

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E  
CONTABILIDADE

KARINA SIMONE SASS

Mudanças climáticas, secas e impactos econômicos:  
uma análise para a Região Metropolitana de São  
Paulo

São Paulo  
2021

Prof. Dr. Vahan Agopyan  
Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Fábio Frezatti  
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade

Prof. Dr. José Carlos de Souza Santos  
Chefe do Departamento de Economia

Prof. Dr. Wilfredo Fernando Leiva Maldonado  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Economia

KARINA SIMONE SASS

Mudanças climáticas, secas e impactos econômicos:  
uma análise para a Região Metropolitana de São  
Paulo

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia do Departamento de Economia da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Amaral Haddad  
Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Mario Mendiondo

Versão Corrigida  
São Paulo  
2021

Catálogo na Publicação (CIP)  
Ficha Catalográfica com dados inseridos pelo autor

Sass, Karina Simone.

Mudanças climáticas, secas e impactos econômicos: uma análise para a Região Metropolitana de São Paulo / Karina Simone Sass. - São Paulo, 2021.

152 p.

Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 2021.

Orientador: Eduardo Amaral Haddad.

Co-orientador: Eduardo Mario Mendiondo.

1. Impactos de secas sobre a atividade industrial. 2. Análise regional. 3. Métodos integrados de análise. 4. Mudanças climáticas locais. I. Universidade de São Paulo. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. II. Título.

*À Luana, Laíze e Camile*

# AGRADECIMENTOS

Agradeço ao apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) por meio do processo 2018/08833-5, e da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE).

Agradeço ao meu orientador, professor Eduardo Haddad, não apenas pela orientação, mas também por ter propiciado meios para que eu pudesse entrar no programa de doutorado da FEA e por todo apoio dado desde que comecei a fazer parte do Nereus.

Ao professor Mario Mendingo por toda ajuda com as questões relacionadas à hidrologia e ao clima e pela acolhida no Wadi-Lab.

Ao professor Azzoni, pela acolhida no Nereus e pelas sugestões dadas ao trabalho nas avaliações de progresso e apresentação nos seminários semanais.

A todo o grupo do Nereus que de alguma forma contribuiu para o trabalho. Em especial à Adriana, por sempre estar disposta a auxiliar em qualquer problema que surgia, e ao Inácio e Gustavo, por me auxiliarem na estimação dos dados que utilizei nesse trabalho.

Ao Pinho, que sempre estava disposto a ajudar em qualquer assunto do doutorado.

Ao Eduardo (Contra), pelo apoio desde o processo seletivo do doutorado até a motivação para escrever as linhas finais da tese.

À Lúcia pela amizade e companheirismo ao longo dos quatro anos do doutorado.

Ao grupo dos Fiéis da Dr. Deusnise, Rapha, Denise, Duda, Dudu, Pedro, Tainá, Lúcia e Eduardo, pela amizade aos longo dos últimos anos.

*"bem no fundo  
no fundo, no fundo,  
bem lá no fundo,  
a gente gostaria  
de ver nossos problemas  
resolvidos por decreto  
a partir desta data,  
aquela mágoa sem remédio  
é considerada nula  
e sobre ela — silêncio perpétuo  
extinto por lei todo o remorso,  
maldito seja quem olhar pra trás,  
lá pra trás não há nada,  
e nada mais  
mas problemas não se resolvem,  
problemas têm família grande,  
e aos domingos saem todos passear  
o problema, sua senhora  
e outros pequenos probleminhas"*

(Paulo Leminski)

# RESUMO

Secas, mudanças climáticas e impactos econômicos locais são os temas tratados nesta tese. Tendo a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) como base, o objetivo do estudo foi avaliar a ocorrência de secas nessa região e estimar os impactos econômicos sobre suas atividades econômicas. A análise foi dividida em duas partes. Na primeira, por meio de dados climáticos históricos e projetados, foi realizada uma avaliação sobre as mudanças climáticas pelas quais a região já passou e as mudanças no clima projetadas em diferentes cenários. Como resultado, mostrou-se que a região onde se localiza a RMSP enfrentou diversos eventos de secas com diferentes intensidades ao longo do século XX e que os municípios metropolitanos têm grande sensibilidade às secas, as quais podem se tornar mais intensas e frequentes no futuro. Na segunda parte foram estimados os potenciais impactos econômicos que podem ser associados às secas na RMSP. Essa estimativa foi feita por meio de uma modelagem integrada que inclui um modelo econométrico e um modelo Espacial de Equilíbrio Geral Computável (EEGC). Os resultados do modelo econométrico permitiram identificar que os setores industriais mais intensivos em capital e tecnologia são os mais sensíveis aos efeitos das secas na RMSP. No modelo EEGC foram realizadas simulações para analisar como os efeitos específicos de secas em alguns setores afetam a economia como um todo. Essas simulações mostraram que a produção total e a renda disponível dos municípios metropolitanos podem apresentar variação negativa significativa, e que diversas atividades econômicas podem ser indiretamente afetadas, tais como transporte terrestre, construção civil e serviços pessoais. Com a agregação dos resultados municipais em suas respectivas sub-bacias hidrográficas foi identificado que as maiores perdas econômicas devidas às secas podem ocorrer nas sub-bacias com menor disponibilidade hídrica. Ao final da tese foram discutidas as possíveis políticas públicas que podem ser adotadas para se reduzir a vulnerabilidade às secas e as questões que ainda carecem de mais estudos na economia das mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** impactos de secas sobre a atividade industrial, análise regional, métodos integrados de análise, mudanças climáticas locais.

# ABSTRACT

Droughts, climate change, and local economic impacts are the themes addressed in this thesis. Having the Metropolitan Area of São Paulo (SPMA) as its focus, the aim of the study was to evaluate the occurrence of droughts in this region and to estimate the potential effects of drought on its economic activities. I divided the analysis into two parts. In the first, I carried out an analysis on the climate change and droughts that occurred in the region using historical and projected climate data. The analysis showed that the region where the RMSP locates faced droughts of different intensities over the 20th century and that the municipalities in the region are highly sensitive to droughts, which may become more intense and frequent in the future. In the second part, I evaluated the potential economic impacts that can be associated with droughts in the RMSP. I did this assessment through an integrated modeling scheme that includes an econometric model and a Spatial Computable General Equilibrium (SCGE) model. The results of the econometric model suggested that the capital and technology-intensive industries are the ones more sensitive to droughts in the SPMA. In the EEGC model, I carried out simulations to analyze how the specific impacts of droughts on some sectors affect the economy. The results from the simulations showed that the total production and disposable income of metropolitan municipalities can decrease and that several economic activities can be indirectly affected, such as land transport, construction, and personal services. With the aggregation of municipal results in their respective hydrographic sub-basins, I identified that the greatest economic losses because of droughts can occur in the sub-basins with lower water availability. In the end, there are suggestions of possible public policies to reduce vulnerability to droughts, and a discussion about issues that still need further studies in the economics of climate change.

**Key-words:** impacts of droughts on industrial activity, regional analysis, integrated methods of analysis, local climate change.

# LISTA DE TABELAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 2.1–Classificação do (sc)PDSI . . . . .  | 28  |
| Tabela 3.1–Localização das produções industriais na RMSP, percentual (%) do município no total da região, média 2003-2016 . . . . .   | 58  |
| Tabela 3.2–Intensidade anual das secas . . . . .  | 60  |
| Tabela 3.3–Decomposição do multiplicador simples de produção dos municípios da RMSP . . . . .   | 63  |
| Tabela 3.4–Multiplicadores setoriais simples de produção, média da RMSP   | 64  |
| Tabela 3.5–Coeficientes de curto prazo estimados da Intensidade de seca (ln) pelo método System GMM . . . . .   | 74  |
| Tabela 3.6–Variação da intensidade das secas em relação ao período base (1976-2005) . . . . .   | 78  |
| Tabela 3.7–Choques de produtividade por município e indústria, cenário RCP4.5 . . . . .   | 79  |
| Tabela 3.8–Choques de produtividade por município e indústria, cenário RCP8.5 . . . . .   | 80  |
| Tabela 3.9–Impactos sobre variáveis macroeconômicas nacionais selecionadas - variação percentual em relação ao cenário base (2015)  | 84  |
| Tabela 3.10–Impactos sobre o Produto Regional Bruto - variação percentual em relação ao cenário base (2015) . . . . .   | 86  |
| Tabela 3.11–Impactos sobre o a renda disponível - variação percentual em relação ao cenário base (2015) . . . . .   | 88  |
| Tabela 3.12–Impactos- variação percentual em relação ao cenário base (2015)- sobre o nível de atividade setorial por local de produção, cenários de curto prazo . . . . .         | 92  |
| Tabela 3.13–Impactos- variação percentual em relação ao cenário base (2015)- sobre o nível de atividade setorial por local de produção, cenários de longo prazo . . . . .         | 93  |
| Tabela 3.14–Características das sub-bacias da BAT . . . . .   | 96  |
| Tabela 3.15–Variação percentual média (%) do PRB e da Renda Disponível das famílias e Perda Econômica (R\$ 1000) por sub-bacia e cenários RCP4.5 e RCP8.5 - longo prazo . . . . . | 97  |
| Tabela 3.16–Comparação entre os impactos reconstruídos a partir da Equação 3.12 e os impactos simulados pelo modelo B-MARIA . . . . .   | 103 |
| Tabela E.1–Teste de raiz unitária . . . . .   | 132 |
| Tabela F.1–Valor adicionado da Indústria . . . . .  | 133 |
| Tabela F.2–Valor adicionado dos serviços . . . . .  | 134 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela G.1–Produtos alimentícios . . . . .                              | 135 |
| Tabela G.2–Bebidas . . . . .  | 135 |
| Tabela G.3–Produtos têxteis . . . . .                                   | 136 |
| Tabela G.4–Vestuário e acessórios . . . . .                             | 136 |
| Tabela G.5–Couro e arfetatos de couro . . . . .                         | 137 |
| Tabela G.6–Produtos de madeira . . . . .                                | 137 |
| Tabela G.7–Celulose e produtos de papel . . . . .                       | 138 |
| Tabela G.8–Impressão e reprodução de gravações . . . . .                | 138 |
| Tabela G.9–Petróleo e derivados . . . . .                               | 139 |
| Tabela G.10Produtos químicos . . . . .                                  | 139 |
| Tabela G.11Produtos farmoquímicos e farmacêuticos . . . . .             | 140 |
| Tabela G.12Borracha e material plástico . . . . .                       | 140 |
| Tabela G.13Minerais não metálicos . . . . .                             | 141 |
| Tabela G.14Metalurgia . . . . .   | 141 |
| Tabela G.15Produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos . . . . .  | 142 |
| Tabela G.16Equipamentos de informática, eletrônicos e ópticos . . . . . | 142 |
| Tabela G.17Máquinas, aparelhos e materiais elétricos . . . . .          | 143 |
| Tabela G.18Máquinas e equipamentos mecânicos . . . . .                  | 143 |
| Tabela G.19Veículos automotores, reboques e carrocerias . . . . .       | 144 |
| Tabela G.20Outros equipamentos de transporte . . . . .                  | 144 |
| Tabela G.21Móveis . . . . .   | 145 |
| Tabela H.1–RCP4.5 - curto prazo . . . . .                               | 147 |
| Tabela H.2–RCP4.5 - longo prazo . . . . .                               | 148 |
| Tabela H.3–RCP8.5 - curto prazo . . . . .                               | 149 |
| Tabela H.4–RCP8.5 - longo prazo . . . . .                               | 150 |
| Tabela I.1 – Matriz de sensibilidade - curto prazo . . . . .            | 151 |
| Tabela I.2 – Matriz de sensibilidade - longo prazo . . . . .            | 152 |

# LISTA DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| Figura 2.1–Anomalias de precipitação e temperatura, média da RMSP, 1901-2019 . . . . .   | 19  |
| Figura 2.2–Anomalias de precipitação e temperatura para os cenários RCP4.5 e RCP8.5, média da RMSP . . . . .   | 22  |
| Figura 2.3–Relação entre variabilidade climática, variáveis do ciclo hidrológico e tipos de seca . . . . .   | 25  |
| Figura 2.4–Secas na RMSP baseadas no scPDSI . . . . .  | 31  |
| Figura 2.5–Condição dos sistemas de abastecimento de água nos municípios na RMSP, 2015 . . . . .   | 35  |
| Figura 2.6–Índice de sensibilidade às secas, 2017 . . . . .  | 36  |
| Figura 2.7–scPDSI médio da RMSP nos Cenários RCP4.5 e RCP8.5 . . . . .   | 37  |
| Figura 2.8–Curva de intensidade-frequência para o período histórico e projeções, calculada com valores médios da RMSP . . . . .                                | 39  |
| Figura 3.1–Possíveis canais de efeitos diretos de uma seca sobre a atividade industrial . . . . .  | 46  |
| Figura 3.2–Número de empregados e valor adicionado por indústria da transformação, total da RMSP, 2015 . . . . .   | 52  |
| Figura 3.3–Participação do valor adicionado da indústria da transformação no valor adicionado total do município, 2015 . . . . .                               | 53  |
| Figura 3.4–Representação das etapas da metodologia de estimação dos efeitos econômicos totais . . . . .  | 56  |
| Figura 3.5–Estrutura da função de produção do Modelo B-MARIA . . . . .   | 69  |
| Figura 3.6–Estrutura da função de utilidade do Modelo B-MARIA . . . . .  | 70  |
| Figura 3.7–Estrutura da função investimento do Modelo B-MARIA . . . . .  | 70  |
| Figura 3.8–Canais de transmissão dos choques no modelo EEGC . . . . .  | 82  |
| Figura 3.9–Perdas econômicas (R\$ 1.000) calculadas a partir do PIB municipal do período base (2015), cenário RCP8.5 - longo prazo . . . . .                   | 87  |
| Figura 3.10–Impactos- variação percentual em relação ao cenário base (2015) - na população residente dos municípios da RMSP, cenários de longo prazo . . . . . | 94  |
| Figura 3.11–Divisão dos municípios da RMSP em sub-bacias hidrográficas . . . . .   | 96  |
| Figura 3.12–Distribuição dos efeitos simulados sobre o PRB de Guarulhos, variação percentual em relação ao cenário base . . . . .                              | 102 |

# SUMÁRIO

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO</b>  | <b>14</b> |
| <b>2</b>   | <b>MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SECAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO</b>                      | <b>16</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Introdução</b>  | <b>16</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Mudanças climáticas na RMSP</b>   | <b>17</b> |
| 2.2.1      | Projeções climáticas   | 20        |
| <b>2.3</b> | <b>Caracterização das secas</b>  | <b>24</b> |
| 2.3.1      | Definições   | 24        |
| 2.3.2      | Mensuração   | 25        |
| 2.3.3      | Análise de frequência e intensidade  | 27        |
| <b>2.4</b> | <b>Secas na RMSP</b>   | <b>30</b> |
| 2.4.1      | Secas no passado e vulnerabilidades atuais   | 30        |
| 2.4.2      | Secas no futuro  | 36        |
| <b>2.5</b> | <b>Resumo e implicações de políticas públicas</b>  | <b>40</b> |
| <b>3</b>   | <b>IMPACTOS DE SECAS SOBRE AS ATIVIDADES ECONÔMICAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO</b> | <b>42</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Introdução</b>  | <b>42</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Impactos econômicos de secas</b>  | <b>43</b> |
| 3.2.1      | Impactos econômicos nos setores industriais  | 45        |
| <b>3.3</b> | <b>A atividade industrial na RMSP</b>  | <b>50</b> |
| <b>3.4</b> | <b>Metodologia</b>   | <b>55</b> |
| 3.4.1      | Dados  | 56        |
| 3.4.1.1    | Produção industrial  | 56        |
| 3.4.1.2    | Intensidade das secas  | 59        |
| 3.4.1.3    | Matriz de Insumo-Produto Inter-regional  | 61        |
| 3.4.2      | Modelo econométrico  | 65        |
| 3.4.3      | Modelo Espacial de Equilíbrio Geral Computável   | 67        |
| 3.4.3.1    | Estrutura teórica do modelo  | 68        |
| 3.4.3.2    | Estratégia de fechamento e simulação   | 71        |
| <b>3.5</b> | <b>Resultados</b>  | <b>72</b> |
| 3.5.1      | Impactos diretos   | 72        |
| 3.5.2      | Cenários simulados   | 77        |
| 3.5.3      | Impactos econômicos totais   | 81        |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 3.5.3.1    | Canais de transmissão dos choques no modelo B-MARIA . . . . .                              | 81         |
| 3.5.3.2    | Impactos sobre variáveis macroeconômicas agregadas . . . . .                               | 82         |
| 3.5.3.3    | Impactos regionais . . . . .   | 84         |
| 3.5.3.4    | Impactos setoriais . . . . .   | 89         |
| 3.5.3.5    | Impactos sobre migração . . . . .  | 94         |
| 3.5.3.6    | Impactos por sub-bacia hidrográfica . . . . .  | 95         |
| 3.5.4      | Análises de sensibilidade . . . . .  | 97         |
| <b>3.6</b> | <b>Resumo e implicações de políticas públicas . . . . .</b>                                | <b>104</b> |
| <b>4</b>   | <b>CONCLUSÃO . . . . .</b>   | <b>107</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>   | <b>109</b> |
|            | <b>ANEXO . . . . .</b>   | <b>119</b> |
| <b>A</b>   | <b>DIAGNÓSTICO DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO URBANO<br/>DE ÁGUA . . . . .</b>              | <b>127</b> |
| <b>B</b>   | <b>FUNÇÃO DE GUMBEL . . . . .</b>  | <b>128</b> |
| <b>C</b>   | <b>INTENSIDADE ANUAL MÉDIA POR MUNICÍPIO E CENÁRIO<br/>CLIMÁTICO . . . . .</b>             | <b>129</b> |
| <b>D</b>   | <b>LISTA DE REGIÕES E SETORES DO MODELO EEGC . . . . .</b>                                 | <b>130</b> |
| <b>E</b>   | <b>TESTES DE RAIZ UNITÁRIA . . . . .</b>   | <b>132</b> |
| <b>F</b>   | <b>RESULTADO DAS ESTIMAÇÕES ECONOMETRICAS DO VA-<br/>LOR ADICIONADO AGREGADO . . . . .</b> | <b>133</b> |
| <b>G</b>   | <b>RESULTADO DAS ESTIMAÇÕES ECONOMETRICAS DAS 21 IN-<br/>DÚSTRIAS . . . . .</b>            | <b>135</b> |
| <b>H</b>   | <b>SUBTOTAIIS DOS IMPACTOS SOBRE O PRB . . . . .</b>                                       | <b>146</b> |
| <b>I</b>   | <b>MATRIZES DE SENSIBILIDADE . . . . .</b>   | <b>151</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

Desde 1980, os anos têm sido sucessivamente mais quentes na superfície do globo terrestre. Esse alarme, expresso no Fifth Assessment Report (AR5) do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014), busca chamar a atenção para as implicações negativas que o aquecimento global pode impor à sociedade. A elevação da temperatura média do planeta, causada principalmente pelas emissões antropogênicas de gases de efeito estufa - dióxido de carbono ( $CO_2$ ), metano ( $CH_4$ ) e óxido nitroso ( $N_2O$ ) - vem ocorrendo desde a era pré-industrial e tem causado mudanças climáticas globais (MCGs).

Uma das principais consequências das MCGs é o aumento da frequência e intensidade de eventos extremos, dentre eles as secas. Como apontado em IPCC (2021b), ao longo dos século XXI irão ocorrer mais extremos de secas, considerando o aquecimento global de 2°C.

Com as secas se tornando mais frequentes, os impactos socioeconômicos e ambientais associados a elas também devem se tornar maiores. As secas podem causar escassez hídrica, inflação, quedas na renda e no bem-estar, problemas de saúde, redução da produtividade, além de poder causar conflitos civis. As áreas sujeitas a esses impactos também devem aumentar ao longo do tempo. Segundo Güneralp, Güneralp e Liu (2015), mesmo sem levar em conta o efeito das mudanças climáticas, a extensão das áreas urbanas expostas às secas pode pelo menos dobrar até 2030.

Mesmo diante desses cenários, ainda há uma grande lacuna na economia das mudanças climáticas sobre os impactos socioeconômicos das secas em áreas urbanas. Isso pode comprometer a busca por melhores estratégias de adaptação que visem reduzir a vulnerabilidade das áreas expostas. Procurando contribuir para com este tema, a presente Tese se debruça sobre a relação entre mudanças climáticas, secas e seus potenciais impactos econômicos. A análise teve como área de estudo uma região com alta densidade populacional, grande dinâmica econômica e que está sujeita às secas, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). A análise foi dividida em duas partes.

A primeira é sobre a exposição da RMSP às secas. Por meio de dados climáticos e de fontes históricas se identificaram as mudanças climáticas pelas quais a região passou, os principais eventos de secas ocorridos e seus impactos sobre a população e as atividades econômicas. Utilizando projeções climáticas, buscou-se identificar as variações futuras da temperatura média,

da precipitação total da região e da frequência e intensidade de extremos de secas. Essa parte do trabalho também incluiu uma caracterização desse evento climático extremo, apresentando sua definição, classificação e mensuração.

A segunda parte está relacionada com possíveis vulnerabilidades da RMSP às secas. Foram estimados os impactos econômicos desse extremo sobre algumas atividades econômicas e economias locais. A análise compreendeu um modelo econométrico, que estimou a sensibilidade de várias atividades industriais à intensidade das secas, e um modelo de Espacial de Equilíbrio Geral Computável (EEGC), que mostrou como essa sensibilidade afeta os demais setores, o produto municipal e a economia como um todo.

Os resultados auferidos podem contribuir para o entendimento dos riscos associados às secas na RMSP e apontar para possíveis ações de adaptação. Ao final da Tese também foram discutidas algumas limitações do atual estado da arte da economia das mudanças climáticas, como a utilização de projeções climáticas.

## 2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SECAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

### 2.1 INTRODUÇÃO

Maior polo de riqueza nacional, a RMSP, criada oficialmente em 1973, abrange 39 municípios que concentravam cerca de 10% da população Brasileira e aproximadamente 18% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro em 2017 (IBGE, 2018). Acompanhando as expressivas concentrações de população e de riqueza estão diversos problemas socioambientais relacionados aos padrões de desenvolvimento e transformação do espaço e que têm sido agravados pelo aumento da temperatura e intensificação de eventos climáticos extremos.

Dentre os eventos climáticos extremos que podem acometer a região, as secas figuram entre os principais. O extremo de seca ocorrido em 2014 provocou impactos socioeconômicos, aumentando os preços dos alimentos e das tarifas de energia em residências, indústrias e comércio (NOBRE et al., 2016). Uma seca da magnitude da ocorrida em 2014, que afetou os níveis dos mananciais e acarretou um grave problema social, é precisamente o tipo de fenômeno climático extremo projetado entre os diversos impactos decorrentes das mudanças climáticas (MARENGO et al., 2015).

Nesse cenário, a avaliação das tendências futuras de ocorrência de secas, levando em conta as mudanças climáticas projetadas, é importante para o planejamento das cidades que podem ser afetadas por elas. Assim sendo, o objetivo deste capítulo é fazer uma ampla análise dos eventos de seca na RMSP e analisar o papel das mudanças climáticas em sua frequência e intensidade. Essa análise é dividida em três partes neste capítulo.

A primeira parte (Seção 2.2) foca nas mudanças climáticas na RMSP. Por meio de uma série histórica de dados climáticos e registros de fontes históricas, é mostrado como o clima tem mudado na região. Depois, usando dados de projeções de um modelo climático regional, são discutidas as mudanças climáticas projetadas para a região.

A segunda parte (Seção 2.3) é dedicada ao estudo das secas. É feita

uma caracterização desse evento extremo com a apresentação da metodologia utilizada em sua avaliação e, após, são apresentados os principais eventos ocorridos na RMSP, bem como seus efeitos socioeconômicos.

A terceira parte (Seção 2.4) une os elementos apresentados nas duas partes anteriores. Com as projeções de temperatura e precipitação para diferentes cenários são calculadas a intensidade e frequência de eventos futuros de seca. Por fim, são apresentadas as considerações finais do capítulo (Seção 2.5).

## 2.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA RMSP

Em todo o mundo, ações antropogênicas têm provocado alterações no clima por meio das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e das alterações no uso da terra decorrentes da urbanização e da expansão da agropecuária (KALNAY; CAI, 2003). Na RMSP, as alterações no clima estão associadas principalmente às expressivas concentrações de população e de riqueza e aos padrões de desenvolvimento e transformação do espaço ao longo do tempo.

A partir do final do século XIX, a região onde atualmente se localizam os 39 municípios da RMSP passou por profundas transformações no espaço causadas pelo crescimento populacional e pela criação e expansão de diversas atividades econômicas. A cidade de São Paulo, antes mera vila situada no planalto paulista, foi transformada pelo sistema agroexportador cafeeiro em um centro financeiro, mercantil, ferroviário e de articulação do território paulista (JORGE, 2012). Esse empoderamento atraiu para a região grande contingente populacional, dentre eles muitos estrangeiros. Em 1894, São Paulo alcançava uma população de apenas 23.253 e, em pouco mais de duas décadas, saltou para 239.820, conforme dados mostrados por Marcolin (2014b). Com o declínio da economia cafeeira na década de 1930, outro grande salto transformador do espaço e do clima da região veio a ocorrer: a industrialização.

A mudança da economia cafeeira para a indústria urbana propiciou condições estruturantes para integração de áreas urbanas entre os municípios do que viria a ser a RMSP, especialmente aquelas situadas ao longo dos eixos ferroviários (Santos-Jundiaí, Sorocabana e Central do Brasil), iniciando um processo que viria a consolidar algumas cidades-dormitório (NOBRE et al., 2011). Também nessa época foi estimulada a ocupação das planícies que circundavam a cidade de São Paulo e as várzeas dos rios com instalações industriais (GOUVÊA, 2016).

O crescimento populacional e a urbanização estabeleceram um padrão de ocupação do território e aproveitamento dos rios que moldaram o crescimento da cidade de São Paulo durante o século XX e cujos desdobramentos podem ser vistos até os dias de hoje. Como explica Gouveia (2016), a ocupação do território avançou sobre áreas de topografia irregular e de várzeas, que mesmo periodicamente encharcadas, tornaram-se uma opção lucrativa à especulação imobiliária. Os rios que circundam a cidade, que antes eram importantes para as mais diversas atividades, passaram a ser um incômodo. Não eram necessários para o abastecimento urbano, já que a tecnologia permitia trazer água de mananciais mais distantes e mais limpos (GOUVEIA, 2016), e eram vistos como focos de doenças, por causa do esgoto e sujeira que recebiam.

Com todas essas alterações no espaço físico, seria impossível as características climáticas da região permanecerem constantes. Essa é a ideia compartilhada por Nobre et al. (2011). Para eles, a urbanização da cidade, que se intensificou com a expansão de parques industriais, implantação de sistema viário e construção de edifícios na segunda metade do século XX, provocou alterações nas características climáticas da região. Na mesma linha de pensamento, Pereira Filho et al. (2007) afirmam que as mudanças no clima da RMSP podem ser creditadas a fatores locais, como o aumento da área urbana horizontal, o qual tem efeito direto sobre o balanço energético, e vertical, que tem efeito sobre a rugosidade superficial e dinâmica da camada limite.

Além dos efeitos locais, as mudanças climáticas globais, um fenômeno de grande escala, pode ter influenciado o clima na região. Como apresentado em Pivetta (2012), os componentes locais e globais atuam em conjunto, "um potencializa os efeitos do outro e, em geral, é difícil traçar uma linha divisória entre ambos".

Dentre as mudanças no clima causadas por fatores locais, uma das mais visíveis foi o desaparecimento de uma das características mais marcantes que a cidade de São Paulo tinha: a garoa. Segundo Toledo (2012), "a garoa era para a cidade um atributo comparável ao que para outras cidades é um rio, o amplo céu ou uma montanha ao fundo. São Paulo era a capital da garoa, de cuja configuração só se tem ideia recorrendo aos testemunhos do período". As garoas, que são uma característica do clima tropical de altitude predominante na região, ocorriam geralmente na transição entre verão e inverno, mas se tornaram raras. A criação de ilhas de calor e a concentração de poluentes na atmosfera, resultados de intensa urbanização, são os principais responsáveis por isso (NOBRE et al., 2011; SABESP, 2020).

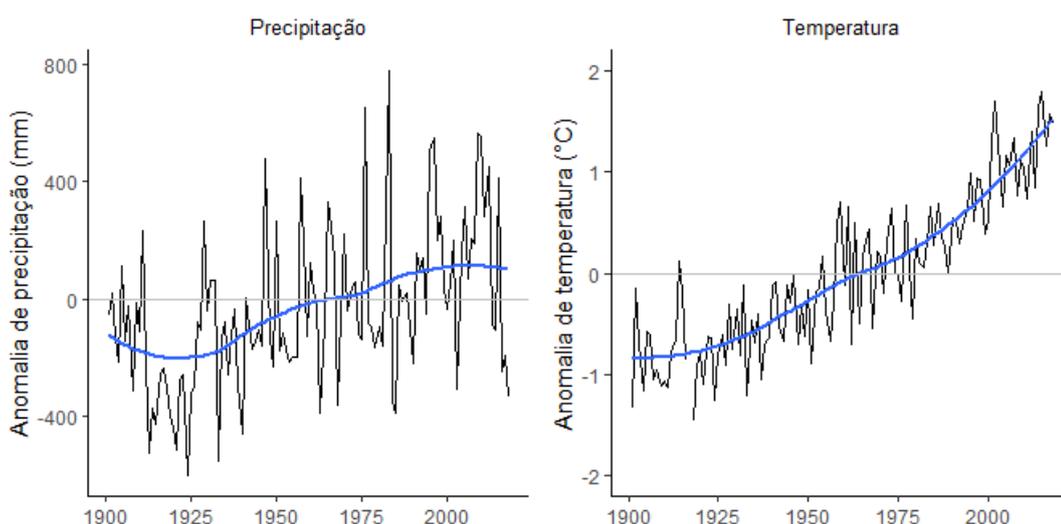
As mudanças no clima da região também são evidenciadas pelos dados

históricos das principais variáveis utilizadas para se examinar mudanças no clima de uma região - anomalias de precipitação e temperatura. A Figura 2.1 traz as médias dessas variáveis para a RMSSP para o período de 1901 a 2019.

No gráfico referente às anomalias de precipitação se observa que houve uma leve tendência de aumento das chuvas ao longo do século acompanhada de vários episódios extremos, tanto de mínimos quanto de máximos. Utilizando dados de outra fonte, Pereira Filho et al. (2007) mostram o mesmo resultado. Eles afirmam que no período de 1933 a 2009 o total de chuva aumentou, com uma forte variabilidade interanual, associada à ocorrência do El Niño/La Niña e às condições do Oceano Atlântico próximo.

Em relação à temperatura, durante o todo o século XX houve um evidente aumento da temperatura média, o qual se acentuou principalmente entre as décadas de 1950 e 1960. Ao longo desses anos houve expressivo desenvolvimento industrial e crescimento da população, o que contribuiu para a intensificação do uso e ocupação do solo e conseqüentemente para aumento da temperatura média da região. Em 2019, a temperatura média na cidade de São Paulo estava cerca de 2°C acima da média histórica e deve continuar a aumentar, como será mostrado a seguir.

Figura 2.1 – Anomalias de precipitação e temperatura, média da RMSSP, 1901-2019



Fonte: Elaboração própria com dados do Climatic Research Unit (CRU).

Nota: em preto estão os dados observados e em azul a tendência. Os dados são a média dos 39 municípios da RMSSP. As anomalias foram calculadas pela diferença entre a precipitação/temperatura em relação ao valor médio do período compreendido entre 1950 e 1979, período histórico de referência.

### 2.2.1 Projeções climáticas

Quanto ao futuro, que mudanças são esperadas no clima da RMSP? Projeções climáticas geradas por modelos regionais de alta resolução podem apontar as tendências esperadas de precipitação e temperatura para a região.

Modelos climáticos regionais fornecem o detalhamento de modelos globais para um determinado período de tempo e região, uma característica importante para a realização de estudos de impacto, vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas a nível local (LYRA et al., 2018). Por vulnerabilidade climática entende-se a propensão ou predisposição de um sistema ou grupo de pessoas ser adversamente afetado pelos efeitos das mudanças climáticas (IPCC, 2014). Tal vulnerabilidade inclui uma variedade de conceitos e elementos, dentre eles a sensibilidade ou susceptibilidade a danos e incapacidade para lidar ou adaptar-se aos eventos adversos (IPCC, 2014).

Atualmente, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) disponibiliza projeções climáticas para todo o território brasileiro, sendo possível o acesso aos dados em nível municipal<sup>1</sup>. A partir dessas projeções foram feitas as análises de mudanças climáticas futuras para a RMSP.

As projeções do CPTEC/INPE são provenientes do modelo regional não hidrostático Eta com resolução de 5km e aninhado ao modelo global HadGEM2-ES<sup>2</sup>. O modelo Eta, como descrito por Brito et al. (2019), é um modelo atmosférico regional desenvolvido pela Universidade de Belgrado e aprimorado ao longo dos anos por pesquisadores do CPTEC/INPE. Ele prove dados de dois RCPs (*Representative Concentration Pathways*) para os anos compreendido entre 2011 a 2099 e um período histórico (1961-2005).

Os RCPs se referem ao número de forçantes radiativas (desequilíbrios de energia global) medidos em watts por metro quadrado por ano até 2100 (IPCC, 2021a). Além da forçante radiativa, nos RCPs se incluem as taxas de emissões de GEE e a concentração em partes por milhão para cada um destes. Cada “*pathway*” fixa a trajetória de dois valores até o ano de 2100: (a) o quanto o planeta aqueceu, e (b) a concentração de GEE (IPCC, 2021a). Cada RCP for-

<sup>1</sup> Para mais informações sobre os dados ver Chou, Bustamante e Gomes (2005), Chou et al. (2014) e Mesinger et al. (2012).

<sup>2</sup> HadGEM2 significa the Hadley Centre Global Environment Model version 2; e ES significa Earth System. A família HadGEM2 de modelos climáticos representa a segunda geração de configurações HadGEM, com funcionalidade adicional, incluindo uma estratosfera bem resolvida e componentes do sistema terrestre (COLLINS et al., 2008). Membros da família HadGEM2 foram usados no Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (AR5).

nece apenas um dos muitos cenários possíveis que levariam às características específicas de forçamento radiativo, o que justificada o termo "*representative*". O termo "*pathway*" enfatiza que não apenas os níveis de concentração de longo prazo são de interesse, mas também a trajetória percorrida ao longo do tempo para alcançar esse resultado (MOSS et al., 2010).

Quatro RCPs produzidos a partir de modelos de avaliação integrados foram selecionados da literatura publicada para fazerem parte do AR5 como base para suas previsões e projeções climáticas. Entretanto, apenas dois deles são utilizados no Eta, o RCP4.5 e o RCP8.5, descritos a seguir:

- **RCP4.5:** uma das vias de estabilização intermediárias nas quais o forçamento radiativo é estabilizado em aproximadamente  $4,5 \text{ Wm}^2$  após 2100. Também pode representar um cenário *business as usual*.
- **RCP8.5:** um caminho elevado para o qual a forçante radiativa atinge mais de  $8,5 \text{ Wm}^2$  em 2100 e continua a aumentar por algum tempo. É um cenário de certa forma pessimista, pois sugere um crescimento contínuo da população e um desenvolvimento tecnológico lento, resultando em elevadas emissões. Considera também a ausência de políticas para reduzir as emissões e a forte dependência de combustíveis fósseis durante o século.

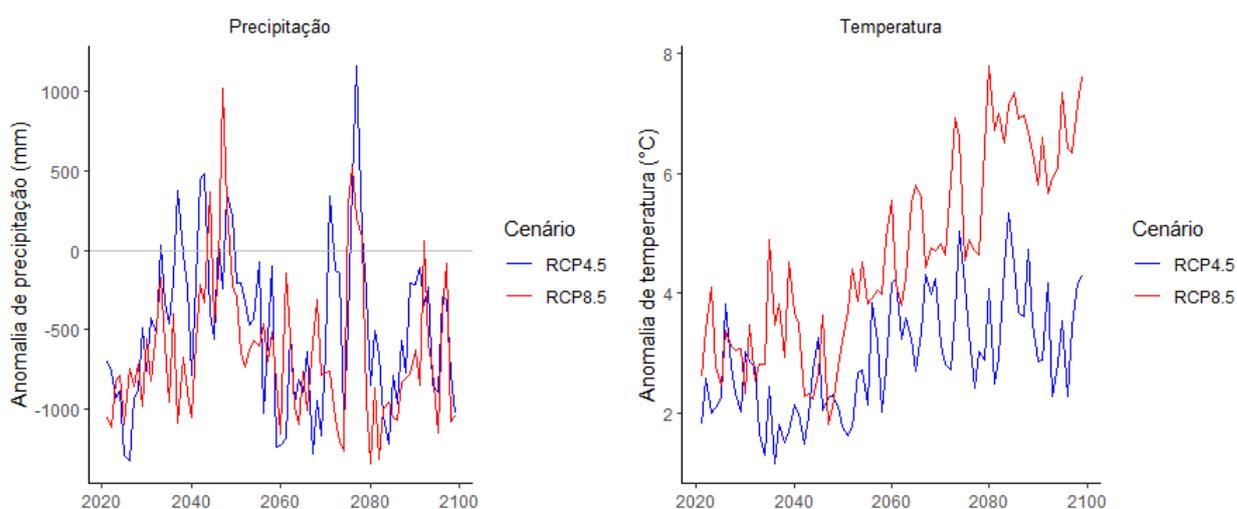
De posse dos dados de precipitação e temperatura de cada município da RMSP para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 foram construídos os gráficos de anomalias que podem ser vistos na Figura 2.2. Os valores se referem à média dos municípios da região. De maneira geral, os padrões de precipitação são muito semelhantes em ambos cenários: há uma tendência de redução da precipitação total anual e alguns picos de chuva em excesso por volta de 2040 e 2080. Quanto à temperatura, em ambos cenários são previstos aumentos em relação ao período histórico (1961-1990), porém os aumentos do cenário RCP8.5 devem ser bem superiores aos do cenário RCP4.5 a partir da metade do século. No primeiro, a temperatura segue em contínua elevação e atinge o valor de  $8^\circ\text{C}$  de aumento; já no segundo, a temperatura deve seguir uma trajetória mais estável e se manter em torno de  $4^\circ\text{C}$  de aumento depois da metade do século.

Utilizando as mesmas projeções, Lyra et al. (2018) fizeram uma análise mais detalhada sobre as tendências futuras no clima da RMSP. Eles afirmam que a precipitação deve ser fortemente reduzida durante o verão tanto no cenário RCP4.5 como no RCP8.5. Se isso se confirmar, os sistemas de abastecimento urbano serão impactados, já que são as chuvas do verão que enchem os reservatórios (LYRA et al., 2018). Contudo, Friederike et al. (2015) atentam

para o fato de que as projeções de precipitação para a região geográfica onde está a RMSP podem ter alto grau de incerteza. Isso porque ela se localiza na fronteira entre duas zonas climáticas com padrões distintos de precipitação, uma com diminuição da precipitação (em direção ao norte/nordeste do Brasil) e outra com aumento da precipitação (em direção à região sul). Além disso, é possível que essa própria fronteira se desloque, aumentando ainda mais o nível de incerteza.

Quanto às anomalias de temperatura, Lyra et al. (2018) também mostram que a variação sob RCP8.5 é projetada para ser aproximadamente 4°C acima do normal em 2011-2040 e chegar a aproximadamente 8°C acima do normal no mais longínquo período (2071–2100), tanto no verão como no inverno.

Figura 2.2 – Anomalias de precipitação e temperatura para os cenários RCP4.5 e RCP8.5, média da RMSP



Fonte: Elaboração própria com dados do CPTEC/INPE.

Nota: as anomalias foram calculadas pela diferença entre a precipitação/temperatura em relação ao valor médio do período compreendido entre 1961 e 1990, período histórico de referência.

Esses aumentos de temperatura poderão causar diversos problemas de saúde nas futuras gerações de moradores da RMSP, que terão que conviver com ameaças à vida cada vez maiores. Por meio de projeções climáticas e modelos epidemiológicos para a cidade de São Paulo, Hacon et al. (2016) estimaram que o número de mortes prematuras no cenário climático do final do século deve aumentar. Eles argumentam que em regiões densamente povoadas, como a RMSP, temperaturas cada vez mais altas podem elevar a incidência de doenças do sistema circulatório, do aparelho respiratório e doenças mentais, além da

maior propagação de doenças contagiosas.

Além dos possíveis efeitos sobre a saúde, outra consequência das alterações do clima no mundo todo são o aumento da intensidade e frequência de eventos extremos, que trazem grande risco à vida e podem causar profundos impactos socioeconômicos e ambientais. Na RMSP, os eventos extremos mais recorrentes são aqueles relacionados ao ciclo hidrológico: aumento da precipitação (alagamentos, enchentes e inundações) e redução da precipitação (secas e estiagens).

Alagamentos, enchentes e inundações podem acarretar inúmeros custos ambientais e socioeconômicos às áreas atingidas. Primeiramente porque atingem grande parcela da população urbana, seja direta ou indiretamente, e em segundo lugar, ocorrem com certa periodicidade (em todos os verões). Como consequências ambientais podem ser citadas a contaminação da água para consumo, comprometimento da rede de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgoto, comprometimento da rede de coleta e disposição de resíduos, e alterações nos ciclos dos vetores, hospedeiros e reservatórios de doenças (BRASIL, 2018). Já dentre as perdas socioeconômicas estão aquelas ligadas diretamente aos prejuízos decorrentes da perda de bens de capital, interrupção total ou parcial das atividades comerciais ou industriais, e aquelas ligadas à redução do bem estar da população com reflexos na produtividade (BRASIL, 2018). Os impactos econômicos podem ainda ir além e afetar o mercado de trabalho e reduzir a receita da arrecadação de impostos. Para Kamal-Chaoui e Robert (2009), os efeitos econômicos dos eventos climáticos podem limitar, em nível local, as oportunidades de investimentos e esgotar fundos de inovações em infraestrutura, deixando as cidades mais vulneráveis a futuras mudanças climáticas. Ademais, maiores riscos e incertezas decorrentes das mudanças climáticas globais impõem custos adicionais aos setores de seguros, bancos, financiamento e investimento (KAMAL-CHAOU; ROBERT, 2009). Os impactos também não se restringem ao nível local, as perdas causadas por alagamentos, enchentes e inundações podem afetar conjuntamente a produção e a renda de outras partes do país (HADDAD; TEIXEIRA, 2015).

As secas na RMSP são o assunto principal tratado nessa Tese. Nas próximas seções é feito um aprofundamento sobre esse evento extremo e sua ocorrência na RMSP.

## 2.3 CARACTERIZAÇÃO DAS SECAS

### 2.3.1 Definições

Dentre os desastres naturais que podem afetar áreas urbanas, a seca (desastre climatológico) é um dos mais complexos e difíceis de serem avaliados. Tudo começa pelo fato de que não existe uma definição precisa do que é uma seca. Mishra e Singh (2010) argumentam que isso se deve às diferenças nas variáveis hidrometeorológicas e socioeconômicas, bem como à natureza estocástica da demanda por água em diversas regiões do mundo. Dentre as definições mais comumente citadas está a da The World Meteorological Organization (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1986), que define seca como sendo simplesmente uma deficiência prolongada e sustentada de precipitação.

As secas também podem ser classificadas em quatro grupos, dependendo de seus efeitos sobre o ciclo hidrológico: seca meteorológica, seca hidrológica, seca agrícola e seca socioeconômica (MISHRA; SINGH, 2010). Essa classificação tem fins metodológicos, porque, fisicamente, a seca é um fenômeno único iniciado com a redução das chuvas em dada região. Sua adoção auxilia na identificação e mensuração dos impactos ambientais e socioeconômicos associados às secas.

