contribuições para uma agenda de desenvolvimento do Brasil.** 2015b. Disponível em: <http://www.iedi.org.br/>. Acesso em: 2 jul. 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **ClimateChange 2013:** The Physical Science Basis. Switzerland, 2013.

KELLEY, A. C.; SCHMIDT, R. M. Evolution of recent economic-demographic modeling: a synthesis. **Journal of Population Economics**, v. 18, n. 2, p. 275-300, 2005.

KEYFITZ, N. **Introduction to the mathematics of population.** Reading, Mass: Addison-Wesley, 1968.

KINSELLA, K. G.; PHILLIPS, D. R. **Global aging:** The challenge of success. Washington, DC: Population Reference Bureau, 2005.

KIRK, D. Demographic transition theory. **Population Studies**, v. 50, n. 3, p. 361-387, 1996.

KNODEL, J.; VAN DE WALLE, E. Lessons from the past: policy implications of historical fertility studies. **Population and development review**, p. 217-245, 1979.

KRONENBERG, T. Demographically induced changes in the structure of final demand and infrastructure use. *In*: KRONENBERG, T.; KUCKSHINRICHS, W. **Demography and Infrastructure.** [S. l.]: Springer, Dordrecht, 2011. p. 67-91.

KRONENBERG, T. The impact of demographic change on energy use and greenhouse gas emissions in Germany. **Ecological Economics**, v. 68, n. 10, p. 2637-2645, 2009.

KUZNETS, S. Economic growth and income inequality. **The American Economic Review**, v. 45, n. 1, p. 1-28, 1955.

LAU, L.-S.; CHOONG, C.-K.; ENG, Y.-K. Investigation of the environmental Kuznets curve for carbon emissions in Malaysia: do foreign direct investment and trade matter? **Energy Policy**, v. 68, p. 490-497, 2014.

LAZARETTI, L. R.; SOUZA, O. T. de. População e meio ambiente: uma análise de acoplamento para o caso brasileiro (1991-2014) = Population and Enviromental: a coupling analysis for a Brazilian case. **RED**, v. 30, n. 1, 2018.

- LEE, Y. H.; SCHMIDT, P. A production frontier model with flexible temporal variation in technical efficiency. **The measurement of productive efficiency: Techniques and applications**. New York: USA, 1993. v. 1, p. 235-255.
- LI, T.; WANG, Y.; ZHAO, D. Environmental Kuznets curve in China: new evidence from dynamic panel analysis. **Energy Policy**, v. 91, p. 138-147, 2016.
- LIDDLE, B. Demographic dynamics and *per capita* environmental impact: using panel regressions and household decompositions to examine population and transport. **Population and Environment**, v. 26, n. 1, p. 23-39, 2004.
- LIDDLE, B. Impact of population, age structure, and urbanization on carbon emissions/energy consumption: evidence from macro-level, cross-country analyses. **Population and Environment**, v. 35, n. 3, p. 286-304, 2014.
- LIDDLE, B.; LUNG, S. Age-structure, urbanization, and climate change in developed countries: revisiting STIRPAT for disaggregated population and consumption-related environmental impacts. **Population and Environment**, v. 31, n. 5, p. 317-343, 2010.
- LIMA, D. V. de; MATIAS-PEREIRA, J. A dinâmica demográfica e a sustentabilidade do regime geral de previdência social brasileiro. **Revista de Administração Pública**, v. 48, n. 4, p. 847-868, 2014.
- LINDH, T.; MALMBERG, B. Age structure effects and growth in the OECD, 1950–1990. **Journal of Population Economics**, v. 12, n. 3, p. 431-449, 1999.
- LIU, S.; HU, A. Demographic change and economic growth: theory and evidence from China. **Economic modelling**, v. 35, p. 71-77, 2013.
- LUCAS, R. E.; On the mechanics of economic development. **Econometric Society Monographs**, v. 29, p. 61-70, 1998.
- MACUNOVICH, D. J. **Birth quake**: the baby boom and its aftershocks. University of Chicago Press, 2002.
- MALTHUS, T. **Ensaio sobre o princípio da população**. São Paulo: Abril Cultural, 1982.
- MANKIW, N. G.; ROMER, D.; WEIL, D. N. A contribution to the empirics of economic growth. **The quarterly journal of economics**, v. 107, n. 2, p. 407-437, 1992.
- MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa**: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados. 7. ed. São Paulo: Atlas 2012.