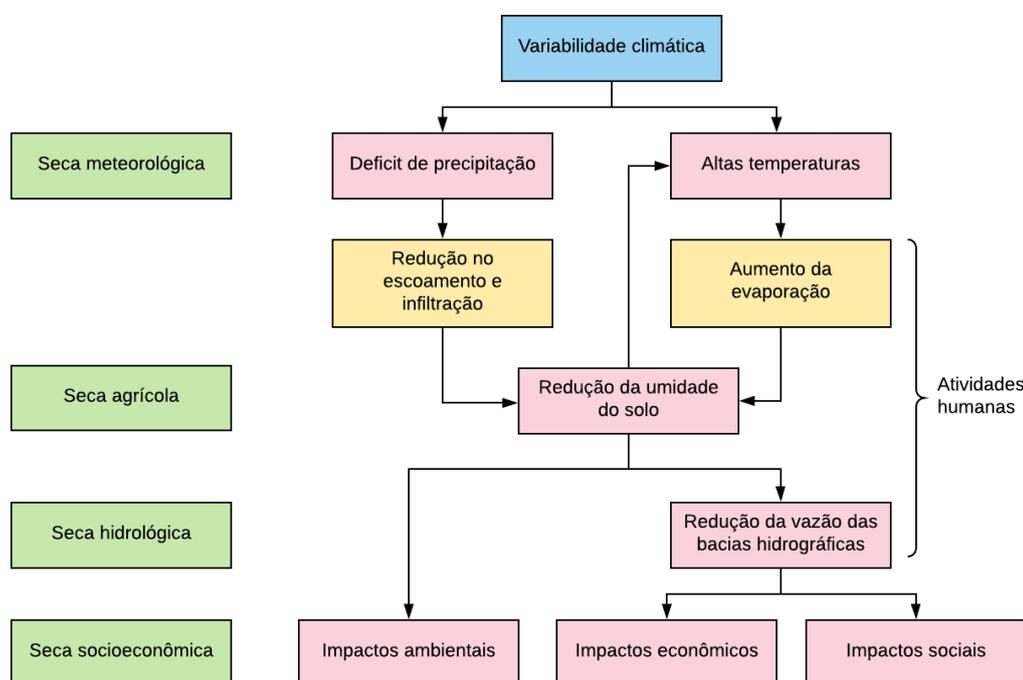
A seca meteorológica é referente à falta de água induzida pelo desequilíbrio entre a precipitação e a evaporação, a qual é dependente da temperatura, umidade do ar e insolação (FERNANDES et al., 2009). A seca agrícola é associada à disponibilidade de água no solo para suportar o crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas (FERNANDES et al., 2009). A seca hidrológica se refere à redução dos níveis médios de água em reservatórios superficiais e subterrâneos (FERNANDES et al., 2009). Por fim, a seca socioeconômica está relacionada com o impacto das outras secas sobre as atividades humanas, incluindo os impactos diretos sobre a produção agrícola e outras atividades econômicas (FERNANDES et al., 2009).

Para melhor compreensão de como a classificação das secas se relaciona com o ciclo hidrológico é reproduzido na Figura 2.3 um esquema apresentado por Kim e Jehanzaib (2020). Nele são expostas as relações entre a variabilidade climática, as variáveis do ciclo hidrológico e os tipos de seca.

O esquema mostra que cada um dos quatro tipos de seca se refere a determinada variável do ciclo hidrológico. Por exemplo, quando se busca avaliar

o efeito sobre a produção agrícola, buscam-se meios de medir a seca agrícola e a meteorológica. Nas áreas urbanas, um sistema composto de várias atividades humanas, o impacto das secas se reflete nos aspectos socioeconômicos. Assim, uma seca urbana se enquadra na categoria de seca socioeconômica (WANG et al., 2020). O esquema mostra também que algumas partes do ciclo hidrológico, e assim, das secas, podem sofrer a influência das atividades humanas (desmatamento, poluição, entre outros).

Figura 2.3 – Relação entre variabilidade climática, variáveis do ciclo hidrológico e tipos de seca



Fonte: adaptado de Kim e Jehanzaib (2020).

### 2.3.2 Mensuração

A classificação das secas também facilita a seleção de medidas adequadas para mensurá-las. Em geral, secas são monitoradas com o uso de índices, que medem desvios em relação às condições normais locais dadas por distribuições históricas (DAI, 2011).

Alguns dos índices mais utilizados no monitoramento de secas meteorológicas, agrícolas ou hidrológicas, de acordo com Kim e Jehanzaib (2020) são: Rainfall Anomaly Index (RAI) (ROOY, 1965), Palmer Drought Severity Index (PDSI) (PALMER, 1965), Standardized Precipitation Index (SPI) (MCKEE et

al., 1993), Reconnaissance Drought Index (RDI) (TSAKIRIS; VANGELIS, 2005), Crop Moisture Index (CMI) (PALMER, 1968), Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) (VICENTE-SERRANO; BEGUERÍA; LÓPEZ-MORENO, 2010), Soil Moisture Drought Index (SMDI) (HOLLINGER; ISARD; WELFORD, 1993), e Standardized Runoff Index (SRI) (SHUKLA; WOOD, 2008).

Diante de tantos indicadores é necessário definir alguns critérios na seleção do indicador mais adequado para representar uma condição de seca em dada região. Como o foco do presente estudo é a RMSP, uma área urbana que está sujeita a secas hidrológicas e socioeconômicas, é adotado o PDSI como indicador de condições de seca. Para Dalezios (1994), o PDSI é um indicador meteorológico, mas por usar dados de precipitação, evapotranspiração e condições do solo, também pode representar situações de secas hidrológicas, onde a oferta de água é menor que o mínimo necessário para as funções normais em dada região. Além disso, ao avaliar o PDSI para todo o Brasil, Rossato et al. (2017) mostraram que esse indicador está diretamente associado aos padrões climatológicos de precipitação e umidade do solo em qualquer escala espacial e temporal (incluindo projeções futuras). Assim, concluem que o PDSI é um importante indicador para avaliar a umidade do solo em diferentes condições hídricas, bem como pode ser associado com informações econômicas e sociais para a criação de mapas de risco para subsídios aos tomadores de decisão.

O pressuposto por trás do PDSI é que a precipitação necessária para a operação normal das atividades em uma área durante certo mês é dependente das condições climáticas médias do local e das condições prevalecentes naquele mês e nos anteriores.

A anomalia hídrica mensal  $d$  é a diferença entre a precipitação observada em um mês  $P_i$  e a precipitação esperada para o mesmo período  $P$ :

$$d = P_i - P \quad (2.1)$$

$$P_i = ET_i + R_i + RO_i + L_i \quad (2.2)$$

em que  $ET_i$  é a evapotranspiração, calculada com base nos parâmetros do balanço de água de Thornthwaite e Mather (1955);  $R_i$  é a recarga de água do solo;  $RO_i$  é a vazão; e  $L_i$  a perda de água do solo.

Para padronizar o índice, Palmer (1965) desenvolveu um novo fator de

caracterização climática  $K$ , dado por:

$$K = 17,67 * \frac{K'}{\sum_i^{12} DK'} \quad (2.3)$$

$$K' = 0,5 \log_{10} \left| \frac{T + 2,8}{D} + 0,5 \right| \quad (2.4)$$

$$T = \frac{ETP + R + RO}{P + L} \quad (2.5)$$

em que  $D$  é a média mensal dos valores absolutos de  $d$ . Do produto entre  $K$  e  $d$  se obtém o índice  $Z_i$  da anomalia de água:

$$X_i = \frac{Z_i}{3} + 0,897 X_{i-1} \quad (2.6)$$

em que  $X_i$  é o índice de Palmer do mês em questão, e  $X_{i-1}$  é o índice de Palmer do mês anterior.

Palmer derivou empiricamente as constantes inseridas no procedimento de cálculo do PDSI com base em dados meteorológicos de Kansas e Iowa, cidades de uma região semiárida no centro dos EUA. Assim, a simples aplicação do PDSI proposto por Palmer a outras regiões do mundo pode não representar satisfatoriamente as condições de seca, o que também torna difícil comparações espaciais do PDSI (WELLS; GODDARD; HAYES, 2004).

Para superar essas limitações, Wells, Goddard e Hayes (2004) propuseram uma nova alternativa de cálculo ao PDSI, o self-calibrating Palmer Drought Severity Index (scPDSI). O scPDSI substituiu as características climáticas  $K$  e os fatores de duração (1/3 e 0,897) por valores calculados automaticamente com base em dados climáticos históricos de uma dada localização. Assim, aqui é utilizado o scPDSI ao invés do PDSI tradicional.

A identificação dos períodos de seca ou úmidos tanto pelo PDSI como pelo scPDSI segue as classes propostas por Palmer (1965) e reproduzidas na Tabela 2.1.

### 2.3.3 Análise de frequência e intensidade

Indicadores mensais como o scPDSI são bases para construção de variáveis que avaliam padrões de intensidade e frequência de eventos de seca ao longo do tempo. Uma dessas variáveis é a intensidade anual das secas  $I_{it}$ , proposta por Kim, Valdés e Aparicio (2002) para avaliar os padrões das secas

Tabela 2.1 – Classificação do (sc)PDSI

| <b>X</b>     | <b>Classificação</b> |
|--------------|----------------------|
| $\geq 4,0$   | Chuva extrema        |
| 3,00 a 3,99  | Chuva severa         |
| 2,00 a 2,99  | Chuva moderada       |
| 1,00 a 1,99  | Chuva fraca          |
| -0,99 a 0,99 | Normal               |
| -1,99 a -1,0 | Seca fraca           |
| -2,99 a -2,0 | Seca moderada        |
| -3,99 a -3,0 | Seca severa          |
| $\leq -4,00$ | Seca extrema         |

Fonte: Palmer (1965).

no México e utilizada por Loukas, Vasiliades e Tzabiras (2008) para analisar os efeitos das mudanças climáticas sobre a intensidade de secas na região da Tessalônia na Grécia.

Como um dos objetivos deste trabalho é analisar a relação entre mudanças climáticas e secas,  $I_{it}$  será calculada para os municípios da RMSP. Além disso, essa variável é utilizada no modelo econométrico do próximo capítulo como principal variável explicativa.

A partir do scPDSI,  $I_{it}$  é calculada da seguinte maneira:

1. Em cada ano  $t$  e local  $i$ , identificam-se os meses secos  $n$ , ou seja, meses nos quais o scPDSI é menor que -0,99, o que caracteriza a existência de pelo menos uma seca fraca, de acordo com a classificação da Tabela 2.1.
2. Calcula-se a severidade anual da seca somando os valores do scPDSI dos meses secos em cada ano.
3. Calcula-se a probabilidade de ocorrência de uma seca em cada ano  $\lambda_{it}$  dividindo o número de meses secos por 12.
4. Calcula-se a intensidade da seca  $I_{it}$  multiplicando a severidade da seca pela probabilidade de ocorrência.

Formalmente,  $I_{it}$  é dada por:

$$I_{it} = \lambda_{it} \sum_{(i,t),1}^n scPDSI \quad (2.7)$$

$$\lambda_{it} = \frac{n}{12} \quad (2.8)$$

Com esse procedimento, cada evento de seca pode ser distribuído aleatoriamente em dado ano, o que permite analisar os eventos em cada um deles, evitando a intermitência anual (KIM; VALDÉS; APARICIO, 2002). Esse procedimento também minimiza eventuais diferenças entre o calendário civil e o hidrológico. A intensidade da seca é convertida a valores positivos para representar as condições extremas e para analisar o risco associado a elas pela probabilidade de excelência.

A partir de  $I_{it}$  pode ser realizada a análise de frequência e intensidade das secas. Essa análise associa a intensidade de uma seca com o seu período de retorno, considerando uma distribuição de probabilidade adequada. Período de retorno (TR) é o intervalo de tempo (anos) esperado para a ocorrência de um dado evento. Por exemplo, se uma seca com determinada intensidade tem TR igual a 10, significa que uma seca com intensidade igual ou superior deve ocorrer em 10 anos. O TR também é visto como uma medida de probabilidade de ocorrência, dada por 1 sobre período de retorno ( $p=1/TR$ ). Por exemplo, se o período de retorno de uma seca com dada intensidade for de 10 anos, isso significa que, em dado ano, há uma chance de 10% (1/10) de que essa venha ser igualada ou superada.

De maneira simplificada, a análise de frequência é feita da seguinte maneira, seguindo Kim, Valdés e Aparicio (2002) e Loukas, Vasiliades e Tzabiras (2008):

1. Classificam-se, em cada período, as intensidade anuais  $I_t$  em ordem decrescente.
2. Ajustam-se os valores ordenados a uma distribuição de frequência adequada.
3. Identificam-se o nível de retorno (intensidade) para cada período de retorno.

Sobre a distribuição de frequência, em estudos de secas é recorrente a utilização da Função de Valor Extremo do tipo I (Extreme Value - EV I) ou função de Gumbel. Essa distribuição é um caso especial da distribuição Valor Extremo Generalizado (Generalized Extreme Value - GEV) com dois parâmetros. De acordo com Kim, Valdés e Aparicio (2002), é convencional o uso da função de Gumbel para representar extremos de chuva e para analisar secas. Assim, aqui é usada essa função cuja descrição pode ser vista no Apêndice B.

Na próxima seção é realizada a análise de frequência das secas na RMSP por meio da variável  $I_{it}$ , calculada com dados históricos e projetados do scPDSI.

O intuito dessa análise é identificar tendências futuras na ocorrência de secas nessa região.

## 2.4 SECAS NA RMSP

Nessa seção são abordados os eventos de seca na RMSP. Primeiro é feita uma breve exposição sobre os principais eventos ocorridos a partir do início do século XX e depois, utilizando projeções climáticas, é realizada uma análise de frequência e intensidade.

### 2.4.1 Secas no passado e vulnerabilidades atuais

Extremos de seca já ocorriam na área onde hoje está a RMSP antes de serem verificadas alterações no clima, sejam elas causadas por fatores locais ou pelo aquecimento global. Pesquisando sobre a história da cidade de São Paulo desde sua fundação, Toledo (2012) encontrou indícios da ocorrência de secas na cidade durante o século XIX. O autor relata que em 1814 foi erguido em São Paulo um monumento chamado Obelisco do Piques e, segundo uma das versões, o propósito de sua construção foi a comemoração do fim de uma seca que castigara a região.

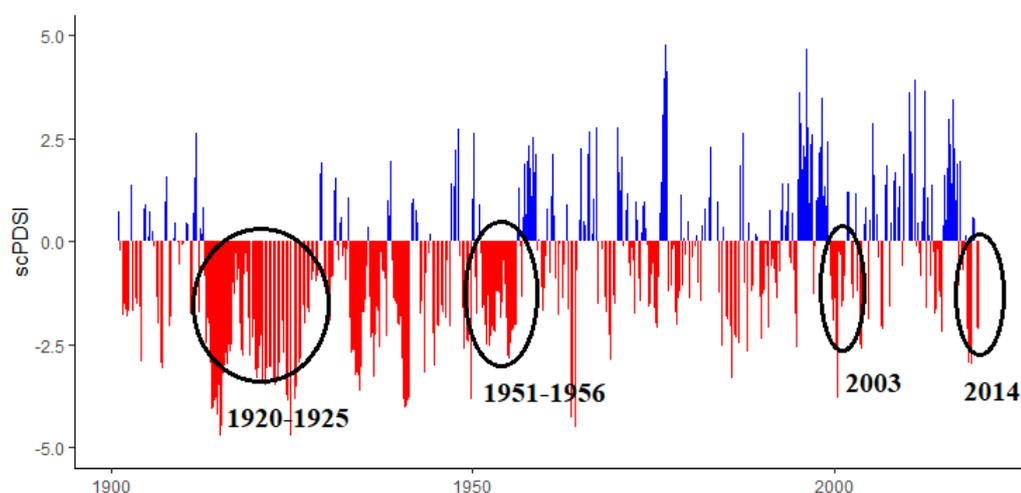
Foi apenas no século XX, com a instalação de estações meteorológicas, que se tornou possível avaliar tanto o excesso quanto a escassez de chuvas com maior precisão.<sup>3</sup> Com base em dados históricos de estações meteorológicas, a Climatic Research Unit (CRU)/University of East Anglia disponibiliza séries de diversas variáveis climáticas que são utilizadas por diversos pesquisadores para monitorar mudanças climáticas e eventos extremos. Uma das bases disponibilizadas é o scPDSI para um grid global com resolução de 0,5° para o período de 1901 a 2019 (OSBORN et al., 2019). Dessa base foi extraído o scPDSI dos 39 municípios da RMSP usados na análise dos eventos de seca nesse capítulo e no próximo. Os valores municipais são bem próximos, por isso se apresenta graficamente o valor médio do scPDSI da RMSP na Figura 2.4. Em azul estão os excessos de chuva (scPDSI positivo) e em vermelho situações de seca (scPDSI negativo).

Como pode ser visto, desde 1901 houveram vários eventos de secas. Segundo Marcolin (2014b), as mais marcantes foram as secas nos anos em destaque no gráfico: 1920-1925, 1951-1956, 2003 e 2014.

<sup>3</sup> A primeira estação meteorológica do estado de São Paulo foi instalada pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) em 1890 no interior do estado (MARCOLIN, 2014a).

Conhecer os principais efeitos que esses eventos tiveram sobre a região pode auxiliar na identificação de prováveis canais de impactos e, assim, contribuir no desenvolvimento de estratégias de adaptação futuras. Com isso em mente, procedeu-se uma busca em fontes históricas para identificar os principais efeitos das secas em destaque na Figura 2.4 na economia e sociedade da época em que ocorreram.

Figura 2.4 – Secas na RMSP baseadas no scPDSI



Fonte: Elaboração própria com dados do CRU.

A seca que perdurou de 1920 a 1925 é até hoje uma das mais intensas registradas na região. Segundo Toledo (2015), uma das atividades econômicas mais prejudicadas pela seca nesse período foi a geração de energia elétrica que abastecia principalmente a cidade de São Paulo. A seca, causada por chuvas muito inferiores ao normal, reduziu a vazão dos rios e fez com que a Usina de Santana de Parnaíba, a primeira a abastecer a cidade de São Paulo, chegasse perto do colapso (TOLEDO, 2015). Como resposta, a The São Paulo Tramway Light and Power Company, empresa responsável pelo fornecimento de energia elétrica para a cidade de São Paulo, publicou um anúncio nos jornais no dia 24 de fevereiro de 1925 com algumas medidas que seriam implementadas para evitar a falta de energia na cidade (MARCOLIN, 2014b). Dentre essas estavam a utilização de uma usina a vapor que a empresa já possuía, a instalação de novos geradores e turbinas, construção de nova hidrelétrica e compra de energia da companhia de luz de Campinas (SP). A administração pública local também tomou algumas medidas em resposta à escassez de energia, tais como a redução da iluminação pública e da circulação de bondes, a delimitação do

fornecimento às indústrias a somente três dias por semana e fechamento de bares, restaurantes e casas de diversão às 22 horas (TOLEDO, 2015).

Essa seca também expôs a deficiência do abastecimento de água da região. Segundo Faria (2004), o volume de água aduzido foi reduzido de 156 milhões de litros/dia para apenas 70 milhões de litros/dia. Isso afetou principalmente o fornecimento de água para a população em geral e para as incipientes indústrias. Como resposta à crise, o Governo do Estado de São Paulo iniciou as obras do Sistema Rio Claro, afluente formador do Tietê, manancial situado na Serra do Mar, distante 80km de São Paulo.

Já a época se indagava sobre as causas de evento tão drástico. Em manchete no dia 18 de março de 1925 o periódico "O Jornal", da cidade do Rio de Janeiro, chamou o episódio de "a maior seca de São Paulo" e publicou uma entrevista com o naturalista Dr. Rodolpho von Ihering, indagando sobre as possíveis causas da seca. Segundo o naturalista, "não se pôde garantir que a devastação de florestas seja a causa primacial, mas ninguém incide em erro se disser que ella é cúmplice no phenomeno"[sic]. O naturalista também apontou o reflorestamento e a defesa da natureza como ações possíveis para prevenir situações adversas. Essa fala pode ter sido motivada pela intensificação da urbanização e ocupação das áreas de mananciais ocorridas à época, como mencionado na Seção 2.2.

Trinta anos depois, outra seca de proporções semelhantes veio a ocorrer, a seca de 1951-1956. Esse evento foi muito lembrado nos noticiários de 2014 como a seca mais severa até então<sup>4</sup>. Recorrendo-se aos registros de jornais dos anos 1950, verificou-se que o principal impacto das secas nesses anos foi sobre a disponibilidade hídrica. Em 22 de janeiro de 1953, por exemplo, o jornal Correio Paulistano noticiava que "a estiagem e o grande consumo de água devido ao forte calor reinante são os principais responsáveis pelas ocasionais faltas do precioso líquido". O jornal noticiou também que a falta de água aumentou extraordinariamente a procura por refrigerantes nos bares da cidade. Assim como na seca anterior, em 1953 houve reflexos da seca sobre o fornecimento de energia elétrica. Manchete do Correio Paulistano de 03 de fevereiro de 1953 destacava que se cogitava desviar energia elétrica do Rio de Janeiro, então capital do Brasil, para São Paulo para evitar os enormes prejuízos ao seu parque industrial.

Cerca de cinquenta anos depois, outra seca de grande intensidade passou a ocupar os noticiários. Entre 2000 e 2006, foram registradas secas de diferentes magnitudes na RMSP, sendo 2003 o ano mais crítico. Novamente,

<sup>4</sup> [https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2014/03/140321\\_seca\\_saopaulo\\_rb](https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2014/03/140321_seca_saopaulo_rb)

um dos principais efeitos da seca foi sobre a disponibilidade hídrica. Nesse ano foi assinado o Decreto nº48.138, de 7 de outubro de 2003, instituindo medidas de redução de consumo e racionalização do uso de água no âmbito do Estado de São Paulo como medida de enfrentamento à redução na oferta de água. Na RMSP, cerca de 440 mil pessoas foram atingidas por um rodízio de abastecimento de dois meses.<sup>5</sup> Também nesse período ocorreu a crise energética brasileira, em parte ocasionada pela redução do nível dos reservatórios em diversas regiões.

Em 2014, cerca de uma década depois, outra seca viria assolar a RMSP. Em função das chuvas muito inferiores à média histórica de temperaturas extremas, a vazão dos rios que alimentam os reservatórios dos sistemas de abastecimento de água e represas de energia atingiu a menor marca da história (MARENGO et al., 2015; NOBRE et al., 2016). A combinação dessa seca e do grande crescimento da demanda por água, da ausência de planejamento adequado para o gerenciamento do recurso hídrico e da ausência de consciência coletiva dos consumidores para o uso racional da água, geraram a chamada crise hídrica, como apontado em Marengo et al. (2015). O principal impacto da crise hídrica foi a diminuição do abastecimento de água à população da RMSP, com algumas partes da cidade a depender de caminhões pipa. A crise também teve impactos socioeconômicos, aumentando os preços dos alimentos e das tarifas de energia em residências, indústrias e comércio (NOBRE et al., 2016).

A redução do abastecimento urbano na RMSP se deu porque o principal sistema de abastecimento da região, o Sistema Cantareira (SC), se localiza na bacia dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ), a mais afetada pela seca. Nessa região, houve restrições à captação de água para uso industrial. Conforme Resolução Conjunta ANA/DAEE de 15 de Janeiro de 2015, foi estabelecido que a captação para uso industrial e irrigação deveria ser reduzida em 30% sempre que o SC atingisse o volume útil de 5%.<sup>6</sup> Os setores mais afetados foram aqueles mais intensivos em água: químico, têxtil, metalúrgico, alimentício e de celulose. Apesar do decreto, não foram encontradas evidências de se e como as indústrias na região foram afetadas.

Uma das questões que esse último episódio de seca levantou diz respeito ao papel das mudanças climáticas. De acordo com Marengo et al. (2015) e Nobre et al. (2016), existe uma forte conexão entre a seca de 2014 e as condições atmosféricas regionais únicas que prevaleceram nesse ano. Índícios

<sup>5</sup> [https://brasil.elpais.com/brasil/2015/02/09/politica/1423507719\\_304859.html](https://brasil.elpais.com/brasil/2015/02/09/politica/1423507719_304859.html)

<sup>6</sup> <http://www.agencia.baciaspcj.org.br/docs/gestao/resolucao-ana-dae-50.pdf>

mostraram que a presença de temperaturas regionais mais elevadas pode ter contribuído para a severidade ou persistência da seca em 2014 (MARENGO et al., 2015). Apesar de ainda não existirem evidências robustas relacionando a seca que acometeu a região sudeste do Brasil às mudanças climáticas, a implementação de medidas de mitigação e adaptação para reduzir a vulnerabilidade da população atingida por secas são necessárias por partes dos entes públicos. Uma seca da magnitude da ocorrida em 2014, que afetou os níveis dos mananciais e acarretou um grave problema social, é precisamente o tipo de fenômeno climático extremo projetado entre os diversos impactos decorrentes das mudanças climáticas (MARENGO et al., 2015).

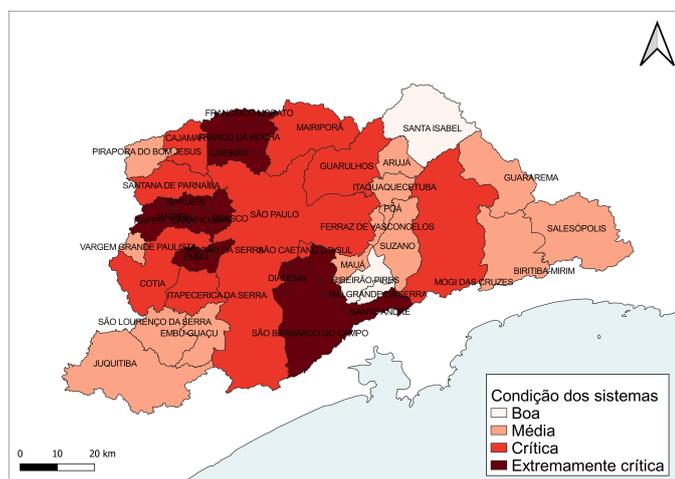
Pelo que foi mostrado até aqui, percebe-se que a população da região metropolitana e as atividades econômicas nela desenvolvidas foram vulneráveis às secas severas, que de tempos em tempos aconteceram. As secas impactaram o bem estar da população por meio de restrições no abastecimento de água, e impuseram perdas econômicas ao comércio, indústria e serviços da região.

Algumas características da RMSP podem fazer com que esses impactos se repitam, caso uma seca severa ocorra novamente. Uma delas é a constante pressão por recursos hídricos, que se torna ainda maior em momentos de criticidade causados por secas e estiagens. Segundo a Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê – FABHAT (2019), o grande contingente populacional e a intensa atividade industrial e de serviços na RMSP, somados às áreas que demandam irrigação, fazem com que as demandas por recursos hídricos sejam crescentes. Isso acaba gerando pressões tanto na área de drenagem da Bacia do Alto Tietê (BAT), onde se localizam 36 municípios da RMSP, como nas bacias vizinhas. As pressões vêm principalmente das demandas por abastecimento urbano e pela indústria, os dois principais usuários de água na região. As pressões também se devem às restrições físicas, já que a BAT está localizada em região de cabeceiras, onde a disponibilidade hídrica é naturalmente menor.

Um levantamento feito pela Agência Nacional de Águas (ANA) em 2015 mostra a situação dos municípios da RMSP quanto à disponibilidade hídrica. Esse levantamento está incluso no Apêndice A e foi utilizado para construir o mapa da Figura 2.5. Como pode ser visto nessa Figura, a maioria dos municípios apresenta condição crítica ou extremamente crítica quanto à disponibilidade hídrica. Segundo a Agência Nacional de Águas (2015), dos 39 municípios da RMSP, em 22 deles se requer novo manancial e em outros 14 se requer a expansão dos sistemas atuais de abastecimento para melhorar as condições da disponibilidade hídrica. Extremos de seca que reduzam a vazão das bacias que abastecem os reservatórios da região representam um grande risco à po-

pulação, que pode sofrer com a falta de água, tal como ocorrido nos eventos extremos de seca discutidos anteriormente.

Figura 2.5 – Condição dos sistemas de abastecimento de água nos municípios na RMSM, 2015



Fonte: Elaboração própria com dados da Agência Nacional de Águas (2015).

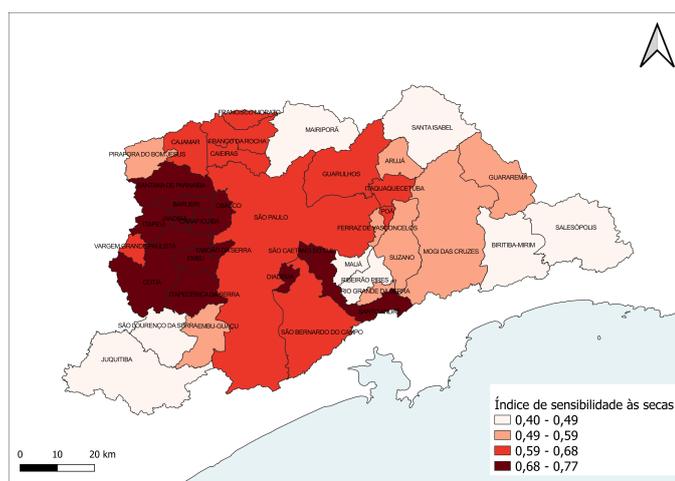
A sensibilidade dos municípios da RMSM às secas também pode ser visualizada por meio do estudo sobre a vulnerabilidade dos municípios brasileiros a este extremo climático realizado pelo Ministério do Meio Ambiente (2017). Nesse trabalho, a sensibilidade às secas é definida como a intensidade com a qual um município pode ser afetado por elas, levando em conta suas características intrínsecas. Para mensurar a sensibilidade é proposto um vetor que contém variáveis capazes de refletir a fragilidade dos grupos sociais e ambientes em receber os efeitos das secas meteorológicas ao ponto desta se tornar um desastre. As variáveis utilizadas são o uso do solo, percentual da população com renda menor que um quarto do salário mínimo, mortalidade infantil, densidade demográfica e índice de demanda e oferta de água.

Esse índice com o recorte para a RMSM é apresentado na Figura 2.6. Quanto mais escura a cor do município maior é a sensibilidade. Há um grupo de 11 municípios, dentre eles Osasco, Diadema e São Caetano do Sul, cujo valor está acima dos 0,70, o que sinaliza alto grau de sensibilidade. Esses são municípios com alta densidade populacional, baixa cobertura vegetal e/ou elevado nível de desigualdade econômica, o que faz com os efeitos de uma seca sejam fortemente sentidos pela sua população. Por outro lado, as cidades menos sensíveis às secas são aquelas localizadas nos extremos da área metropolitana, onde a densidade populacional é menor, há maior cobertura vege-

tal e não há grande concentração de atividades industriais, como Salesópolis, Biritiba-Mirim e Juquitiba.

De maneira geral, a região parece ser bastante suscetível a sofrer as consequências de secas que venham a ocorrer. Essa suscetibilidade está ligada tanto à alta densidade e demanda por recursos hídricos quanto às restrições físicas e desigualdade econômica.

Figura 2.6 – Índice de sensibilidade às secas, 2017



Fonte: elaboração própria com dados do Ministério do Meio Ambiente (2017).

#### 2.4.2 Secas no futuro

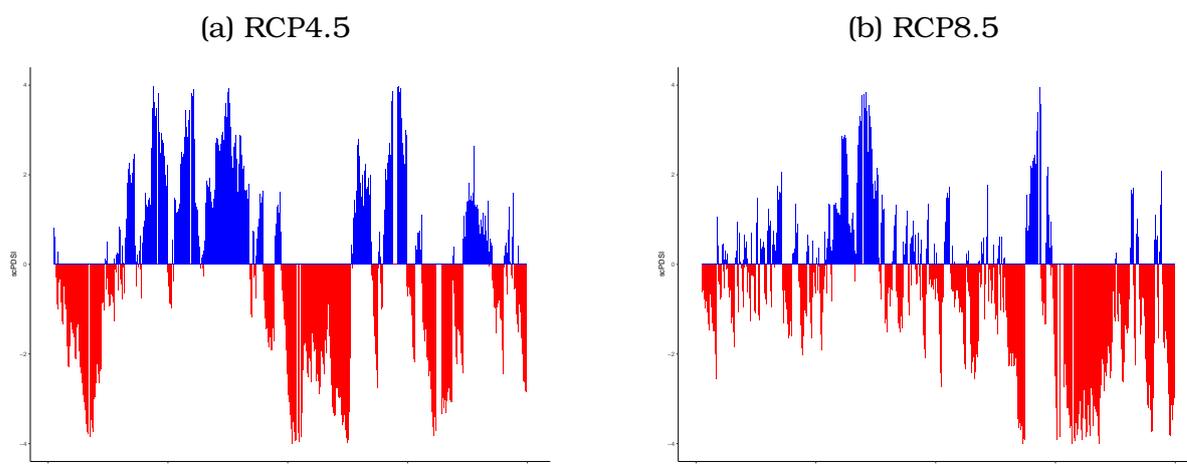
Os eventos de seca vão se tornar mais frequentes e/ou intensos na RMSP? Secas são eventos aleatórios resultantes de uma gama de fatores, de modo que prevê-los com precisão se torna uma tarefa difícil. Porém, a análise de padrões previstos de precipitação e temperatura pode apontar tendências na ocorrência de secas.

Análise como essa foi realizada por Marengo e Alves (2015). Ao avaliarem as causas da crise hídrica de 2014, esses autores comentaram sobre o efeito que as alterações na Amazônica terão sobre os padrões de chuva no sudeste da América do Sul. Eles afirmam que, no longo prazo, de acordo com experimentos de modelagem numérica na Amazônia, pode haver diminuição das chuvas, aquecimento na Amazônia e anomalias no transporte de umidade nessa região. Isso pode levar ao aumento de chuvas intensas concentradas em poucos dias e com períodos secos, que podem se estender em duração, gerando secas mais intensas e longas, como a de 2014 (MARENGO; ALVES, 2015).

Utilizando as projeções climáticas descritas na Seção 2.2 foi calculado o scPDSI dos 39 municípios até o final do século XXI.<sup>7</sup> O resultado está na Figura 2.7, onde constam os valores projetados médios do scPDSI da RMSP para os cenários RCP4.5 e RCP8.5. Pelo cenário RCP4.5, que é um cenário mais otimista, poderão ocorrer secas moderadas (scPDSI até -3) nas décadas de 2030, 2060 e 2080, intercalados com períodos de chuva moderada (scPDSI até 3). Já pelo cenário RCP8.5, até meados do presente século, a grande preocupação da região deverá ser o excesso de chuvas, a partir de então, a tendência se inverte e poderão ocorrer secas severas com longo período de duração.

As diferentes tendências entre os cenários se devem aos padrões de precipitação e temperatura de cada um, que por sua vez dependem dos pressupostos iniciais quanto às concentrações de gases e políticas de mitigação. A variabilidade dentro de cada cenário se deve à redução e ao aumento da precipitação e da umidade do solo ao longo do período.

Figura 2.7 – scPDSI médio da RMSP nos Cenários RCP4.5 e RCP8.5



Fonte: Elaboração própria com dados do CPTEC/INPE.

Nota: situações de seca estão em vermelho e excesso de chuvas em azul.

Para tentar responder a questão de se os eventos de seca vão se tornar mais intensos ou frequentes no futuro, climatologistas frequentemente utilizam dados da intensidade de períodos históricos de 30 anos como período base de comparações. Também é comum a utilização do período de 1961 a 1990 para avaliar variações no clima de determinada região. Porém, conforme explicado em World Meteorological Organization (2018), o uso de um período mais recente como base resulta em uma melhoria na precisão preditiva para elementos que mostram uma tendência secular, ou seja, onde a série temporal

<sup>7</sup> O cálculo foi executado no *softawe* R (RStudio Team, 2020).

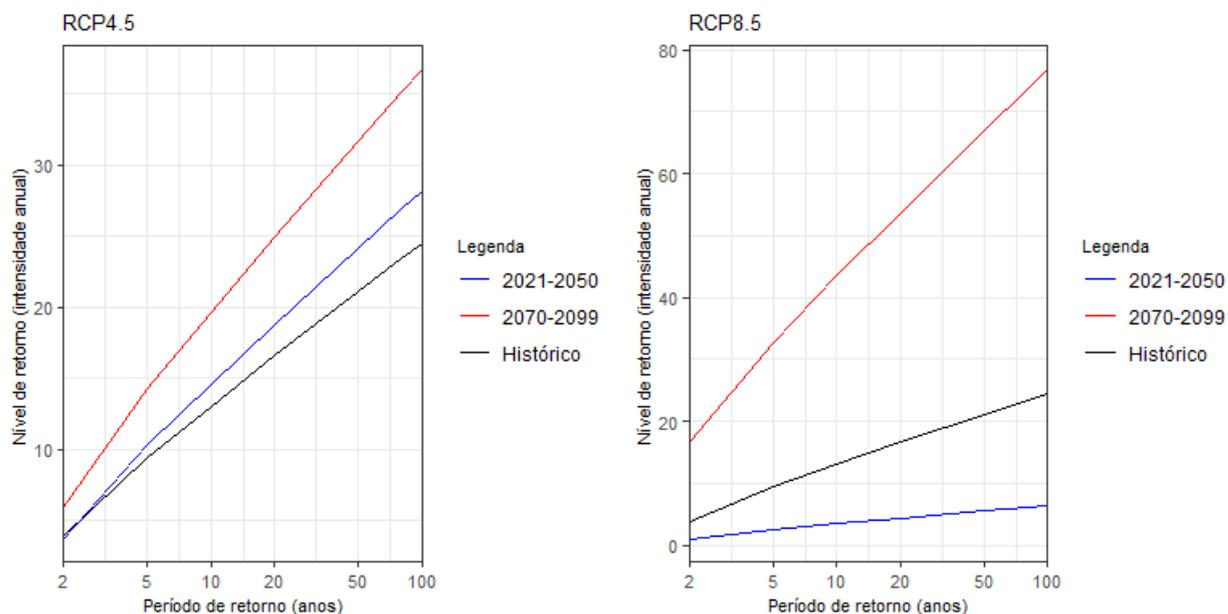
mostra um aumento ou queda consistente em seus valores quando medidos em um longo prazo. Ainda, o uso de uma base mais recentes é visto por muitos usuários como mais representativas das condições do local sob análise (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2018).

Com os dados municipais históricos e projetados do scPDSI foi calculada a intensidade anual das secas  $I_{it}$ , tal como explicado na Subseção 2.3.3. Após, a intensidade anual foi organizada em três períodos de 30 anos: 1976-2005, 2021-2050 e 2071-2100. O período de referência corresponde a 1976-2005, os anos mais recentes do período histórico base do modelo que gerou as projeções. As intensidades médias das secas desses períodos por municípios podem ser conferidas no Apêndice C.

Com os dados organizados foi realizada a análise de frequência com a construção da curva de intensidade-frequência para os três períodos, conforme descrito na Subseção 2.3.3. As curvas teóricas ajustadas pela distribuição de Gumbel para a intensidade anual das secas por período de retorno são apresentadas na Figura 2.8. As curvas de cada município são semelhantes de modo que é apresentada apenas a curva com os valores médios da RMSP.

Existe uma relação direta entre o período e o nível de retorno: quanto maior o nível de retorno, maior o seu período. Ou seja, secas extremas com alta intensidade são mais raras de ocorrerem. Para o cenário RCP4.5, os dados ajustados indicam aumento da intensidade e frequência para ambos períodos analisados em relação ao período de referência. Isto é, um mesmo nível de intensidade deve ser igualado ou superado em um período menor. Como mencionado anteriormente, o cenário RCP4.5 é um cenário *business as usual*, ou seja, mesmo que algumas ações de mitigação sejam implementadas, devem ocorrer secas mais intensas e frequentes na região. Já no cenário RCP8.5, a intensidade projetada parece ser mais incerta. Há expressivo aumento da intensidade no final do século e redução no período mais próximo.

Figura 2.8 – Curva de intensidade-frequência para o período histórico e projeções, calculada com valores médios da RMSP



Fonte: elaboração própria.

Na seca de 2014, as maiores intensidades calculadas (ver Tabela 3.2 no próximo capítulo) têm intensidade em torno de 20, cujo período de retorno é de 50 anos pelo cenário histórico e 10 anos para o cenário RCP4.5 2070-2099. Na curva do período 2070-2099 do cenário RCP8.5, a intensidade de 20 têm período de retorno de ainda menor, cerca de 2 anos. Isso significa que secas como aquela ou com maior intensidade tendem a ocorrer com frequência maior em ambos cenários.

De acordo com as análises feitas com a variável adotada para representar condições de seca, é possível que as mudanças climáticas na RMSP provoquem aumentos na intensidade e frequência das secas no final do século. Para os anos mais próximos também devem ocorrer secas, porém há diferenças entre os dois cenários analisados quanto à variação da intensidade, o que dificulta apontar tendências. O maior nível de incertezas nas projeções de curto prazo podem ser explicadas pelo fato de os cenários existentes focarem em escalas de tempo de longo prazo (final do século, como exemplo) (UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION, 2021).

O relatório AR6 do IPCC (IPCC, 2021b) traz projeções similares às aquelas analisadas nesse capítulo. Para a Área de Monções da América do Sul<sup>8</sup> (onde

<sup>8</sup> O Sistema de Monções da América do Sul (SAMS) é a característica climática mais importante do continente, para mais detalhes ver Carvalho e Cavalcanti (2016).

está boa parte do Brasil, incluindo o estado de São Paulo) há projeções de aumento de seca agrícola e ecológica para meados do século 21 considerando um aquecimento global de 2°C. Essa projeção foi classificada como de alta confiança. Também se projetam aumentos em um ou mais aspectos entre seca, aridez e clima de incêndio (alta confiança) que poderão afetar uma ampla gama de setores, incluindo agricultura, silvicultura, saúde e ecossistemas.

Dada a atual vulnerabilidade da população da RMSP às secas e o histórico de ocorrências desses extremos na região, menosprezar o risco associado a elas pode trazer consequências para a população. Mesmo diante de projeções que parecem mais incertas no curto e médio prazos quanto ao aumento da intensidade e frequência das secas, é necessário buscar o desenvolvimento da região tendo em vista que esse extremo irá ocorrer novamente.

## 2.5 RESUMO E IMPLICAÇÕES DE POLÍTICAS PÚBLICAS

O que foi mostrado nesse capítulo permite fazer um pequeno retrato sobre as mudanças no clima e os extremos de seca na RMSP. O clima na região mudou principalmente devido a fatores locais, como a intensificação da urbanização e a instalação de diversas atividades industriais. As mudanças também podem estar relacionadas ao aquecimento global, embora a contribuição de um ou outro seja de difícil identificação.

As projeções dos modelos climáticos regionais sugerem que a temperatura média na RMSP deve continuar se elevando. No pior dos cenários são projetados aumentos de cerca de 8°C na temperatura média para o final do século que, se concretizados, podem tornar a região praticamente inabitável. Enquanto políticas para limitar o aquecimento global dependem de ações coordenadas de várias nações, localmente o que pode ser feito são ações que visem a adaptação das cidades metropolitanas a um clima mais quente e seco. Preservar e investir em espaços verdes e estimular o uso de meios de transporte com menos emissões são alguns exemplos de ações que podem tornar o ambiente urbano mais tolerável.

As cidades da RMSP também devem estar preparadas para a ocorrência mais frequente de extremos de secas e chuvas intensas, que causam diversas perdas econômicas e impactam no bem-estar da população. Como defendido por Ambrizzi et al. (2012), a RMSP deve estar preparada para enfrentar as mudanças na distribuição, intensidade e frequência geográfica dos riscos relacionados a eventos climáticos, que ameaçam exceder sua capacidade de se

recuperar dos impactos adversos.

Secas extremas não são uma novidade na região, ao longo do século XX diversos eventos com intensidade variada foram identificados. Eles provocaram vários efeitos econômicos por meio da redução da vazão de água para abastecimento público, desenvolvimento de outras atividades e produção de energia elétrica. Sob cenários de mudanças climáticas, é possível que tais eventos continuem a ocorrer, mas com maior frequência e intensidade. Considerando que a concentração de ativos é crescente ao longo do tempo, ou seja, haverá mais pessoas e atividades expostas às secas, avaliar como os sistemas econômicos podem ser afetados por novos eventos de seca se torna importante nesse contexto.

Sugestões do que fazer para ao menos reduzir a intensidade dos extremos de seca e os danos que esses trazem a toda a população já foram dadas em 1925 pelo naturalista Dr. Rodolpho von Ihering, como citado anteriormente no capítulo: é necessário preservar a natureza. Isso não deve ser feito apenas nas regiões das bacias hidrográficas que abastecem os reservatórios, mas também na Floresta Amazônica, que influencia na chuva que cai sobre a região sudeste do Brasil.

Ao agir para reduzir os potenciais riscos associados às secas na RMSP, os municípios também estarão cumprindo alguns dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, especificamente o Objetivo 6 (Água Potável e Saneamento)<sup>9</sup> e o Objetivo 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima).<sup>10</sup>

As projeções discutidas ao longo do capítulo são envoltas em incertezas, tanto nos dados e no método de análise como no próprio clima. As incertezas no clima derivam de forças complexas que regem o clima da Terra, desde o seu eixo de rotação até a mudança na composição da atmosfera. Porém, essas incertezas de maneira alguma invalidam os resultados auferidos. Como explica Taddei (2016), os sistemas de projeção do futuro climático dependem de um número considerável de variáveis e operam sobre certo nível de volatilidade e incerteza, mas isso não impede que se façam previsões com as informações disponíveis (TADDEI, 2016).

---

<sup>9</sup> Assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos (<http://www.agenda2030.org.br/ods/6/>).

<sup>10</sup> Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos (<http://www.agenda2030.org.br/ods/13/>).

# 3 IMPACTOS DE SECAS SOBRE AS ATIVIDADES ECONÔMICAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

## 3.1 INTRODUÇÃO

Secas podem causar diversos impactos socioeconômicos, a depender de sua intensidade. Em nível local, as secas podem causar um impacto devastador, especialmente no curto prazo, com cortes de energia, aumento dos preços dos alimentos e queda na renda (HERTEL; LIU, 2016). Elas também podem contribuir para o aumento dos padrões de migração urbana e conflitos localizados devido à escassez de água (THE WORLD BANK, 2016).

Embora o impacto prejudicial das secas seja bem documentado nas áreas rurais, como as secas afetam a economia das cidades permanece uma questão em aberto (DESBUREAUX; RODELLA, 2019). Igualmente, no relatório da United Nations Office for Disaster Risk Reduction (2021) se afirma que existe uma lacuna de conhecimento significativa e persistente no que diz respeito à distribuição dos custos relativos da seca - e, em menor medida, dos benefícios - entre diferentes setores econômicos e atores sociais. Além de preencher lacunas na literatura, a estimação dos efeitos das secas sobre atividades econômicas urbanas é fundamental para a análise das regiões afetadas. Para Karavitis (2012), esses estudos destacam parte das limitações sistêmicas que precisam ser eliminadas para que as perdas potenciais de futuros eventos sejam reduzidas.

Nesse contexto, este capítulo pretende contribuir para a literatura empírica sobre os efeitos de extremos de secas sobre a produção industrial e a economia local de uma região frequentemente exposta às secas, a RMSP. O foco estará nas atividades industriais por questões de disponibilidade de séries históricas de produção e também porque a atividade industrial é importante para a região como um todo. A metodologia adotada propõe um método integrado de análise composto por estimações econométricas e um modelo EEGC calibrado com dados municipais dos 39 municípios da RMSP. Os resultados permitem identificar quais setores industriais podem ter a produção afetada por secas e como esses efeitos se propagam pelas diversas regiões do modelo.

As próximas seções compreendem uma revisão da literatura acerca dos impactos econômicos de secas (Seção 3.2), uma breve descrição da atividade industrial na RMSP (Seção 3.3), uma apresentação dos modelos empregados na análise (Seção 3.4), a apresentação dos resultados dos efeitos diretos sobre as indústrias e totais sobre a economia local, a renda disponível, o nível de atividade setorial, migração, os impactos por sub-bacias hidrográficas e uma análise sistêmica dos resultados (Seção 3.5), e as considerações finais do capítulo (Seção 3.6).

## 3.2 IMPACTOS ECONÔMICOS DE SECAS

Avaliar os impactos econômicos de secas sobre atividades desenvolvidas no meio urbano tem se mostrado um desafio. Primeiro, como visto no Capítulo 2, não há uma definição ou medida única de secas, assim, qualquer análise é refém das escolhas do pesquisador(a). Segundo, ao contrário de outros eventos adversos, como inundações, furacões, tornados e terremotos, que têm duração finita e resultam em danos visualmente óbvios, uma seca se desenvolve lentamente e silenciosamente, sem impactos estruturais visíveis (DING; HAYES; WIDHALM, 2011), o que dificulta as tentativas de mensuração de seus impactos econômicos. Em terceiro lugar, os danos e custos resultantes de uma seca são geralmente subestimados devido aos impactos generalizados e em cascata, muitas vezes não explicitamente atribuídos à seca (UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION, 2021). Mesmo diante dessas limitações, tentativas de mensuração dos impactos das secas sobre as mais diversas atividades são de fundamental importância para a adoção de políticas de adaptação.

Apesar das secas afetarem os mais diversos setores de atividades econômicas, a maioria dos estudos de impacto se concentra no setor ou subsetores agrícolas por três razões principais (DING; HAYES; WIDHALM, 2011). Primeiro, as atividades agrícolas são altamente sensíveis à variabilidade do clima, assim, os impactos de secas nas lavouras e pastagens são diretos e imediatamente observados. Em segundo lugar, os dados do setor agrícola são mais fáceis de se obter do que de outros setores. Terceiro, estimativas monetárias de perdas devido às secas são frequentemente coletadas nas áreas afetadas em busca de ajuda federal para desastres, explicam Ding, Hayes e Widhalm (2011) considerando o caso dos EUA. Exemplos de trabalhos que relacionam variáveis climáticas à produção agrícola podem ser vistos em Dell, Jones e Olken (2014) e Ding, Hayes e Widhalm (2011).

Depois dos efeitos sobre a agricultura, outro foco dos trabalhos empíricos são os efeitos de variáveis climáticas sobre agregados macroeconômicos (PIB, PIB per capita, exportações, valor adicionado etc.). Muitos desses se incluem na chamada nova economia do clima, como sugerido por Dell, Jones e Olken (2014). Essa literatura diz respeito a uma gama de estudos empíricos que usam a metodologia de dados em painel para explorar os efeitos de mudanças na temperatura, precipitação e outras variáveis climáticas nas variáveis econômicas (DELL; JONES; OLKEN, 2014).

A maioria dos trabalhos dessa literatura não avalia os efeitos de secas diretamente, por meio de um indicador específico, mas os avaliam utilizando variações na precipitação média e anomalias de precipitação, que segundo Khan, Morzuch e Brown (2017), são responsáveis diretamente por eventos climáticos extremos (secas e tempestades) e têm efeitos significativos na economia.

Um dos trabalhos mais citados da nova economia do clima é o de Dell, Jones e Olken (2012). Eles construíram uma base de dados de temperatura e precipitação de 1950 a 2003 para diversos países e a combinaram com dados de produto agregado para avaliar a relação histórica entre mudanças na temperatura e precipitação e a performance econômica. Encontraram três resultados principais: i) altas temperaturas afetam o crescimento econômico, mas somente em países pobres; ii) esse efeito pode ocorrer devido a influência da temperatura sobre o nível e a taxa de crescimento; e iii) temperaturas mais altas têm efeitos abrangentes, reduzindo a produção agrícola, a produção industrial e a estabilidade política. Burke, Hsiang e Miguel (2015) fizeram análise semelhante e obtiveram resultados diferentes no que diz respeito a países ricos e pobres. Especificando um modelo que capta não linearidades na relação entre temperatura e variáveis econômicas, esses autores sugerem que não existe distinção entre países ricos e pobres e tanto os setores agrícolas quanto não agrícolas podem ser afetados.

Outro trabalho dessa literatura é o de Jones e Olken (2010), onde foi realizada uma análise dos efeitos de choques climáticos sobre exportações com base em dados nacionais de clima, exportações para os EUA e exportações para o resto do mundo. Os resultados indicaram que altas temperaturas em países pobres levam a grandes efeitos negativos sobre o crescimento de suas exportações agrícolas e exportações de manufaturas leves, e poucos efeitos aparentes sobre as indústrias pesadas ou de produção de matérias-primas.

Dentre os trabalhos que utilizaram variáveis específicas para mensurar os efeitos de secas está o de Khan, Morzuch e Brown (2017), onde foi estimado

um modelo de dados em painel variando as especificações para investigar a relação entre crescimento econômico e variáveis hidroclimáticas em nível de bacias hidrográficas em territórios nacionais. A análise mostrou que a disponibilidade de água e os riscos associados a ela têm efeitos significativos no crescimento econômico. Outro exemplo é o trabalho de Panwar e Sen (2019), voltado para a literatura de avaliação de impactos de desastres. Eles calcularam o efeito de eventos adversos sobre a taxa de crescimento do PIB e de setores agrícolas e não agrícolas (agregados) utilizando o número de pessoas afetadas na construção da variável representativa da intensidade de vários eventos extremos, incluindo secas. Oliveira (2019) seguiu o mesmo método e mostrou que os danos diretos dos desastres naturais reduziram a taxa de crescimento do PIB dos municípios do estado do Ceará.

Além dos efeitos sobre variáveis econômicas agregadas e sobre a agricultura, os extremos de seca afetam diretamente os custos e receitas das companhias de abastecimento urbano. Guzmán et al. (2017) e Mohor e Menciondo (2017), por exemplo, avaliaram a situação da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) e propuseram esquemas de seguros para assegurar as potenciais perdas com eventos extremos. Quanto maiores os custos das companhias de abastecimentos maiores devem ser as tarifas cobradas dos usuários. Como a demanda por água é inelástica<sup>1</sup> à renda e ao preço, tarifas mais altas afetam a renda disponível e o bem estar da população.

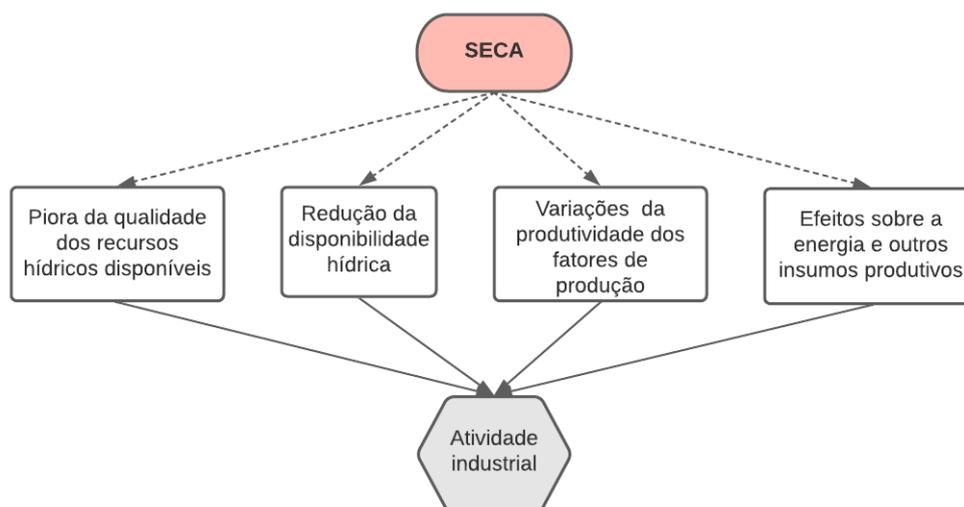
A seguir se discutem os impactos sobre os setores industriais, que são o foco do capítulo.

### 3.2.1 Impactos econômicos nos setores industriais

A Figura 3.1 apresenta quatro possíveis canais de efeito direto de uma seca sobre a atividade industrial.

<sup>1</sup> Ruijs, Zimmermann e Berg (2008) estimaram que a elasticidade preço e renda da demanda por água na RMSP são inelásticas, variando entre 0,45 e 0,50 para a elasticidade preço e entre 0,39 e 0,42 para a elasticidade renda.

Figura 3.1 – Possíveis canais de efeitos diretos de uma seca sobre a atividade industrial



Fonte: elaboração própria.

Dentre os quatro canais indicados, o principal deles é a redução da disponibilidade hídrica. Para Freire-González, Decker e Hall (2017a), uma seca representa, antes de tudo, uma situação de interrupção da oferta de um insumo chave para os processos produtivos que o utilizam. Em grandes metrópoles, uma seca severa impõe restrições à captação direta de água pelas indústrias. Essas restrições podem levar a interrupções ou paralisações na produção, principalmente nas indústrias mais intensivas em água. A restrição também pode ocorrer via sistema de abastecimento urbano, já que em situações de crise hídrica pode haver racionamento e elevação das tarifas para usuários industriais, aumentando assim os custos de produção.

Outro canal é o comprometimento da qualidade da água pelas secas. Segundo Vliet e Zwolsman (2008), longos períodos de seca resultam em vazões extremamente baixas que, combinadas com temperaturas mais altas, causam uma deterioração geral da qualidade da água. Isso foi evidenciado por Taffarello et al. (2016) ao avaliarem as bacias do Sistema Cantareira durante um período de grande redução da precipitação no local. Eles mostraram que as cargas de nutrientes (qualidade da água) apresentam riscos potenciais para a segurança hídrica. Uma piora na qualidade da água significa para seus usuários, maiores custos em seu tratamento antes do uso final, encarecendo a produção.

As secas também podem influenciar a produtividade dos fatores de produção (trabalho e capital). Sobre o fator trabalho, existe uma extensa literatura

que associa altas temperaturas, comuns em períodos de secas e estiagens, a quedas na produtividade. De acordo com Dell, Jones e Olken (2014), a ideia de que altas temperaturas afetam a produtividade do trabalho é antiga. Por exemplo, no trabalho de Montesquieu, "O espírito das leis"(1750), a relação trabalho-produtividade é um dos pontos centrais no argumento de que o excesso de calor torna as pessoas preguiçosas e desanimadas. Dell, Jones e Olken (2014) também citam como exemplo trabalho do geógrafo Ellsworth Huntington (HUNTINGTON, 1924), que apresentou evidências empíricas da relação trabalho-temperatura usando microdados.

Recentemente, a relação direta entre trabalho e secas foi investigada por Desbureaux e Rodella (2019). Usando pesquisas mensais da força de trabalho de 78 cidades na América Latina, eles demonstraram que eventos de seca diminuem a probabilidade de ser empregado, os salários por hora, as horas trabalhadas e as rendas de trabalho, sendo os trabalhadores informais os mais afetados. Os autores também destacam que o impacto das secas é maior do que o impacto de eventos de chuva, como aqueles que causam enchentes. No longo prazo, pode ocorrer realocação setorial de mão-de-obra causada pela migração rural-urbana que é impulsionada em situações de secas (DESBUREAUX; RODELLA, 2019).

Altas temperaturas também podem afetar o desempenho de máquinas e equipamentos utilizados na produção (fator capital). Por estarem em lugares fechados com pouca ou nenhuma ventilação, máquinas e equipamentos se aquecem com o seu funcionamento e levam, por consequência, ao aumento da temperatura do local em que estão. Isso pode gerar problemas em seus componentes, queda na produtividade e alterações na qualidade dos produtos por eles produzidos.

Por fim, secas afetam a atividade industrial por meio de seus efeitos sobre a produção de energia, como discutido por Panwar e Sen (2019), e outros insumos produtivos. No Brasil, onde a produção de energia elétrica é dependente da água represada, situações de seca reduzem nível de reservatórios comprometendo a geração de energia. Nesses casos, geralmente é feito o acionamento de usinas termoeletricas para suprir a demanda. O custo desse acionamento se reflete em aumentos das tarifas pagas pelos usuários, o que encarece a produção. Como foi mostrado no capítulo anterior, as indústrias de São Paulo sofreram com os eventos de secas passados principalmente porque essas afetaram a produção da energia elétrica necessária para manter a linha de produção em funcionamento. Ademais, em situações de seca o uso de energia também tende a ser maior.

Os outros insumos produtivos se referem basicamente aos produtos agrícolas e outras matérias primas. A produção agrícola é uma das mais diretamente impactadas por uma seca. Ao prejudicar a produção de alimentos, por exemplo, uma seca afeta diretamente as indústrias que dependem deles para a sua produção, como a indústria alimentícia e de bebidas. Atividades complementares, como transporte e armazenamento, também podem sofrer com os efeitos adversos. Em Horridge, Madden e Wittwer (2005) há algumas evidências desses efeitos. Por meio de simulações com o modelo TERM (The Enormous Regional Model)<sup>2</sup>, eles estimaram os efeitos econômicos de quedas na produção agrícola na Austrália (causadas por uma seca) e evidenciaram que a indústria de processamento de alimentos, comércio e serviços podem ser negativamente afetados.

A despeito de não serem encontradas evidências, é plausível alguns setores serem beneficiados com eventos de secas. Uma seca pode estimular a venda de produtos específicos e/ou levar a algum ganho de produtividade durante o processo produtivo. Nesses casos, o efeito positivo deve superar os negativos mencionados anteriormente.

Esses possíveis efeitos sobre a produção que acabaram de ser apresentados se tratam de efeitos diretos. Eles se referem aos efeitos de secas sobre o nível de produção, as vendas e as operações comerciais de diversos setores. É provável que ocorram também efeitos indiretos, derivados de interações e transações entre as indústrias, setores e os consumidores finais (DING; HAYES; WIDHALM, 2011). Esses efeitos podem se espalhar rapidamente por todo o sistema econômico, afetando regiões distantes de onde a seca se originou e se perdurando por muito tempo após o fim da seca (UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION, 2021).

Assim, a mensuração dos efeitos de secas e outras variáveis climáticas sobre as atividades econômicas não agrícolas tem sido baseada em dois tipos de estimação: estimação dos efeitos diretos e estimação dos efeitos totais (diretos mais indiretos).

Ainda são poucos os trabalhos que avaliam os efeitos diretos de indicadores de secas sobre a atividade setorial e em particular a industrial. Os trabalhos encontrados utilizaram em sua maioria estimações econométricas onde a principal variável explicativa é a temperatura ou suas anomalias.

Um dos trabalhos que avaliou os efeitos diretos sobre a produção setorial é o já citado trabalho de Jones e Olken (2010), onde foram identificados

---

<sup>2</sup> Para detalhes do modelo ver Horridge (2006).

os efeitos de altas temperaturas sobre a exportação de diversos produtos. Os resultados das estimações mostram uma relação negativa e estatisticamente significativa entre temperatura e a exportação de produtos agrícolas (cereais, laticínios e ovos, couro e rações para animais) e de produtos da manufatura leve (equipamentos fotográficos, calçados, produtos manufaturados diversos, maquinaria elétrica, manufaturas de borracha, máquinas de escritório, armas de fogo, artigos de viagem, encanamento, manufaturas de madeira e manufaturas de metal). Os autores creditam os efeitos negativos da temperatura na produção manufatureira à produtividade do trabalho, que se reduz com altas temperaturas. Há também dois setores com efeito positivo significativo, produção de tintas e de artefatos de couros.

Outro trabalho que se concentra nos efeitos diretos e desagregados é o de Hsiang (2010), onde foi avaliado o impacto econômico de temperaturas à superfície em 28 países da região do Caribe. Seus resultados mostram que aumentos de curto prazo na temperatura da superfície estão associados a grandes reduções na produção econômica em um conjunto de setores anteriormente considerados “não vulneráveis” às mudanças climáticas. Dentre esses estão atacado, varejo, restaurantes e hotéis, mineração e utilidades públicas.

Um dos poucos trabalhos encontrados sobre a mensuração dos efeitos de secas sobre a atividade industrial é o de Panwar e Sen (2019), onde foi estimado que uma variação de 1% na intensidade das secas causa uma queda de 2% na taxa de crescimento do valor adicionado industrial.

Em relação aos impactos totais de secas, esses são estimados por meio de Modelos de Insumo-Produto (MIPs) ou de modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC), vinculados ou não a outros modelos de estimação direta.

Como exemplo de utilização de MIPs, tem-se o trabalho de González (2011), que propôs um sistema composto por estimações econométricas e um MIP para medir os impactos macroeconômicos de restrições na oferta de água na região da Catalunha (Espanha). As simulações sugeriram uma perda de 0,34% do PIB no caso de restrições modestas ao abastecimento de água e de 2,8% no caso de restrições mais extremas para a região estudada. Outro exemplo é Pagsuyoin et al. (2019), onde foi proposto um MIP dinâmico e espacial para examinar os efeitos adversos de uma seca sobre a interdependência setorial. A análise foi aplicada ao estado de Massachusetts (EUA), que enfrentou condições históricas de seca generalizada em 2016.

Os modelos EGC incorporam em seu mecanismo restrições e relações entre diferentes setores e agentes econômicos, permitindo uma avaliação mais ampla dos potenciais impactos dos choques exógenos nos sistemas econômicos

(GRIFFITH, 2012). Desde os anos 1990, diversos modelos EGC com foco em recursos hídricos foram desenvolvidos para tratar de questões relacionadas à disponibilidade hídrica e secas, alguns exemplos são Berck, Robinson e Goldman (1991), Seung et al. (1998) e Seung et al. (2000). Dentre os mais recentes se destaca aqui o modelo TERM-H2O desenvolvido por Dr. Glyn Wittwer para analisar a escassez de água na bacia do Murray-Darling na Austrália (WITTWER, 2012).

Outros trabalhos que utilizaram modelos EGC para avaliar questões relacionadas às secas são o de Freire-González, Decker e Hall (2017b), que desenvolveram uma estrutura analítica baseada em cenários para estimar os impactos econômicos das secas no Reino Unido sob uma variedade de condições climáticas e políticas; Luckmann et al. (2014), onde foi utilizado um modelo EGC com foco em recursos hídricos que inclui múltiplas fontes e usos da água, para avaliar os efeitos de uma redução em 50% da água potável em Israel; e Magalhães et al. (2017) que utilizaram um modelo EGC inter-regional na avaliação dos impactos econômicos de restrições ao uso da água e elevação de tarifas de água na Região Metropolitana de Belo Horizonte.

O presente trabalho se insere na segunda categoria mencionada. Primeiro serão estimados os efeitos diretos de secas sobre uma gama de indústrias e após serão realizadas simulações com um modelo EEGC para mensurar o impacto total na economia. Assim, o trabalho pretende auxiliar no entendimento de como eventos de secas afetam a produção setorial em uma área metropolitana em situação crítica quanto aos recursos hídricos, além de dar contribuições à literatura de economia do clima.

### 3.3 A ATIVIDADE INDUSTRIAL NA RMSP

Como mostrado no capítulo anterior, a industrialização da cidade de São Paulo e de seus arredores tomou forma sobretudo nas primeiras décadas do século XX e estava relacionada à economia cafeeira. Para Dean (1971), a comercialização do café foi fundamental para a dinâmica industrial da cidade de São Paulo. Ela estabeleceu a mão de obra assalariada proveniente da imigração europeia, que se tornaria importante para o desenvolvimento da manufatura; construiu estradas de ferro; trouxe técnicos formados em cursos superiores do exterior e influenciou o surgimento desses cursos no Brasil contribuindo para a insurgente indústria que necessitava de mão de obra qualificada; e estimulou a produção de energia.

No início, a manufatura era uma atividade marginal, mas foi aos poucos ganhando espaço dentro da economia e sendo alvo de diversas políticas nacionais (DEAN, 1971). Como mostra Severian (2018), a partir dos anos 1930 passou a vigorar no Brasil a estratégia do projeto nacional-desenvolvimentista, marcado pela forte atuação do Estado na promoção da industrialização por substituição de importações. A partir dessa época, intensificou-se o crescimento urbano e a industrialização da cidade de São Paulo, que posteriormente seriam ainda mais acelerados. No período pós Segunda Guerra Mundial, entre 1950 e 1970, a cidade triplicou de tamanho com a chegada de novos trabalhadores que viabilizaram um vigoroso crescimento da atividade industrial (FONTES, 2021). Também nessa época ocorreu a instalação de grandes multinacionais na área metropolitana, principalmente da indústria automobilística, motivadas pelo Planos de Metas de 1956.

Foi a partir dos anos 1980 que o núcleo dinâmico industrial de São Paulo estagnou (CANO, 2007), devido principalmente à perda do protagonismo do setor público na formação bruta de capital fixo (FBCF), o que afetou sobremaneira os investimentos privados industriais (SEVERIAN, 2018). Na década seguinte, a atuação do governo se restringiu ainda mais em decorrência da abertura comercial e financeira da economia brasileira, instauradas com base nos princípios neoliberais. Isso teve vários reflexos sobre a dinâmica regional da indústria, que, antes muito protegidas, não tinham condições de competir em igualdade com os bens importados (SEVERIAN, 2018).

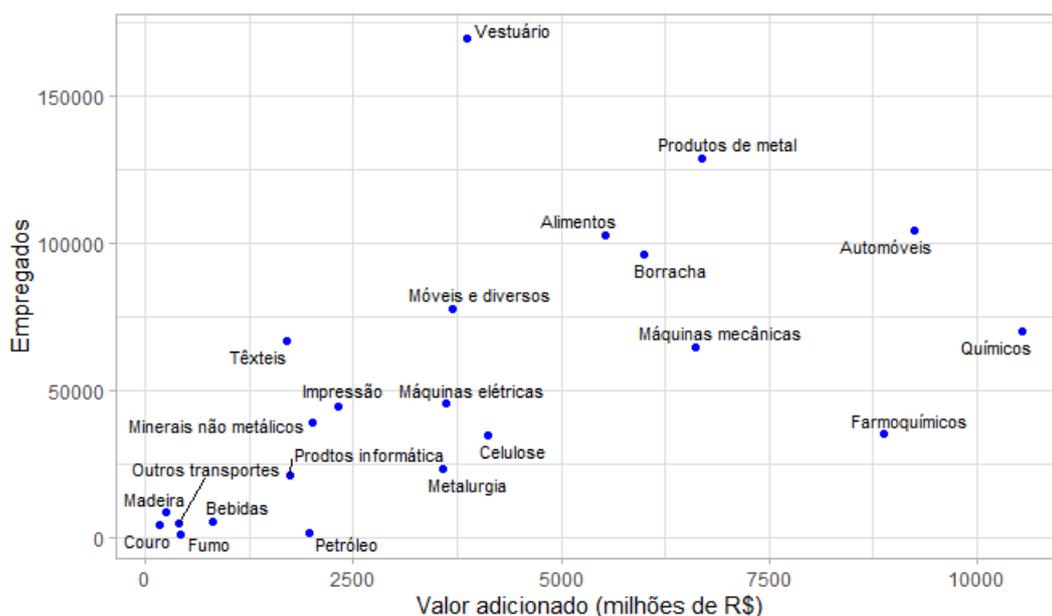
No século XXI, o movimento marcante da atividade industrial na RMSP foi a sua desconcentração. Com base em dados do Valor da Transformação Industrial dos municípios paulistas de 2003 a 2016 (FUNDAÇÃO SEADE, 2019) foi possível constatar que praticamente todos os setores da indústria da transformação da RMSP perderam participação relativa no estado de São Paulo. Nesse período, como apontado em Fundação Seade (2019), houve uma desconcentração da produção de alguns setores na RMSP, com muitas empresas transferindo a produção para outras regiões do estado de São Paulo. As maiores beneficiadas foram a Região Metropolitana de Campinas e municípios de fora de regiões metropolitanas e de aglomerações urbanas. Segundo outra publicação da mesma entidade (FUNDAÇÃO SEADE, 2020), a perda da participação da RMSP se deve à reestruturação do setor metal-mecânico e da indústria automobilística na RMSP e à instalação de novas unidades produtivas no interior do estado, principalmente de montadoras de origem asiática.

Apesar desse movimento e do cenário nacional desfavorável à industrialização, a indústria da RMSP ainda tem participação de destaque no estado

de São Paulo e no Brasil. Como exemplo, em termos de pessoal empregado, apenas Guarulhos e São Paulo representam juntas quase 20% de todos os empregos da indústria da transformação do estado (FUNDAÇÃO SEADE, 2021). Algumas indústrias da RMSP também têm destaque no cenário nacional, dentre elas a metalurgia e a produção de produtos de metal. O valor adicionado (VA) da metalurgia na RMSP corresponde a 10,41% do VA desse setor no Brasil, enquanto que o VA de produtos de metal é de quase 20% da produção nacional.<sup>3</sup>

Atualmente, uma das características da atividade industrial na RMSP é a sua alta diversidade. Há desde indústrias do segmento de veículos e carrocerias ao de borracha e plástico, passando pelos produtos de metal, vestuário e confecções, alimentos, químico, máquinas e equipamentos, entre outros (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2021). Os dados de emprego e valor adicionado setoriais na Figura 3.2 permitem visualizar essa diversidade e identificar os setores mais relevantes na região (com base nessas duas variáveis). Em termos do total de pessoal empregado, destacam-se os setores de vestuário, produtos de metal e automóveis. Já em termos de valor adicionado, além da indústria automobilística, têm destaque os produtos químicos e farmoquímicos.

Figura 3.2 – Número de empregados e valor adicionado por indústria da transformação, total da RMSP, 2015



Fonte: elaboração própria com dados da Matriz Inter-regional de Insumo-Produto (2015).

<sup>3</sup> Esses dados são da Matriz de Insumo-Produto Inter-regional que será detalhada na próxima seção.



Dentre as principais adversidades que as indústrias da região precisarão superar estão o baixo nível de produtividade do parque industrial dos setores estratégicos (máquinas e equipamentos, automobilístico e confecções) e os custos sociais e econômicos decorrentes da aglomeração urbana da RMSP (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2021).

A atividade industrial na RMSP também poderá ser afetada pelas mudanças climáticas e eventos extremos de secas discutidos no capítulo anterior. De acordo com dados de outorga de água do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) presentes em Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê – FABHAT (2016), cerca de 75% das outorgas para uso industrial na BAT são referentes à captação superficial. Isso deixa o setor industrial mais suscetível aos efeitos de reduções da vazão dos rios da região, que deverão ocorrer como consequências das mudanças climáticas, de acordo com projeções de Ribeiro Neto, Paz e Silva (2016). Ainda, em situações de seca extrema, podem ocorrer restrições à captação de recursos hídricos<sup>4,5</sup> que levam a interrupções na produção e aumentos nos custos produtivos.

Uma pesquisa do Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP), realizada durante a crise hídrica ocorrida em 2014, apontou para alguns possíveis impactos da redução da disponibilidade hídrica nas indústrias da RMSP. A pesquisa mostrou que cerca de 30% das empresas de grande porte (500 ou mais empregados) sofreriam um forte impacto de restrições no fornecimento de água devido à seca. As empresas precisariam paralisar a produção, a qual pode demorar para ser retomada e até em alguns casos acarretar em perda de máquinas e/ou do material que está sendo processado (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - FIESP, 2014).

Dessa forma, o entendimento de como essas atividades são afetadas por variáveis climáticas, em especial por eventos de seca, se torna imprescindível para a formulação de políticas de fomento à indústria no longo prazo. Essa avaliação também poderá contribuir para os planos de ação climática locais,

<sup>4</sup> A lei Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, conhecida como Lei das águas, afirma que a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas, mas em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais.

<sup>5</sup> A outorga de direito de uso de recursos hídricos poderá ser suspensa parcial ou totalmente, em definitivo ou por prazo determinado, nas circunstâncias previstas no artigo 3º da Resolução ANA nº 833, de 05 de dezembro de 2011, quais sejam: III – necessidade premente de água para atender a situações de calamidade, inclusive decorrentes de condições climáticas adversas.

identificando a vulnerabilidade às secas de determinadas atividades econômicas. Como mencionado no Plano de Ação Climática do Município de São Paulo 2020-2050, é necessário o desenvolvimento de

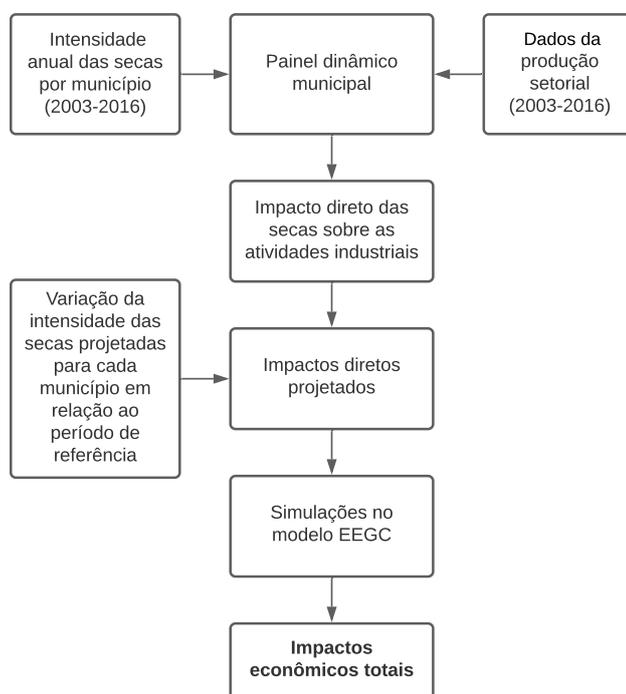
indicadores que permitam melhor avaliar, não apenas os impactos das ameaças sobre a população, mas que também permitam uma melhor compreensão da exposição e da vulnerabilidade de outros sistemas e infraestruturas críticas para a cidade (PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 2020).

Um outro desafio diz respeito ao papel da indústria no futuro da região metropolitana. No passado, a industrialização teve papel de destaque na configuração espacial e na sociedade das cidades metropolitanas. Também foi em parte responsável pelas mudanças no clima ocorridos na região nas últimas décadas. Atualmente, não está claro o papel das indústrias para o desenvolvimento econômico. Isso dependerá, além de políticas locais e regionais, de decisões políticas nacionais. Dentre essas, estão o estímulo à descarbonização das atividades econômicas e incentivo às atividades econômicas mais sustentáveis.

### 3.4 METODOLOGIA

Nessa seção é apresentada a metodologia empregada nesse capítulo. A Figura 3.4 mostra de maneira resumida as etapas envolvidas na estimação dos efeitos econômicos totais. Primeiro são estimados os impactos diretos da intensidade das secas sobre o valor de produção de 21 indústrias da RMSP. Os coeficientes estimados são então combinados com as projeções de variação da intensidade das secas para se construir cenários com impactos diretos. Esses impactos são inseridos no modelo EEGC como choques exógenos na função de produção. O modelo então simula como esses choques afetam diversas variáveis econômicas nas regiões presentes no modelo. Nas subseções que seguem são apresentados os dados e os detalhes de cada uma dessas partes.

Figura 3.4 – Representação das etapas da metodologia de estimação dos efeitos econômicos totais



Fonte: elaboração própria.

### 3.4.1 Dados

Os dados principais da análise se resumem a uma série histórica dos valores da produção industrial, aos dados estimados da intensidade das secas e a uma Matriz de Insumo-Produto Inter-regional calibrada com dados da RMS. A seguir são detalhados cada um deles.

#### 3.4.1.1 Produção industrial

A variável dependente do modelo econométrico é o Valor da Transformação Industrial (VTI), uma *proxy* do Valor Adicionado (VA) disponibilizado pela Fundação Seade (FUNDAÇÃO SEADE, 2019). Esses dados foram estimados por uma metodologia desenvolvida pela Fundação Seade a partir da integração das informações da Secretaria da Fazenda e Planejamento do Estado de São Paulo com os dados do Sistema de Contas Regionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A base compreende 22 divisões da indústria da transformação de 645 municípios paulistas para o período 2003-2016 (FUNDAÇÃO SEADE, 2019). Os dados são disponibilizados em valores correntes do ano correspondente, assim, todos foram atualizados para os preços de 2015

com base no deflator implícito do PIB. Não há produção de biocombustíveis nos municípios da RMSP, assim, são analisados 21 dos 22 setores da base disponibilizada. Esses 21 setores representam juntos 5,91% do VA total da cidade de São Paulo e em média a 15,93% do VA nos demais municípios da RMSP (dados da MIP inter-regional de 2015).

A Tabela 3.1 apresenta os setores analisados e como sua produção está distribuída dentro da RMSP. Pode-se observar que a produção dos 21 setores analisados se concentra em sua maioria em cinco municípios: São Paulo, ABC (Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul) e Guarulhos. Em São Paulo se destacam a produção de vestuário e acessórios, outros equipamentos de transporte e equipamentos de informática e eletrônicos. Os municípios do ABC têm conhecida concentração da produção de veículos automotores, reboques e carrocerias. Guarulhos é responsável por boa parte da produção de bebidas, couro e artefatos de couro e produtos de madeira. Em relação aos outros municípios, em Mauá se concentram as atividades de refino de petróleo e em Susano está cerca de um quarto da produção de papel e celulose.

Apenas como complemento à análise, também foram utilizados como variáveis dependentes o valor adicionado total da indústria e dos serviços por município, disponibilizados em IBGE (2021).

Tabela 3.1 – Localização das produções industriais na RMSP, percentual (%) do município no total da região, média 2003-2016

| <b>Indústria</b>                             | <b>São Paulo</b> | <b>ABC</b> | <b>Guarulhos</b> | <b>Barueri</b> | <b>Diadema</b> | <b>Mauá</b> | <b>Suzano</b> | <b>Mogi das Cruzes</b> | <b>Osasco</b> | <b>Cotia</b> | <b>Demais municípios</b> | <b>Total</b> |
|--|------------------|------------|------------------|----------------|----------------|-------------|---------------|------------------------|---------------|--------------|--------------------------|--------------|
| Produtos alimentícios                        | 48.6             | 10.5       | 8.9              | 4.4            | 1.7            | 0.4         | 0.2           | 1.1                    | 5.4           | 1.1          | 17.6                     | 100          |
| Bebidas                                      | 10.9             | 10.1       | 35.0             | 0.8            | 13.8           | 0.0         | 0.0           | 22.3                   | 0.0           | 0.4          | 6.6                      | 100          |
| Produtos têxteis                             | 42.7             | 6.3        | 14.2             | 0.2            | 8.0            | 0.1         | 2.0           | 0.3                    | 2.6           | 1.1          | 22.5                     | 100          |
| Vestuário e acessórios                       | 87.8             | 1.6        | 2.4              | 1.1            | 0.1            | 0.8         | 0.0           | 0.3                    | 1.2           | 1.3          | 3.4                      | 100          |
| Couros e artefatos de couro                  | 45.9             | 2.5        | 32.6             | 0.6            | 0.2            | 0.0         | 2.5           | 0.9                    | 1.3           | 0.0          | 13.4                     | 100          |
| Produtos de madeira                          | 10.9             | 10.1       | 35.0             | 0.8            | 13.8           | 0.0         | 0.0           | 22.3                   | 0.0           | 0.4          | 6.6                      | 100          |
| Celulose e produtos de papel                 | 27.3             | 3.3        | 5.7              | 6.8            | 3.0            | 0.9         | 25.4          | 7.6                    | 2.1           | 0.9          | 16.9                     | 100          |
| Impressão e reprodução de gravações          | 50.0             | 8.2        | 14.2             | 12.1           | 1.2            | 0.0         | 0.2           | 0.4                    | 1.2           | 1.6          | 10.9                     | 100          |
| Derivados do petróleo                        | 1.8              | 1.1        | 10.0             | 3.3            | 0.8            | 70.7        | 0.0           | 0.1                    | 4.9           | 0.4          | 7.0                      | 100          |
| Produtos químicos                            | 23.0             | 27.6       | 6.9              | 1.5            | 4.0            | 11.5        | 5.6           | 2.0                    | 1.5           | 3.1          | 13.2                     | 100          |
| Produtos farmoquímicos e farmacêuticos       | 27.1             | 1.5        | 18.4             | 8.2            | 0.4            | 0.0         | 5.7           | 0.0                    | 0.2           | 5.8          | 32.6                     | 100          |
| Borracha e material plástico                 | 30.9             | 21.3       | 10.1             | 5.5            | 8.7            | 2.1         | 1.8           | 0.4                    | 2.5           | 2.3          | 14.3                     | 100          |
| Minerais não metálicos                       | 36.4             | 12.2       | 8.9              | 1.7            | 1.8            | 7.7         | 5.1           | 6.6                    | 0.3           | 0.8          | 18.6                     | 100          |
| Metalurgia                                   | 31.0             | 30.2       | 15.2             | 0.2            | 3.6            | 2.1         | 0.0           | 4.7                    | 2.8           | 1.8          | 8.4                      | 100          |
| Produtos de metal                            | 39.6             | 6.0        | 17.7             | 2.5            | 6.0            | 4.3         | 1.0           | 6.1                    | 1.2           | 0.5          | 15.1                     | 100          |
| Equipamentos de informática e eletrônicos    | 61.6             | 4.3        | 5.6              | 10.5           | 4.9            | 0.2         | 1.2           | 0.4                    | 1.3           | 2.2          | 7.7                      | 100          |
| Máquinas, aparelhos e materiais elétricos    | 39.3             | 5.2        | 14.9             | 4.3            | 1.9            | 1.8         | 0.3           | 3.4                    | 5.5           | 0.7          | 22.6                     | 100          |
| Máquinas e equipamentos mecânicos            | 39.0             | 10.7       | 8.9              | 5.5            | 8.2            | 0.8         | 5.1           | 6.5                    | 2.6           | 3.8          | 8.8                      | 100          |
| Veículos automotores, reboques e carrocerias | 10.1             | 63.9       | 8.4              | 1.5            | 3.4            | 2.6         | 0.2           | 1.5                    | 2.0           | 0.8          | 5.6                      | 100          |
| Outros equipamentos de transporte            | 69.2             | 2.3        | 8.5              | 0.0            | 0.3            | 0.0         | 0.0           | 0.0                    | 4.0           | 0.2          | 15.4                     | 100          |
| Móveis                                       | 23.1             | 31.8       | 10.8             | 3.6            | 2.6            | 0.6         | 2.7           | 0.7                    | 1.1           | 2.6          | 20.4                     | 100          |

Fonte: elaboração própria com dados da Fundação Seade (2019).

### 3.4.1.2 Intensidade das secas

Como exposto na Seção 2.3, existem diversos indicadores para condições de secas, de modo que se faz necessário definir alguns critérios para selecionar o indicador a ser utilizado no modelo econométrico. Primeiramente, ele deve ter uma série histórica e projeções para a área de interesse; segundo, deve representar condições de secas hidrológicas que afetam a disponibilidade hídrica em áreas urbanas; e por fim, como sugerido por Couttenier e Soubeyran (2014), o indicador deve captar não linearidades relacionadas às secas, como a relação chuva-temperatura.

Por esses critérios o indicador utilizado é o scPDSI. Segundo Couttenier e Soubeyran (2014), o PDSI (scPDSI) captura as condições meteorológicas no solo e os efeitos não lineares relacionados à precipitação e à temperatura. Ainda de acordo com esses autores, esses efeitos não podem ser representados por funções lineares simples de temperatura e precipitação, como é usual em muitos trabalhos empíricos. Além disso, Dell, Jones e Olken (2014) sugerem a inclusão de indicadores como o PDSI como uma das alternativas para mensurar a adaptação dos agentes às mudanças climáticas, pois leva em conta eventos cumulativos.

Como os dados de produção setorial são anuais, a variável que representará o efeito de secas no modelo é a Intensidade Anual da Secas  $I_{it}$  construída a partir do scPDSI, como foi descrito na Seção 2.3 do Capítulo 2.

Na Tabela 3.2 são apresentados os valores de  $I_{it}$  dos 39 municípios da RMSP para o período compreendido nas estimações (2003 a 2016). As maiores intensidades foram observadas nos anos 2003 e 2014, anos onde foram registradas secas severas na região como discutido no Capítulo 2. Em relação aos valores de 2014, observa-se que alguns municípios têm valores bem maiores que outros. Isso se deve ao fato de a seca ter atingido de maneira mais severa as regiões mais ao norte da área metropolitana e próximas do estado de Minas Gerais. Esse é o casos de Mairiporã, Franco da Rocha e Caieiras. Também nessa região se encontram as bacias que abastecem o Sistema Cantareira, o reservatório do Sistema Integrado Metropolitano mais afetado pela falta de chuva na época.