- MASON, A. *et al.* Population aging and intergenerational transfers: introducing age into national accounts. In: WISE, D. A. (ed.). **Developments in the economics of aging**. University of Chicago Press, 2009. p. 89-122.
- MAZUR, A. How does population growth contribute to rising energy consumption in America? **Population and Environment**, v. 15, n. 5, p. 371-378, 1994.
- MENZ, T.; WELSCH, H. Population aging and carbon emissions in OECD countries: Accounting for life-cycle and cohort effects. **Energy Economics**, v. 34, n. 3, p. 842-849, 2012.
- MODIGLIANI, Franco. Life cycle, individual thrift, and the wealth of nations. **Science**, v. 234, n. 4777, p. 704-712, 1986.
- MORAIS, A. E. A. **A Curva Ambiental de Kuznets para emissão de CO2 no Brasil: uma análise com cointegração em painel**. 2019. 134 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada)- Universidade Federal de Ouro Preto, Mariana, MG, 2019.
- MOREIRA, M. de M. **Envelhecimento da população brasileira: aspectos gerais**. [S. l.]: Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 2015.
- MUHAMMAD, S.; TIWARI, A. K.; KHAN, S. Is energy consumption *per capita* stationary? Evidence from first and second generation panel unit root tests. **Economics Bulletin, AccessEcon**, v. 36, n. 3, p. 1656-1669, 2012.
- NOTESTEIN, F. Population: the long view. In: SCHULTZ, T. W. (ed.). **Food for the world**. Chicago: University of Chicago Press, 1945.
- NOTESTEIN, F. W. **La Population future de l'Europe et de l'Union soviétique: perspectives démographiques, 1940-1970**. Princeton: University of Princeton: Société des nations, 1944.
- OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Emissões de GEE no Brasil e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris: documento de análise 2018**. Brasil: SEEG, 2018.
- OKADA, A. Is an increased elderly population related to decreased CO₂ emissions from road transportation?. **Energy Policy**, v. 45, p. 286-292, 2012.
- O'NEILL, B. C.; CHEN, B. S. Demographic determinants of household energy use in the United States: population and Environment: methods of analysis. **Population and Development Review**, v. 28, n. 1, p. 53-88, 2002.
- O'NEILL, B. C. *et al.* Demographic change and carbon dioxide emissions. **The Lancet**, v. 380, n. 9837, p. 157-164, 2012.
- O'NEILL, B. C. *et al.* Global demographic trends and future carbon emissions. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 41, p. 17521-17526, 2010.

O'NEILL, B. C.; CHEN, B. S. Demographic determinants of household energy use in the United States. **Population and Development Review**, v. 28, p. 53-88, 2002.

OSAKI, M. M. As ameaças ao setor de saúde brasileiro. **Revista de Administração em Saúde**, v. 19, n. 75, 2019.

PAIVA, P. T. A.; WAJNMAN, S. Das causas às consequências econômicas da transição demográfica no Brasil. **Revista Brasileira de Estudos Populacionais**, v. 22, n. 2, p. 13-15, 2005.

PANAYOTOU, T. *et al.* **Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development**. [S. l.]: International Labour Organization, 1993.

PAO, H. T.; TSAI, C. M. Modeling and forecasting the CO2 emissions, energy consumption, and economic growth in Brazil. **Energy**, v. 36, n. 5, p. 2450-2458, 2011.

PARADELLA, R. **Número de idosos cresce 18% em 5 anos e ultrapassa 30 milhões em 2017**. 2018. <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencianoticias/2012agenciadenoticias/noticias/20980-numero-de-idosos-cresce-18-em-5-anos-eultrapassa-30milhoes-em-2017>. Acesso em: 10 dez. 2019.

PARK, S.; HEWINGS, Geoffrey J. D. Does a change in retirement age affect a regional economy? evidence from the Chicago economy. 2007. Disponível em: <http://www.real.illinois.edu/d-paper/07/07-T-6.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2019.

PEGORARO, L. S. J. **O envelhecimento da força do trabalho no Brasil: evidências a partir dos dados da previdência social e consequências na segurança do trabalho**. 2019. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

PENG, X. China's demographic history and future challenges. **Science**, v. 333, n. 6042, p. 581-587, 2011.