Tabela 3.2 – Intensidade anual das secas

| <b>Município</b>       | <b>2003</b> | <b>2004</b> | <b>2005</b> | <b>2006</b> | <b>2007</b> | <b>2008</b> | <b>2009</b> | <b>2010</b> | <b>2011</b> | <b>2012</b> | <b>2013</b> | <b>2014</b> | <b>2015</b> | <b>2016</b> |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Arujá                  | 24.46       | 0.51        | 0.09        | 10.91       | 0.47        | 0.00        | 0.09        | 0.00        | 0.00        | 1.14        | 0.12        | 13.36       | 0.28        | 0.00        |
| Barueri                | 20.82       | 0.68        | 0.14        | 10.30       | 0.64        | 0.00        | 0.44        | 0.00        | 0.38        | 1.52        | 1.08        | 6.18        | 0.16        | 0.00        |
| Biritiba Mirim         | 23.21       | 0.67        | 0.11        | 11.01       | 0.64        | 0.00        | 0.93        | 0.00        | 1.01        | 1.57        | 1.01        | 13.06       | 0.24        | 0.00        |
| Caieiras               | 21.91       | 0.53        | 0.12        | 11.20       | 0.52        | 0.00        | 0.90        | 0.00        | 0.44        | 1.27        | 0.47        | 16.01       | 0.21        | 0.00        |
| Cajamar                | 21.91       | 0.53        | 0.12        | 11.20       | 0.52        | 0.00        | 0.90        | 0.00        | 0.44        | 1.27        | 0.47        | 16.01       | 0.21        | 0.00        |
| Carapicuíba            | 20.82       | 0.68        | 0.14        | 10.30       | 0.64        | 0.00        | 0.44        | 0.00        | 0.38        | 1.52        | 1.08        | 6.18        | 0.16        | 0.00        |
| Cotia                  | 20.82       | 0.68        | 0.14        | 10.30       | 0.64        | 0.00        | 0.44        | 0.00        | 0.38        | 1.52        | 1.08        | 6.18        | 0.16        | 0.00        |
| Diadema                | 20.82       | 0.68        | 0.14        | 10.30       | 0.64        | 0.00        | 0.44        | 0.00        | 0.38        | 1.52        | 1.08        | 6.18        | 0.16        | 0.00        |
| Embu das Artes         | 20.82       | 0.68        | 0.14        | 10.30       | 0.64        | 0.00        | 0.44        | 0.00        | 0.38        | 1.52        | 1.08        | 6.18        | 0.16        | 0.00        |
| Embu-Guaçu             | 20.82       | 0.68        | 0.14        | 10.30       | 0.64        | 0.00        | 0.44        | 0.00        | 0.38        | 1.52        | 1.08        | 6.18        | 0.16        | 0.00        |
| Ferraz de Vasconcelos  | 23.21       | 0.67        | 0.11        | 11.01       | 0.64        | 0.00        | 0.93        | 0.00        | 1.01        | 1.57        | 1.01        | 13.06       | 0.24        | 0.00        |
| Francisco Morato       | 21.91       | 0.53        | 0.12        | 11.20       | 0.52        | 0.00        | 0.90        | 0.00        | 0.44        | 1.27        | 0.47        | 16.01       | 0.21        | 0.00        |
| Franco da Rocha        | 21.91       | 0.53        | 0.12        | 11.20       | 0.52        | 0.00        | 0.90        | 0.00        | 0.44        | 1.27        | 0.47        | 16.01       | 0.21        | 0.00        |
| Guararema              | 24.46       | 0.51        | 0.09        | 10.91       | 0.47        | 0.00        | 0.09        | 0.00        | 0.00        | 1.14        | 0.12        | 13.36       | 0.28        | 0.00        |
| Guarulhos              | 21.91       | 0.53        | 0.12        | 11.20       | 0.52        | 0.00        | 0.90        | 0.00        | 0.44        | 1.27        | 0.47        | 16.01       | 0.21        | 0.00        |
| Itapecerica da Serra   | 20.82       | 0.68        | 0.14        | 10.30       | 0.64        | 0.00        | 0.44        | 0.00        | 0.38        | 1.52        | 1.08        | 6.18        | 0.16        | 0.00        |
| Itapevi                | 20.82       | 0.68        | 0.14        | 10.30       | 0.64        | 0.00        | 0.44        | 0.00        | 0.38        | 1.52        | 1.08        | 6.18        | 0.16        | 0.00        |
| Itaquaquecetuba        | 24.46       | 0.51        | 0.09        | 10.91       | 0.47        | 0.00        | 0.09        | 0.00        | 0.00        | 1.14        | 0.12        | 13.36       | 0.28        | 0.00        |
| Jandira                | 20.82       | 0.68        | 0.14        | 10.30       | 0.64        | 0.00        | 0.44        | 0.00        | 0.38        | 1.52        | 1.08        | 6.18        | 0.16        | 0.00        |
| Juquitiba              | 9.11        | 0.36        | 0.00        | 5.26        | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.91        | 0.08        | 0.37        | 0.10        | 0.00        |
| Mairiporã              | 21.91       | 0.53        | 0.12        | 11.20       | 0.52        | 0.00        | 0.90        | 0.00        | 0.44        | 1.27        | 0.47        | 16.01       | 0.21        | 0.00        |
| Mauá                   | 23.21       | 0.67        | 0.11        | 11.01       | 0.64        | 0.00        | 0.93        | 0.00        | 1.01        | 1.57        | 1.01        | 13.06       | 0.24        | 0.00        |
| Mogi das Cruzes        | 23.21       | 0.67        | 0.11        | 11.01       | 0.64        | 0.00        | 0.93        | 0.00        | 1.01        | 1.57        | 1.01        | 13.06       | 0.24        | 0.00        |
| Osasco                 | 20.82       | 0.68        | 0.14        | 10.30       | 0.64        | 0.00        | 0.44        | 0.00        | 0.38        | 1.52        | 1.08        | 6.18        | 0.16        | 0.00        |
| Pirapora do Bom Jesus  | 21.91       | 0.53        | 0.12        | 11.20       | 0.52        | 0.00        | 0.90        | 0.00        | 0.44        | 1.27        | 0.47        | 16.01       | 0.21        | 0.00        |
| Poá                    | 23.21       | 0.67        | 0.11        | 11.01       | 0.64        | 0.00        | 0.93        | 0.00        | 1.01        | 1.57        | 1.01        | 13.06       | 0.24        | 0.00        |
| Ribeirão Pires         | 23.21       | 0.67        | 0.11        | 11.01       | 0.64        | 0.00        | 0.93        | 0.00        | 1.01        | 1.57        | 1.01        | 13.06       | 0.24        | 0.00        |
| Rio Grande da Serra    | 23.21       | 0.67        | 0.11        | 11.01       | 0.64        | 0.00        | 0.93        | 0.00        | 1.01        | 1.57        | 1.01        | 13.06       | 0.24        | 0.00        |
| Salesópolis            | 23.59       | 0.63        | 0.38        | 10.83       | 0.59        | 0.00        | 0.84        | 0.00        | 2.12        | 1.46        | 0.14        | 24.05       | 0.30        | 0.35        |
| Santa Isabel           | 24.46       | 0.51        | 0.09        | 10.91       | 0.47        | 0.00        | 0.09        | 0.00        | 0.00        | 1.14        | 0.12        | 13.36       | 0.28        | 0.00        |
| Santana de Parnaíba    | 21.91       | 0.53        | 0.12        | 11.20       | 0.52        | 0.00        | 0.90        | 0.00        | 0.44        | 1.27        | 0.47        | 16.01       | 0.21        | 0.00        |
| Santo André            | 20.82       | 0.68        | 0.14        | 10.30       | 0.64        | 0.00        | 0.44        | 0.00        | 0.38        | 1.52        | 1.08        | 6.18        | 0.16        | 0.00        |
| São Bernardo do Campo  | 20.82       | 0.68        | 0.14        | 10.30       | 0.64        | 0.00        | 0.44        | 0.00        | 0.38        | 1.52        | 1.08        | 6.18        | 0.16        | 0.00        |
| São Caetano do Sul     | 20.82       | 0.68        | 0.14        | 10.30       | 0.64        | 0.00        | 0.44        | 0.00        | 0.38        | 1.52        | 1.08        | 6.18        | 0.16        | 0.00        |
| São Lourenço da Serra  | 20.82       | 0.68        | 0.14        | 10.30       | 0.64        | 0.00        | 0.44        | 0.00        | 0.38        | 1.52        | 1.08        | 6.18        | 0.16        | 0.00        |
| São Paulo              | 20.82       | 0.68        | 0.14        | 10.30       | 0.64        | 0.00        | 0.44        | 0.00        | 0.38        | 1.52        | 1.08        | 6.18        | 0.16        | 0.00        |
| Suzano                 | 23.21       | 0.67        | 0.11        | 11.01       | 0.64        | 0.00        | 0.93        | 0.00        | 1.01        | 1.57        | 1.01        | 13.06       | 0.24        | 0.00        |
| Taboão da Serra        | 20.82       | 0.68        | 0.14        | 10.30       | 0.64        | 0.00        | 0.44        | 0.00        | 0.38        | 1.52        | 1.08        | 6.18        | 0.16        | 0.00        |
| Vargem Grande Paulista | 9.11        | 0.36        | 0.00        | 5.26        | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.91        | 0.08        | 0.37        | 0.10        | 0.00        |

Fonte: elaboração própria.

### 3.4.1.3 Matriz de Insumo-Produto Inter-regional

Para a calibragem do modelo EEGC utilizado nesse estudo foram utilizados dados da MIP inter-regional do ano de 2015, estimada pelo Núcleo de Economia Regional e Urbana da USP (NEREUS). A estimação dessa matriz envolveu um longo processo de coleta e preparação de diversas bases de dados estaduais e municipais. O método utilizado na estimação é descrito em detalhes em Haddad, Gonçalves Jr e Nascimento (2017) e Gonçalves Jr (2018), de modo que aqui será apresentada uma breve descrição.

O ponto de partida da estimação é a MIP nacional e o Sistema de Contas Regionais do ano 2015, disponibilizados pelo IBGE. Combinando ambos com bases estaduais auxiliares, chegou-se a uma MIP inter-regional com 67 setores e 27 regiões (26 estados mais o Distrito Federal). Após, os dados de cada estado foram desagregados entre seus respectivos municípios por um processo de extração, tabulação e processamento de informações municipais. As bases municipais utilizadas na desagregação variaram de acordo com o setor de atividade econômica, dentre elas estão: Pesquisa Agrícola Municipal (PAM), Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e o Censo Demográfico. Ao final, tem-se uma MIP inter-regional para cada município do Brasil. Para este trabalho, os dados foram agregados em 41 regiões, sendo 39 municípios que fazem parte da RMSP, uma região representando uma agregação dos demais municípios do estado de São Paulo e uma região representando uma agregação das demais regiões do Brasil.

A matriz final é composta por 67 setores, mas para compatibilizar com os dados da Fundação Seade e eliminar inconsistências em alguns setores, foram feitas algumas agregações, de modo que o modelo final utilizado compreende 56 setores de atividades econômicas. A lista de setores e regiões pode ser conferida no Apêndice D.

Além da calibragem do modelo EEGC, a MIP inter-regional estimada permite uma análise básica da estrutura produtiva da RMSP que pode ser útil na discussão dos resultados. Essa análise é feita por meio dos multiplicadores simples de produção, que representam o efeito direto e indireto em dado setor e região de um aumento em sua demanda final (MILLER; BLAIR, 2009).

Na Tabela 3.3 são mostradas as participações dos efeitos intrarregionais e inter-regionais no multiplicador total de produção dos 39 municípios da RMSP. O multiplicador de produção total mostra como se distribui o efeito de um aumento da demanda final no município. Intrarregional se refere ao

efeito dentro do próprio município e inter-regional aos efeitos nas demais regiões do modelo. Pelos dados apresentados, pode-se observar que em todos os municípios o efeito intrarregional se sobrepõe, indicando que o maior efeito da variação da demanda se concentrou no próprio município.

O multiplicador de produção líquido, que desconsidera o efeito inicial, traz informações mais interessantes. Ele dá a dimensão de quão dependentes ou autossuficientes são os municípios, pois mostra o percentual da demanda final que é atendida pela produção do próprio município. São Paulo, Santo André e Osasco apresentam, nessa ordem, os maiores efeitos líquidos intrarregionais, sendo assim os municípios mais autossuficientes da região. Neles, o efeito multiplicador líquido está em todo de 40%, enquanto a média da RMSP está em 29%. No outro lado estão os municípios de Biritiba-Mirim e São Lourenço da Serra com os menores valores. Esses são os menores municípios da região (em termos populacionais) e ambos têm atividade industrial limitada, o que justifica o auto grau de dependência de outras regiões.

Também podem ser analisados os multiplicadores setoriais, expostos na Tabela 3.4. Eles mostram quanto os setores geram na economia dado um aumento de uma unidade na demanda final. Os valores são a média da RMSP e estão em ordem decrescente de magnitude. Como pode ser visto, os maiores multiplicadores pertencem aos setores industriais. A fabricação de produtos alimentícios é a que aparece com o maior multiplicador médio na região, um aumento de uma unidade em sua demanda gera 2,28 unidades na economia da RMSP.

Tabela 3.3 – Decomposição do multiplicador simples de produção dos municípios da RMSP

| Município              | Multiplicador de Produção - Total |                | Multiplicador de Produção - Líquido |                |
|------------------------|-----------------------------------|----------------|-------------------------------------|----------------|
|                        | Intrarregional                    | Inter-regional | Intrarregional                      | Inter-regional |
| Arujá                  | 74,3                              | 25,7           | 33,9                                | 66,1           |
| Barueri                | 74,2                              | 25,8           | 38,4                                | 61,6           |
| Biritiba Mirim         | 76,2                              | 23,8           | 5,50                                | 94,5           |
| Caieiras               | 70,6                              | 29,4           | 25,9                                | 74,1           |
| Cajamar                | 72,0                              | 28,0           | 31,7                                | 68,3           |
| Carapicuíba            | 73,7                              | 26,3           | 35,2                                | 64,8           |
| Cotia                  | 71,6                              | 28,4           | 30,9                                | 69,1           |
| Diadema                | 73,7                              | 26,3           | 36,9                                | 63,1           |
| Embu das Artes         | 72,2                              | 27,8           | 33,1                                | 66,9           |
| Embu-Guaçu             | 72,5                              | 27,5           | 27,8                                | 72,2           |
| Ferraz de Vasconcelos  | 71,3                              | 28,7           | 28,0                                | 72,0           |
| Francisco Morato       | 76,6                              | 23,4           | 26,1                                | 73,9           |
| Franco da Rocha        | 73,9                              | 26,1           | 30,9                                | 69,1           |
| Guararema              | 72,7                              | 27,3           | 28,6                                | 71,4           |
| Guarulhos              | 73,7                              | 26,3           | 38,3                                | 61,7           |
| Itapeçerica da Serra   | 73,8                              | 26,2           | 32,4                                | 67,6           |
| Itapevi                | 72,8                              | 27,2           | 28,1                                | 71,9           |
| Itaquaquecetuba        | 73,3                              | 26,7           | 34,7                                | 65,3           |
| Jandira                | 72,6                              | 27,4           | 30,8                                | 69,2           |
| Juquitiba              | 75,9                              | 24,1           | 28,0                                | 72,0           |
| Mairiporã              | 74,0                              | 26,0           | 35,6                                | 64,4           |
| Mauá                   | 73,5                              | 26,5           | 36,6                                | 63,4           |
| Mogi das Cruzes        | 72,4                              | 27,6           | 33,2                                | 66,8           |
| Osasco                 | 74,4                              | 25,6           | 39,6                                | 60,4           |
| Pirapora do Bom Jesus  | 76,0                              | 24,0           | 16,4                                | 83,6           |
| Poá                    | 70,3                              | 29,7           | 26,7                                | 73,3           |
| Ribeirão Pires         | 72,1                              | 27,9           | 30,6                                | 69,4           |
| Rio Grande da Serra    | 77,5                              | 22,5           | 19,7                                | 80,3           |
| Salesópolis            | 73,3                              | 26,7           | 13,7                                | 86,3           |
| Santa Isabel           | 70,4                              | 29,6           | 20,9                                | 79,1           |
| Santana de Parnaíba    | 71,4                              | 28,6           | 30,2                                | 69,8           |
| Santo André            | 75,1                              | 24,9           | 40,4                                | 59,6           |
| São Bernardo do Campo  | 70,0                              | 30,0           | 29,3                                | 70,7           |
| São Caetano do Sul     | 69,9                              | 30,1           | 26,9                                | 73,1           |
| São Lourenço da Serra  | 74,3                              | 25,7           | 10,8                                | 89,2           |
| São Paulo              | 75,3                              | 24,7           | 44,1                                | 55,9           |
| Suzano                 | 68,0                              | 32,0           | 20,5                                | 79,5           |
| Taboão da Serra        | 72,8                              | 27,2           | 33,9                                | 66,1           |
| Vargem Grande Paulista | 68,6                              | 31,4           | 22,0                                | 78,0           |

Fonte: elaboração própria.

Tabela 3.4 – Multiplicadores setoriais simples de produção, média da RMSP

| Setor  | Total | Intrarregional | Inter-regional |
|--|-------|----------------|----------------|
| Fabricação de produtos alimentícios  | 2,28  | 1,30           | 0,98           |
| Fabricação de produtos de minerais não-metálicos                             | 2,10  | 1,29           | 0,81           |
| Fabricação de produtos de borracha e de material plástico                    | 2,08  | 1,30           | 0,78           |
| Fabricação de produtos químicos  | 2,03  | 1,28           | 0,75           |
| Metalurgia   | 1,98  | 1,28           | 0,70           |
| Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus e peças e acessórios            | 1,97  | 1,28           | 0,69           |
| Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos              | 1,97  | 1,24           | 0,73           |
| Outras atividades profissionais, científicas e técnicas                      | 1,96  | 1,21           | 0,75           |
| Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos                              | 1,93  | 1,30           | 0,63           |
| Fabricação de celulose, papel e produtos de papel                            | 1,91  | 1,28           | 0,63           |
| Fabricação de produtos têxteis   | 1,89  | 1,23           | 0,65           |
| Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos                              | 1,88  | 1,29           | 0,59           |
| Energia elétrica, gás natural e outras utilidades                            | 1,87  | 1,12           | 0,74           |
| Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas                    | 1,87  | 1,24           | 0,63           |
| Transporte terrestre   | 1,87  | 1,22           | 0,64           |
| Alimentação  | 1,86  | 1,18           | 0,68           |
| Fabricação de produtos da madeira  | 1,85  | 1,20           | 0,66           |
| Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos                | 1,84  | 1,25           | 0,59           |
| Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos    | 1,84  | 1,28           | 0,55           |
| Agricultura, pecuária, extrativismo, aquicultura e pesca                     | 1,84  | 1,18           | 0,66           |
| Confecção de artefatos do vestuário e acessórios                             | 1,83  | 1,25           | 0,58           |
| Construção   | 1,78  | 1,25           | 0,54           |
| Fabricação de calçados e de artefatos de couro                               | 1,75  | 1,18           | 0,57           |
| Impressão e reprodução de gravações  | 1,73  | 1,26           | 0,47           |
| Organizações associativas e outros serviços pessoais                         | 1,70  | 1,23           | 0,48           |
| Alojamento   | 1,68  | 1,19           | 0,49           |
| Telecomunicações   | 1,64  | 1,29           | 0,35           |
| Refino de petróleo e coquerias   | 1,62  | 1,06           | 0,56           |
| Água, esgoto e gestão de resíduos  | 1,62  | 1,20           | 0,42           |
| Extração de minerais   | 1,62  | 1,17           | 0,44           |
| Atividades artísticas, criativas e de espetáculos                            | 1,61  | 1,24           | 0,38           |
| Edição e edição integrada à impressão  | 1,60  | 1,25           | 0,35           |
| Fabricação de bebidas  | 1,58  | 1,17           | 0,41           |
| Comércio por atacado e a varejo  | 1,57  | 1,20           | 0,37           |
| Saúde privada  | 1,54  | 1,23           | 0,31           |
| Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio               | 1,53  | 1,21           | 0,32           |
| Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem     | 1,52  | 1,21           | 0,31           |
| Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos                         | 1,51  | 1,20           | 0,31           |
| Intermediação financeira, seguros e previdência complementar                 | 1,48  | 1,21           | 0,27           |
| Atividades jurídicas, contábeis, consultoria e sedes de empresas             | 1,47  | 1,20           | 0,28           |
| Aluguéis não-imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual      | 1,46  | 1,18           | 0,28           |
| Saúde pública  | 1,44  | 1,17           | 0,27           |
| Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores | 1,43  | 1,13           | 0,30           |
| Outras atividades administrativas e serviços complementares                  | 1,43  | 1,15           | 0,28           |
| Administração pública, defesa e seguridade social                            | 1,42  | 1,17           | 0,24           |
| Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P & D        | 1,42  | 1,17           | 0,24           |
| Educação privada   | 1,41  | 1,15           | 0,26           |
| Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação                  | 1,38  | 1,15           | 0,22           |
| Transporte aéreo   | 1,27  | 1,09           | 0,19           |
| Educação pública   | 1,27  | 1,09           | 0,17           |
| Atividades de vigilância, segurança e investigação                           | 1,20  | 1,09           | 0,11           |
| Atividades imobiliárias  | 1,11  | 1,05           | 0,06           |
| Fabricação de produtos do fumo   | 1,09  | 1,02           | 0,07           |
| Transporte aquaviário  | 1,05  | 1,03           | 0,03           |
| Fabricação de biocombustíveis  | 1,00  | 1,00           | 0,00           |
| Serviços domésticos  | 1,00  | 1,00           | 0,00           |

Fonte: elaboração própria.

### 3.4.2 Modelo econométrico

O modelo econométrico tem como fim mensurar os potenciais efeitos que a intensidade das secas tem sobre as atividades industriais da RMSP. A variável dependente do modelo é o valor da transformação industrial  $V_{it}^j$  por indústria ( $j$ ), município ( $i$ ) e ano ( $t$ ) e a variável de interesse é a intensidade anual das secas por município  $I_{it}$ . A variável  $I_{it}$  representa os canais pelos quais uma seca pode afetar a produção setorial discutidos anteriormente.

Para definir o método de estimação e a inclusão de variáveis de controle foram seguidas estratégias adotadas em trabalhos empíricos com temática semelhante.

O método selecionado é o de dados em painel com a unidade de espaço correspondendo aos 39 municípios da RMSP e a unidade de tempo sendo os anos de 2003 a 2016. Segundo Dell, Jones e Olken (2014), técnicas de dados em painel são amplamente utilizadas para analisar os efeitos de variáveis climáticas sobre variáveis econômicas. As mais utilizadas são painéis com efeito fixo por controlarem heterogeneidades espaciais variantes e invariantes no tempo, comuns a todas as unidades (impactos macroeconômicos nacionais, globais, etc).

Sobre as variáveis de controle, Hsiang (2010) afirma que a tendência temporal  $T$  deve entrar diretamente no modelo com a produção setorial como variável dependente por três motivos: i) mudanças tecnológicas que ocorrem gradualmente ao longo do tempo podem ser incorporadas na estrutura produtiva; ii) a produção em uma determinada indústria pode se contrair ou expandir ao longo do tempo devido ao desempenho da economia; e iii) anos específicos podem ser "anormais" por razões não relacionadas ao clima, como grandes variações nos preços mundiais de commodities. Por esses motivos, foram incluídas as variáveis  $T$  e  $T^2$  para captar tendências temporais lineares e não lineares.

Também foi incluída a variável dependente defasada temporalmente  $V_{i,t-1}^j$  para avaliar a extensão em que a produção no ano  $t$  é correlacionada com a dos anos anteriores, mantendo as condições hidrológicas constantes. Segundo Hsiang (2010), o controle da variável defasada é essencial para evitar estimações espúrias para o coeficiente das condições hidrológicas, que no presente estudo é a variável  $I_{it}$ .

Em termos empíricos, uma das questões em aberto acerca da modelagem do efeitos de variáveis climáticas sobre variáveis econômicas é o uso de variáveis em nível ou em taxa de crescimento. Ainda não há um consenso entre um e outro e a escolha é baseada em ajustes ao modelo ou nos propósitos do

estudo. Como o objetivo aqui é auferir o quanto a produção é afetada por secas cada vez mais intensas, a estimação de um modelo *log-log* se mostra mais adequada ao propósito do trabalho. Além disso, como se propõe estimar um painel dinâmico, foi verificada a estacionariedade de cada painel (indústria) por meio do teste de raiz unitária de Phillips-Perron. Os resultados desses testes (Apêndice E) mostram que na maioria dos painéis a variável em logaritmo é estacionária enquanto a em nível não, o que contribui para a escolha da forma funcional do modelo.

Diante do exposto, foi estimado um painel dinâmico, representado como segue:

$$\ln V_{it}^j = \rho \ln V_{i,t-1}^j + \gamma_1 T + \gamma_2 T^2 + \beta I_{it} + v_{it}^j \quad (3.1)$$

$$v_{it}^j = \alpha_i + \varepsilon_{it}^j \quad (3.2)$$

em que  $V_{it}^j$  é o valor da transformação industrial por indústria  $j$  no município  $i$  e ano  $t$ ;  $I_{it}$  é a intensidade anual das secas no município  $i$  e ano  $t$ ;  $T$  representa a tendência temporal; e  $v_{it}^j$  é um termo que inclui os efeitos fixos de municípios  $\alpha_i$  e os resíduos  $\varepsilon_{it}^j$ .

A Equação 3.1 foi estimada quatro vezes para cada uma das 21 indústrias, variando o método de estimação dos coeficientes. Primeiro, os coeficientes foram estimados por *Pooled Ordinary Least Squares* (POLS) e por *Fixed Effects* (FE). Por POLS, a variável dependente defasada é positivamente correlacionada com o termo de erro, enquanto nas estimativas do FE, o coeficiente é correlacionado negativamente devido ao sinal negativo em  $v_{it}$  transformado. Dadas as direções diferentes dos vieses, estimativas consistentes devem estar dentro do intervalo compostos pelas estimativas desses modelos, o que torna suas estimações uma medida de conferência. Também se espera que  $\rho$  seja menor que a unidade, para manter a estabilidade dinâmica.

Para obter estimações consistentes, os estimadores mais populares são os de Arellano-Bond (ARELLANO; BOND, 1991) e Arellano-Bover/Blundell-Bond (ARELLANO; BOVER, 1995; BLUNDELL; BOND, 1998). O primeiro, chamado *Difference GMM*, transforma os regressores tomando a diferença e usa o *Generalized Method of Moments* (GMM) (HANSEN, 1982) para estimar o modelo. O segundo, conhecido como *Sytem GMM*, adiciona ao modelo de Arellano-Bond a suposição de que a primeira diferença não é correlacionada com os efeitos fixos. Isso permite a introdução de mais instrumentos e melhora drasticamente

a eficiência dos estimadores construindo um sistema de duas equações - a equação original e a transformada (ROODMAN, 2009).

O *System GMM* é adequado para painéis onde a unidade de tempo ( $t$ ) é menor que a unidade de espaço ( $n$ ), que é o caso da base utilizada nesse trabalho. Por oferecer estimativas mais eficientes, os resultados auferidos com método *System GMM* são os principais do trabalho.

Após a estimação por *System GMM* alguns testes pós-estimação foram conferidos para avaliar o ajuste do modelo estimado. Um deles é o teste de sobreidentificação de Hansen (HANSEN, 1982), que analisa o número de instrumentos na estimação, já que instrumentos em excesso podem viesar os coeficientes. Labra e Torrecillas (2018) afirmam que um  $p$ -valor do Teste de Hansen entre 0,05 e 0,8 é aceitável, mas o ideal é que este esteja entre 0,1 e 0,25. Outro teste é o de autocorrelação de Arellano-Bond (ARELLANO; BOND, 1991), que testa a autocorrelação serial de primeira (AR1) e segunda (AR2) ordem dos resíduos. Especificações corretas de modelagem devem ter, para o AR2,  $p$ -valores maiores de 0,05.

Por fim, é estimado um modelo em que a variável dependente é a taxa de crescimento da produção setorial. Esse é o principal teste de robustez dos resultados, porque, tal qual explicado por Hsiang (2010), como a produção é autocorrelacionada, pode ser que a relação entre ela e variável climática seja espúria. Se  $\ln V_{it}$  for um processo integrado de ordem um, a diferenciação do valor da produção entre os períodos produzirá uma série temporal estacionária que não deve levar a correlações espúrias. A Equação 3.3 representa a regressão estimada para a taxa de crescimento. Para este caso, o método de estimação é o de efeitos fixos.

$$\ln V_{it}^j - \ln V_{i,t-1}^j = \gamma_1 T + \gamma_2 T^2 + \beta I_{it} + \alpha_i + \varepsilon_{it}^j \quad (3.3)$$

### 3.4.3 Modelo Espacial de Equilíbrio Geral Computável

O modelo EEGC utilizado na pesquisa é o B-MARIA, cuja estrutura teórica e funcional é apresentada em Haddad (1999). Esse modelo já foi utilizado em diversas aplicações para a RMSP, tais como Haddad e Teixeira (2015), Haddad et al. (2015) e Haddad et al. (2018). Na presente Tese, o modelo B-MARIA foi calibrado numericamente com dados da da MIP inter-regional de 2015 apresentada anteriormente.

A estrutura do modelo B-MARIA inclui elementos de um sistema inter-

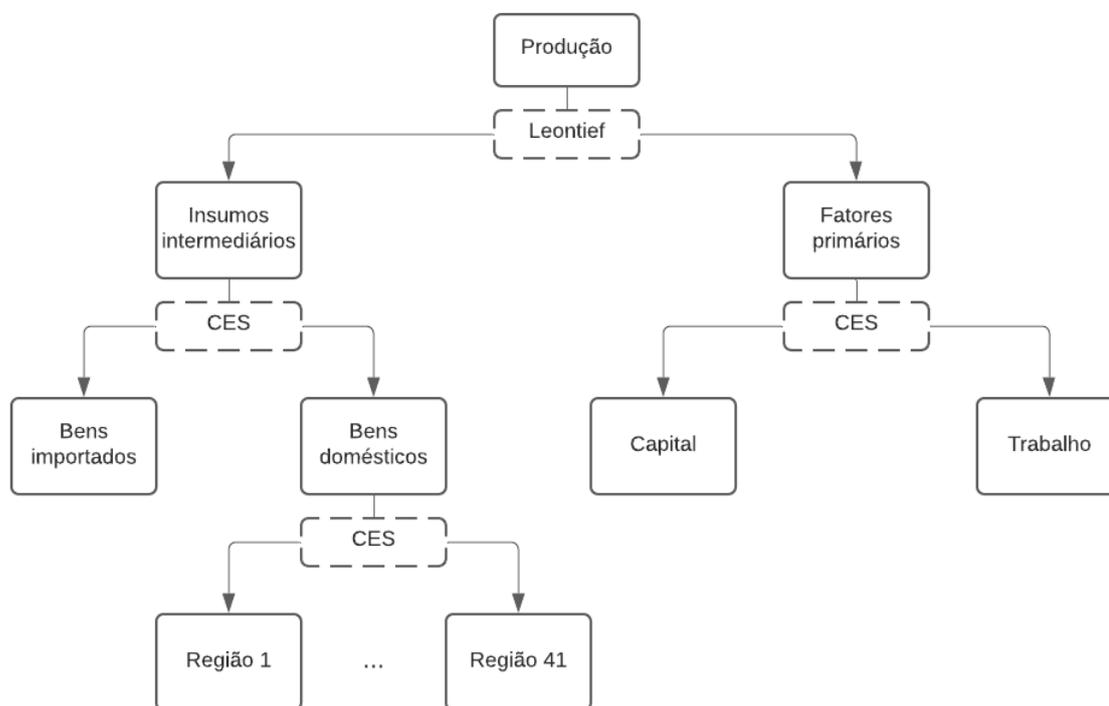
regional, os quais permitem um melhor entendimento dos efeitos de um determinado evento exógeno em dada região (HADDAD; VIEIRA, 2015). Esses elementos são o fluxo inter-regional de bens e serviços, custos de transporte baseados em pares de origem-destino, migração inter-regional de fatores básicos de produção, regionalização das transações do setor público, e segmentação regional do mercado de trabalho. O modelo também mapeia as relações interindustriais por local de produção, os pagamentos ao fator trabalho por local de residência, e a estrutura de consumo por local de consumo. A seguir é apresentada a estrutura teórica do modelo.

#### 3.4.3.1 Estrutura teórica do modelo

No referencial teórico do modelo B-MARIA, os resultados são baseados em uma abordagem *bottom-up*, ou seja, os resultados nacionais são obtidos a partir da agregação de resultados regionais. O modelo identifica diferentes setores de produção e investimento em cada região, uma família representativa em cada região, governos regionais e federais, instituições sem fins lucrativos (ISFL) e uma única área estrangeira que negocia com cada região doméstica, por meio de uma rede de portas de saída e de entrada (HADDAD et al., 2015). Dois fatores locais primários entram no processo de produção, de acordo com as alocações regionais (capital e trabalho). A seguir será apresentada a estrutura do modelo de forma sintética para os principais agentes (firmas, famílias, investidores, governo e exportadores) e no Anexo são apresentadas as formas funcionais principais.

Começando pelas firmas, o modelo assume uma firma representativa que produz um único bem em cada setor e região. Na Figura 3.5 é apresentada a estrutura da função de produção do modelo utilizado. As firmas minimizam seus custos de produção sujeitos a uma tecnologia de retornos constantes de escala em que a combinação de insumos intermediários e fatores primários (agregados) é determinada por coeficientes fixos (função Leontief). Na composição dos insumos, há substituição via preços entre produto doméstico e importado, por meio de funções de elasticidade de substituição constante (CES). Para os bens domésticos também há substituição via preços entre os produtos das diferentes regiões consideradas no modelo. Na composição do fator primário também há substituição via preço entre capital e trabalho por funções CES. Embora todos os setores apresentem a mesma especificação teórica, os efeitos substituição via preços se diferenciam de acordo com a composição doméstico/importado dos insumos do setor (presente na base de dados).

Figura 3.5 – Estrutura da função de produção do Modelo B-MARIA

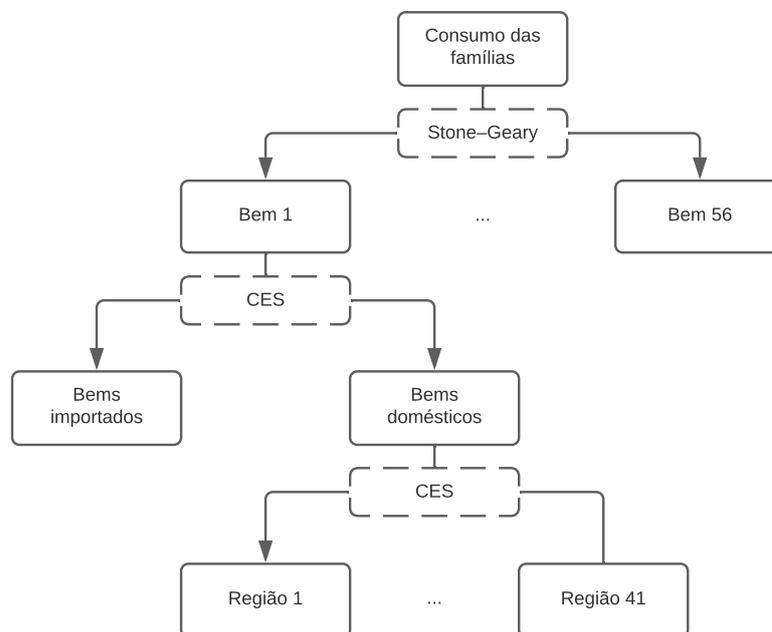


Fonte: adaptado de Haddad (2004).

A Figura 3.6 mostra a função de utilidade da família representativa no modelo. Dada a restrição da renda disponível, a unidade familiar decide pela compra de um ou outro bem com base nas funções de utilidade de Stone-Geary. Depois, por meio de uma função CES, escolhe entre bens domésticos de diferentes regiões e importados (hipótese de Armington).

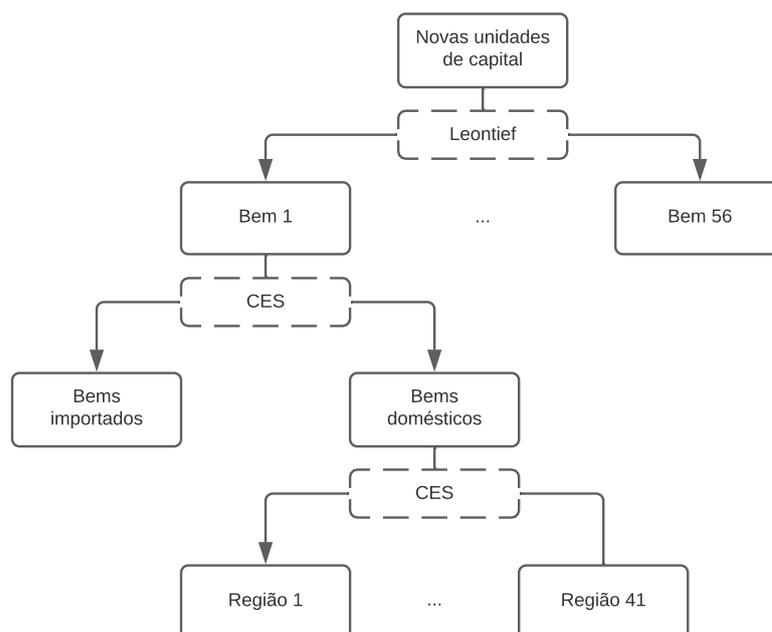
A estrutura para criação de novas unidades de capital é semelhante à função de produção setorial, como pode ser visto na Figura 3.7. Primeiro os investidores escolhem os bens por meio da função proporções fixas (Leontief). Depois, escolhem entre bens importados e domésticos das diferentes regiões. Diferente da função da demanda por insumos intermediários, a demanda por investimentos não requer fatores primários diretamente. O nível de investimento em capital em cada setor e região depende de um bloco de equações que determinam sua acumulação. O nível de investimento também depende das suposições sobre o fechamento do modelo. Como será explanado na próxima subseção, no curto prazo o nível de investimento é fixo, enquanto no longo prazo este pode se mover setorial e espacialmente.

Figura 3.6 – Estrutura da função de utilidade do Modelo B-MARIA



Fonte: adaptado de Haddad (2004).

Figura 3.7 – Estrutura da função investimento do Modelo B-MARIA



Fonte: adaptado de Haddad (2004).

Sobre a estrutura de exportações para o mercado internacional, os bens são divididos entre *tradables* (55 setores) e *non tradables* (apenas o setor de atividades domésticas se enquadra nessa categoria). Uma curva descendente define a demanda externa para cada bem doméstico tradicionalmente exportado ao preço internacional do próprio bem (Free on Board - FOB). O volume exportado depende das elasticidades da demanda externa para cada bem, as quais são diferentes entre os bens, porém constantes entre as regiões. Com isso se pressupõe que um consumidor externo não tem preferência entre os bens das diferentes regiões do Brasil.

O consumo do governo e das instituições sem fins lucrativos são exógenos. O mercado de trabalho pode ser determinado pela diferença de salários regionais ou pela taxa de desemprego regional. No mercado de trabalho regional pelo menos uma das seguintes variáveis é endógena: desemprego regional, taxa de participação regional ou participação relativa do salário

#### 3.4.3.2 Estratégia de fechamento e simulação

Uma das etapas das simulações é a definição do fechamento do modelo. Um fechamento significa indicar quais variáveis são exógenas e quais são endógenas dentro do modelo. Há dois fechamentos clássicos, um de curto prazo e outro de longo prazo. A seguir são apresentados as principais características dos dois fechamentos, conforme apresentados em Haddad (2004).

- Curto prazo: estoque de capital, população regional, oferta de trabalho e salário real nacional são mantidos fixos e os diferenciais regionais de salário constantes. O emprego regional é função das hipóteses sobre taxas de salário, que determina a taxa de desemprego em cada região. Pelo lado da demanda, as decisões de investimentos das firmas e o consumo do governo são exógenos e o consumo das famílias é função da renda disponível.
- Longo prazo: capital e trabalho podem ser deslocar setorial e espacialmente. Ambos são atraídos pelos setores/regiões mais competitivos. Emprego agregado depende do crescimento da população, das taxas de participação da força de trabalho e da taxa natural de desemprego.

A escolha entre um fechamento e outro depende do propósito das simulações. Aqui foram feitas simulações com os dois fechamentos para comparar os resultados sob diferentes hipóteses sobre o funcionamento da economia e seus ajustamentos a choques causados pelas secas.

No modelo B-MARIA, as perdas econômicas diretas das secas surgem como um choque exógeno à função produção do setor afetado, mais especificamente, como um choque de produtividade total na indústria  $j$  do município  $i$  ( $PT_{ij}$ ). Uma queda (aumento) na produtividade significa que, para manter o nível de produção ( $V_{it}$ ) igual ao do período base, são necessários mais (menos) insumos e fatores de produção ( $X_{it}$ ). A equação abaixo representa essa relação.

$$PT_{ij} = \frac{V_{ij}}{X_{ij}} \quad (3.4)$$

Em termos de variação:

$$pt_{ij} = v_{ij} - x_{ij} \quad (3.5)$$

em que  $pt_{ij}$  é a variação de  $PT_{ij}$ ,  $v_{ij}$  e  $x_{ij}$  são variações de  $V_{ij}$  e  $X_{ij}$ , respectivamente. Nos cenários simulados,  $pt_{ij}$  é dada pela multiplicação entre os coeficientes estimados pelo modelo econométrico e as variações na intensidade das secas em cada município para cenários futuros. Dentro do modelo, o choque é aplicado sobre a variável que representa a mudança técnica relacionada ao uso de todos os insumos e fatores de produção por dado setor e região.

A estratégia adotada no trabalho é comumente utilizada para simular impactos de mudanças climáticas e eventos extremos em modelos EGC. Por exemplo, Horridge, Madden e Wittwer (2005) avaliaram os impactos da seca de 2002-2003 na Austrália usando estimativas do efeitos direto da seca sobre a produção agrícola como base das simulações em um modelo EGC regional (TERM).

## 3.5 RESULTADOS

Nessa seção são apresentados os resultados dos impactos diretos e indiretos simulados para a RMSP.

### 3.5.1 Impactos diretos

Conforme explicado na metodologia, foram estimadas quatro regressões por métodos diferentes para cada indústria, sendo um o método principal e os outros três métodos de conferência e de robustez. Os resultados completos são apresentados no Apêndice G, onde cada tabela se refere a uma indústria. Nas tabelas, as colunas (1), (2), (3) e (4) se referem respectivamente aos resultados

das estimações por System GMM, POLS, FE e FE para a taxa de crescimento (FED). A seguir são discutidos os resultados estimados por System GMM, o método principal adotado no trabalho.

Nas estimações, os testes pós estimação apresentaram resultados satisfatórios (de acordo com as condições discutidas na Seção 3.4.2). Em todas as regressões a variável dependente defasada temporalmente  $V_{i,t-1}^j$  é positiva e estatisticamente positiva, sugerindo que a produção atual de cada indústria depende de seu valor no ano anterior.

Sobre a tendência temporal, os resultados variaram bastante entre as regressões. Em algumas nem o coeficiente de  $T$  ou de  $T^2$  são significativos (Bebidas; Produtos têxteis; Couro e artefatos de couro; Produtos de madeira; Celulose e produtos de papel; Impressão e reprodução de gravações, Produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos; Equipamentos de informática, eletrônicos e ópticos; Máquinas, aparelhos e materiais elétricos; Máquinas e equipamentos mecânicos) em outras ambos são significativos (Produtos alimentícios; Vestuário e acessórios; Produtos químicos; Produtos farmoquímicos e farmacêuticos; Borracha e material plástico; Minerais não metálicos; Metalurgia; Outros equipamentos de transporte) e ainda há aquelas onde apenas um deles é significativo (Petróleo e derivados; Veículos automotores, reboques e carrocerias).

Os coeficientes da variável de interesse da Tese, a intensidade das secas  $I_{it}$ , são expostos na Tabela 3.5, que mostra em destaque (negrito) os coeficientes de curto prazo estatisticamente significativos e robustos<sup>6</sup>. Foram considerados robustos os coeficientes estatisticamente significativos estimados por (1) System GMM e (4) FED. Das 21 indústrias analisadas, identificaram-se efeitos significativos da intensidade das secas sobre a produção industrial em 10 delas (48% do total).<sup>7</sup> Juntos esses 10 setores correspondem a 2,88% do VA total da cidade de São Paulo e em média a 5,67% do VA dos demais municípios da RMSP.

Os coeficientes estimados podem ser interpretados como a sensibilidade de determinada indústria à intensidade das secas. Quanto maior o coeficiente (em módulo) mais sensível é o setor às variações na intensidade das secas. O sinal do coeficiente reporta a direção de tal sensibilidade.

Das dez indústrias analisadas, oito delas têm coeficientes negativos:

<sup>6</sup> Também pode ser estimado o coeficiente de longo prazo, mas na construção dos cenários de simulação é utilizado apenas o coeficiente de curto prazo.

<sup>7</sup> Nas indústrias Bebidas e Produtos de Madeira, o coeficiente de interesse é significativo em (1), porém não o é em (4), assim, não se considera esse resultado como robusto.

Tabela 3.5 – Coeficientes de curto prazo estimados da Intensidade de seca (ln) pelo método System GMM

| Setor  | Coeficiente   | Erro padrão  | P> z         | Limite inferior | Limite superior |
|--|---------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|
| <b>Produtos alimentícios</b>                     | <b>-0,014</b> | <b>0,006</b> | <b>0,012</b> | <b>-0,025</b>   | <b>-0,003</b>   |
| Bebidas  | 0,018         | 0,008        | 0,018        | 0,003           | 0,033           |
| Produtos têxteis                                 | 0,000         | 0,004        | 0,918        | -0,008          | 0,009           |
| <b>Vestuário e acessórios</b>                    | <b>0,030</b>  | <b>0,012</b> | <b>0,014</b> | <b>0,006</b>    | <b>0,054</b>    |
| <b>Couros e artefatos de couro</b>               | <b>0,027</b>  | <b>0,016</b> | <b>0,084</b> | <b>-0,004</b>   | <b>0,058</b>    |
| Produtos de madeira                              | 0,018         | 0,008        | 0,018        | 0,003           | 0,033           |
| Celulose e produtos de papel                     | 0,006         | 0,007        | 0,392        | -0,008          | 0,020           |
| Impressão e reprodução de gravações              | 0,000         | 0,018        | 0,997        | -0,035          | 0,035           |
| <b>Petróleo e derivados</b>                      | <b>-0,015</b> | <b>0,006</b> | <b>0,011</b> | <b>-0,026</b>   | <b>-0,003</b>   |
| Produtos químicos                                | 0,001         | 0,005        | 0,865        | -0,008          | 0,010           |
| Produtos farmoquímicos e farmacêuticos           | 0,002         | 0,005        | 0,641        | -0,007          | 0,011           |
| Borracha e material plástico                     | -0,009        | 0,006        | 0,154        | -0,021          | 0,003           |
| Minerais não metálicos                           | 0,009         | 0,006        | 0,125        | -0,002          | 0,020           |
| <b>Metalurgia</b>                                | <b>-0,042</b> | <b>0,017</b> | <b>0,014</b> | <b>-0,074</b>   | <b>-0,009</b>   |
| <b>Produtos de metal</b>                         | <b>-0,025</b> | <b>0,005</b> | <b>0,000</b> | <b>-0,036</b>   | <b>-0,015</b>   |
| <b>Equipamentos de informática e eletrônicos</b> | <b>-0,043</b> | <b>0,014</b> | <b>0,002</b> | <b>-0,070</b>   | <b>-0,015</b>   |
| <b>Máquinas, aparelhos e materiais elétricos</b> | <b>-0,025</b> | <b>0,008</b> | <b>0,001</b> | <b>-0,041</b>   | <b>-0,010</b>   |
| <b>Máquinas e equipamentos mecânicos</b>         | <b>-0,012</b> | <b>0,006</b> | <b>0,036</b> | <b>-0,024</b>   | <b>-0,001</b>   |
| Veículos automotores, reboques e carrocerias     | -0,008        | 0,006        | 0,233        | -0,020          | 0,005           |
| <b>Outros equipamentos de transporte</b>         | <b>-0,068</b> | <b>0,020</b> | <b>0,001</b> | <b>-0,107</b>   | <b>-0,028</b>   |
| Móveis   | -0,009        | 0,010        | 0,361        | -0,028          | 0,010           |

Fonte: elaboração própria.

Notas: limite inferior e superior se referem a um intervalo de confiança de 95%. Em negrito estão os coeficientes considerados robustos e que serão utilizados nas simulações com o modelo EEGC.

produtos alimentícios; petróleo e derivados; metalurgia; produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos; equipamentos de informática e eletrônicos; máquinas e aparelhos elétricos; máquinas e aparelhos eletrônicos; e outros equipamentos de transporte. Nessas oito indústrias, o intervalo de confiança dos coeficientes é composto apenas por valores negativos, fornecendo mais suporte à relação encontrada. Em termos de magnitude, os maiores efeitos marginais são das indústrias outros equipamentos de transporte (-0,068%), equipamentos de informática e eletrônicos (-0,043%) e metalurgia (-0,042%).

No caso da indústria alimentícia, uma seca pode afetar a oferta de alimentos utilizados como insumos intermediários e assim prejudicar a produção. Além disso, esse é um setor intensivo em água, que é utilizada como insumo produtivo ou fator complementar na produção. Mesmo que não ocorram restrição de oferta de água a este setor, ele pode ser afetado pela redução da qualidade da água utilizada. A menor disponibilidade hídrica faz com que mais insumos sejam necessários para seu tratamento, já que há um menor volume de água para diluir uma mesma quantidade de poluentes.

Nas demais indústrias a redução na disponibilidade hídrica geral pode estar por trás dos resultados, já que a água é utilizada como insumo de produção e/ou fator de produção complementar (resfriamento, aquecimento, solubilização ou limpeza, por exemplo). Esse deve ser o caso principalmente do refino de petróleo e coquerias e metalurgia. Esses setores estão entre os

que têm os maiores coeficientes de retirada direta de água, conforme apresentado em Agência Nacional de Águas (2017). As firmas que utilizam o sistema de abastecimento urbano de água também podem ser afetadas por racionamentos, interrupções no fornecimento ou aumento das tarifas cobradas dos usuários industriais em situações de secas.

Outro canal que pode estar por trás dos resultados pode ser a redução da produtividade dos fatores. Quanto maior a intensidade de uma seca, menor deve ser a umidade relativa do ar e, acompanhadas de altas temperaturas, diminuem a produtividade dos trabalhadores e das máquinas e equipamentos.

Os resultados também podem estar relacionados com maior consumo de energia pelas indústrias, em especial a metalurgia, já que será necessário maior resfriamento e ventilação dos espaços fechados de produção. Apenas como informação complementar, dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) mostram que no estado de São Paulo, o consumo de energia para uso industrial em 2014 e 2015, anos afetados por secas, foi respectivamente 12% e 5% maior que em 2016, ano sem ocorrência de seca.

Publicação da Federação Brasileira de Bancos - FEBRABAN (2021) com classificação dos setores quanto suas exposições às mudanças climáticas<sup>8</sup> fornece algum suporte aos resultados setoriais encontrados. Por exemplo, o setor de refino de petróleo e coquearias é classificado como de alta exposição, pois é financeiramente exposto à transição energética, além de ser intensivo em recursos hídricos.

Os setores relacionados à produção de produtos de metais e bens de capital também são classificados como altamente expostos às mudanças climáticas. Isso porque muitas de suas atividades resultam em exposições financeiras a altas emissões de GEE e alto consumo de energia. Além disso várias indústrias desse grupo "dependem da disponibilidade hídrica e/ou são vulneráveis aos efeitos de riscos físicos agudos ou crônicos de eventos climáticos"(FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE BANCOS - FEBRABAN, 2021). Já o setor de alimentos tem alta exposição às mudanças climáticas pois está diretamente envolvido com as alterações no uso do solo, tem dependência de recursos hídricos e possui sensibilidade aos eventos climáticos extremos (FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE BANCOS - FEBRABAN, 2021).

Em duas indústrias, vestuário e acessórios e couros e artefatos de couros, o sinal do coeficiente estimado é positivo, sugerindo que esses possam se

---

<sup>8</sup> Esta classificação seguiu a correspondência entre a estrutura da CNAE e os setores com maior probabilidade de sofrer impactos financeiros relacionados às mudanças climáticas, conforme definido pela Task-Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD).

beneficiar de alguma maneira com situações de seca. No caso da produção de vestuário e acessórios, esse efeito se mantém quando analisado o intervalo de confiança de 95%. Na produção de couro, por outro lado, o limite inferior é negativo mas relativamente muito pequeno, sugerindo que talvez sua produção não seja de todo beneficiada.

No caso da produção de couro, foi encontrada na literatura uma única evidência semelhante, o trabalho Jones e Olken (2010). Os autores evidenciaram que a exportação de produtos de couro é beneficiada com o aumento da temperatura, porém não discutiram possíveis canais por trás dos efeitos encontrados. Uma das hipóteses que pode ser levantada é de que o ganho positivo pode estar relacionado com a maior disponibilidade de matéria-prima, já que as secas/altas temperaturas prejudicam a criação de gado e impulsionam seu abate. Isso considerando que a região fornecedora de couro sofra do mesmo evento de seca da região onde está instalada a indústria. Outra hipótese é de que a produção seja beneficiada pelo ambiente mais seco, pois uma de suas etapas envolve a secagem da matéria-prima. Em relação à produção de vestuário e acessórios, não foram encontradas evidências que ajudem a explicar a relação encontrada. Assim como na produção de couro, pode ser que alguma etapa de seu processo produtivo seja beneficiada e que esse benefício se sobreponha às perdas com a seca. Pode ser também que seus produtos tenham se valorizado com as secas, o que se reflete em maior valor da produção.

Em geral, as estimações indicam que a maioria dos setores afetados negativamente são os intensivos em capital e/ou tecnologia. Esses setores representam o que há de mais avançado em termos tecnológicos não apenas na região, mas também no país. Sua perda de produtividade em situações de seca pode ser um empecilho ao desenvolvimento econômico local e deve ser levado com conta em políticas de promoção da atividade industrial.

Além disso, metalurgia, fabricação de produtos de metal, e fabricação de máquinas elétricas estão, juntamente com a produção alimentícia, entre os setores com os maiores multiplicadores de produção da região, conforme apresentado na Tabela 3.4. Uma redução em seus níveis de atividade têm potencial para afetar as atividade de outros setores e os níveis de emprego e renda de maneira geral. Esses efeitos são captados pelas simulações realizadas com o modelo B-MARIA.

Além das estimações para as 21 indústrias também foram estimados os modelos tendo o valor adicionado total da indústria e dos serviços como variável dependente. Os resultados dessas estimações (ver Apêndice F) mostram que as secas têm efeitos negativos e significativo sobre o valor agregado da in-

dústria. Sobre o setor de serviços, o efeito é positivo porém muito pequeno e não se mostrou robusto<sup>9</sup>, sugerindo que as secas podem não ter efeito direto sobre o produto agregado das atividades relacionadas à prestação de serviços e comércio.

### 3.5.2 Cenários simulados

Para construir os cenários que serão simulados no modelo EEGC, os coeficientes estatisticamente significativos mostrados na seção anterior foram multiplicados pelas variações das secas. Essas variações se referem às variações percentuais da intensidade média das secas nos cenários RCP4.5 (2070-2099) e RCP8.5 (2070-2099) em relação ao período base (1976-2005) para cada município. São utilizadas como base das simulações apenas as projeções do período 2070-2099, pois essas apresentam menor nível de incerteza quando comparadas ao período mais recente. As projeções empregadas no cálculo da variação (Tabela 3.6) são as apresentadas no Apêndice C.

Os choques de produtividade aplicados no modelo EEGC são apresentados nas Tabelas 3.7 (RCP4.5) e 3.8 (RCP8.5). As variações percentuais são a perda (ganho) de produtividade dos setores afetados diretamente pelas secas. Os choques setoriais são aplicados simultaneamente, entretanto, é possível verificar o impacto específico de cada setor.

Em se tratando de projeções de eventos extremos como secas, é importante ter em mente que há muitas incertezas envolvidas. Secas são eventos aleatórios cuja ocorrência depende da junção de diversos fatores, assim torna-se impossível prever com exatidão quando irão ocorrer e qual será a intensidade.

Além do mais, as relações entre variáveis econômicas e climáticas estimadas por modelos econométricos são relações de curto ou médio prazos. Relações de longo prazo são mais difíceis de serem estimadas devido às restrições nas séries históricas de dados e ao fato de as regiões/setores afetados se adaptarem ao longo do tempo. Desse modo, fazer projeções para períodos tão distantes com base no que foi estimado pelo modelo econométrico proposto não estaria de todo modo correto.

Devido a isso, as simulações realizadas não pretendem fazer projeções de impacto para o final do século, mas sim identificar vulnerabilidades atuais das atividades econômicas e da economia dos municípios às secas de diferentes intensidades que podem ocorrer na RMSP.

<sup>9</sup> A magnitude do coeficiente e sua significância estatística variam consideravelmente com as restrições impostas nos instrumentos utilizados no System GMM.

A pergunta que norteará as simulações é: se houver uma seca na RMSP com a intensidade das secas projetadas para o final do século, conforme os cenários RCP4.5 e RCP8.5, quais serão os possíveis impactos econômicos?

Tabela 3.6 – Variação da intensidade das secas em relação ao período base (1976-2005)

| <b>Município</b>       | <b>RCP4.5 2071-2099</b> | <b>RCP8.5 2071-2099</b> |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Arujá                  | 36%                     | 109%                    |
| Barueri                | 62%                     | 181%                    |
| Biritiba Mirim         | 15%                     | 50%                     |
| Caieiras               | 46%                     | 129%                    |
| Cajamar                | 40%                     | 131%                    |
| Carapicuíba            | 50%                     | 136%                    |
| Cotia                  | 43%                     | 133%                    |
| Diadema                | 30%                     | 101%                    |
| Embu das Artes         | 43%                     | 133%                    |
| Embu-Guaçu             | 20%                     | 56%                     |
| Ferraz de Vasconcelos  | 64%                     | 144%                    |
| Francisco Morato       | 46%                     | 129%                    |
| Franco da Rocha        | 46%                     | 129%                    |
| Guararema              | 19%                     | 103%                    |
| Guarulhos              | 77%                     | 149%                    |
| Itapeceira da Serra    | 13%                     | 80%                     |
| Itapevi                | 62%                     | 181%                    |
| Itaquaquecetuba        | 64%                     | 144%                    |
| Jandira                | 62%                     | 181%                    |
| Juquitiba              | 19%                     | 66%                     |
| Mairiporã              | 40%                     | 114%                    |
| Mauá                   | 3%                      | 53%                     |
| Mogi das Cruzes        | 27%                     | 98%                     |
| Osasco                 | 50%                     | 136%                    |
| Pirapora do Bom Jesus  | 40%                     | 131%                    |
| Poá                    | 64%                     | 144%                    |
| Ribeirão Pires         | -34%                    | -1%                     |
| Rio Grande da Serra    | -40%                    | -3%                     |
| Salesópolis            | 28%                     | 111%                    |
| Santa Isabel           | 17%                     | 82%                     |
| Santana de Parnaíba    | 62%                     | 181%                    |
| Santo André            | 3%                      | 53%                     |
| São Bernardo do Campo  | 30%                     | 101%                    |
| São Caetano do Sul     | 30%                     | 101%                    |
| São Lourenço da Serra  | 13%                     | 80%                     |
| São Paulo              | 57%                     | 126%                    |
| Suzano                 | 64%                     | 144%                    |
| Taboão da Serra        | 73%                     | 153%                    |
| Vargem Grande Paulista | 32%                     | 142%                    |

Fonte: elaboração própria.

Tabela 3.7 – Choques de produtividade por município e indústria, cenário RCP4.5

| Município              | Produtos alimentícios | Vestuário e acessórios | Couros e artefatos | Petróleo e derivados | Metalurgia de metal | Produtos de metal | Equipamentos de informática | Máquinas elétricas | Máquinas mecânicas | Outros de transporte |
|------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|----------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| Arujá                  | -0,5%                 | 1,1%                   | 1,0%               | -0,5%                | -1,5%               | -0,9%             | -1,5%                       | -0,9%              | -0,4%              | 0,0%                 |
| Barueri                | -0,9%                 | 1,9%                   | 1,7%               | 0,0%                 | -2,6%               | -1,6%             | -2,6%                       | -1,6%              | -0,8%              | 0,0%                 |
| Biritiba Mirim         | 0,0%                  | 0,0%                   | 0,0%               | 0,0%                 | 0,0%                | -0,4%             | 0,0%                        | 0,0%               | -0,2%              | 0,0%                 |
| Caieiras               | -0,6%                 | 1,4%                   | 1,2%               | -0,7%                | -1,9%               | -1,1%             | -1,9%                       | -1,2%              | -0,6%              | 0,0%                 |
| Cajamar                | -0,6%                 | 1,2%                   | 1,1%               | -0,6%                | -1,7%               | -1,0%             | -1,7%                       | -1,0%              | -0,5%              | 0,0%                 |
| Carapicuíba            | -0,7%                 | 1,5%                   | 1,4%               | 0,0%                 | -2,1%               | -1,3%             | -2,1%                       | -1,3%              | -0,6%              | -3,4%                |
| Cotia                  | -0,6%                 | 1,3%                   | 0,0%               | -0,6%                | -1,8%               | -1,1%             | -1,8%                       | -1,1%              | -0,5%              | 0,0%                 |
| Diadema                | -0,4%                 | 0,9%                   | 0,8%               | -0,4%                | -1,2%               | -0,7%             | -1,3%                       | -0,8%              | -0,4%              | -2,0%                |
| Embu das Artes         | -0,6%                 | 1,3%                   | 1,2%               | 0,0%                 | -1,8%               | -1,1%             | -1,8%                       | -1,1%              | -0,5%              | -2,9%                |
| Embu-Guaçu             | -0,3%                 | 0,6%                   | 0,6%               | 0,0%                 | -0,8%               | -0,5%             | -0,9%                       | -0,5%              | -0,2%              | 0,0%                 |
| Ferraz de Vasconcelos  | -0,9%                 | 1,9%                   | 1,7%               | 0,0%                 | -2,7%               | -1,6%             | 0,0%                        | -1,6%              | -0,8%              | -4,4%                |
| Francisco Morato       | -0,6%                 | 1,4%                   | 0,0%               | 0,0%                 | 0,0%                | -1,1%             | -1,9%                       | -1,2%              | -0,6%              | 0,0%                 |
| Franco da Rocha        | -0,6%                 | 1,4%                   | 0,0%               | -0,7%                | -1,9%               | -1,1%             | -1,9%                       | 0,0%               | -0,6%              | 0,0%                 |
| Guararema              | -0,3%                 | 0,6%                   | 0,5%               | 0,0%                 | -0,8%               | -0,5%             | -0,8%                       | -0,5%              | -0,2%              | 0,0%                 |
| Guarulhos              | -1,1%                 | 2,3%                   | 2,1%               | -1,1%                | -3,2%               | -1,9%             | -3,3%                       | -1,9%              | -0,9%              | -5,2%                |
| Itapecerica da Serra   | -0,2%                 | 0,4%                   | 0,0%               | 0,0%                 | 0,0%                | -0,3%             | -0,6%                       | -0,3%              | -0,2%              | -0,9%                |
| Itapevi                | -0,9%                 | 1,9%                   | 0,0%               | 0,0%                 | -2,6%               | -1,6%             | -2,6%                       | -1,6%              | -0,8%              | 0,0%                 |
| Itaquaquecetuba        | -0,9%                 | 1,9%                   | 1,7%               | -0,9%                | -2,7%               | -1,6%             | -2,7%                       | -1,6%              | -0,8%              | -4,4%                |
| Jandira                | -0,9%                 | 1,9%                   | 1,7%               | 0,0%                 | -2,6%               | -1,6%             | -2,6%                       | -1,6%              | -0,8%              | -4,2%                |
| Juquitiba              | -0,3%                 | 0,6%                   | 0,0%               | 0,0%                 | -0,8%               | -0,5%             | -0,8%                       | -0,5%              | 0,0%               | 0,0%                 |
| Mairiporã              | -0,5%                 | 1,2%                   | 0,0%               | 0,0%                 | -1,6%               | -1,0%             | -1,7%                       | -1,0%              | -0,5%              | 0,0%                 |
| Mauá                   | 0,0%                  | 0,1%                   | 0,1%               | 0,0%                 | -0,1%               | -0,1%             | -0,1%                       | -0,1%              | 0,0%               | -0,2%                |
| Mogi das Cruzes        | -0,4%                 | 0,8%                   | 0,7%               | 0,0%                 | -1,1%               | -0,7%             | -1,1%                       | -0,7%              | -0,3%              | 0,0%                 |
| Osasco                 | -0,7%                 | 1,5%                   | 1,4%               | -0,7%                | -2,1%               | -1,3%             | -2,1%                       | -1,3%              | -0,6%              | -3,4%                |
| Pirapora do Bom Jesus  | 0,0%                  | 0,0%                   | 0,0%               | 0,0%                 | -1,7%               | -1,0%             | 0,0%                        | 0,0%               | -0,5%              | 0,0%                 |
| Poá                    | -0,9%                 | 1,9%                   | 1,7%               | -0,9%                | -2,7%               | -1,6%             | -2,7%                       | -1,6%              | -0,8%              | 0,0%                 |
| Ribeirão Pires         | 0,5%                  | -1,0%                  | -0,9%              | 0,5%                 | 1,4%                | 0,8%              | 1,4%                        | 0,9%               | 0,4%               | 0,0%                 |
| Rio Grande da Serra    | 0,6%                  | -1,2%                  | -1,1%              | 0,0%                 | 0,0%                | 1,0%              | 0,0%                        | 0,0%               | 0,0%               | 0,0%                 |
| Salesópolis            | -0,4%                 | 0,9%                   | 0,0%               | 0,0%                 | 0,0%                | 0,0%              | 0,0%                        | 0,0%               | 0,0%               | 0,0%                 |
| Santa Isabel           | -0,2%                 | 0,5%                   | 0,5%               | 0,0%                 | 0,0%                | -0,4%             | -0,7%                       | 0,0%               | -0,2%              | 0,0%                 |
| Santana de Parnaíba    | -0,9%                 | 1,9%                   | 0,0%               | 0,0%                 | -2,6%               | -1,6%             | -2,6%                       | -1,6%              | -0,8%              | -4,2%                |
| Santo André            | 0,0%                  | 0,1%                   | 0,1%               | 0,0%                 | -0,1%               | -0,1%             | -0,1%                       | -0,1%              | 0,0%               | -0,2%                |
| São Bernardo do Campo  | -0,4%                 | 0,9%                   | 0,8%               | -0,4%                | -1,2%               | -0,7%             | -1,3%                       | -0,8%              | -0,4%              | -2,0%                |
| São Caetano do Sul     | -0,4%                 | 0,9%                   | 0,8%               | 0,0%                 | -1,2%               | -0,7%             | -1,3%                       | -0,8%              | -0,4%              | -2,0%                |
| São Lourenço da Serra  | 0,0%                  | 0,0%                   | 0,0%               | 0,0%                 | 0,0%                | -0,3%             | 0,0%                        | 0,0%               | 0,0%               | 0,0%                 |
| São Paulo              | -0,8%                 | 1,7%                   | 1,6%               | -0,8%                | -2,4%               | -1,4%             | -2,4%                       | -1,4%              | -0,7%              | -3,9%                |
| Suzano                 | -0,9%                 | 1,9%                   | 1,7%               | 0,0%                 | -2,7%               | -1,6%             | -2,7%                       | -1,6%              | -0,8%              | 0,0%                 |
| Taboão da Serra        | -1,0%                 | 2,2%                   | 2,0%               | -1,1%                | -3,0%               | -1,8%             | -3,1%                       | -1,8%              | -0,9%              | -4,9%                |
| Vargem Grande Paulista | -0,4%                 | 1,0%                   | 0,0%               | 0,0%                 | 0,0%                | 0,0%              | 0,0%                        | 0,0%               | -0,4%              | 0,0%                 |

Fonte: elaboração própria.

Tabela 3.8 – Choques de produtividade por município e indústria, cenário RCP8.5

| Município              | Produtos alimentícios | Vestuário e acessórios | Couros e artefatos | Petróleo e derivados | Metalurgia de metal | Produtos de metal | Equipamentos de informática | Máquinas elétricas | Máquinas mecânicas | Outros de transporte |
|------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|----------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| Arujá                  | -1,5%                 | 3,3%                   | 3,0%               | -1,6%                | -4,5%               | -2,8%             | -4,7%                       | -2,8%              | -1,3%              | 0,0%                 |
| Barueri                | -2,5%                 | 5,4%                   | 4,9%               | 0,0%                 | -7,5%               | -4,5%             | -7,7%                       | -4,6%              | -2,2%              | 0,0%                 |
| Biritiba Mirim         | 0,0%                  | 0,0%                   | 0,0%               | 0,0%                 | 0,0%                | -1,3%             | 0,0%                        | 0,0%               | -0,6%              | 0,0%                 |
| Caieiras               | -1,8%                 | 3,9%                   | 3,5%               | -1,9%                | -5,3%               | -3,2%             | -5,5%                       | -3,3%              | -1,6%              | 0,0%                 |
| Cajamar                | -1,8%                 | 3,9%                   | 3,5%               | -1,9%                | -5,4%               | -3,3%             | -5,6%                       | -3,3%              | -1,6%              | 0,0%                 |
| Carapicuíba            | -1,9%                 | 4,1%                   | 3,7%               | 0,0%                 | -5,7%               | -3,4%             | -5,8%                       | -3,5%              | -1,7%              | -9,2%                |
| Cotia                  | -1,8%                 | 4,0%                   | 0,0%               | -1,9%                | -5,5%               | -3,3%             | -5,6%                       | -3,4%              | -1,6%              | 0,0%                 |
| Diadema                | -1,4%                 | 3,0%                   | 2,7%               | -1,5%                | -4,2%               | -2,5%             | -4,3%                       | -2,6%              | -1,2%              | -6,9%                |
| Embu das Artes         | -1,8%                 | 4,0%                   | 3,6%               | 0,0%                 | -5,5%               | -3,3%             | -5,6%                       | -3,4%              | -1,6%              | -9,0%                |
| Embu-Guaçu             | -0,8%                 | 1,7%                   | 1,5%               | 0,0%                 | -2,3%               | -1,4%             | -2,4%                       | -1,4%              | -0,7%              | 0,0%                 |
| Ferraz de Vasconcelos  | -2,0%                 | 4,3%                   | 3,9%               | 0,0%                 | -6,0%               | -3,6%             | 0,0%                        | -3,6%              | -1,8%              | -9,8%                |
| Francisco Morato       | -1,8%                 | 3,9%                   | 0,0%               | 0,0%                 | 0,0%                | -3,2%             | -5,5%                       | -3,3%              | -1,6%              | 0,0%                 |
| Franco da Rocha        | -1,8%                 | 3,9%                   | 0,0%               | -1,9%                | -5,3%               | -3,2%             | -5,5%                       | 0,0%               | -1,6%              | 0,0%                 |
| Guararema              | -1,4%                 | 3,1%                   | 2,8%               | 0,0%                 | -4,3%               | -2,6%             | -4,4%                       | -2,6%              | -1,3%              | 0,0%                 |
| Guarulhos              | -2,1%                 | 4,5%                   | 4,0%               | -2,2%                | -6,2%               | -3,7%             | -6,3%                       | -3,8%              | -1,8%              | -10,1%               |
| Itapecerica da Serra   | -1,1%                 | 2,4%                   | 0,0%               | 0,0%                 | 0,0%                | -2,0%             | -3,4%                       | -2,0%              | -1,0%              | -5,4%                |
| Itapevi                | -2,5%                 | 5,4%                   | 0,0%               | 0,0%                 | -7,5%               | -4,5%             | -7,7%                       | -4,6%              | -2,2%              | 0,0%                 |
| Itaquaquecetuba        | -2,0%                 | 4,3%                   | 3,9%               | -2,1%                | -6,0%               | -3,6%             | -6,1%                       | -3,6%              | -1,8%              | -9,8%                |
| Jandira                | -2,5%                 | 5,4%                   | 4,9%               | 0,0%                 | -7,5%               | -4,5%             | -7,7%                       | -4,6%              | -2,2%              | -12,3%               |
| Juquitiba              | -0,9%                 | 2,0%                   | 0,0%               | 0,0%                 | -2,7%               | -1,7%             | -2,8%                       | -1,7%              | 0,0%               | 0,0%                 |
| Mairiporã              | -1,6%                 | 3,4%                   | 0,0%               | 0,0%                 | -4,7%               | -2,9%             | -4,9%                       | -2,9%              | -1,4%              | 0,0%                 |
| Mauá                   | -0,7%                 | 1,6%                   | 1,4%               | -0,8%                | -2,2%               | -1,3%             | -2,2%                       | -1,3%              | -0,6%              | -3,6%                |
| Mogi das Cruzes        | -1,4%                 | 2,9%                   | 2,7%               | 0,0%                 | -4,1%               | -2,5%             | -4,2%                       | -2,5%              | -1,2%              | 0,0%                 |
| Osasco                 | -1,9%                 | 4,1%                   | 3,7%               | -2,0%                | -5,7%               | -3,4%             | -5,8%                       | -3,4%              | -1,7%              | -9,2%                |
| Pirapora do Bom Jesus  | 0,0%                  | 0,0%                   | 0,0%               | 0,0%                 | -5,4%               | -3,3%             | 0,0%                        | 0,0%               | -1,6%              | 0,0%                 |
| Poá                    | -2,0%                 | 4,3%                   | 3,9%               | -2,1%                | -6,0%               | -3,6%             | -6,1%                       | -3,6%              | -1,8%              | 0,0%                 |
| Ribeirão Pires         | 0,0%                  | 0,0%                   | 0,0%               | 0,0%                 | 0,0%                | 0,0%              | 0,0%                        | 0,0%               | 0,0%               | 0,0%                 |
| Rio Grande da Serra    | 0,0%                  | -0,1%                  | -0,1%              | 0,0%                 | 0,0%                | 0,1%              | 0,0%                        | 0,0%               | 0,0%               | 0,0%                 |
| Salesópolis            | -1,5%                 | 3,3%                   | 0,0%               | 0,0%                 | 0,0%                | 0,0%              | 0,0%                        | 0,0%               | 0,0%               | 0,0%                 |
| Santa Isabel           | -1,1%                 | 2,5%                   | 2,2%               | 0,0%                 | 0,0%                | -2,1%             | -3,5%                       | 0,0%               | -1,0%              | 0,0%                 |
| Santana de Parnaíba    | -2,5%                 | 5,4%                   | 0,0%               | 0,0%                 | -7,5%               | -4,5%             | -7,7%                       | -4,6%              | -2,2%              | -12,3%               |
| Santo André            | -0,7%                 | 1,6%                   | 1,4%               | 0,0%                 | -2,2%               | -1,3%             | -2,2%                       | -1,3%              | -0,6%              | -3,6%                |
| São Bernardo do Campo  | -1,4%                 | 3,0%                   | 2,7%               | -1,5%                | -4,2%               | -2,5%             | -4,3%                       | -2,6%              | -1,2%              | -6,9%                |
| São Caetano do Sul     | -1,4%                 | 3,0%                   | 2,7%               | 0,0%                 | -4,2%               | -2,5%             | -4,3%                       | -2,6%              | -1,2%              | -6,9%                |
| São Lourenço da Serra  | 0,0%                  | 0,0%                   | 0,0%               | 0,0%                 | 0,0%                | -2,0%             | 0,0%                        | 0,0%               | 0,0%               | 0,0%                 |
| São Paulo              | -1,7%                 | 3,8%                   | 3,4%               | -1,8%                | -5,2%               | -3,2%             | -5,3%                       | -3,2%              | -1,5%              | -8,5%                |
| Suzano                 | -2,0%                 | 4,3%                   | 3,9%               | 0,0%                 | -6,0%               | -3,6%             | -6,1%                       | -3,6%              | -1,8%              | 0,0%                 |
| Taboão da Serra        | -2,1%                 | 4,6%                   | 4,2%               | -2,2%                | -6,4%               | -3,9%             | -6,5%                       | -3,9%              | -1,9%              | -10,4%               |
| Vargem Grande Paulista | -2,0%                 | 4,2%                   | 0,0%               | 0,0%                 | 0,0%                | 0,0%              | 0,0%                        | 0,0%               | -1,7%              | 0,0%                 |

Fonte: elaboração própria.

### 3.5.3 Impactos econômicos totais

Essa seção é dedicada aos resultados das simulações com o modelo B-MARIA. Os resultados apontam os efeitos totais sobre a economia dos municípios da RMSP e também resultados agregados nacionais.

#### 3.5.3.1 Canais de transmissão dos choques no modelo B-MARIA

A Figura 3.8 mostra os canais de propagação (dentro do modelo) dos choques na produtividade setorial devido às secas. Três efeitos podem ocorrer: efeitos setoriais, efeitos sobre os fatores de produção e efeitos regionais.

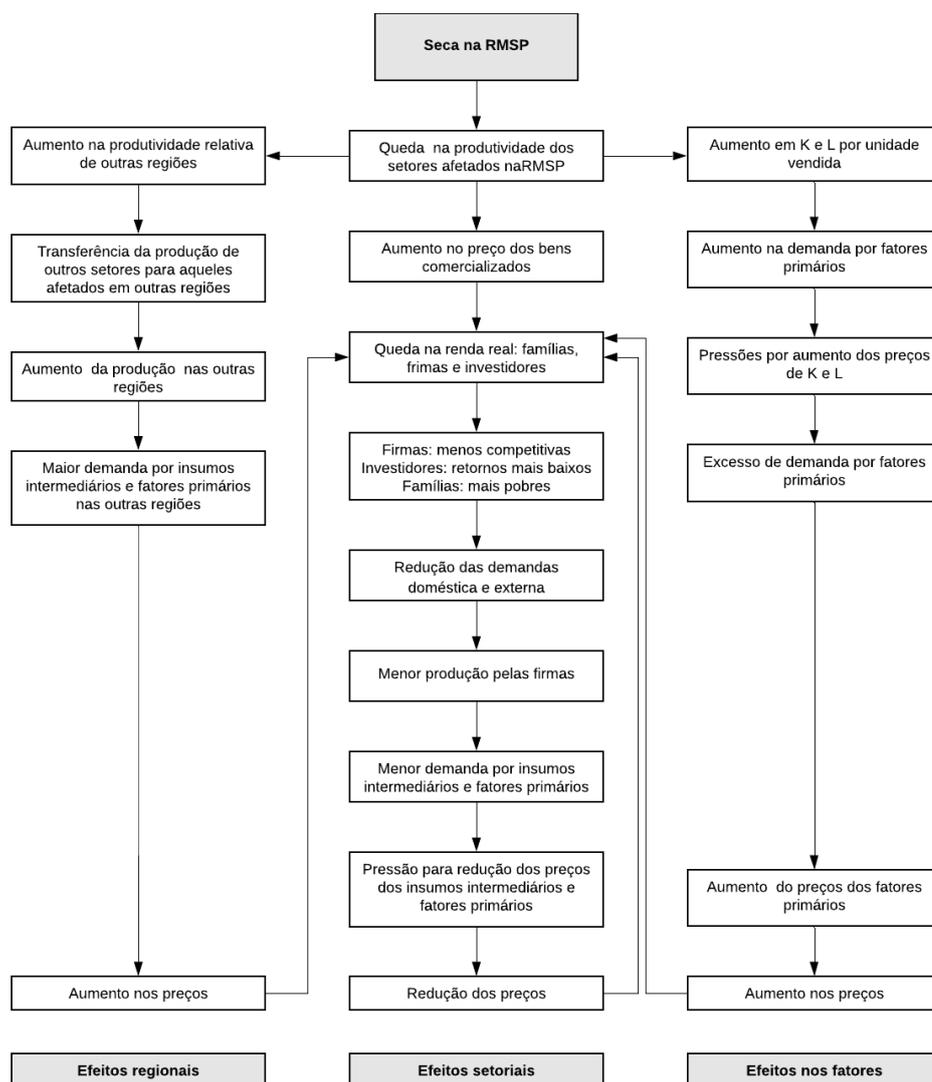
Os efeitos setoriais decorrem das variações dos preços dos bens comercializados pelas indústrias afetadas pelas secas. A queda na produtividade eleva o preço dos bens comercializados, já que são necessários mais insumos e/ou fatores na sua produção. Bens mais caros acarretam em redução da renda disponível das famílias, perda da competitividade das firmas e redução dos retornos dos investimentos. Isso culmina na redução da demanda pelos bens das firmas na região afetada, que por sua vez reduzem a produção e empregam menos fatores e insumos produtivos, levando a queda nos preços.

Por outro lado, têm-se os efeitos sobre os fatores produtivos. Quedas na produtividade significam que mais fatores deverão ser empregados na produção para mantê-la constante, aumentando a demanda e o preço destes.

Por fim, há o efeito regional. A queda na produtividade em indústrias da RMSP faz com que, *ceteris paribus*, a produtividade nesses mesmos setores mas de outras regiões aumente relativamente. Com isso as firmas na indústria afetada podem se transferir para essas regiões, aumentando seus níveis de atividade e deixando os fatores de produção ociosos na RMSP. Essa ociosidade causará redução de seus preços.

Quando há aumento da produtividade as relações explicadas ocorrem em sentido oposto. A princípio, o efeito total sobre os municípios da RMSP e as outras regiões do modelo (RSP e RBR) é desconhecido e depende da soma de forças dos três canais. O fechamento do modelo adotado nas simulações também influencia na soma final dos efeitos.

Figura 3.8 – Canais de transmissão dos choques no modelo EEGC



Fonte: elaboração própria.

### 3.5.3.2 Impactos sobre variáveis macroeconômicas agregadas

A partir dessa seção, o cenário RCP4.5 se referirá ao cenário com menor variação da intensidade das secas e o RCP8.5 ao de maior. Curto e longo prazos se referem aos fechamentos do modelo B-MARIA adotados nas simulações.

Inicia-se a apresentação dos resultados das simulações com a apresentação dos resultados de algumas variáveis macroeconômicas nacionais (Tabela 3.9). Os valores são a variação percentual em relação ao período base do modelo e mostram como a economia nacional é afetada por choques restritos a algumas atividades industriais na RMSP.

Em todos os cenários há quedas no PIB do Brasil, induzidas por diferentes componentes da demanda agregada, a depender das condições de ajus-

tamento aos choques. No curto prazo, o principal componente é a queda no volume de exportações, as quais perdem competitividade via aumento dos custos de produção. No longo prazo, onde todos os componentes da demanda são determinados endogenamente, tem-se desaquecimento da demanda interna direcionando adicionais da produção para o mercado externo, evidenciado pela variação positiva no volume de exportações.

Em termos monetários, no longo prazo a queda no PIB do Brasil equivaleria a aproximadamente 34 bilhões de reais no cenário RCP8.5 (maior intensidade) e 14,5 bilhões de reais no cenário RCP4.5 (menor intensidade)<sup>10</sup>. Como comparação, estimativas da Análise Estatística Anual de Desastres 2014 (GUHA-SAPIR et al., 2014) mostram que os impactos da seca de janeiro a abril de 2014 impuseram uma perda de 5 bilhões de dólares ao Brasil (26,4 bilhões de reais, com cotação de maio de 2021).

Segundo as simulações, as secas devem elevar os preços (ver deflator do PIB, lado da demanda) e os pagamentos aos fatores de produção no curto prazo e reduzi-los no longo prazo. Nas simulações de curto prazo, o canal de efeitos nos fatores prevaleceu. Como não há mobilidade, a maior demanda induz ao aumento no pagamento dos fatores primários e nos preços em geral. No longo prazo, o desaquecimento da demanda interna reduz a demanda por fatores primários, o que reflete nos pagamentos agregados.

Os resultados dessa seção mostram a relevância da produção industrial da RMSP para o Brasil. Quedas na produção de alguns setores industriais estabelecidos na RMSP podem levar a grandes perdas econômicas para o país devido ao encadeamento econômico da região. Assim, reduzir as vulnerabilidades às secas de setores produtivos da RMSP não é uma questão que deva ser tratada apenas a nível local.

---

<sup>10</sup> Valores calculados em relação ao PIB do Brasil de 2015 e corrigidos para valores de 2021 pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) do IBGE.

Tabela 3.9 – Impactos sobre variáveis macroeconômicas nacionais selecionadas - variação percentual em relação ao cenário base (2015)

| Variável                         | RCP4.5      |             | RCP8.5      |             |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                  | Curto prazo | Longo prazo | Curto prazo | Longo prazo |
| PIB                              | -0,02       | -0,19       | -0,05       | -0,45       |
| Consumo das famílias             | 0,01        | -0,30       | 0,02        | -0,73       |
| Investimento real agregado       | 0,00        | -0,24       | 0,00        | -0,57       |
| Consumo real do governo          | 0,01        | -0,00       | 0,03        | -0,01       |
| Consumo real das ISFLs           | 0,01        | -0,19       | 0,03        | -0,46       |
| Volume de exportações            | -0,13       | 0,09        | -0,32       | 0,21        |
| Volume de importações            | 0,09        | -0,25       | 0,23        | -0,61       |
| Deflator do PIB, lado da demanda | 0,10        | -0,21       | 0,25        | -0,49       |
| Pagamento agregado ao capital    | 0,07        | -0,32       | 0,18        | -0,77       |
| Pagamento agregado ao trabalho   | 0,08        | -0,47       | 0,20        | -1,15       |

Fonte: resultados das simulações.

### 3.5.3.3 Impactos regionais

Nesta seção de impactos regionais são apresentados os resultados das simulações referentes ao Produto Regional Bruto (PRB) (PIB municipal) e à renda disponível das famílias.

A Tabela 3.10 mostra o impacto dos choques (variação percentual) sobre o PRB dos municípios pertencentes à RMSP e das regiões RSP e RBR. Primeiramente, vê-se que na maioria dos cenários os efeitos são negativos em todos os municípios. Isso sinaliza que, mesmo nos cenários onde a intensidade da seca é menor, a economia das cidades metropolitanas podem sofrer efeitos adversos.

Ferraz de Vasconcelos parece ser um dos maiores afetados pelos choques. Nos cenários de longo prazo, o impacto sobre seu PRB deve ser de -1,63% no cenário RCP4.5 e -3,68% no RCP8.5. Nesse município, a metalurgia, a produção de máquinas elétricas e outros equipamentos de transporte são atividades de grande relevância para o município. Quedas nesses setores podem reduzir sobremaneira a produção total do município.

Franco da Rocha também aparece no topo dos municípios relativamente mais prejudicados. Nos cenários de longo prazo, o impacto sobre seu PRB deve ser de -0,82% no cenário RCP4.5 e -2,24% no RCP8.5. Nesse município estão presentes várias empresas ligadas à petroquímica, o que faz do setor de refino de petróleo e coquerias, um dos afetados diretamente pelas secas, relevante para sua economia.

Os resultados relativos ao PRB das regiões RSP e RBR têm direções opostas, a depender do fechamento do modelo. No curto prazo essas regiões se beneficiam com a perda a variação da produtividade causadas pelas secas na RMSP, mas no longo prazo a produção total dessas regiões tem variação

negativa, acompanhando os resultados dos municípios metropolitanos.

No Apêndice H são apresentados os impactos individuais de cada indústria sobre o PRB para os quatro cenários analisados. Eles permitem a visualização das indústrias que mais contribuem para o efeito total sobre o PRB de cada região do modelo. Na cidade de São Paulo, como exemplo, no cenário RPC8.5 - curto prazo, a variação negativa no RPB tem maior contribuição da produção de produtos de informática e eletrônicos (-0,07%), metalurgia (-0,06%) e produção de alimentos (-0,06%). No cenário no cenário RPC8.5 - longo prazo, as maiores contribuições vêm da produção de metais (-0,19%), produtos de informática e eletrônicos (-0,17%) e máquinas e equipamentos elétricos (-0,15%). As suposições sobre o funcionamento do modelo em cada fechamento estão por trás das diferenças entre os cenários de curto e longo prazos.