PESSANHA, J. F. M.; LEON, N. **Uma metodologia para previsão de longo-prazo do consumo de energia elétrica na classe residencial**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

PINHEIRO, A. C.; VELOSO, F. **Rio de Janeiro: um estado em transição**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2015.

POOL, I. Age-structural transitions and policy: towards frameworks. In: Seminar IUSSP/Asian Meta-Centre, Age-Structural Transitions and Policy, Phuket, Dec. 2000. **Anais [...]**. Phuket, 2000.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E.C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Editora Feevale, 2013.

REHER, D. S. Baby booms, busts, and population ageing in the developed world. **Population studies**, v. 69, sup. 1, p. S57-S68, 2015.

REHER, D.; REQUENA, M. The mid-twentieth century fertility boom from a global perspective. **The History of the Family**, v. 20, n. 3, p. 420-445, 2015.

RICHARDSON, R. J. *et al.* **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

ROLLET, C. **Introdução à demografia**. Porto: Porto Editora, 2007.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. DEL P. B. **Metodologia de pesquisa**. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

SÁNCHEZ-BARRICARTE, J. J. Measuring and explaining the baby boom in the developed world in the mid-20th century. **Demographic Research**, v. 38, p. 1189-1240, 2018.

SANDSTRÖM, G. The mid-twentieth century baby boom in Sweden—changes in the educational gradient of fertility for women born 1915–1950. **The History of the Family**, v. 19, n. 1, p. 120-140, 2014.

SANQUETTA, C. R. *et al.* Emissões de dióxido de carbono associadas ao consumo de energia elétrica no Paraná no período 2010-2014. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 2, n. 1, p. 1-6, 2017.

SARDON, J. P.; DEPLEDGE, R. Fertility in the Developed English-speaking Countries Outside Europe: Canada, United States, Australia and New Zealand. **Population**, v. 61, n. 3, p. 267-291, 2006.

SATHLER, D. População, consumo e ambiente: contribuições da Demografia para a questão ambiental. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 18., 2016, Águas de Lindóia. **Anais** [...]. Águas de Lindóia: ABEP, 2016. p. 1-17.

SCHULTZ, T. W. Human capital: Policy issues and research opportunities. *In*: SCHULTZ, T. W. **Economic research: retrospect and prospect**. [S. l.]: NBER, 1972. v. 6. p. 1-84.

SELDEN, T. M.; SONG, D. Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions? **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 27, n. 2, 1994. p. 147-162.

SHAFIK, N.; BANDYOPADHYAY, S. **Economic growth and environmental quality: time-series and cross-country evidence**. [S. l.]: World Bank Publications, 1992.

SHAHBAZ, M.; JALIL, A.; DUBE, S. **Environmental Kuznets curve (EKC): Times series evidence from Portugal**. 2010.

SHI, A. The impact of population pressure on global carbon dioxide emissions, 1975–1996: evidence from pooled cross-country data. **Ecological Economics**, v. 44, n. 1, p. 29-42, 2003.

SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVA, A.; Manoel A.; RESENDE, G. M. **Crescimento econômico comparado dos municípios alagoanos e mineiros: uma análise espacial**. 2006.

SILVA, H.; MONTE-MÓR, R.L.M (2010). Transições demográficas, transição urbana, urbanização extensiva: um ensaio sobre diálogos possíveis. **Anais**, Trabalho apresentado no XVII Encontro Nacional de Estudos Populacionais, Caxambu.

SIMOES, C. C. S. **Relações entre as alterações históricas na dinâmica demográfica brasileira e os impactos decorrentes do processo de envelhecimento da população**. Brasília, DF: IBGE, 2016.

SOLOW, R. M. A contribution to the theory of economic growth. **The quarterly journal of economics**, v. 70, n. 1, p. 65-94, 1956.

SOUZA, L. E. S. **Elementos de demografia econômica**. São Paulo: LCTE, 2006.

SOUZA, E. S. de *et al.* Determinantes de emissões de CO2 no Brasil e investigação da hipótese environmental kuznets curve (EKC) = Determinants of CO2 emissions in Brazil and investigation of environmental hypothesis kuznets curve (EKC). **Amazônia, Organizações e Sustentabilidade**, v. 6, n. 2, p. 49-66, 2018.

STEFANSKI, R. *et al.* On the mechanics of the Green Solow Model. **OxCarre Research Paper**, v. 47, 2013.