A cidade de São Paulo é uma das relativamente menos afetadas quando se observam os resultados das simulações referentes a variação percentual do PRB. Porém, em termos monetários, São Paulo desponta com as maiores perdas. Na Figura 3.9 são mostradas as perdas monetárias calculadas com base nas variações percentuais do cenário RCP8.5 - longo prazo e no valor do PIB municipal do ano de 2015.<sup>11</sup> Em São Paulo, as perdas potenciais estão em torno de 6,5 bilhões de reais (valores de maio de 2021). Em seguida aparecem Guarulhos, com perdas em torno de 1,2 bilhões de reais e Osasco, com perdas de 1 bilhão de reais.

A cidade de São Paulo é o grande centro de ligação da região metropolitana e oferece diversos serviços complementares à indústria, além de ter um enorme mercado consumidor. Assim, por todo o encadeamento produtivo e de renda e consumo, quedas na produção industrial dos setores sensíveis às secas podem levar a grandes perdas econômicas tal qual sugerido pelas simulações. Guarulhos e Osasco, além de populosas, são cidades com grande parque industrial que gera muitos empregos e renda. Por isso, se a indústria nesses municípios for afetada negativamente por secas, a perda monetária total imposta deverá ser grande.

Percebe-se, assim, que as características intrínsecas de cada municípios influenciam o quanto os mesmos podem ser afetados. Municípios mais densamente povoados ou onde a produção industrial tem maior peso para a economia do município tendem a sofrer maiores perdas econômicas.

---

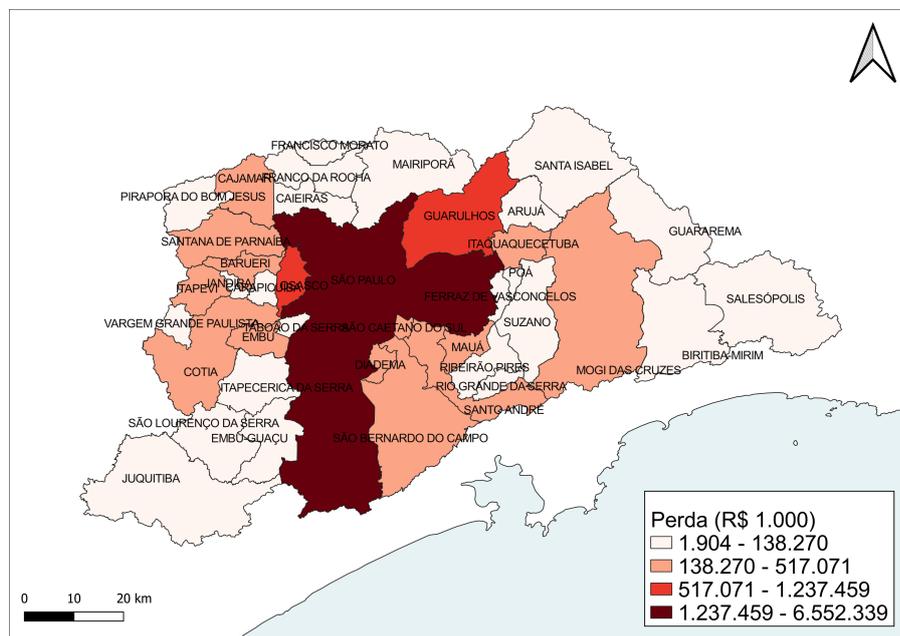
<sup>11</sup> Nos demais cenários o padrão espacial das perdas é o mesmo, mudando apenas a magnitude dos valores.

Tabela 3.10 – Impactos sobre o Produto Regional Bruto - variação percentual em relação ao cenário base (2015)

| Região                 | RCP4.5      |             | RCP8.5      |             |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                        | Curto prazo | Longo prazo | Curto prazo | Longo prazo |
| Arujá                  | -0,25       | -0,62       | -0,77       | -1,72       |
| Barueri                | -0,13       | -0,30       | -0,39       | -0,81       |
| Biritiba Mirim         | -0,02       | -0,34       | -0,06       | -0,84       |
| Caieiras               | -0,30       | -0,42       | -0,85       | -1,16       |
| Cajamar                | -0,44       | -0,75       | -1,44       | -2,24       |
| Carapicuíba            | -0,20       | -0,44       | -0,55       | -1,14       |
| Cotia                  | -0,36       | -0,56       | -1,12       | -1,67       |
| Diadema                | -0,34       | -0,54       | -1,20       | -1,78       |
| Embu das Artes         | -0,28       | -0,57       | -0,87       | -1,63       |
| Embu-Guaçu             | -0,25       | -0,44       | -0,70       | -1,17       |
| Ferraz de Vasconcelos  | -1,29       | -1,63       | -2,89       | -3,68       |
| Francisco Morato       | -0,05       | -0,23       | -0,14       | -0,59       |
| Franco da Rocha        | -0,54       | -0,82       | -1,54       | -2,24       |
| Guararema              | -0,16       | -0,50       | -0,93       | -1,91       |
| Guarulhos              | -0,58       | -0,86       | -1,11       | -1,74       |
| Itapeerica da Serra    | -0,06       | -0,31       | -0,40       | -1,07       |
| Itapevi                | -0,33       | -0,67       | -0,97       | -1,82       |
| Itaquaquecetuba        | -0,71       | -1,04       | -1,59       | -2,34       |
| Jandira                | -0,33       | -0,55       | -0,96       | -1,53       |
| Juquitiba              | -0,04       | -0,34       | -0,15       | -0,90       |
| Mairiporã              | -0,20       | -0,43       | -0,57       | -1,15       |
| Mauá                   | -0,02       | -0,16       | -0,70       | -1,13       |
| Mogi das Cruzes        | -0,18       | -0,47       | -0,68       | -1,46       |
| Osasco                 | -0,10       | -0,45       | -0,26       | -1,14       |
| Pirapora do Bom Jesus  | -0,46       | -0,56       | -1,47       | -1,73       |
| Poá                    | -0,43       | -0,64       | -0,96       | -1,45       |
| Ribeirão Pires         | 0,41        | 0,36        | -0,01       | -0,28       |
| Rio Grande da Serra    | 0,52        | 0,37        | 0,06        | -0,57       |
| Salesópolis            | -0,01       | -0,31       | -0,03       | -0,76       |
| Santa Isabel           | -0,05       | -0,33       | -0,20       | -0,91       |
| Santana de Parnaíba    | -0,33       | -0,57       | -0,96       | -1,60       |
| Santo André            | -0,01       | -0,15       | -0,24       | -0,64       |
| São Bernardo do Campo  | -0,15       | -0,25       | -0,51       | -0,77       |
| São Caetano do Sul     | -0,16       | -0,37       | -0,52       | -1,06       |
| São Lourenço da Serra  | -0,01       | -0,26       | -0,07       | -0,70       |
| São Paulo              | -0,13       | -0,32       | -0,28       | -0,75       |
| Suzano                 | -0,25       | -0,40       | -0,56       | -0,93       |
| Taboão da Serra        | -0,30       | -0,59       | -0,63       | -1,31       |
| Vargem Grande Paulista | -0,04       | -0,33       | -0,20       | -0,92       |
| Resto de São Paulo     | 0,01        | -0,16       | 0,03        | -0,38       |
| Resto do Brasil        | 0,01        | -0,14       | 0,02        | -0,35       |

Fonte: resultados das simulações.

Figura 3.9 – Perdas econômicas (R\$ 1.000) calculadas a partir do PIB municipal do período base (2015), cenário RCP8.5 - longo prazo



Fonte: resultado das simulações.

Nota: Valor calculado em relação ao PIB municipal de 2015 e corrigido para valores de 2020 pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) do IBGE.

Na Tabela 3.11 estão os resultados (em pontos percentuais) dos efeitos sobre a renda disponível das famílias. Comparando os resultados das simulações de curto e longo prazo, vê-se que há algumas diferenças entre eles. Enquanto no longo prazo o efeito é negativo em todos os municípios, no curto prazo em alguns o efeito é positivo, porém relativamente pequeno.

No curto prazo, quando é imposta a imobilidade dos fatores, as empresas podem empregar mais trabalhadores para manter a produção constante, o que culmina com aumento da renda do trabalho (esse é o efeito sobre os fatores de produção). No longo prazo, a maior mobilidade faz com que as indústrias se desloquem para regiões mais atrativas, deixando de utilizar os fatores dos municípios da RMS, o que se reflete nos pagamentos aos fatores e consequentemente, na redução da renda disponível. No modelo, o consumo das famílias é função da renda disponível, então, as variações nessa variável seguem a mesma tendência e indicam que pode haver uma perda geral de bem estar nos municípios.

Tabela 3.11 – Impactos sobre o a renda disponível - variação percentual em relação ao cenário base (2015)

| Região                 | RCP4.5      |             | RCP8.5      |             |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                        | Curto prazo | Longo prazo | Curto prazo | Longo prazo |
| Arujá                  | -0,00       | -0,69       | -0,06       | -1,75       |
| Barueri                | 0,03        | -0,54       | 0,04        | -1,35       |
| Biritiba Mirim         | 0,07        | -0,56       | 0,16        | -1,36       |
| Caieiras               | -0,00       | -0,52       | -0,04       | -1,31       |
| Cajamar                | 0,00        | -0,64       | -0,08       | -1,68       |
| Carapicuíba            | 0,04        | -0,56       | 0,09        | -1,38       |
| Cotia                  | -0,04       | -0,63       | -0,19       | -1,65       |
| Diadema                | 0,00        | -0,59       | -0,11       | -1,60       |
| Embu das Artes         | 0,01        | -0,65       | -0,05       | -1,67       |
| Embu-Guaçu             | 0,06        | -0,54       | 0,13        | -1,33       |
| Ferraz de Vasconcelos  | -0,15       | -0,79       | -0,30       | -1,84       |
| Francisco Morato       | 0,08        | -0,51       | 0,18        | -1,25       |
| Franco da Rocha        | 0,02        | -0,60       | 0,03        | -1,50       |
| Guararema              | 0,04        | -0,65       | -0,12       | -1,86       |
| Guarulhos              | -0,07       | -0,71       | -0,08       | -1,61       |
| Itapeerica da Serra    | 0,07        | -0,55       | 0,12        | -1,43       |
| Itapevi                | 0,02        | -0,64       | 0,01        | -1,60       |
| Itaquaquecetuba        | -0,10       | -0,75       | -0,19       | -1,76       |
| Jandira                | 0,02        | -0,58       | 0,01        | -1,46       |
| Juquitiba              | 0,08        | -0,55       | 0,18        | -1,35       |
| Mairiporã              | 0,03        | -0,59       | 0,04        | -1,46       |
| Mauá                   | 0,10        | -0,44       | 0,11        | -1,25       |
| Mogi das Cruzes        | 0,03        | -0,62       | -0,03       | -1,64       |
| Osasco                 | 0,04        | -0,64       | 0,09        | -1,56       |
| Pirapora do Bom Jesus  | -0,01       | -0,49       | -0,08       | -1,25       |
| Poá                    | -0,01       | -0,59       | -0,01       | -1,40       |
| Ribeirão Pires         | 0,14        | -0,36       | 0,17        | -1,11       |
| Rio Grande da Serra    | 0,23        | -0,36       | 0,25        | -1,25       |
| Salesópolis            | 0,08        | -0,53       | 0,19        | -1,29       |
| Santa Isabel           | 0,06        | -0,58       | 0,11        | -1,45       |
| Santana de Parnaíba    | -0,03       | -0,65       | -0,14       | -1,66       |
| Santo André            | 0,08        | -0,47       | 0,13        | -1,23       |
| São Bernardo do Campo  | 0,03        | -0,49       | 0,05        | -1,22       |
| São Caetano do Sul     | 0,03        | -0,60       | 0,05        | -1,50       |
| São Lourenço da Serra  | 0,08        | -0,51       | 0,18        | -1,26       |
| São Paulo              | 0,04        | -0,55       | 0,10        | -1,33       |
| Suzano                 | -0,02       | -0,52       | -0,02       | -1,25       |
| Taboão da Serra        | -0,01       | -0,67       | 0,01        | -1,59       |
| Vargem Grande Paulista | 0,06        | -0,54       | 0,12        | -1,36       |
| Resto de São Paulo     | 0,10        | -0,45       | 0,25        | -1,10       |
| Resto do Brasil        | 0,09        | -0,45       | 0,23        | -1,10       |

Fonte: resultados das simulações.

#### 3.5.3.4 Impactos setoriais

Para analisar os efeitos setoriais dos choques simulados, os setores do modelo EEGC foram agrupados em três grupos, cada um contendo os 10 setores mais afetados em termos de magnitude. O primeiro grupo mostra os efeitos totais sobre as dez indústrias afetadas diretamente; o segundo mostra os efeitos sobre as outras indústrias (incluem a indústria da transformação, extrativa, construção e utilidades públicas); e por último os setores ligados ao comércio e serviços. As 41 regiões foram agrupadas em quatro para facilitar a visualização: (1) cidade de São Paulo, (2) média da RMSP (sem a cidade de São Paulo), (3) demais municípios do estado de São Paulo (RSP) e (4) demais regiões do Brasil (RBR). Os resultados para o curto prazo estão na Tabela 3.12 e os de longo prazo na Tabela 3.13. Os dados nessas tabelas se referem às variações no nível de atividades setorial em relação ao período base.

Referente aos resultados das simulações com fechamento de curto prazo, como nos demais resultados já apresentados, o cenário RCP8.5 tem impactos bem maiores que o cenário RCP4.5. Em quase todos os setores apresentados, o efeito sobre o nível das atividades na cidade de São Paulo é bem maior do que nas atividades dos demais municípios da área metropolitana. Isso ocorre porque a produção industrial se concentra em sua maioria na cidade de São Paulo, como mostrado na Tabela 3.1. No cenário correspondente a seca com maior intensidade (RCP8.5), a perda no nível de atividade pode chegar a mais de 10% na fabricação de equipamentos de informática na cidade de São Paulo.

No grupo das indústrias diretamente afetadas se pode observar o efeito regional explicado anteriormente. Nos setores onde houve queda (aumento) do nível de atividade na RMSP, houve aumento (queda) em outras regiões (RSP e RBR). Esse é o caso, como exemplo, da metalurgia, produtos de metal, fabricação de produtos de informática e máquinas elétricas e mecânicas. A produção desses setores se torna mais competitiva em regiões fora da RMSP, o que se traduz em maior nível de atividade.

Os efeitos sobre outras indústrias, comércio e serviços são efeitos *spillovers* que ocorrem devido ao encadeamento produtivo dos setores afetados diretamente. Ao ter a produção negativamente afetada, uma indústria pode demandar menos insumos produtivos, reduzindo assim a produção de seus fornecedores; pode também repassar os maiores custos da produção aos seus produtos, afetando seus consumidores ou outras atividades relacionadas ao comércio do bem final. Por conta dessas ligações se faz necessário incluir os efeitos *spillovers* ou indiretos em análises de vulnerabilidades locais às secas.

Dentre as indústrias indiretamente afetadas, destaca-se aqui o efeito sobre a produção de automóveis, caminhões e ônibus. Pelo modelo econométrico não foram encontradas evidências de que sua produção fosse afetada diretamente por secas, mas as simulações com o modelo EEGC sugerem que ela pode ser afetada pela sua dependência dos outros setores. Ela é dependente, dentre outros, da produção de produtos de metal e de máquinas e equipamentos elétricos e mecânicos, que podem ser diretamente afetadas por secas. A fabricação de bebidas e manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos também figuram entre as mais afetadas indiretamente.

Sobre as atividades de comércio e serviços, todos os efeitos encontrados têm sinal negativo. Em termos de magnitude, os maiores efeitos estão em setores que dependem do dinamismo atual de negócios na economia, como transporte terrestre, aéreo e aquático, alojamento e armazenamento. Essas são atividades complementares à produção industrial, então é provável que sejam as principais a sentirem os efeitos de variações na produção.

Algumas diferenças são encontradas quando comparados os resultados de curto e longo prazos nas indústrias afetadas diretamente. Uma delas é o efeito negativo na produção da indústria de alimentos e refino de petróleo nas regiões RSP e RBR (no curto prazo o efeito era positivo). Pode ser que a queda no nível geral das atividades na RMSP, bem maior no longo prazo, tenha reduzido a demanda pelos produtos desses setores provenientes de outras regiões e, assim, seus níveis de atividade são reduzidos.

Em relação às outras indústrias e comércio e serviços, a diferença fica por conta da aparição do setor de construção e atividades mobiliárias entre os mais afetados. Enquanto no curto prazo os mais afetados são aqueles serviços relacionados ao nível atual de negócios, no longo prazo, os setores mais afetados parecem ser aqueles ligados à infraestrutura. Isso sugere que as firmas são induzidas a transferir a produção para regiões mais atrativas, reduzindo a demanda por instalações, o que reflete na queda no nível de atividade dos setores citados. Também figuram em destaque os setores ligados à prestação de serviços como saúde e educação privadas e atividades artísticas. Isso pode estar relacionado com a queda nos pagamentos aos fatores do trabalho e à renda disponível.

Com esses resultados de longo prazo vê-se mais claramente como toda a economia de uma região pode ser afetada por uma seca. Mesmo atividades de serviços pessoais e de comércio, que parecem não ter relação direta com as secas, podem sofrer os impactos adversos porque dependem da renda gerada pelos setores diretamente afetados.

Em resumo, os resultados setoriais mostram que os efeitos das secas sobre alguns setores específicos não ficam restritos a eles. Indiretamente, diversas outras atividades econômicas são impactadas, o que contribui para a queda da renda e do PRB mostrados anteriormente.

Os resultados tanto de curto como de longo prazo também mostram que devem ocorrer aumentos relativos no nível de atividade em alguns setores em regiões fora da RMSP. Situações frequentes de secas podem aumentar os custos produtivos e fazer cair o nível de produtividade das indústrias situadas na RMSP, de modo que transferir a produção para locais que apresentem ganhos relativos na produção se torna vantajoso. Como discutido na Seção 3.3, nos últimos anos têm ocorrido um processo de desconcentração das atividades industriais para fora da RMSP e em direção às outras regiões do estado de São Paulo. Ainda não há evidências da influência de eventos extremos, como secas, nesse processo. Porém, se considerados os resultados das simulações realizadas nesse trabalho, pode ser que a ocorrência de secas na RMSP influencie as decisões de localização das atividades produtivas ou investimentos ligados a elas.

Tabela 3.12 – Impactos- variação percentual em relação ao cenário base (2015)- sobre o nível de atividade setorial por local de produção, cenários de curto prazo

| Setor  | RCP4.5    |            |       |       | RCP8.5    |            |       |       |
|--|-----------|------------|-------|-------|-----------|------------|-------|-------|
|  | São Paulo | Média RMSP | RSP   | RBR   | São Paulo | Média RMSP | RSP   | RBR   |
| <b><u>Indústrias afetadas diretamente</u></b>                              |           |            |       |       |           |            |       |       |
| 3.Indústria alimentícia  | -1,28     | -0,71      | 0,02  | 0,02  | -2,8      | -2,24      | 0,06  | 0,04  |
| 7.Confecção de artefatos do vestuário e acessórios                         | 2,74      | 1,28       | -0,16 | -0,12 | 5,98      | 4,19       | -0,37 | -0,27 |
| 8.Fabricação de calçados e de artefatos de couro                           | 1,95      | 1,02       | -0,02 | -0,01 | 4,27      | 3,11       | -0,04 | -0,03 |
| 12.Refino de petróleo e coquerias  | -0,91     | -0,24      | 0,02  | 0,02  | -1,99     | -0,68      | 0,06  | 0,05  |
| 18.Metalurgia  | -3,11     | -1,61      | 0,12  | 0,06  | -6,84     | -4,77      | 0,30  | 0,15  |
| 19.Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos         | -1,89     | -1,02      | 0,31  | 0,23  | -4,05     | -3,33      | 0,73  | 0,56  |
| 20.Fabricação de equipamentos de informática                               | -4,75     | -2,02      | 0,35  | 0,25  | -10,32    | -6,36      | 0,86  | 0,61  |
| 21.Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos                         | -1,94     | -0,98      | 0,29  | 0,26  | -4,2      | -3,05      | 0,68  | 0,62  |
| 22.Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos                         | -1,11     | -0,66      | 0,07  | 0,07  | -2,41     | -2,00      | 0,18  | 0,16  |
| 24.Fabricação de outros equipamentos de transporte                         | -2,69     | -1,48      | -0,04 | 0,03  | -5,94     | -4,15      | -0,1  | 0,06  |
| <b><u>Outras indústrias</u></b>  |           |            |       |       |           |            |       |       |
| 4.Fabricação de bebidas  | -0,18     | -0,03      | -0,02 | -0,01 | -0,42     | -0,07      | -0,04 | -0,01 |
| 26.Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos           | -0,16     | -0,12      | -0,02 | 0,00  | -0,37     | -0,32      | -0,04 | -0,01 |
| 23.Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus                            | -0,15     | -0,13      | -0,03 | 0,00  | -0,37     | -0,35      | -0,07 | 0,00  |
| 14.Fabricação de produtos químicos   | -0,10     | -0,04      | -0,02 | -0,01 | -0,25     | -0,12      | -0,06 | -0,04 |
| 9.Fabricação de produtos da madeira  | -0,08     | -0,04      | -0,02 | -0,02 | -0,20     | -0,11      | -0,06 | -0,06 |
| 10.Fabricação de celulose, papel e produtos de papel                       | -0,07     | -0,03      | -0,02 | -0,02 | -0,18     | -0,08      | -0,06 | -0,06 |
| 16.Fabricação de produtos de borracha e de material plástico               | -0,07     | -0,04      | -0,01 | 0,00  | -0,17     | -0,12      | -0,04 | -0,01 |
| 17.Fabricação de produtos de minerais não-metálicos                        | -0,06     | -0,04      | -0,02 | -0,01 | -0,15     | -0,11      | -0,05 | -0,02 |
| 11.Impressão e reprodução de gravações                                     | -0,04     | -0,03      | 0,01  | 0,01  | -0,09     | -0,08      | 0,01  | 0,02  |
| 25.Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas               | -0,04     | -0,04      | -0,01 | 0,00  | -0,10     | -0,10      | -0,02 | 0,00  |
| <b><u>Comércio e serviços</u></b>  |           |            |       |       |           |            |       |       |
| 31.Transporte terrestre  | -0,08     | -0,04      | 0,00  | 0,01  | -0,18     | -0,13      | 0,01  | 0,02  |
| 33.Transporte aéreo  | -0,08     | -0,02      | -0,01 | 0,01  | -0,21     | -0,06      | -0,03 | 0,03  |
| 35.Alojamento  | -0,07     | -0,05      | -0,04 | -0,02 | -0,18     | -0,14      | -0,10 | -0,06 |
| 32.Transporte aquático   | -0,06     | 0,00       | -0,03 | -0,03 | -0,16     | -0,01      | -0,07 | -0,07 |
| 34.Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio          | -0,05     | -0,03      | 0,00  | 0,00  | -0,12     | -0,09      | -0,01 | 0,01  |
| 46.Aluguéis não-imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual | -0,05     | -0,03      | -0,02 | -0,02 | -0,11     | -0,07      | -0,04 | -0,05 |
| 30.Comércio por atacado e a varejo   | -0,04     | -0,02      | 0,01  | 0,01  | -0,09     | -0,07      | 0,01  | 0,01  |
| 44.Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P & D   | -0,04     | -0,02      | -0,02 | -0,01 | -0,10     | -0,05      | -0,04 | -0,03 |
| 36.Alimentação   | -0,03     | -0,02      | 0,00  | 0,00  | -0,07     | -0,07      | 0,00  | 0,01  |
| 43.Atividades jurídicas, contábeis, consultoria e sedes de empresas        | -0,03     | -0,02      | 0,00  | 0,00  | -0,07     | -0,05      | -0,01 | 0,00  |

Fonte: resultados das simulações.

Tabela 3.13 – Impactos- variação percentual em relação ao cenário base (2015)- sobre o nível de atividade setorial por local de produção, cenários de longo prazo

| Setor  | RCP4.5    |            |       |       | RCP8.5    |            |       |       |
|--|-----------|------------|-------|-------|-----------|------------|-------|-------|
|  | São Paulo | Média RMSP | RSP   | RBR   | São Paulo | Média RMSP | RSP   | RBR   |
| <b>Indústrias afetadas diretamente</b>                             |           |            |       |       |           |            |       |       |
| 3.Indústria alimentícia  | -1,47     | -0,98      | -0,12 | -0,13 | -3,24     | -2,94      | -0,29 | -0,32 |
| 7.Confecção de artefatos do vestuário e acessórios                 | 2,69      | 1,13       | -0,39 | -0,31 | 5,82      | 3,90       | -0,92 | -0,72 |
| 8.Fabricação de calçados e de artefatos de couro                   | 2,04      | 0,98       | -0,10 | -0,08 | 4,49      | 3,03       | -0,25 | -0,18 |
| 12.Refino de petróleo e coquerias                                  | -1,15     | -0,35      | -0,19 | -0,16 | -2,56     | -0,97      | -0,45 | -0,39 |
| 18.Metalurgia  | -3,07     | -1,70      | 0,18  | 0,14  | -6,70     | -5,04      | 0,44  | 0,35  |
| 19.Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos | -2,08     | -1,18      | 0,26  | 0,17  | -4,49     | -3,80      | 0,62  | 0,40  |
| 20.Fabricação de equipamentos de informática                       | -4,94     | -2,16      | 0,23  | 0,13  | -10,78    | -6,76      | 0,55  | 0,33  |
| 21.Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos                 | -2,09     | -1,10      | 0,23  | 0,18  | -4,54     | -3,36      | 0,53  | 0,44  |
| 22.Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos                 | -1,18     | -0,78      | 0,05  | 0,04  | -2,57     | -2,34      | 0,13  | 0,10  |
| 24.Fabricação de outros equipamentos de transporte                 | -2,53     | -1,50      | 0,08  | 0,03  | -5,54     | -4,20      | 0,19  | 0,06  |
| <b>Outras indústrias</b>   |           |            |       |       |           |            |       |       |
| 27.Energia elétrica, gás natural e outras utilidades               | -0,31     | -0,22      | -0,26 | -0,23 | -0,75     | -0,56      | -0,63 | -0,55 |
| 29.Construção  | -0,29     | -0,34      | -0,24 | -0,20 | -0,70     | -0,89      | -0,58 | -0,49 |
| 5.Fabricação de produtos do fumo                                   | -0,25     | -0,02      | -0,26 | -0,07 | -0,60     | -0,05      | -0,64 | -0,17 |
| 26.Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos   | -0,25     | -0,26      | -0,06 | -0,06 | -0,58     | -0,71      | -0,16 | -0,14 |
| 25.Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas       | -0,24     | -0,28      | -0,19 | -0,17 | -0,59     | -0,72      | -0,46 | -0,42 |
| 23.Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus                    | -0,23     | -0,20      | -0,13 | -0,12 | -0,55     | -0,53      | -0,32 | -0,29 |
| 28.Água, esgoto e gestão de resíduos                               | -0,18     | -0,23      | -0,21 | -0,17 | -0,43     | -0,61      | -0,50 | -0,41 |
| 16.Fabricação de produtos de borracha e de material plástico       | -0,17     | -0,15      | -0,08 | -0,09 | -0,41     | -0,39      | -0,20 | -0,21 |
| 11.Impressão e reprodução de gravações                             | -0,16     | -0,16      | -0,15 | -0,11 | -0,39     | -0,45      | -0,36 | -0,27 |
| 15.Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos            | -0,14     | -0,13      | -0,18 | -0,19 | -0,34     | -0,34      | -0,43 | -0,45 |
| <b>Comércio e serviços</b>   |           |            |       |       |           |            |       |       |
| 42.Atividades imobiliárias   | -0,42     | -0,43      | -0,35 | -0,34 | -1,00     | -1,10      | -0,84 | -0,81 |
| 36.Alimentação   | -0,28     | -0,33      | -0,21 | -0,21 | -0,67     | -0,87      | -0,52 | -0,52 |
| 55.Organizações associativas e outros serviços pessoais            | -0,26     | -0,34      | -0,21 | -0,20 | -0,61     | -0,89      | -0,52 | -0,48 |
| 31.Transportes terrestres  | -0,25     | -0,28      | -0,16 | -0,16 | -0,59     | -0,77      | -0,39 | -0,39 |
| 30.Comércio por atacado e a varejo                                 | -0,24     | -0,31      | -0,17 | -0,18 | -0,58     | -0,81      | -0,42 | -0,42 |
| 39.Telecomunicações  | -0,23     | -0,25      | -0,24 | -0,20 | -0,56     | -0,66      | -0,58 | -0,48 |
| 41.Intermediação financeira, seguros e previdência complementar    | -0,21     | -0,31      | -0,22 | -0,15 | -0,50     | -0,81      | -0,53 | -0,36 |
| 53.Saúde privada   | -0,21     | -0,31      | -0,19 | -0,17 | -0,50     | -0,81      | -0,47 | -0,41 |
| 54.Atividades artísticas, criativas e de espetáculos               | -0,19     | -0,27      | -0,15 | -0,16 | -0,47     | -0,71      | -0,37 | -0,38 |
| 51.Educação privada  | -0,18     | -0,25      | -0,01 | -0,02 | -0,43     | -0,66      | -0,02 | -0,04 |

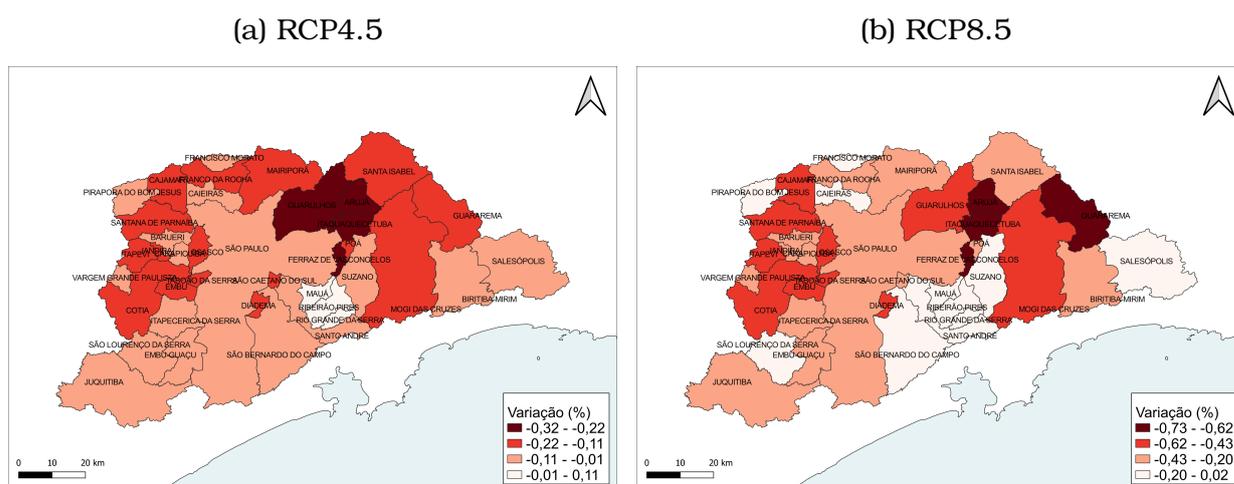
Fonte: resultados das simulações.

### 3.5.3.5 Impactos sobre migração

No fechamento de longo prazo do modelo é permitida a mobilidade regional dos fatores, ou seja, os trabalhadores podem deixar o município em que vivem atraídos por melhores condições de trabalho em outras regiões. Dentro do modelo, essa movimentação é mensurada como uma variação da população residente, cujos resultados para os dois cenários de longo prazo são mostrados nas Figuras 3.10a e 3.10b. Quanto mais escura a cor do município, maior deve ser a redução da população municipal ocasionada pelos choques na produção.

No Cenário RCP4.5 (seca de menor intensidade), os municípios com as maiores reduções na população residente são Ferraz de Vasconcelos (-0,32%), Itaquaquecetuba (-0,28%), Guarulhos (-0,24%) e Arujá (-0,22%). As regiões Resto de São Paulo (RSP) e Resto do Brasil (RBR) são as únicas que apresentam crescimento da população (ambas com variação 0,01%), sugerindo que a população da RMSP possa migrar para elas em decorrência dos efeitos econômicos causados pelas secas. No Cenário RCP8.5 (seca de maior intensidade), as maiores quedas estão em Guararema (-0,73%), Ferraz de Vasconcelos (-0,71%), Itaquaquecetuba (-0,63%) e Arujá (-0,62%). Novamente as regiões RSP e RBR apresentam resultados positivos, sendo 0,03% na primeira e 0,02% na segunda.

Figura 3.10 – Impactos- variação percentual em relação ao cenário base (2015) - na população residente dos municípios da RMSP, cenários de longo prazo



Projeções do Sistema de Projeções Populacionais da Fundação Seade,<sup>12</sup> que levam em consideração dados de fecundidade, mortalidade e migração,

<sup>12</sup> <https://produtos.seade.gov.br/produtos/projpop/index.php>

mostram uma taxa de crescimento populacional decrescente até 2045 na RMSP. Ou seja, a população da região crescerá a taxas cada vez menores e, partir de 2050, deve começar a se reduzir (crescimento populacional negativo). Se considerados os resultados das simulações, esse padrão pode ser influenciado por eventos de seca, já que esses incentivam a migração da população residente na RMSP para regiões não afetadas e desencorajam a migração de outras regiões para a RMSP.

Os efeitos socioeconômicos na RMSP decorrentes desses movimentos populacionais são incertos. Por um lado, seriam maléficos, pois geralmente é a mão de obra mais qualificada que tem mais chances de migrar. Mas por outro, a população que pode ser afetada por uma seca seria menor, reduzindo assim a vulnerabilidade da região aos eventos futuros de secas.

#### 3.5.3.6 Impactos por sub-bacia hidrográfica

Questões relacionadas às secas e ao uso de recursos hídricos são comumente discutidas para além dos limites municipais. No Estado de São Paulo, parte do gerenciamento dos recursos hídricos é feito no âmbito das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs). Por isso, é interessante apresentar os resultados das simulações tendo em vista os limites estabelecidos pelas associações relacionadas às UGRHIs.

Como já mencionado previamente, a RMSP se encontra majoritariamente dentro da BAT (UGRHI 6).<sup>13</sup> Por sua vez, a BAT é dividida em cinco sub-bacias e cada uma delas possui seu próprio subcomitê de gerenciamento hídrico: Billings/Tamanduateí, Cabeceiras, Cotia/Guarapiranga, Juqueri/Cantareira e Penha/Pinheiros/Pirapora. A divisão das sub-bacias é definida em função das suas características topográficas e hidrológicas (características de uso e ocupação do solo).

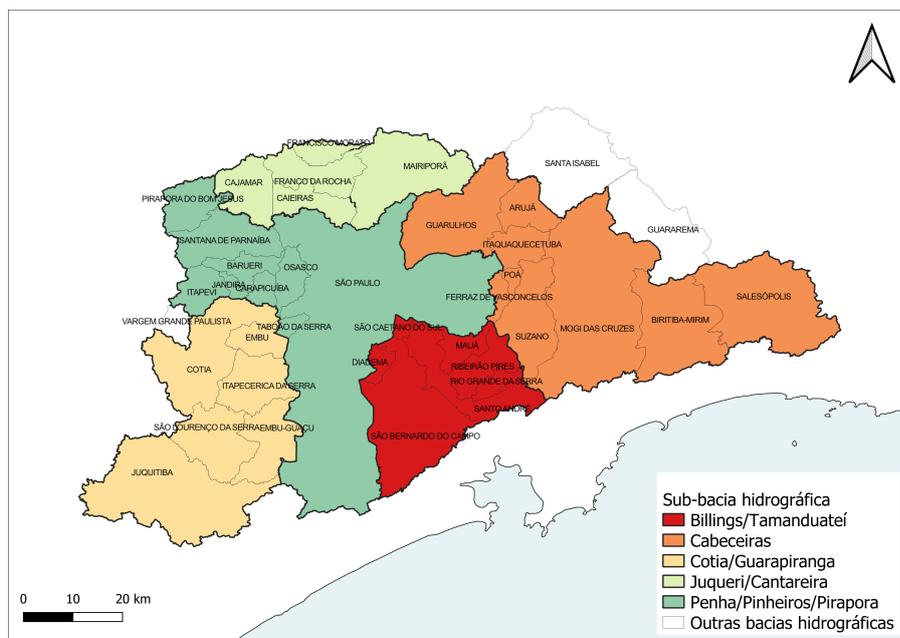
Para agregar os resultados municipais foi adotada a divisão dos municípios da RMSP em sub-bacias conforme disposto pela Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê – FABHAT (2016). Essa divisão é apresentada na Figura 3.11. Complementarmente, a Tabela 3.14 traz algumas informações sobre as sub-bacias, como as vazões, a população total e a disponibilidade hídrica.

Observando os dados de disponibilidade hídrica, vê-se que a sub-bacia Penha/Pinheiros/Pirapora é a que apresenta a maior criticidade (demanda

<sup>13</sup> Dos 39 municípios da RMSP, 36 municípios fazem parte do Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (CBH-AT).

muito superior à oferta). Isso se deve a grande concentração populacional na área abrangida por ela, que inclui a cidade de São Paulo. Por outro lado, a baixa densidade faz com que a sub-bacia do Juqueri/Cantareira tenha uma situação hídrica mais confortável em relação as demais.

Figura 3.11 – Divisão dos municípios da RMSP em sub-bacias hidrográficas



Fonte: elaboração própria com dados da Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê – FABHAT (2016).

Tabela 3.14 – Características das sub-bacias da BAT

| Sub-bacia                | Área<br>(km <sup>2</sup> ) | Q95%<br>(m <sup>3</sup> /s) | Qmédia<br>(m <sup>3</sup> /s) | População<br>(hab.) | Disponibilidade<br>hídrica<br>(m <sup>3</sup> /hab.ano) |
|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------|---|
| Billings/Tamanduateí     | 824,08                     | 5,31                        | 16,46                         | 3.602.274           | 144,10  |
| Cabeceiras               | 1.859,24                   | 11,98                       | 37,14                         | 3.878.105           | 302,02  |
| Cotia/Guarapiranga       | 858,41                     | 5,53                        | 17,15                         | 1.073.022           | 504,04  |
| Juqueri/Cantareira       | 848,71                     | 5,47                        | 16,95                         | 548.616             | 974,33  |
| Penha/Pinheiros/Pirapora | 1.384,69                   | 8,92                        | 27,66                         | 11.156.787          | 78,18   |
| Total                    | 5.775,13                   | 37,21                       | 115,36                        | 20.258.804          | 179,58  |

Fonte: Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê – FABHAT (2019).

Nota: Q95% = vazão da bacia em 95% do tempo. Qmédia = vazão média.

Seguindo essa classificação, alguns resultados municipais apresentados anteriormente foram agregados para analisar os efeitos econômicos tendo como base as sub-bacias. Esses resultados estão na Tabela 3.15.

Em termos de variação percentual do PRB e da renda disponível das famílias (média da variação dos municípios da sub-bacia), em ambos os cenários apresentados, as variações são bem próximas, sendo a região da sub-bacia de Cabeceiras aquela com maiores impactos negativos. Em termos de

perdas econômicas totais (soma do perda sobre o PIB dos municípios pertencentes à sub-bacia), as maiores estão, respectivamente, nas regiões de Penha/Pinheiros/ Pirapora, Cabeceiras e Billings/Tamanduateí. São essas as regiões com as menores disponibilidades hídricas de toda a região da BAT. Assim, os resultados sugerem que as perdas econômicas associadas às secas são maiores nas sub-bacias hidrográficas com menor disponibilidade hídrica.

Além da perda de bem-estar causada por restrições no fornecimento de água, a população residente nas sub-bacias com as menores disponibilidades hídricas pode sofrer também por conta dos impactos econômicos decorrentes da redução da atividade industrial causada por secas. Os órgãos competentes pela gestão das bacias terão o desafio de geri-las levando em consideração tanto o nível de criticidade dos recursos hídricos quanto a grande perda econômica e social que pode ocorrer caso haja alguma restrição ao seu acesso.

Tabela 3.15 – Variação percentual média (%) do PRB e da Renda Disponível das famílias e Perda Econômica (R\$ 1000) por sub-bacia e cenários RCP4.5 e RCP8.5 - longo prazo

| Sub-bacia                | RCP4.5  |                      |                            | RCP8.5  |                      |                            |
|--------------------------|---------|----------------------|----------------------------|---------|----------------------|----------------------------|
|                          | PRB (%) | Renda disponível (%) | Perda econômica (R\$ 1000) | PRB (%) | Renda disponível (%) | Perda econômica (R\$ 1000) |
| Billings/Tamanduateí     | -0,11   | -0,47                | 365.563                    | -0,89   | -1,31                | 1.360.815                  |
| Cabeceiras               | -0,70   | -0,64                | 979.726                    | -1,66   | -1,54                | 2.168.532                  |
| Cotia/Guarapiranga       | -0,41   | -0,57                | 176.084                    | -1,19   | -1,45                | 520.884                    |
| Juqueri/Cantareira       | -0,53   | -0,57                | 168.573                    | -1,48   | -1,44                | 488.612                    |
| Penha/Pinheiros/Pirapora | -0,49   | -0,59                | 3.659.939                  | -1,31   | -1,46                | 8.797.576                  |

Fonte: resultados das simulações.

### 3.5.4 Análises de sensibilidade

A metodologia recém apresentada é composta por modelos e dados que carregam consigo suas próprias incertezas. No capítulo anterior já foi discutido a questão da incerteza quanto aos dados climáticos. No que cabe a análise econômica, há incertezas relacionas tanto ao modelo econométrico quanto no modelo EEGC. A estimação de diferentes modelos econométricos (OLS, FE, Sytem GMM e FED) buscou trazer robustez aos coeficientes estimados. Quanto ao modelo EEGC, as incertezas relativas aos resultados apresentados podem ser abordados pela análise de sensibilidade sistêmica.

A análise de sensibilidade sistêmica é um método para avaliar a incerteza em sistemas de modelagem integrados constituídos por modelos econométricos e modelos EGC do tipo de Johansen. Ela é realizada quando é necessário gerar resultados consistentes em subconjuntos de variáveis que são endóge-

nas nos dois modelos. O arcabouço teórico em torno dessa análise é explicado em Garber e Haddad (2012) e reproduzida abaixo de maneira breve.

Nos modelos EGC do tipo Johansen, o sistema de equações é dado por:

$$F(V) = 0 \quad (3.6)$$

em que  $V$  é um vetor de equilíbrio de dimensão  $n$  (número de variáveis) e  $F$  é um vetor função de dimensão  $m$  (número de equações). Usando o diferencial, o sistema pode ser representado por:

$$A(V)v = 0 \quad (3.7)$$

em que  $A(V)$  é a matriz  $m \times n$  que contém as derivadas parciais ou elasticidades e  $v$  é um vetor com as variações (percentuais) do vetor  $V$ .

O procedimento para obter estimativas de  $v$  é avaliar  $A(V)$  em um vetor de equilíbrio inicial  $V^I$  e então resolver a Equação 3.7. Para praticidade na implementação do procedimento, a matriz  $A$  é dividida entre variáveis endógenas, indexadas por  $\alpha$ , e variáveis exógenas, indexadas por  $\beta$ :

$$A(V^I) = A_\alpha(V^I)v_\alpha + A_\beta(V^I)v_\beta = 0 \quad (3.8)$$

onde  $A_\alpha$  é uma matriz  $m \times n$ ,  $v_\alpha$  é  $m \times 1$ ,  $A_\beta$  é  $m \times (n - m)$  e  $v_\beta$  é  $(n - m) \times 1$ . Resolvendo para  $v_\alpha$ :

$$v_\alpha = - \underbrace{[A_\alpha(V^I)]^{-1} A_\beta(V^I)}_{B(V^I)} v_\beta \quad (3.9)$$

$$v_\alpha = B(V^I)v_\beta \quad (3.10)$$

A última equação pode ser apresentada em termos matriciais, como segue:

$$\begin{bmatrix} v_{\alpha 1} \\ v_{\alpha 2} \\ \vdots \\ v_{\alpha m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} \\ B_{21} \\ \vdots \\ B_{m1} \end{bmatrix} v_{\beta 1} + \begin{bmatrix} B_{12} \\ B_{22} \\ \vdots \\ B_{m2} \end{bmatrix} v_{\beta 2} + \dots + \begin{bmatrix} B_{1(n-m)} \\ B_{2(n-m)} \\ \vdots \\ B_{m(n-m)} \end{bmatrix} v_{\beta(n-m)} \quad (3.11)$$

Por esse sistema, considerando um choque exógeno em uma única variável, o efeito em  $v_\alpha$  será proporcional ao vetor em 3.11 multiplicado por essa

variável. Para avaliar o efeito de diversos choques, como é o caso nesse trabalho, o efeito total em  $v_\alpha$  é dado pela soma dos efeitos dos choques exógenos individuais.

Supondo agora que existe um subconjunto de  $k$  dimensões com os elementos de  $v_\alpha$  para os quais se queira estabelecer como *target*, representado por um vetor  $t_{(k \times 1)}$ . Assumindo também a existência de subconjunto de  $v_\beta$  de tamanho  $j$  contendo as variáveis exógenas relevantes na determinação dos impactos em  $t$ . Portanto, para analisar o que é relevante para se chegar a um resultado próximo de  $t$ , o sistema em 3.11 pode ser reduzido desconsiderando os elementos de  $v_\alpha$  que não estão contidos em  $t$  e zerando todos os elementos de  $v_\beta$  não contidos em  $j$ . Obtém-se assim o mesmo sistema, porém com dimensões menores. Esse novo sistema é representado da seguinte maneira:

$$\hat{v}_\alpha = \hat{B}\hat{v}_\beta \quad (3.12)$$

e

$$\begin{bmatrix} \hat{v}_{\alpha 1} \\ \hat{v}_{\alpha 2} \\ \vdots \\ \hat{v}_{\alpha m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{B}_{11} \\ \hat{B}_{21} \\ \vdots \\ \hat{B}_{m1} \end{bmatrix} \hat{v}_{\beta 1} + \begin{bmatrix} \hat{B}_{12} \\ \hat{B}_{22} \\ \vdots \\ \hat{B}_{m2} \end{bmatrix} \hat{v}_{\beta 2} + \dots + \begin{bmatrix} \hat{B}_{1(n-m)} \\ \hat{B}_{2(n-m)} \\ \vdots \\ \hat{B}_{m(n-m)} \end{bmatrix} \hat{v}_{\beta(n-m)} \quad (3.13)$$

Assim, tem-se que  $\hat{v}_\alpha$  depende da escolha dos valores exógenos em  $\hat{v}_\beta$ . Portanto, basta resolver o problema de minimização entre  $\hat{v}_\alpha$  e  $t$  para encontrar a melhor opção de  $\hat{v}_\beta$ . Formalmente:

$$\min_{\hat{v}_\beta} = \|\hat{v}_\alpha - t\| \quad (3.14)$$

A resolução dessa equação, chamada  $\hat{v}_\beta^*$ , irá gerar um vetor de variáveis endógenas correspondentes,  $\hat{v}_\alpha^*$ . Em termos matriciais,  $\hat{v}_\beta^*$  pode ser calculado por:

$$\hat{v}_\beta^* = (\hat{B}'\hat{B})^{-1}\hat{B}'t_i \quad (3.15)$$

Para aplicar o procedimento ao contexto desse trabalho será adotado como *target* os resultados do PRB das regiões do modelo apresentados na Tabela 3.10. Os choque contidos em  $\hat{v}_\beta$  são os choques de produtividade das Tabelas 3.7 e 3.8. A matriz  $\hat{B}$  é estimada realizando uma simulação do impacto de um choque unitário individual na produtividade das 10 indústrias afetadas

diretamente e computando as elasticidades correspondentes do PRB das 41 regiões. Ou seja, a matriz de sensibilidade é uma matriz 41x10 que mostra o quão sensíveis são os PRBs de cada região às variações na produtividade das 10 indústrias afetadas diretamente. Isso é realizado para os dois fechamentos do modelo, curto e longo prazos. As matrizes de sensibilidade obtidas podem ser conferidas no Apêndice I.

Com as matrizes se calcula  $\hat{v}_\beta^*$ , o vetor ótimo, pela Equação 3.14 e depois  $\hat{v}_\alpha^*$  é estimado por 3.12. Na sequência,  $\hat{v}_\beta^*$  é inserido como choque exógeno diretamente no modelo B-MARIA<sup>14</sup> para também auferir  $\hat{v}_\alpha^*$ . Os resultados desses cálculos estão na Tabela 3.16, que permite comparar os resultados de  $\hat{v}_\alpha^*$  calculados por diferentes métodos.

Como pode ser visto, não há diferenças significativas dos choques auferidos pelo método de aproximação e os reconstruídos pelo modelo B-MARIA. Isso se mantém quando são utilizados diferentes valores como *target* (cenários RCP4.5 e RCP8.5) e quando são adotados diferentes fechamentos do modelo. Esses resultados indicam que as variações nos PRBs encontradas nas simulações são consistentes com a estrutura e os dados utilizados no modelo B-MARIA, ou seja, os resultados são replicados de maneira satisfatória.

Como complemento, a sensibilidade sistêmica dos resultados foi avaliada de outra maneira. Os resultados das simulações são provenientes de choques exógenos calculados com base nos valores médios obtidos pelas estimações econométricas. Porém, o real efeito pode assumir qualquer valor dentro do intervalo de confiança estimado. Para analisar o quanto isso pode influenciar no resultados é realizado o procedimento descrito a seguir.

Para cada uma das 10 indústrias com o coeficiente da intensidade da seca estatisticamente significativo, é construída uma matriz de sensibilidade cruzada de suas produtividades totais sobre o PRB das 41 regiões. Isto é, para cada indústria foi aplicado um choque unitário em sua produtividade para construir uma matriz de sensibilidade com dimensões 41x41 (regiões). Juntamente, foram construídos 10 mil vetores de choques para cada indústria e município da RMSB com base em uma distribuição normal com média e desvio padrão estimados pelo modelo econométrico (Tabela 3.5). Cada um desses choques foi multiplicado pela matriz de sensibilidade correspondente, seguindo a Equação 3.12. Ao final, tem-se uma distribuição com possíveis impactos individuais de cada indústria sobre o PRB de cada região (os resultados das simulações principais são os presentes no Apêndice H).

<sup>14</sup> Usando o software Gempack.

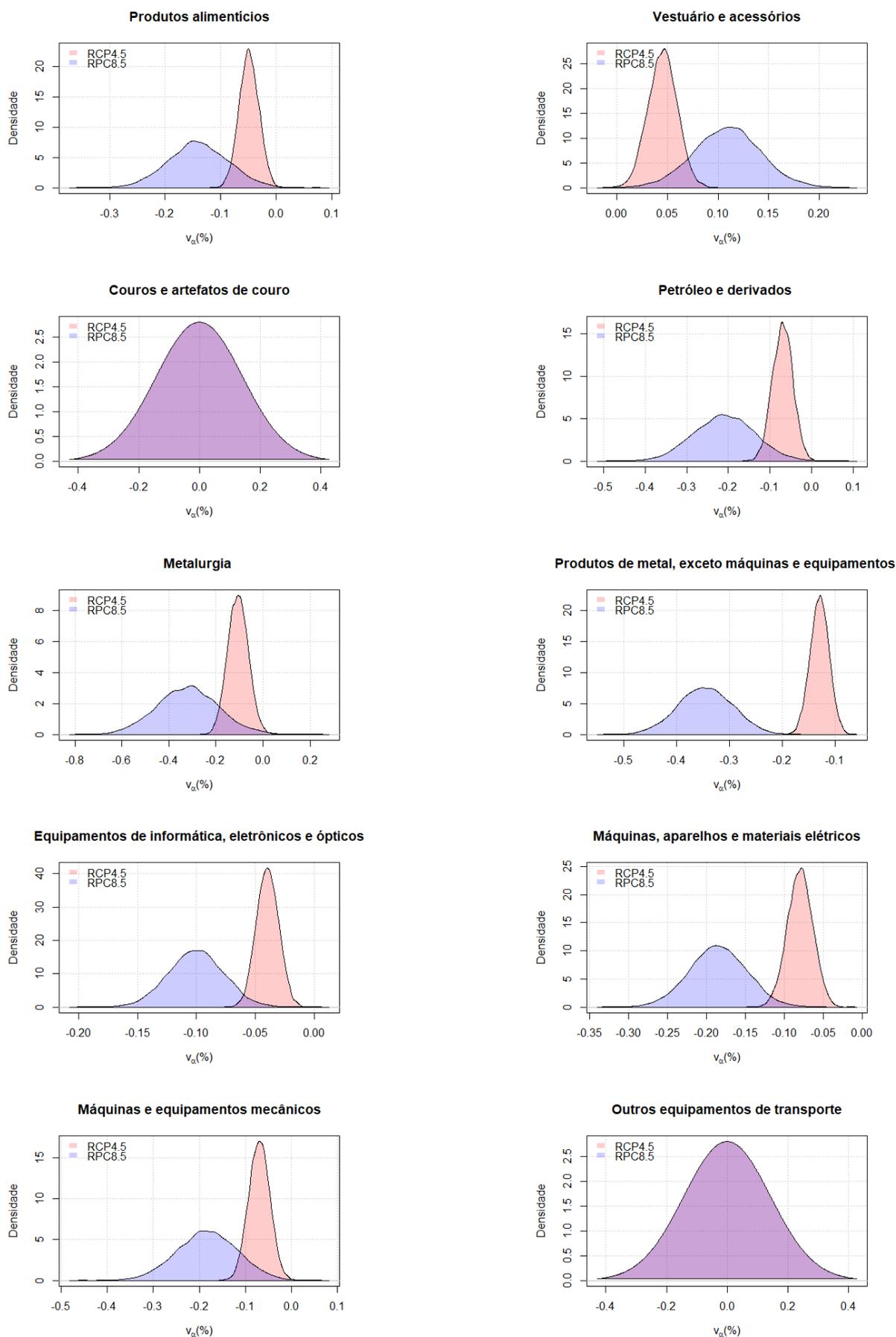
Com esse procedimento se avaliam tanto a incerteza setorial, pois são auferidos diferentes valores para os coeficientes setoriais contidos dentro do intervalo de confiança, como a incerteza regional, ao avaliar diferentes valores para os choques municipais. Essa etapa foi realizada apenas com o fechamento de longo prazo.

A Figura 3.12 traz a representação gráfica das distribuições de  $\hat{v}_\alpha$  calculadas pelo procedimento descrito acima separadas por indústria afetada diretamente. Todos os municípios têm distribuições semelhantes, de modo que será exibido apenas os resultados de Guarulhos, município onde estão presentes todas as 10 indústrias analisadas. As distribuições devem ser entendidas como as potenciais respostas que a economia local, representada pelo PRB, pode ter dados os choques de produtividades incertos.

As indústrias de couro e artefatos de couro e outros equipamentos de transporte têm idêntica distribuição para ambos os cenários. Isso se deve ao fato de o efeito específico que essas indústrias causam ser muito pequeno, dada a sua relativa pouca importância nas economias locais. Assim, as médias de seus efeitos sobre o PRB estão próximas a zero. Nas demais indústrias, a média das distribuições dos efeitos sobre o PRB são maiores (em módulo) no cenário RCP8.5 do que no RCP4.5, de acordo com os resultados mostrados anteriormente. Porém, em todas as indústrias, a dispersão dos efeitos é maior sob o cenário RCP8.5, no qual as secas são mais intensas.

As distribuições também mostram que não há mudança na direção do efeito. Ou seja, considerando 10 mil vetores de choques exógenos diferentes sobre a economia do município, o efeito sobre o PRB apresenta a mesma direção dos resultados principais apresentados no Apêndice H. Isso indica, como exemplo, que os quedas na produtividade da indústria de produtos alimentícios tenderão a afetar negativamente a economia local, o que dá suporte aos resultados encontrados.

Figura 3.12 – Distribuição dos efeitos simulados sobre o PRB de Guarulhos, variação percentual em relação ao cenário base



Fonte: elaboração própria.

Tabela 3.16 – Comparação entre os impactos reconstruídos a partir da Equação 3.12 e os impactos simulados pelo modelo B-MARIA

| Região                 | RCP4.5 - curto prazo |                            | RCP8.5 - curto prazo |                            | RCP4.5 - longo prazo |                            | RCP8.5 - longo prazo |                            |
|------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|
|                        | $\hat{v}_\alpha^*$   | $\hat{v}_\alpha^{B-MARIA}$ | $\hat{v}_\alpha^*$   | $\hat{v}_\alpha^{B-MARIA}$ | $\hat{v}_\alpha^*$   | $\hat{v}_\alpha^{B-MARIA}$ | $\hat{v}_\alpha^*$   | $\hat{v}_\alpha^{B-MARIA}$ |
| Arujá                  | -0,195960            | -0,195983                  | -0,685018            | -0,685063                  | -0,693961            | -0,693945                  | -1,869928            | -1,869904                  |
| Barueri                | -0,105272            | -0,105273                  | -0,311976            | -0,311896                  | -0,280734            | -0,280747                  | -0,769106            | -0,769139                  |
| Biritiba Mirim         | -0,012450            | -0,012456                  | -0,033404            | -0,033466                  | -0,389219            | -0,389222                  | -1,082687            | -1,082689                  |
| Caieiras               | -0,176251            | -0,176161                  | -0,438282            | -0,438073                  | -0,166224            | -0,166211                  | -0,386355            | -0,386321                  |
| Cajamar                | -0,322178            | -0,322212                  | -1,126398            | -1,126482                  | -0,567476            | -0,567472                  | -1,844394            | -1,844364                  |
| Carapicuíba            | -0,166286            | -0,166240                  | -0,511710            | -0,511528                  | -0,429605            | -0,429616                  | -1,172948            | -1,172979                  |
| Cotia                  | -0,351520            | -0,351553                  | -1,052982            | -1,053111                  | -0,458576            | -0,458566                  | -1,357843            | -1,357814                  |
| Diadema                | -0,296773            | -0,296739                  | -1,077679            | -1,077605                  | -0,461612            | -0,461617                  | -1,563222            | -1,563237                  |
| Embu das Artes         | -0,206458            | -0,206469                  | -0,692732            | -0,692692                  | -0,641024            | -0,641019                  | -1,739504            | -1,739476                  |
| Embu-Guaçu             | -0,478394            | -0,478473                  | -1,354757            | -1,354949                  | -0,723115            | -0,723110                  | -1,977554            | -1,977538                  |
| Ferraz de Vasconcelos  | -1,156688            | -1,156684                  | -2,555325            | -2,555350                  | -1,285962            | -1,285957                  | -2,988744            | -2,988734                  |
| Francisco Morato       | 0,120742             | 0,120734                   | 0,209061             | 0,209166                   | -0,139088            | -0,139100                  | -0,413433            | -0,413461                  |
| Franco da Rocha        | -0,292228            | -0,292361                  | -1,117027            | -1,117350                  | -0,510071            | -0,510080                  | -1,679883            | -1,679892                  |
| Guararema              | -0,256745            | -0,256725                  | -0,912066            | -0,911901                  | -0,590671            | -0,590673                  | -1,769084            | -1,769082                  |
| Guarulhos              | -0,281422            | -0,281446                  | -0,801551            | -0,801668                  | -0,520919            | -0,520922                  | -1,383859            | -1,383854                  |
| Itapeçerica da Serra   | -0,225062            | -0,225084                  | -0,590805            | -0,590904                  | -0,470974            | -0,470975                  | -1,330540            | -1,330519                  |
| Itapevi                | -0,150493            | -0,150582                  | -0,577086            | -0,577321                  | -0,589601            | -0,589608                  | -1,637002            | -1,636997                  |
| Itaquaquecetuba        | -0,318701            | -0,318697                  | -0,956635            | -0,956546                  | -0,647793            | -0,647805                  | -1,622518            | -1,622549                  |
| Jandira                | -0,330180            | -0,330090                  | -0,852297            | -0,852078                  | -0,476323            | -0,476330                  | -1,271509            | -1,271523                  |
| Juquitiba              | 0,039666             | 0,039720                   | 0,019412             | 0,019447                   | -0,440832            | -0,440830                  | -1,017115            | -1,017098                  |
| Mairiporã              | -0,181722            | -0,181788                  | -0,533726            | -0,533890                  | -0,335587            | -0,335586                  | -0,929971            | -0,929957                  |
| Mauá                   | -0,373096            | -0,373059                  | -1,332543            | -1,332413                  | -0,621017            | -0,621011                  | -1,926163            | -1,926135                  |
| Mogi das Cruzes        | -0,255072            | -0,255028                  | -0,763757            | -0,763643                  | -0,558267            | -0,558268                  | -1,521433            | -1,521424                  |
| Osasco                 | -0,080432            | -0,080406                  | -0,220733            | -0,220611                  | -0,597572            | -0,597574                  | -1,442274            | -1,442265                  |
| Pirapora do Bom Jesus  | -0,553911            | -0,553876                  | -1,611971            | -1,611846                  | -0,840548            | -0,840548                  | -2,176465            | -2,176458                  |
| Poá                    | -0,548994            | -0,549080                  | -1,194730            | -1,194953                  | -0,782664            | -0,782661                  | -1,733626            | -1,733605                  |
| Ribeirão Pires         | 0,275265             | 0,275329                   | -0,198223            | -0,198031                  | 0,355056             | 0,355061                   | -0,294533            | -0,294521                  |
| Rio Grande da Serra    | 0,554855             | 0,554894                   | 0,058358             | 0,058461                   | 0,257597             | 0,257587                   | -0,724371            | -0,724390                  |
| Salesópolis            | 0,021169             | 0,021058                   | 0,053527             | 0,053226                   | -0,351753            | -0,351764                  | -0,831996            | -0,832015                  |
| Santa Isabel           | -0,228590            | -0,228693                  | -0,580860            | -0,581151                  | -0,567920            | -0,567928                  | -1,317714            | -1,317734                  |
| Santana de Parnaíba    | -0,161425            | -0,161423                  | -0,538067            | -0,538162                  | -0,240045            | -0,240052                  | -0,923468            | -0,923478                  |
| Santo André            | -0,117053            | -0,116946                  | -0,423738            | -0,423493                  | -0,359345            | -0,359341                  | -1,007517            | -1,007497                  |
| São Bernardo do Campo  | -0,235419            | -0,235396                  | -0,745235            | -0,745062                  | -0,188508            | -0,188509                  | -0,882533            | -0,882521                  |
| São Caetano do Sul     | -0,124307            | -0,124302                  | -0,482565            | -0,482487                  | -0,333987            | -0,333987                  | -1,083287            | -1,083281                  |
| São Lourenço da Serra  | 0,064820             | 0,064852                   | 0,137138             | 0,137163                   | -0,271851            | -0,271862                  | -0,682048            | -0,682075                  |
| São Paulo              | -0,143253            | -0,143197                  | -0,372565            | -0,372399                  | -0,389428            | -0,389422                  | -0,949735            | -0,949705                  |
| Suzano                 | -0,196159            | -0,196102                  | -0,577714            | -0,577541                  | -0,224473            | -0,224464                  | -0,793978            | -0,793946                  |
| Taboão da Serra        | -0,203791            | -0,203817                  | -0,504785            | -0,504883                  | -0,409885            | -0,409886                  | -1,143278            | -1,143269                  |
| Vargem Grande Paulista | 0,029755             | 0,029794                   | -0,028911            | -0,028702                  | -0,265318            | -0,265320                  | -0,743890            | -0,743868                  |
| Resto de São Paulo     | -0,327928            | -0,327932                  | -0,826922            | -0,826990                  | -0,431510            | -0,431525                  | -1,121573            | -1,121610                  |
| Resto do Brasil        | -0,074089            | -0,074045                  | -0,203991            | -0,203797                  | -0,183877            | -0,183870                  | -0,502202            | -0,502175                  |

Fonte: elaboração própria.

### 3.6 RESUMO E IMPLICAÇÕES DE POLÍTICAS PÚBLICAS

Ao longo do capítulo foram discutidos diversos resultados, assim, como considerações finais é feita uma recapitulação dos mais importantes e suas contribuições para a literatura e possíveis implicações de política.

Os primeiros resultados apresentados mostram as indústrias que podem ter sua produção afetada por eventos de secas. Esse resultado por si só contribui para a literatura da economia do clima, já que não foram encontrados trabalhos anteriores que tenham identificado os efeitos de secas sobre atividades setoriais de maneira desagregada. A discussão sobre os efeitos diretos das secas na indústria da RMSP também pode ser estendida para outras áreas metropolitanas do Brasil que passam por situações de secas.

O trabalho também mostrou como modelos integrados de análise podem ser utilizados como ferramenta de avaliação de vulnerabilidades locais às secas. Se avaliado apenas o efeito direto de uma seca (ou outros eventos climáticos extremos) sobre um sistema ou região, seriam desconsiderados os efeitos *spillovers* decorrentes do encadeamento econômico, que podem até ter magnitude maior que o efeito direto. Modelos EEGC calibrados com dados locais, como o utilizado nessa Tese, possibilitam a identificação desses efeitos *spillovers* sobre diversos setores e regiões não afetados diretamente, contribuindo assim para uma identificação mais robusta das vulnerabilidades locais às secas.

Das dez indústrias afetadas diretamente por secas, oito fazem parte de um grupo de setores identificados em Morceiro e Guilhoto (2019) como setores de desenvolvimento intermediário (intensivos em capital e processadores de recursos naturais que produzem insumos para outras indústrias) e desenvolvimento avançado (intensivos em tecnologia e conhecimento e produzem bens de capital para firmas e bens de consumo final para as famílias). Assim, têm-se que as secas podem afetar justamente os setores que mais podem contribuir para o desenvolvimento tecnológico da região e do país, como os setores de máquinas e equipamentos de informática, produtos elétricos e mecânicos e refino de petróleo. Além disso, as indústrias de produtos de metal e máquinas mecânicas junto com a produção de alimentos figuram entre os setores mais dinâmicos da região. Desse modo, efeitos das secas sobre elas podem se refletir em menor geração de valor agregado e emprego na região metropolitana.

Para reduzir a vulnerabilidade às secas de setores como esses, uma das alternativas é investir em tecnologia para reduzir o uso de materiais, energia e recursos hídricos e aumentar sua produtividade. Como exemplo, poderiam ser

incentivados o desenvolvimento de processos produtivos que requeiram menor consumo de água e energia, aprimoramento das tecnologias de tratamento de efluentes doméstico e industriais e reúso da água. Ademais, também poderiam ser inclusas ações para tornar as indústrias mais sustentáveis, com menor uso de combustíveis fósseis e maior utilização de fontes de energia renováveis.

Segundo publicação da ONU sobre as ações climáticas globais de 2020 (UNITED NATIONS, 2021), esses tipos de investimentos, que fazem parte do processo de descarbonização das indústrias, são técnica e economicamente viáveis e podem contribuir significativamente para o alcance de uma economia livre de carbono, além de reduzir a vulnerabilidade dos setores atingidos. Ações e investimentos como esses também podem contribuir para o alcance de um dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Agenda 2030)<sup>15</sup> por parte dos municípios metropolitanos: o objetivo 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura). Esse objetivo propõe a construção de infraestruturas resilientes, a promoção da industrialização inclusiva e sustentável e fomento à inovação.

Pelo lado do equilíbrio geral foi avaliado como os efeitos das secas em setores específicos afetam toda a economia de um município. Mesmo que os setores diretamente afetados não tenham significativa participação na produção municipal, os efeitos indiretos levam a redução da renda e consumo em todos os municípios analisados. Como possíveis políticas de adaptação, além de investimentos em tecnologia, podem ser incentivados os chamados setores verdes, aqueles que contribuem para preservar ou restaurar o meio ambiente, seja em setores tradicionais, como manufatura e construção, ou em novos setores verdes emergentes, como energia renovável e eficiência energética, remoção de poluição e de gases de efeitos estufa, reciclagem e reutilização, conversão dos recursos naturais, e educação, treinamento e conscientização pública. Investimentos nesses setores, além de serem uma estratégia para minimizar os efeitos negativos na economia local causados pela vulnerabilidade às secas de setores tradicionais, poderiam contribuir para tornar as cidades mais sustentáveis e com menor nível de emissões de GEE. Entretanto, ainda são necessários estudos sobre a importância econômica dos setores verdes na RMSP e análises dos possíveis impactos de investimentos neles.

Ao agregar os resultados municipais em suas respectivas sub-bacias hidrográficas, nota-se que as maiores perdas econômicas podem ocorrer nas sub-bacias que têm maior nível de criticidade quanto aos recursos hídricos. Ou seja, lugares onde é possível que a disponibilidade hídrica não seja suficiente para suprir toda a demanda. Possíveis conflitos entre os usuários dos recursos

---

<sup>15</sup> <http://www.agenda2030.org.br/>

hídricos dessas bacias podem surgir em momentos de escassez, de modo que é necessário planejar uma gestão harmoniosa entre eles, tendo em vista a grande perda econômica que as secas podem causar.

Ainda sobre os resultados do equilíbrio geral, há diferenças entre os cenários de curto e longo prazos, sugerindo que as suposições sobre o funcionamento da economia, em especial da mobilidade dos fatores, afetam significativamente os resultados. De maneira geral, quando assumido que os fatores podem ser realocados entre setores e regiões, os efeitos são maiores, tanto quando se observam os resultados setoriais quanto os regionais.

A respeito dos efeitos sobre a migração, esses devem ser melhor explorados em futuros trabalhos. Apesar do modelo EEGC não ser capaz de prover informações detalhadas sobre os padrões migratórios, os resultados podem apontar para futuras questões de pesquisa: quais impactos os eventos de secas podem ter sobre o crescimento populacional em grandes metrópoles? Que alterações causarão sobre o mercado de trabalho e a demanda hídrica? Como afetarão a vulnerabilidade municipal?

Duas limitações devem ser levadas em consideração na análise dos resultados. Primeiro, o modelo EEGC não inclui o impacto das futuras decisões de investimento das empresas. Elas podem cancelar ou adiar a expansão da produção por causa da escassez de água causada pela seca. Segundo, a abordagem adotada não incluiu os efeitos da seca nas companhias de abastecimento de água. Em períodos de escassez de água, as tarifas podem aumentar, causando perda de bem-estar e inflação. Portanto, as perdas econômicas estimadas podem ser ainda maiores.

Por fim, cabe discutir novamente as incertezas acerca dos resultados apresentados. Mesmo com a realização de testes de robustez e sensibilidades, é impossível eliminar por completo as incertezas relacionadas aos métodos utilizados. Entretanto, pode-se afirmar que os resultados foram auferidos por meio das melhores informações disponíveis e por meio de metodologias já utilizadas individualmente ou em conjunto. Podem, assim, ser utilizados para aumentar a capacidade de instituições, governos e sociedade civil de entender como as mudanças climáticas as afetam e de integrar ações adaptativas em suas decisões.

## 4 CONCLUSÃO

Ao longo dos capítulos anteriores foram explorados temas relacionados às mudanças climáticas, secas e impactos econômicos. Como conclusão do trabalho, faço algumas considerações sobre os temas abordados.

As projeções climáticas para a RMSP apontam para mudanças significativas no clima da região. A temperatura média, que vem aumentando continuamente desde meados do século passado, deve prosseguir em tendência de elevação. Mesmo no cenário mais otimista (RCP4.5), o aumento projetado é de cerca de 4°C a partir de 2050. Já no cenário pessimista (RCP8.5), o aumento é de cerca de 8°C, o que poderia até tornar a região inabitável. Além da região se tornar mais quente, extremos de seca, que não são raros na região, podem se tornar mais intensos e frequentes. Dado esse prognóstico, políticas adaptativas que ao menos limitem os potenciais efeitos negativos das mudanças climáticas e secas sobre a população da região devem ser discutidas pelos governos municipais e estadual.

As evidências de que as atividades econômicas da RMSP são vulneráveis aos extremos de seca deveriam ser levadas em conta em políticas de recuperação econômica ou de estímulos às atividades produtivas região. Os investimentos em tecnologia e estímulo aos setores verdes mencionados no capítulo anterior são exemplos de políticas que poderiam ser incentivadas. Ao mesmo tempo em que reduzem a vulnerabilidade de dado setor às secas, contribuem para redução das emissões e podem auxiliar na retomada econômica. Tais iniciativas podem ser financiadas por linhas de financiamento direcionadas aos "investimentos verdes", que a cada dia vêm ganhando espaço no mercado financeiro nacional e global.

Apesar das mudanças climáticas serem um assunto discutido tanto no meio acadêmico como no meio político há pelo menos 30 anos, ainda não são tratadas com a urgência e a atenção que carecem. Isso porque as mudanças climáticas parecem ser algo distante do público em geral, tanto no espaço quanto no tempo. Além do mais, "os impactos climáticos, apesar de preocupantes, disputam com outras questões (ainda que da esfera ambiental) que pressionam mais os indivíduos"(PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 2020). Mudar esse cenário deve ser uma das prioridades da comunidade científica.

Da parte dos pesquisadores, é preciso um esforço para mostrar que as

mudanças climáticas não são mais um problema do futuro, suas consequências já estão ocorrendo. Nesse ponto as ciências econômicas têm papel fundamental. É por meio de variáveis econômicas como emprego, renda e inflação que se fazem sentir os efeitos de eventos extremos e mudanças climáticas para a maioria da população. O desenvolvimento de mais estudos sobre a vulnerabilidade das cidades às mudanças climáticas e a produção de informações de fácil acesso são algumas das ações possíveis para aumentar a conscientização do público em geral.

Ainda sobre o papel das ciências econômicas, as projeções de impactos econômicos com base nas projeções de modelos climáticos são algo que deve ser tratado com melhor atenção no futuro. Do ponto de vista da formulação de políticas públicas, não há interesse nem de gestores e nem da população em geral nos impactos econômicos que podem ocorrer no final do século, que em geral, são o período foco da maioria dos modelos de projeções climáticas. Embora esses cenários de longo prazo sejam relevantes para demonstrar caminhos de longo prazo, eles não coincidem com a maioria dos mecanismos de política e planejamento, que exigem cenários robustos de curto a médio prazo (UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION, 2021).

Enquanto essa questão não é pontuada, o que pode ser feito, como exemplo, é analisar os impactos econômicos de extremos projetados como se eles fossem ocorrer agora, como foi feito no Capítulo 3. Essa estratégia apontará as deficiências atuais dos sistemas econômicos que podem demandar ações dos gestores públicos.

Ainda há um longo caminho para entender os efeitos das mudanças climáticas e extremos em megacidades como São Paulo. Métodos integrados de análise parecem ser uma das ferramentas mais poderosas para atingir esse objetivo. Eles fornecem compreensão das dimensões físicas, econômicas e sociais da área exposta, permitindo políticas públicas para reduzir os riscos de relacionados às secas.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Atlas Brasil abastecimento urbano de água. Panorama Nacional*. [S.l.], 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Água na indústria: uso e coeficientes técnicos*. [S.l.], 2017.

AMBRIZZI, T. et al. *Sumário Executivo do Volume 1–Base Científica das Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 para o 1º Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas*. [S.l.]: PBMC, Rio de Janeiro, Brasil, 2012.

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*, Wiley-Blackwell, v. 58, n. 2, p. 277–297, 1991.

ARELLANO, M.; BOVER, O. Another look at the instrumental variable estimation of error-components models. *Journal of econometrics*, Elsevier, v. 68, n. 1, p. 29–51, 1995.

BERCK, P.; ROBINSON, S.; GOLDMAN, G. The use of computable general equilibrium models to assess water policies. In: *The economics and management of water and drainage in agriculture*. [S.l.]: Springer, 1991. p. 489–509.

BLUNDELL, R.; BOND, S. Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of econometrics*, Elsevier, v. 87, n. 1, p. 115–143, 1998.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Desastres naturais e saúde: análise do cenário de eventos hidrológicos no Brasil e seus potenciais impactos sobre o Sistema Único de Saúde*. Brasília, DF, 2018.

BRITO, A. L. et al. Avaliação do desempenho dos modelos Hadgem2-ES e Eta a partir de indicadores de extremos climáticos de precipitação para a Bacia Amazônica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, SciELO Brasil, v. 34, n. 2, p. 165–177, 2019.

BURKE, M.; HSIANG, S. M.; MIGUEL, E. Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, Nature Publishing Group, v. 527, n. 7577, p. 235–239, 2015.

CANO, W. *Raízes da concentração industrial em São Paulo*. 5. ed. Campinas, SP: Instituto de Economia da Unicamp, 2007.

CARVALHO, L. M. V. de; CAVALCANTI, I. F. The South American Monsoon System (SAMS). In: CARVALHO, L. M. V. de; CAVALCANTI, I. F. (Ed.). *The monsoons and climate change*. [S.l.]: Springer, 2016. p. 121–148.

CHOU, S.; BUSTAMANTE, J.; GOMES, J. Evaluation of Eta Model seasonal precipitation forecasts over South America. *Nonlinear Processes in Geophysics*, Copernicus GmbH, v. 12, n. 4, p. 537–555, 2005.

CHOU, S. C. et al. Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. *American Journal of Climate Change*, Scientific Research Publishing, v. 3, n. 5, p. 512–525, 2014.

COLLINS, W. et al. *Evaluation of the HadGEM2 model*. [S.l.]: Met Office Hadley Centre Technical Note no. HCTN 74r, UK, 2008.

COUTTENIER, M.; SOUBEYRAN, R. Drought and civil war in Sub-Saharan Africa. *The Economic Journal*, Oxford University Press Oxford, UK, v. 124, n. 575, p. 201–244, 2014.

DAI, A. Drought under global warming: a review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, Wiley Online Library, v. 2, n. 1, p. 45–65, 2011.

DALEZIOS, N. Climate and agroclimatic variability in central and southeastern Europe. *Final Report for COST Program, European Union/DG XII/B*, 1994.

DEAN, W. K. *A Industrialização de São Paulo (1880-1945)*. [S.l.]: Difusão Europeia do Livro, 1971.

DELL, M.; JONES, B. F.; OLKEN, B. A. Temperature shocks and economic growth: Evidence from the last half century. *American Economic Journal: Macroeconomics*, v. 4, n. 3, p. 66–95, 2012.

DELL, M.; JONES, B. F.; OLKEN, B. A. What do we learn from the weather? the new climate-economy literature. *Journal of Economic Literature*, v. 52, n. 3, p. 740–98, 2014.

DESBUREAUX, S.; RODELLA, A.-S. Drought in the city: The economic impact of water scarcity in Latin American metropolitan areas. *World Development*, Elsevier, v. 114, p. 13–27, 2019.

DING, Y.; HAYES, M. J.; WIDHALM, M. Measuring economic impacts of drought: a review and discussion. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, Emerald Group Publishing Limited, 2011.

FARIA, A. A. d. C. Abastecimento de água na cidade de São Paulo (1554-1960). In: *Revista do Arquivo Histórico Municipal*. [S.l.]: Departamento do Patrimônio Histórico, 2004. v. 203, p. 37–56.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE BANCOS - FEBRABAN. *Guia explicativo da taxonomia verde da Febraban*. São Paulo, SP, 2021.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - FIESP. *Consequências de um racionamento de água*. São Paulo, SP, 2014.

FERNANDES, D. S. et al. Índices para a quantificação da seca. *Embrapa Arroz e Feijão-Documentos (INFOTECA-E)*, Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009.

FONTES, P. *Mapeando o patrimônio industrial em São Paulo*. 2021. Disponível em: <<http://www.labjor.unicamp.br/patrimonio/materia.php?id=166>>. Acesso em: 12 de junho de 2021.

FREIRE-GONZÁLEZ, J.; DECKER, C.; HALL, J. W. The economic impacts of droughts: A framework for analysis. *Ecological Economics*, Elsevier, v. 132, p. 196–204, 2017.

FREIRE-GONZÁLEZ, J.; DECKER, C. A.; HALL, J. W. A scenario-based framework for assessing the economic impacts of potential droughts. *Water Economics and Policy*, World Scientific, v. 3, n. 04, p. 1750007, 2017.

FRIEDERIKE, E. O. et al. Factors other than climate change, main drivers of 2014/15 water shortage in Southeast Brazil. In: HERRING MARTIN P. HOERLING, J. P. K. T. C. P. S. C.; STOTT, P. A. (Ed.). *Explaining extreme events of 2014 from a climate perspective*. [S.l.]: American Meteorological Society, 2015. v. 96, n. 12, cap. 8, p. 3.

FUNDAÇÃO AGÊNCIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ – FABHAT. *Relatório I - Plano de Bacia Hidrográfica do Alto Tietê - UGRHI 06*. São Paulo, SP, 2016.

FUNDAÇÃO AGÊNCIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ – FABHAT. *Relatório final (RF), Volume I – Diagnóstico*. São Paulo, SP, 2019.

FUNDAÇÃO SEADE. *Mapa da Indústria Paulista 2003-2016*. São Paulo, SP, 2019.

FUNDAÇÃO SEADE. *Evolução do setor automobilístico no Estado de São Paulo*. São Paulo, SP, 2020. Disponível em: <[https://www.seade.gov.br/produtos2/midia/2021/03/SP\\_Economia\\_n1\\_2020\\_ok.pdf](https://www.seade.gov.br/produtos2/midia/2021/03/SP_Economia_n1_2020_ok.pdf)>.

FUNDAÇÃO SEADE. *Mapa do emprego paulista 2007-2017*. [S.l.], 2021. Disponível em: <<https://mapadoemprego.seade.gov.br/66/agregados/industria-de-transformacao>>. Acesso em: 12 de junho de 2021.

GARBER, G.; HADDAD, E. *Target Fitting and Robustness Analysis in CGE Models*. São Paulo, SP, 2012. TD Nereus 04-2012.

GONÇALVES Jr, C. A. *Estimando Sistemas Subnacionais e Globais de Insumo-produto, o Método é Importante? Comparando Aplicações para o Brasil e para o Mundo*. Tese (Doutorado) — Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

GONZÁLEZ, J. F. Assessing the macroeconomic impact of water supply restrictions through an input–output analysis. *Water resources management*, Springer, v. 25, n. 9, p. 2335–2347, 2011.

GOUVÊA, J. P. N. *A presença e ausência dos rios de São Paulo: acumulação primitiva e valorização da água*. Tese (Doutorado) — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

GOUVEIA, I. C. M.-C. A cidade de São Paulo e seus rios: uma história repleta de paradoxos. *Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia*, Théry, Hervé, n. 27, 2016.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Mapa da economia paulista*. 2021. Disponível em: <<https://www.desenvolvesp.com.br/mapadaeconomiaipaulista/>>. Acesso em: 12 de junho de 2021.

GRIFFITH, M. Water resources modeling: A review. In: WITTWER, G. (Ed.). *Economic Modeling of Water*. [S.l.]: Springer, 2012. p. 59–77.

GUHA-SAPIR, D. et al. Annual disaster statistical review: The numbers and trends. *Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), Brussels*, 2014.

GÜNERALP, B.; GÜNERALP, İ.; LIU, Y. Changing global patterns of urban exposure to flood and drought hazards. *Global environmental change*, Elsevier, v. 31, p. 217–225, 2015.

GUZMÁN, D. et al. Economic impacts of drought risks for water utilities through severity-duration-frequency framework under climate change scenarios. *Hydrology and Earth System Sciences (HESS)*, submitted manuscript, 2017.

HACON, S. de S. et al. Vulnerabilidade, riscos e impactos das mudanças climáticas sobre a saúde no Brasil. In: TEIXEIRA, B. S.; ORSINI, J. A. M.; CRUZ, M. R. da (Ed.). *Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais à Mudança do Clima no Brasil*. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, 2016. cap. 9, p. 387–459.

HADDAD, E. A. *Regional inequality and structural changes: Lessons from the Brazilian economy*. [S.l.]: Aldershot: Ashgate, 1999.

HADDAD, E. A. *Retornos crescentes, custos de transporte e crescimento regional*. Tese (Livre-Docência) — Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

HADDAD, E. A.; GONÇALVES Jr, C. A.; NASCIMENTO, T. O. Matriz interestadual de insumo-produto para o Brasil: Uma aplicação do método IIOAS. *Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos*, v. 11, n. 4, p. 424–446, 2017.

HADDAD, E. A. et al. *Mobility in Cities: Distributional Impact Analysis of Transportation Improvement in São Paulo Metropolitan Region*. [S.l.], 2018. Working Papers, Department of Economics 2018-11, University of São Paulo (FEA-USP).

HADDAD, E. A. et al. The underground economy: Tracking the higher-order economic impacts of the São Paulo subway system. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Elsevier, v. 73, p. 18–30, 2015.

HADDAD, E. A.; TEIXEIRA, E. Economic impacts of natural disasters in megacities: The case of floods in São Paulo, Brazil. *Habitat International*, Elsevier, v. 45, p. 106–113, 2015.

- HADDAD, E. A.; VIEIRA, R. S. Mobilidade, acessibilidade e produtividade: Nota sobre a valoração econômica do tempo de viagem na Região Metropolitana de São Paulo. *Revista de Economia Contemporânea*, v. 19, n. 3, p. 343–365, 2015.
- HANSEN, L. P. Large sample properties of generalized method of moments estimators. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, JSTOR, p. 1029–1054, 1982.
- HERTEL, T. W.; LIU, J. Implications of water scarcity for economic growth. *OECD Environment Working Papers*, Paris, n. 109, 2016.
- HOLLINGER, S.; ISARD, S.; WELFORD, M. A new soil moisture drought index for predicting crop yields. In: AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY ANAHEIM, CA. *Preprints, Eighth Conference on Applied Climatology*. [S.l.], 1993. p. 187–190.
- HORRIDGE, M.; MADDEN, J.; WITTEWER, G. The impact of the 2002–2003 drought on Australia. *Journal of Policy Modeling*, Elsevier, v. 27, n. 3, p. 285–308, 2005.
- HORRIDGE, M. Preparing a TERM bottom-up regional database. *Preliminary Draft, Centre of Policy Studies, Monash University*, p. 420–434, 2006.
- HSIANG, S. M. Temperatures and cyclones strongly associated with economic production in the Caribbean and Central America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, National Acad Sciences, v. 107, n. 35, p. 15367–15372, 2010.
- HUNTINGTON, E. *Civilization and climate*. [S.l.]: Yale University Press, 1924.
- IBGE. *Cidades e estados do Brasil*. 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 04 de abril de 2018.
- IBGE. *Produto Interno Bruto dos Municípios*. 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 23 de março de 2021.
- IPCC. *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014.
- IPCC. *Definition of Terms Used Within the DDC Pages*. 2021. Disponível em: <[https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary\\_r.html](https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary_r.html)>.
- IPCC. *Sixth Assessment Report, Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. [S.l.], 2021.
- JONES, B. F.; OLKEN, B. A. Climate shocks and exports. *American Economic Review*, v. 100, n. 2, p. 454–59, 2010.
- JORGE, J. Rios e saúde na cidade de São Paulo, 1890-1940. *Revista História & Perspectivas*, v. 25, n. 47, 2012.

KALNAY, E.; CAI, M. Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, Nature Publishing Group, v. 423, n. 6939, p. 528–531, 2003.

KAMAL-CHAOUÏ, L.; ROBERT, A. Competitive cities and climate change. *OECD Regional Development Working Papers*, Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), n. 2, 2009.

KARAVITIS, C. Drought vulnerability assessment—introduction and theoretical background. *Drought Management Centre for South-East Europe—DMCSEE. Summary of the Result of the Project, Co-Financed by the South East Europe Transnational Cooperation Programme (Contract No. SEE/A/091/2.2/X)*, Slovenian Environmental Agency, Ljubljana, Slovenia, 2012.

KHAN, H. F.; MORZUCH, B. J.; BROWN, C. M. Water and growth: An econometric analysis of climate and policy impacts. *Water Resources Research*, Wiley Online Library, v. 53, n. 6, p. 5124–5136, 2017.

KIM, T.-W.; JEHANZAIB, M. Drought risk analysis, forecasting and assessment under climate change. *Water*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 12, n. 1862, 2020.

KIM, T.-W.; VALDÉS, J. B.; APARICIO, J. Frequency and spatial characteristics of droughts in the Conchos River Basin, Mexico. *Water International*, Taylor & Francis, v. 27, n. 3, p. 420–430, 2002.