STERN, D. I.; COMMON, M. S.; BARBIER, E. B. Economic growth and environmental degradation: the environmental Kuznets curve and sustainable development. **World Development**, v. 24, n. 7, p. 1151-1160, 1996.

STERN, D. I.; A ascensão e queda da curva ambiental de Kuznets. **Desenvolvimento Mundial**, v. 32, n. 8, p. 1419-1439, 2004.

SUGIAWAN, Y.; MANAGI, S. The environmental Kuznets curve in Indonesia: exploring the potential of renewable energy. **Energy Policy**, v. 98, p. 187-198, 2016.

SURI, V.; CHAPMAN, D. Economic growth, trade and energy: implications for the environmental Kuznets curve. **Ecological Economics**, v. 25, n. 2, p. 195-208, 1998.

SZRETER, S. The idea of demographic transition and the study of fertility change: a critical intellectual history. **Population and Development Review**, v. 19, n. 4, p. 659-701, Dec. 1993.

TAO, S.; ZHENG, T.; LIANJUN, T. An empirical test of the environmental Kuznets curve in China: a panel cointegration approach. **China Economic Review**, v. 19, n. 3, p. 381-392, 2008.

TASKIN, F.; ZAIM, O. The role of international trade on environmental efficiency: a DEA approach. **Economic Modelling**, 18, n. 1, p. 1-17, 2001.

THEÓPHILO, C. R.; MARTINS, G. D. A. Metodologia da investigação científica para ciências sociais aplicadas. São Paulo: Atlas, 2009.

TUCKER, J. W.; ZAROWIN, P. A. Does income smoothing improve earnings informativeness. **The accounting review**, v. 81, n. 1, p. 251-270, 2006.

THOMPSON, W. S. Population. **American Journal of Sociology**, v. 34, n. 6, p. 959-975, 1929.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma perspectiva. **Novos estudos CEBRAP**, n. 79, p. 47-69, 2007.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. Population Division **World Population Aging**. 2007. New York: United Nations, 2007.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. Population Division **World Population Aging**. 2008. New York: United Nations, 2008.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. Population Division **World Population Aging**. 2012. New York: United Nations, 2012.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. Population Division **World Population Aging**. 2013. New York: United Nations, 2013.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. Population Division **World Population Aging**. 2015. New York: United Nations, 2015.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. Population Division **World Population Aging**. 2017. New York: United Nations, 2017.

VAN BAVEL, J.; REHER, D. S. The baby boom and its causes: what we know and what we need to know. **Population and Development Review**, v. 39, n. 2, p. 257-288, 2013.

WEI, Z.; HAO, R. Demographic structure and economic growth: evidence from China. **Journal of Comparative Economics**, v. 38, n. 4, p. 472-491, 2010.

WELSCH, H. Corruption, growth, and the environment: a cross-country analysis. **Environment and Development Economics**, v. 9, n. 5, p. 663-693, 2004.

WONG, L. L. Rodríguez. **Subsídios para políticas orientadas ao bem-estar do idoso sob a ótica de uma sociedade para todas as idades**. [S. l.]: Associação Brasileiras de Estudos Populacionais, 2001. p. 11-22.

WOOLDRIDGE, J. M. **Introductory econometrics: a modern approach**. [S. l.]: Nelson Education, 2016.

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

YORK, R. Demographic trends and energy consumption in European Union Nations, 1960–2025. **Social science research**, v. 36, n. 3, p. 855-872, 2007.

YOU, J.; China's challenge for decarbonized growth: forecasts from energy demand models. **Journal of Policy Modeling**, v. 35, n. 4, p. 652-668, 2013.

ZAMBRANO-MONSERRATE, M. A. *et al.* Relationship Between Economic Growth and Environmental Degradation: is there an Environmental Evidence of Kuznets Curve for Brazil?. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 6, n. 2, p. 208-216, 2016.

ZHANG, H.; ZHANG, H.; ZHANG, J. Demographic age structure and economic development: evidence from Chinese provinces. **Journal of Comparative Economics**, v. 43, n. 1, p. 170-185, 2015a.

ZHANG, Z. *et al.* Empirical study on the environmental pressure *versus* economic growth in China during 1991–2012. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 101, p. 182-193, 2015b.

ZHANG, Z. Y. *et al.* How does demographic structure affect environmental quality? Empirical evidence from China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 133, p. 242-249, 2018.