LABRA, R.; TORRECILLAS, C. Estimating dynamic panel data. A practical approach to perform long panels. *Revista Colombiana de Estadística*, Universidad Nacional de Colombia., v. 41, n. 1, p. 31–52, 2018.

LOUKAS, A.; VASILIADES, L.; TZABIRAS, J. Climate change effects on drought severity. *Advances in Geosciences*, Copernicus GmbH, v. 17, p. 23–29, 2008.

LUCKMANN, J. et al. An integrated economic model of multiple types and uses of water. *Water Resources Research*, Wiley Online Library, v. 50, n. 5, p. 3875–3892, 2014.

LYRA, A. et al. Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution. *Theoretical and Applied Climatology*, Springer, v. 132, n. 1-2, p. 663–682, 2018.

MAGALHÃES, A. S. et al. Quanto vale a água que usamos? Projeções dos impactos econômicos de restrições ao uso e elevação de preços da água na Região Metropolitana de Belo Horizonte. *Revista de Economia*, v. 42, n. 2, 2017.

MARCOLIN, N. *Réguas do clima no campo*. 2014. Disponível em: <[https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2014/03/084-085\\_memoria\\_217.pdf](https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2014/03/084-085_memoria_217.pdf)>.

MARCOLIN, N. *Seca na metrópole*. 2014. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/seca-na-metropole/>>.

- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Crise hídrica em São Paulo em 2014: seca e desmatamento. *GEOUSP Espaço e Tempo (Online)*, v. 19, n. 3, p. 485–494, 2015.
- MARENGO, J. A. et al. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. *Revista USP*, n. 106, p. 31–44, 2015.
- MCKEE, T. B. et al. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: BOSTON. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. [S.l.], 1993. v. 17, n. 22, p. 179–183.
- MESINGER, F. et al. An upgraded version of the Eta model. *Meteorology and Atmospheric Physics*, Springer, v. 116, n. 3, p. 63–79, 2012.
- MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. *Input-output analysis: foundations and extensions*. [S.l.]: Cambridge university press, 2009.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais relacionados às secas no contexto da mudança do clima*. Brasília, DF, 2017.
- MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, Elsevier, v. 391, n. 1-2, p. 202–216, 2010.
- MOHOR, G. S.; MENDIONDO, E. M. Economic indicators of hydrologic drought insurance under water demand and climate change scenarios in a Brazilian context. *Ecological Economics*, Elsevier, v. 140, p. 66–78, 2017.
- MORCEIRO, P. C.; GUILHOTO, J. J. M. Desindustrialização setorial e estagnação de longo prazo da manufatura brasileira. In: *IV Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação (ENEI)*. [S.l.: s.n.], 2019.
- MOSS, R. H. et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, Nature Publishing Group, v. 463, n. 7282, p. 747–756, 2010.
- NOBRE, C. et al. Vulnerabilidade das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: A região Metropolitana de São Paulo - relatório final. INPE, São José dos Campos/SP, 2011.
- NOBRE, C. A. et al. Some characteristics and impacts of the drought and water crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. *Journal of Water Resource and Protection*, Scientific Research Publishing, v. 8, n. 02, p. 252, 2016.
- OLIVEIRA, V. H. de. Natural disasters and economic growth in Northeast Brazil: evidence from municipal economies of the Ceará State. *Environment and Development Economics*, Cambridge University Press, v. 24, n. 3, p. 271–293, 2019.
- OSBORN, T. et al. Drought: Monitoring global drought using the self-calibrating Palmer Drought Severity Index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 100, n. 9, p. S39–S40, 2019.

PAGSUYOIN, S. et al. Spatio-temporal drought risk analysis using gis-based input output modeling. In: *Advances in Spatial and Economic Modeling of Disaster Impacts*. [S.l.]: Springer, 2019. p. 375–397.

PALMER, W. C. *Meteorological drought*. [S.l.]: US Department of Commerce, Weather Bureau, 1965. v. 30.

PALMER, W. C. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new crop moisture index. Taylor & Francis, 1968.

PANWAR, V.; SEN, S. Economic impact of natural disasters: An empirical re-examination. *Margin: The Journal of Applied Economic Research*, SAGE Publications Sage India: New Delhi, India, v. 13, n. 1, p. 109–139, 2019.

PEREIRA FILHO, A. J. et al. Caracterização do clima e sua evolução na Região Metropolitana de São Paulo. In: *Evolução do tempo e do clima na Região Metropolitana de São Paulo*. [S.l.]: Linear B/IAG-USP, 2007.

PIVETTA, M. *Da garoa à tempestade*. 2012. Disponível em: <[https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/05/Pesquisa\\_195-18.pdf](https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/05/Pesquisa_195-18.pdf)>.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. *Plano de Ação Climática do Município de São Paulo 2020-2050*. São Paulo, SP, 2020.

RIBEIRO NETO, A.; PAZ, A. R. da; SILVA, E. R. da. Impactos e vulnerabilidade do setor de recursos hídricos no Brasil às mudanças climáticas. In: TEIXEIRA, B. S.; ORSINI, J. A. M.; CRUZ, M. R. da (Ed.). *Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais à Mudança do Clima no Brasil*. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, 2016. cap. 5, p. 189–240.

ROODMAN, D. How to do xtabond2: An introduction to difference and system gmm in stata. *The stata journal*, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 9, n. 1, p. 86–136, 2009.

ROOY, M. *A rainfall anomaly index independent of time and space*. *Notos*. [S.l.]: Pretoria, 1965.

ROSSATO, L. et al. Impact of soil moisture over palmer drought severity index and its future projections in brazil. *RBRH*, SciELO Brasil, v. 22, 2017.

RStudio Team. *RStudio: Integrated Development Environment for R*. Boston, MA, 2020. Disponível em: <<http://www.rstudio.com/>>.

RUIJS, A.; ZIMMERMANN, A.; BERG, M. van den. Demand and distributional effects of water pricing policies. *Ecological Economics*, Elsevier, v. 66, n. 2-3, p. 506–516, 2008.

SABESP. *Estratégias resilientes. Um plano de adaptação às variações climáticas na gestão de recursos hídricos para o abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo*. [S.l.: s.n.], 2020.

- SEUNG, C. K. et al. Impacts of water reallocation: A combined computable general equilibrium and recreation demand model approach. *The Annals of Regional Science*, Springer, v. 34, n. 4, p. 473–487, 2000.
- SEUNG, C. K. et al. Economic impacts of water reallocation: A CGE analysis for Walker River Basin of Nevada and California. *Journal of Regional Analysis and Policy*, v. 28, p. 13–34, 1998.
- SEVERIAN, D. Dinâmica industrial na Região Metropolitana de São Paulo: Uma análise do período 2000-2015. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2018.
- SHUKLA, S.; WOOD, A. W. Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical research letters*, Wiley Online Library, v. 35, n. 2, 2008.
- TADDEI, R. *A comunicação das mudanças climáticas: Aspectos psicológicos*. [S.l.]: Paco e Littera, 2016. ISBN 9788546203444.
- TAFFARELLO, D. et al. Field investigations of the 2013–14 drought through quali-quantitative freshwater monitoring at the headwaters of the cantareira system, brazil. *Water International*, Taylor & Francis, v. 41, n. 5, p. 776–800, 2016.
- THE WORLD BANK. *The Critical Face of Climate Change—Water*. [S.l.], 2016.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, R. J. The water balance. New Gersey: Laboratory of Climatology, v. 8, p. 1–104, 1955.
- TOLEDO, R. P. de. *A capital da solidão: uma história de São Paulo das origens a 1900*. [S.l.]: Objetiva, 2012.
- TOLEDO, R. P. de. *A capital da vertigem: Uma história de São Paulo de 1900 a 1954*. [S.l.]: Objetiva, 2015.
- TSAKIRIS, G.; VANGELIS, H. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European water*, v. 9, n. 10, p. 3–11, 2005.
- UNITED NATIONS. *Yearbook of Global Climate Action 2020*. [S.l.], 2021. Disponível em: <[https://unfccc.int/sites/default/files/resource/2020\\_Yearbook\\_final\\_0.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/2020_Yearbook_final_0.pdf)>.
- UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. *GAR Special Report on Drought 2021*. Geneva, 2021.
- VICENTE-SERRANO, S. M.; BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J. I. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*, v. 23, n. 7, p. 1696–1718, 2010.
- VLIET, M. V.; ZWOLSMAN, J. Impact of summer droughts on the water quality of the Meuse river. *Journal of Hydrology*, Elsevier, v. 353, n. 1-2, p. 1–17, 2008.
- WANG, P. et al. Urban drought vulnerability assessment—a framework to integrate socio-economic, physical, and policy index in a vulnerability contribution analysis. *Sustainable Cities and Society*, Elsevier, v. 54, p. 102004, 2020.

WELLS, N.; GODDARD, S.; HAYES, M. J. A self-calibrating Palmer Drought Severity Index. *Journal of climate*, v. 17, n. 12, p. 2335–2351, 2004.

WITTWER, G. *Economic modeling of water: the Australian CGE experience*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012. v. 3.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Report on drought and countries affected by drought during 1974–1985. *WMO, Geneva*, p. 118, 1986.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. *Guide to Climatological Practices*. Geneva, 2018.

# ANEXO - ESPECIFICAÇÃO TEÓRICA DO MODELO B-MARIA

Nesse anexo são apresentadas de maneira simplificada as formas funcionais dos principais grupos de equações do modelo B-MARIA, juntamente com a definição dos principais grupos de variáveis, parâmetros e coeficientes. Como convenção, as letras maiúsculas representam as variáveis em nível e as minúsculas suas variações percentuais. Essa apresentação é baseada em Haddad (2004).

## 1. Substituição entre bens de diferentes origens domésticas

$$x_{[i(1b)]}^{(u)r} = x_{[i(1\bullet)]}^{(u)r} - \sigma 1_{(i)}^{(u)r} \left[ p_{[i(1b)]}^{(u)r} - \sum_{l \in S^*} \frac{V[i, 1l, (u), r]}{V[i, 1\bullet, (u), r]} p_{[i(1l)]}^{(u)r} \right] \quad (1)$$

$$i \in G; b \in S^*; (u) \in U^*; r \in S^*$$

onde  $x_{[i(1b)]}^{(u)r}$  é a demanda pelo usuário  $(u)$  na região  $r$  para o bem  $i$  na região doméstica  $(1b)$ ;  $p_{[i(1b)]}^{(u)r}$  é o preço pago pelo usuário  $(u)$  pelo bem  $i$  na região doméstica  $(1b)$ ;  $\sigma 1_{(i)}^{(u)r}$  é um parâmetro que mede a elasticidade de substituição específica entre bens  $i$  de diferentes origens domésticas, conhecida conhecida como elasticidade de Armington; e  $V[i, 1l, (u), r]$  é um coeficiente de fluxo de entrada e saída que mede o valor de compra do bem  $i$  de fonte doméstica  $l$  usado pelo usuário  $(u)$  na região  $r$ .

## 2. Substituição entre bens domésticos e importados

$$x_{(is)}^{(u)r} = x_{(i\bullet)}^{(u)r} - \sigma 2_{(i)}^{(u)r} \left[ p_{(is)}^{(u)r} - \sum_{l=1\bullet, 2} \frac{V[i, l, (u), r]}{V[i, \bullet, (u), r]} p_{(il)}^{(u)r} \right] \quad (2)$$

$$i \in G; s = 1\bullet, 2; (u) \in U^*; r \in S^*$$

onde  $x_{(is)}^{(u)r}$  é a demanda do usuário  $(u)$  na região  $r$  pelo bem interno composto ou estrangeiro  $i$ ;  $p_{(is)}^{(u)r}$  é o preço pago pelo usuário  $(u)$  na região  $r$  pelo bem doméstico ou importado  $i$ ;  $\sigma 2_{(i)}^{(u)r}$  é um parâmetro que mede a elasticidade de substituição específica entre bens domésticos e importados, conhecida como elasticidade de Armington do comércio internacional; e  $V[i, l, (u), r]$  é um coeficiente de fluxo de entrada e saída que mede o valor de compra do bem  $i$  de origem doméstica estrangeira  $l$  pelo usuário  $(u)$  na região  $r$ .

### 3. Substituição entre mão de obra, capital e terra agrícola

$$x_{(g+1,s)}^{(1j)r} - a_{(g+1,s)}^{(1j)r} = a_{(g+1,s)}^{(1j)r} x_{(g+1,\bullet)}^{(1j)r} - \sigma_3^{(1j)r} \left[ p_{(g+1,s)}^{(1j)r} + a_{(g+1,s)}^{(1j)r} - \sum_{l \in F} \frac{V[g+1, l, (1j), r]}{V[g+1, \bullet, (1j), r]} p_{(g+1,l)}^{(1j)r} + a_{(g+1,l)}^{(1j)r} \right] \quad (3)$$

$$j \in H; s \in F; r \in S^*$$

onde  $x_{(g+1,s)}^{(1j)r}$  é a demanda do setor  $j$  na região  $r$  por cada fator primário;  $a_{(g+1,s)}^{(1j)r}$  é a variável exógena de mudanças técnica específica do setor para o fator primário  $s$  na região  $r$ ;  $p_{(g+1,s)}^{(1j)r}$  é o preço pago pelo setor  $j$  na região  $r$  pelos fatores primários  $s$ ;  $\sigma_3^{(1j)r}$  é um parâmetro que mede a elasticidade de substituição específica do setor entre diferentes fatores primários; e  $V[g+1, l, (1j), r]$  é um coeficiente de fluxo de entrada saída que mede o valor de compra do fator  $l$  usado pelo setor  $j$  na região  $r$ .

### 4. Demanda setorial (produção e investimento) por bens compostos e fatores primários

$$x_{(i\bullet)}^{(u)r} = \mu_{(i\bullet)}^{(u)r} z^{(u)r} + a_{(i)}^{(u)r} \quad (4)$$

$$u = (kj), k = 1, 2, j \in H; i \in G^*; r \in S^*$$

onde  $x_{(i\bullet)}^{(u)r}$  é a demanda do usuário  $u$  na região  $r$  pelos insumos intermediários compostos e fatores primários  $i$ ;  $z^{(u)r}$  é a produção do usuário  $u$  na região  $r$ ;  $a_{(i)}^{(u)r}$  é a mudanças técnica relacionada ao uso do bem  $i$  pelo usuário  $u$  na região  $r$ ; e  $\mu_{(i\bullet)}^{(u)r}$  é um parâmetro de escala que mede os retornos específicos do setor para o composto de fatores primários em cada região.

### 5. Demanda das famílias por bens compostos

$$V[i, \bullet, (3), r] (p_{(i\bullet)}^{(3)r} + x_{(i\bullet)}^{(3)r} - a_{(i\bullet)}^{(3)r}) = \gamma_{(i)}^r P_{i\bullet}^{(3)r} Q^r [p_{(i\bullet)}^{(3)r} + x_{(i\bullet)}^{(3)r} + a_{(i\bullet)}^{(3)r}] + \beta_{(i)}^r [C^r - \sum_{j \in G} \gamma_{(j)}^r P_{i\bullet}^{(3)r} Q^r (p_{(i\bullet)}^{(3)r} + x_{(i\bullet)}^{(3)r} + a_{(i\bullet)}^{(3)r})] \quad (5)$$

$$i \in G; r \in S^*$$

onde  $(p_{(i\bullet)}^{(3)r})$  é o preço pago pelas famílias na região  $r$  pelo bem composto  $i$ ;  $x_{(i\bullet)}^{(3)r}$  é a demanda domiciliar na região  $r$  pelo bem composto  $i$ ;  $a_{(i\bullet)}^{(3)r}$  é a variável específica setorial de mudança de preferências regionais;  $Q^r$  é o

número de domicílios na região  $r$ ;  $C^r$  é o total do dispêndio por domicílio na região  $r$ , que é proporcional à renda regional do trabalho;  $\gamma_{(i)}^r$  é o parâmetro de subsistência no sistema linear de despesas para o bem  $i$  na região  $r$ ;  $\beta_{(i)}^r$  é o parâmetro que mede as participações orçamentárias marginais do bem  $i$  na região  $r$  no sistema linear de despesas; e  $V[i, \bullet, (3), r](p_{(i\bullet)}^{(3)r})$  é um coeficiente de fluxo de insumo-produto que mede o valor de compra do bem  $i$  consumido pelas famílias na região  $r$ .

#### 6. Demanda externa (exportações) por bens domésticos

$$(x_{(is)}^{(4)r} - fq_{(is)}^{(4)r}) = \eta_{(is)}^r (p_{(is)}^{(4)r} - e - fp_{(is)}^{(4)r}) \quad (6)$$

$$i \in G^*; r, s \in S^*$$

onde  $x_{(is)}^{(4)r}$  é a demanda externa pelos bens domésticos  $i$  produzidos na região  $s$  e vendidos pela região  $r$  (no modelo não há reexportação, de modo que  $r = s$ );  $p_{(is)}^{(4)r}$  é o preço de compra em moeda nacional do bem exportado  $i$  na região  $r$ ;  $e$  é a taxa de câmbio nominal; e  $fq_{(is)}^{(4)r}$  e  $fp_{(is)}^{(4)r}$  são, respectivamente, as variáveis de quantidade e mudança de preço nas curvas de demanda externa para exportações regionais.

#### 7. Demanda dos governos regionais e federal

$$x_{(is)}^{(5)r} = taxrev^r + f_{(is)}^{(5)r} + f^{(5)r} + f^{(5)} \quad (7)$$

$$x_{(is)}^{(6)r} = ntaxrev + f_{(is)}^{(6)r} + f^{(6)r} + f^{(6)} \quad (8)$$

$$i \in G; s = 1b, 2; r, b \in S^*$$

onde  $x_{(is)}^{(5)r}$  e  $x_{(is)}^{(6)r}$  são as demandas dos governos regionais (5) e Federal (6) na região  $r$  para o bem  $i$  da região  $s$ ;  $f_{(is)}^{(5)r}$ ,  $f^{(5)r}$  e  $f^{(5)}$  são, respectivamente, termo de descolamento na demanda dos governos regionais pelo bem  $is$  na região  $r$ ; termo de deslocamento na demanda dos governos regionais na região  $r$ ; e termo de deslocamento na demanda dos governos regionais. Os mesmos termos para o governo federal são  $f_{(is)}^{(6)r}$ ,  $f^{(6)r}$  e  $f^{(6)}$ . Finalmente,  $taxrev^r$  é a variação percentual na receita real de impostos indiretos na região  $r$ , e  $ntaxrev$  é a variação percentual na receita real agregada de impostos indiretos, de modo que a demanda governamental se move com mudanças endógenas nas bases tributárias regionais e nacionais.

## 8. Impostos indiretos

$$t_{(is)}^{(u)r} = f_i + f_i^{(u)} + f_i^{(u)r} \quad (9)$$

$$i \in G; s = 1b, 2; b, r \in S^*; u \in U$$

onde  $t_{(is)}^{(u)r}$  é o poder do imposto sobre as vendas de commodities ( $is$ ) para o usuário ( $u$ ) na região  $r$ ; e  $f_i$ ,  $f_i^{(u)}$  e  $f_i^{(u)r}$  são termos de deslocamento diferentes, permitindo mudanças percentuais no poder do imposto.

## 9. Demanda igual a oferta para bens domésticos

$$\sum_{j \in H} Y(l, j, r) x_{(l1)}^{(0j)r} = \sum_{(u) \in U} B[l, 1b, (u), r] x_{(l1)}^{(u)r} \quad (10)$$

$$l \in G, b, r \in S^*$$

onde  $x_{(l1)}^{(0j)r}$  é a produção de bens domésticos  $l$  pela indústria  $j$  na região  $r$ ;  $x_{(l1)}^{(u)r}$  é a demanda do bem doméstico  $l$  pelo usuário ( $u$ ) na região  $r$ ;  $Y(l, j, r)$  é o fluxo de entrada e saída que mede o valor básico da produção de bens domésticos  $l$  da indústria  $j$  na região  $r$ ; e  $B[l, 1, (u), r]$  é o fluxo de entrada e saída que mede o valor básico do bem doméstico  $l$  usado por ( $u$ ) na região  $r$ .

## 10. Preço básico de bens importados

$$p_{[i(2)]}^{(0)} = p_{[i(2)]}^{(w)} - e + t_{[i(2)]}^{(0)} \quad (11)$$

$$i \in G$$

onde  $p_{[i(2)]}^{(0)}$  é o preço básico em moeda nacional do bem  $i$  de origem estrangeira;  $p_{[i(2)]}^{(w)}$  é o preço da mercadoria importada  $i$  (custo CIF - Cost, Insurance and Freight);  $e$  é a taxa de câmbio nominal; e  $t_{[i(2)]}^{(0)}$  é a potência da tarifa, ou seja, um mais a alíquota tarifária, nas importações de  $i$ .

## 11. Receita igual a custos dos setores

$$\sum_{l \in G} Y(l, j, r) (p_{(l1)}^{(0)r} + a_{(l1)}^{(0)r}) = \sum_{l \in G^*} \sum_{s \in S} V[l, s, (1j), r] p_{(ls)}^{(1j)r} \quad (12)$$

$$j \in H; r \in S^*$$

onde  $p_{(l1)}^{(0)r}$  é o preço básico do bem doméstico  $i$  na região  $r$ ;  $a_{(l1)}^{(0)r}$  refere às mudanças tecnológicas, medidas como uma média ponderada dos diferentes tipos de mudanças técnicas com influência nos custos unitários de  $j$ ;  $p_{(ls)}^{(1j)r}$  é o custo unitário do setor  $j$  na região  $r$ ;  $Y(l, j, r)$  é o fluxo de entrada e saída que mede o valor básico da produção de bens domésticos  $l$  da indústria  $j$  na região  $r$ ; e  $V[l, s, (1j), r]$  são fluxos de entrada e saída que medem o valor do comprador do bem ou fator  $l$  da fonte  $s$  usada pelo setor  $j$  na região  $r$ .

12. Preços ao consumidor relacionados aos preços básicos, custo de transporte e impostos

$$V[i, s, (u), r]p_{(is)}^{(u)r} = \{[B(i, s, (u), r) + T[i, s, (u), r]]\}(p_{(is)}^{(0)} + t_{(is)}^{(u)r}) \quad (13)$$

$$i \in G; s = 1b, 2; b, r \in S^*; u \in U$$

onde  $p_{(is)}^{(u)r}$  é o preço pago pelo usuário  $(u)$  na região  $r$  para o bem  $(is)$ ;  $p_{(is)}^{(0)}$  é o preço básico do bem doméstico  $(is)$ ;  $t_{(is)}^{(u)r}$  é o poder do imposto sobre as vendas de bens  $(is)$  para o usuário  $(u)$  na região  $r$ ;  $V[i, s, (u), r]$  são fluxos de entrada e saída que medem o valor de compra do bem  $i$  da fonte  $s$  usado pelo usuário  $(u)$  na região  $r$ ;  $B[i, s, (u), r]$  é o fluxo de entrada e saída medindo o valor básico de bem  $(is)$  usado por  $(u)$  na região  $r$ ; e  $T[i, s, (u), r]$  é o fluxo de insumo-produto associado à receita tributária das vendas de  $(is)$  para  $(u)$  na região  $r$ .

13. Custo da construção de unidades de capital para setores

$$V[\bullet, \bullet, (2j), r][p_{(k)}^{(1j)r} - a_{(k)}^{(1j)r}] = \sum_{i \in G} \sum_{s \in S} V[i, s, (2j), r][p_{(is)}^{(2j)r} - a_{(is)}^{(2j)r}] \quad (14)$$

$$j \in H; r \in S^*$$

onde  $p_{(k)}^{(1j)r}$  é o preço pago pelo usuário  $(2j)$  na região  $r$  pelo bem  $(is)$ ;  $a_{(k)}^{(1j)r}$  e  $a_{(is)}^{(2j)r}$  são termos técnicos; e  $V[i, s, (2j), r]$  representa fluxos de entrada e saída que o valor de compra do bem  $i$  da fonte  $s$  usada pelo usuário  $(2j)$  na região  $r$ .

14. Investimentos

$$z^{(2j)r} = x_{(g+1, 2)}^{(1j)r} + f_{(k)}^{(2j)r} \quad (15)$$

$$j \in H; r \in S^*$$

onde  $z^{(2j)r}$  é o nível de investimento corrente do setor  $j$  na região  $r$ ;  $x_{(g+1,2)}$  é o estoque de capital na indústria  $j$  na região  $r$ ;  $f_{(k)}^{(2j)r}$  é o termo de deslocamento na acumulação de capital no setor  $j$  na região  $r$ .

#### 15. Taxa de retorno ao capital

$$r_{(j)}^r = \Psi_{(j)}^r [p_{(g+1,2)}^{(1j)r} - p_{(k)}^{(1j)r}] \quad (16)$$

onde  $r_{(j)}^r$  é a taxa de retorno específica da indústria regional;  $p_{(g+1,2)}^{(1j)r}$  é o valor do aluguel do capital no setor  $j$  na região  $r$ ;  $p_{(k)}^{(1j)r}$  é o custo de construção de unidades de capital para indústrias regionais; e  $\Psi_{(j)}^r$  é um parâmetro específico da indústria regional que se refere à razão entre a taxa de retorno bruta e a líquida.

#### 16. Relação entre crescimento do estoque de capital e taxas de retorno

$$r_{(j)}^r - \omega = \varepsilon_{(j)}^r (x_{(g+1,2)}^{(1j)r} - x_{(g+1,2)}^{(0)r}) + f_{(k)}^{(1j)r} \quad (17)$$

$$j \in H; r \in S^*$$

onde  $r_{(j)}^r$  é a taxa de retorno específica da indústria regional;  $\omega$  é a taxa geral de retorno do capital;  $x_{(g+1,2)}^{(1j)r}$  é o estoque de capital na indústria  $j$  na região  $r$ ;  $f_{(k)}^{(1j)r}$  é o termo de mudança de capital no setor  $j$  na região  $r$ ; e  $\varepsilon_{(j)}^r$  mede a sensibilidade do crescimento do capital às taxas de retorno da indústria  $j$  na região  $r$ .

#### 17. Definição de salários

$$V(g+1, 1, \bullet, r) (p_{(g+1,1)}^{(\bullet)r} - a_{(g+1,1)}^{(\bullet)r}) = \sum_{j \in H} V[g+1, 1, (1j), r] (p_{(g+1,1)}^{(1j)r} - a_{(g+1,1)}^{(1j)r}) \quad (18)$$

$$r \in S^*$$

onde  $p_{(g+1,1)}^{(1j)r}$  é o salário no setor  $j$  na região  $r$ ;  $a_{(g+1,1)}^{(1j)r}$  é um termo técnico; e  $V[g+1, 1, (1j), r]$  representa os fluxos de insumo-produto que medem os pagamentos de trabalho setoriais na região  $r$ .

$$wage\_diff^{(r)} = p_{(g+1,1)}^{(\bullet)r} - cpi - natrealwage \quad (19)$$

$$r \in S^*$$

onde  $wage\_diff^{(r)}$  representa o diferencial regional de salários;  $cpi$  é o índice nacional de preços ao consumidor, calculado como a média ponderada de  $p_{(is)}^{(3)r}$  nas regiões  $r$  e bens de consumo ( $is$ ); e  $natrealwage$  é o salário real nacional do consumidor.

## 18. Taxa de desemprego regional

$$LABSUP(r)del_{unr}^{(r)} = EMPLOY(r)(labsup^{(r)} - x_{(g+1,1)}^{(\bullet)r}) \quad (20)$$

$$r \in S^*$$

onde  $del_{unr}^{(r)}$  mede mudanças em pontos percentuais na taxa de desemprego regional;  $labsup^{(r)}$  é a variável de oferta regional de trabalho; e os coeficientes  $LABSUP(r)$  e  $EMPLOY(r)$  são os valores de referência para a oferta regional de trabalho e emprego regional, respectivamente. A variável  $labsup^{(r)}$  muda com a taxa de participação da força de trabalho regional, proporcional à população regional e à população em idade ativa.

## 19. População regional

$$POP(r)pop^{(r)} = d_{rm}^{(r)} + d_{fm}^{(r)} + d_g^{(r)} \quad (21)$$

$$r \in S^*$$

onde  $POP(r)$  é um coeficiente que mede a população regional no ano de referência;  $d_{rm}^{(r)}$  é a migração regional líquida;  $d_{fm}^{(r)}$  é a migração internacional líquida; e  $d_g^{(r)}$  a taxa de crescimento da população.

## 20. Utilidade das famílias

$$util\_diff^{(r)} = utility^{(r)} - agg\_util + futil^{(r)} \quad (22)$$

$$r \in S^*$$

onde  $util\_diff^{(r)}$  é o diferencial no nível de utilidade das famílias;  $utility^{(r)}$  é o nível de utilidade regional;  $agg\_util$  é o nível de utilidade geral nacional; e  $futil^{(r)}$  é um termo de deslocamento.

## 21. Produto regional

$$GRP^r grp^r = C^r x_{(\bullet\bullet)}^{(3)r} + INV^r z^{(2\bullet)r} + GOV^{(5)r} x_{(\bullet\bullet)}^{(5)r} + GOV^{(6)r} x_{(\bullet\bullet)}^{(6)r} + ISFL^{(8)r} x_{(\bullet\bullet)}^{(8)r} \quad (23)$$

$$+ (FEXP^r x_{(\bullet\bullet)}^{(4)r} - FIMP^r x_{(\bullet\bullet)}^{(\bullet)r}) + (DEXP^r x_{[\bullet(1r)]}^{(\bullet)s} - DIMP^r x_{[\bullet(1s)]}^{(\bullet)r})$$

$$r \in S^*; s \in S^* \text{ para } s \neq r$$

onde  $grp^r$  é a variação percentual do Produto Regional Bruto real na região  $r$ ; os coeficientes  $GRP^r$ ,  $INV^r$ ,  $GOV^{(5)r}$ ,  $GOV^{(6)r}$ ,  $ISFL^{(8)r}$ ,  $FEXP^r$ ,  $FIMP^r$ ,  $DEXP^r$  e  $DIMP^r$  representam, respectivamente, os seguintes agregados regionais: investimentos, gastos dos governos regionais, gastos do governo

federal, gastos das ISFL, exportações estrangeiras, importações estrangeiras, exportações domésticas e importações domésticas. A produção nacional, PIB, é, portanto, a soma de  $GRP^r$  em todas as regiões  $r$ .

## 22. Fechamento do modelo

Para fechar o modelo, as seguintes variáveis são definidas como exógenas, tanto no curto como no longo prazo:  $a_{(g+1,s)}^{(1j)r}$ ,  $a_{(i)}^{(1j)r}$ ,  $a_{(i)}^{(2j)r}$ ,  $a_{(i\bullet)}^{(3)r}$ ,  $f q_{(is)}^{(4)r}$ ,  $f p_{(is)}^{(4)r}$ ,  $f_{(is)}^{(5)r}$ ,  $f^{(5)r}$ ,  $f^{(5)}$ ,  $f_{(is)}^{(6)r}$ ,  $f^{(6)r}$ ,  $f^{(6)}$ ,  $f_{(is)}^{(8)r}$ ,  $f^{(8)r}$ ,  $f^{(8)}$ ,  $f_i$ ,  $f_i^{(u)}$ ,  $f_i(u)r$ ,  $p_{(i(2))}^{(w)}$ ,  $t_{(i(2))}^{(0)}$ ,  $a_{(11)}^{(0)r}$ ,  $a_{(k)}^{(1j)r}$ ,  $a_{(is)}^{(2j)r}$ ,  $a_{(g+1,1)}^{(\bullet)r}$ ,  $\omega$ ,  $f_{(k)}^{(2j)r}$ ,  $d_{fm}^{(r)}$ ,  $d_g^{(r)}$  e  $futil^{(r)}$ .

Para completar o ambiente de curto prazo, também são definidos como exógenos os estoques atuais de capital ( $x_{(g+1,2)}^{(1j)r}$ ), o salário real nacional ( $natrealwage$ ), diferenciais regionais de salários, ( $wage\_diff^{(r)}$ ), e população regional, mantendo a migração regional inalterada ( $d_{rm}^{(r)}$ ).

# A DIAGNÓSTICO DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA

| <b>Município</b>       | <b>Tipo de sistema</b>  | <b>Resultado</b>           | <b>Indicador</b> |
|------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------|
| Arujá                  | Superficial             | Requer ampliação sistema   | 0,6              |
| Barueri                | Superficial             | Requer novo manancial      | 1,0              |
| Biritiba Mirim         | Superficial+subterrâneo | Requer ampliação sistema   | 0,5              |
| Caieiras               | Superficial             | Requer novo manancial      | 1,0              |
| Cajamar                | Superficial+subterrâneo | Requer novo manancial      | 0,9              |
| Carapicuíba            | Superficial             | Requer novo manancial      | 1,0              |
| Cotia                  | Superficial+subterrâneo | Requer novo manancial      | 0,9              |
| Diadema                | Superficial             | Requer novo manancial      | 1,0              |
| Embu das Artes         | Superficial             | Requer novo manancial      | 1,0              |
| Embu-Guaçu             | Superficial+subterrâneo | Requer ampliação sistema   | 0,5              |
| Ferraz de Vasconcelos  | Superficial             | Requer ampliação sistema   | 0,6              |
| Francisco Morato       | Superficial             | Requer novo manancial      | 1,0              |
| Franco da Rocha        | Superficial             | Requer novo manancial      | 1,0              |
| Guararema              | Superficial             | Requer ampliação sistema   | 0,6              |
| Guarulhos              | Superficial+subterrâneo | Requer novo manancial      | 0,9              |
| Itapeccrica da Serra   | Superficial+subterrâneo | Requer novo manancial      | 0,9              |
| Itapevi                | Superficial             | Requer novo manancial      | 1,0              |
| Itaquaquecetuba        | Superficial             | Requer ampliação sistema   | 0,6              |
| Jandira                | Superficial             | Requer novo manancial      | 1,0              |
| Juquitiba              | Superficial+subterrâneo | Requer ampliação sistema   | 0,5              |
| Mairiporã              | Superficial+subterrâneo | Requer novo manancial      | 0,9              |
| Mauá                   | Superficial             | Requer ampliação sistema   | 0,6              |
| Mogi das Cruzes        | Superficial+subterrâneo | Requer novo manancial      | 0,9              |
| Osasco                 | Superficial             | Requer novo manancial      | 1,0              |
| Pirapora do Bom Jesus  | Subterrâneo             | Requer ampliação sistema   | 0,4              |
| Poá                    | Superficial             | Requer ampliação sistema   | 0,6              |
| Ribeirão Pires         | Superficial             | Abastecimento satisfatório | 0,2              |
| Rio Grande da Serra    | Superficial             | Abastecimento satisfatório | 0,2              |
| Salesópolis            | Superficial+subterrâneo | Requer ampliação sistema   | 0,5              |
| Santa Isabel           | Sem informação          | Sem informação             | 0,2              |
| Santana de Parnaíba    | Superficial+subterrâneo | Requer novo manancial      | 0,9              |
| Santo André            | Superficial             | Requer novo manancial      | 1,0              |
| São Bernardo do Campo  | Superficial             | Requer novo manancial      | 1,0              |
| São Caetano do Sul     | Superficial+subterrâneo | Requer novo manancial      | 0,9              |
| São Lourenço da Serra  | Superficial             | Requer ampliação sistema   | 0,6              |
| São Paulo              | Superficial+subterrâneo | Requer novo manancial      | 0,9              |
| Suzano                 | Superficial             | Requer ampliação sistema   | 0,6              |
| Taboão da Serra        | Superficial             | Requer novo manancial      | 1,0              |
| Vargem Grande Paulista | Superficial+subterrâneo | Requer ampliação sistema   | 0,5              |

Fonte: Agência Nacional de Águas (2015).

Nota: Não há informações sobre Santa Isabel na base de dados, mas se entende que não é um município que enfrenta pressões hídricas, por isso foi atribuído o valor de 0,2.

## B FUNÇÃO DE GUMBEL

A distribuição de Gumbel tem duas formas, uma é baseada no extremo mínimo e outra no máximo. A fórmula geral para a função de densidade de probabilidade da distribuição de Gumbel (máximo) é:

$$f(X) = \frac{1}{\alpha} e^{-\left[\frac{x-\mu}{\alpha} - e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}}\right]}, -\infty < X < \infty \quad (\text{B.1})$$

E a função de distribuição é da forma:

$$F(X) = e^{-e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}}}, \alpha < 0 \quad (\text{B.2})$$

Onde  $\mu$  é o parâmetro de localização e  $\alpha$  é o parâmetro de escala e podem ser determinados por:

$$\mu = \bar{x} - 0,5772\alpha \quad (\text{B.3})$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6S_x}}{\pi} \quad (\text{B.4})$$

Sendo  $\bar{x}$  e  $S_x$  a média e o desvio padrão da variável X, respectivamente.

# C INTENSIDADE ANUAL MÉDIA POR MUNICÍPIO E CENÁRIO CLIMÁTICO

| <b>Município</b>       | <b>Histórico<br/>1976-2005</b> | <b>RCP4.5<br/>2021-2050</b> | <b>RCP4.5<br/>2070-2099</b> | <b>RCP8.5<br/>2021-2050</b> | <b>RCP8.5<br/>2070-2099</b> |
|------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Arujá                  | 10,75                          | 22,48                       | 14,64                       | 1,92                        | 22,51                       |
| Barueri                | 8,25                           | 16,34                       | 13,38                       | 2,53                        | 23,17                       |
| Biritiba Mirim         | 14,19                          | 14,11                       | 16,30                       | 5,42                        | 21,26                       |
| Caieiras               | 9,75                           | 23,08                       | 14,20                       | 2,89                        | 22,31                       |
| Cajamar                | 9,55                           | 19,46                       | 13,42                       | 2,61                        | 22,03                       |
| Carapicuíba            | 9,43                           | 15,01                       | 14,18                       | 2,21                        | 22,26                       |
| Cotia                  | 9,43                           | 19,89                       | 13,49                       | 2,91                        | 21,93                       |
| Diadema                | 11,63                          | 16,88                       | 15,09                       | 3,07                        | 23,38                       |
| Embu das Artes         | 9,42                           | 19,89                       | 13,49                       | 2,91                        | 21,93                       |
| Embu-Guaçu             | 13,65                          | 18,48                       | 16,44                       | 3,17                        | 21,30                       |
| Ferraz de Vasconcelos  | 9,39                           | 20,71                       | 15,42                       | 2,65                        | 22,89                       |
| Francisco Morato       | 9,75                           | 23,08                       | 14,20                       | 2,89                        | 22,31                       |
| Franco da Rocha        | 9,75                           | 23,08                       | 14,20                       | 2,89                        | 22,31                       |
| Guararema              | 11,32                          | 16,79                       | 13,51                       | 3,20                        | 23,03                       |
| Guarulhos              | 8,97                           | 17,25                       | 15,86                       | 1,63                        | 22,30                       |
| Itapecerica da Serra   | 12,21                          | 13,44                       | 13,84                       | 3,29                        | 21,94                       |
| Itapevi                | 8,25                           | 16,34                       | 13,38                       | 2,53                        | 23,17                       |
| Itaquaquecetuba        | 9,39                           | 20,72                       | 15,42                       | 2,65                        | 22,89                       |
| Jandira                | 8,25                           | 16,34                       | 13,38                       | 2,53                        | 23,17                       |
| Juquitiba              | 13,40                          | 13,42                       | 15,91                       | 3,94                        | 22,22                       |
| Mairiporã              | 10,12                          | 19,47                       | 14,15                       | 1,68                        | 21,70                       |
| Mauá                   | 14,77                          | 13,79                       | 15,18                       | 3,40                        | 22,53                       |
| Mogi das Cruzes        | 11,67                          | 16,48                       | 14,79                       | 3,46                        | 23,14                       |
| Osasco                 | 9,43                           | 15,01                       | 14,18                       | 2,21                        | 22,26                       |
| Pirapora do Bom Jesus  | 9,55                           | 19,46                       | 13,42                       | 2,61                        | 22,03                       |
| Poá                    | 9,39                           | 20,71                       | 15,42                       | 2,65                        | 22,89                       |
| Ribeirão Pires         | 21,82                          | 17,81                       | 14,49                       | 4,28                        | 21,59                       |
| Rio Grande da Serra    | 21,18                          | 19,04                       | 12,65                       | 3,96                        | 20,61                       |
| Salesópolis            | 11,18                          | 16,64                       | 14,37                       | 3,17                        | 23,54                       |
| Santa Isabel           | 12,56                          | 16,26                       | 14,74                       | 1,98                        | 22,84                       |
| Santana de Parnaíba    | 8,25                           | 16,34                       | 13,38                       | 2,53                        | 23,17                       |
| Santo André            | 14,77                          | 13,79                       | 15,18                       | 3,40                        | 22,53                       |
| São Bernardo do Campo  | 11,63                          | 16,88                       | 15,09                       | 3,07                        | 23,38                       |
| São Caetano do Sul     | 11,63                          | 16,88                       | 15,09                       | 3,07                        | 23,38                       |
| São Lourenço da Serra  | 12,21                          | 13,44                       | 13,84                       | 3,29                        | 21,94                       |
| São Paulo              | 9,56                           | 18,45                       | 15,02                       | 1,71                        | 21,56                       |
| Suzano                 | 9,39                           | 20,71                       | 15,42                       | 2,65                        | 22,89                       |
| Taboão da Serra        | 8,99                           | 15,31                       | 15,50                       | 1,93                        | 22,78                       |
| Vargem Grande Paulista | 9,83                           | 17,55                       | 12,97                       | 2,66                        | 23,77                       |

Fonte: elaboração própria.

# D LISTA DE REGIÕES E SETORES DO MODELO EEGC

---

| Regiões |                        |
|---------|------------------------|
| R1      | Arujá                  |
| R2      | Barueri                |
| R3      | Biritiba Mirim         |
| R4      | Caieiras               |
| R5      | Cajamar                |
| R6      | Carapicuíba            |
| R7      | Cotia                  |
| R8      | Diadema                |
| R9      | Embu das Artes         |
| R10     | Embu-Guaçu             |
| R11     | Ferraz de Vasconcelos  |
| R12     | Francisco Morato       |
| R13     | Franco da Rocha        |
| R14     | Guararema              |
| R15     | Guarulhos              |
| R16     | Itapecerica da Serra   |
| R17     | Itapevi                |
| R18     | Itaquaquecetuba        |
| R19     | Jandira                |
| R20     | Juquitiba              |
| R21     | Mairiporã              |
| R22     | Mauá                   |
| R23     | Mogi das Cruzes        |
| R24     | Osasco                 |
| R25     | Pirapora do Bom Jesus  |
| R26     | Poá                    |
| R27     | Ribeirão Pires         |
| R28     | Rio Grande da Serra    |
| R29     | Salesópolis            |
| R30     | Santa Isabel           |
| R31     | Santana de Parnaíba    |
| R32     | Santo André            |
| R33     | São Bernardo do Campo  |
| R34     | São Caetano do Sul     |
| R35     | São Lourenço da Serra  |
| R36     | São Paulo              |
| R37     | Suzano                 |
| R38     | Taboão da Serra        |
| R39     | Vargem Grande Paulista |
| R40     | Resto de São Paulo     |
| R41     | Resto do Brasil        |

---

---

Setores

---

|     |  |
|-----|--|
| S1  | Agricultura, pecuária, extrativismo, aquicultura e pesca                     |
| S2  | Extração de minerais   |
| S3  | Fabricação de produtos alimentícios  |
| S4  | Fabricação de bebidas  |
| S5  | Fabricação de produtos do fumo   |
| S6  | Fabricação de produtos têxteis   |
| S7  | Confecção de artefatos do vestuário e acessórios                             |
| S8  | Fabricação de calçados e de artefatos de couro                               |
| S9  | Fabricação de produtos da madeira  |
| S10 | Fabricação de celulose, papel e produtos de papel                            |
| S11 | Impressão e reprodução de gravações  |
| S12 | Refino de petróleo e coquearias  |
| S13 | Fabricação de biocombustíveis  |
| S14 | Fabricação de produtos químicos  |
| S15 | Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos                         |
| S16 | Fabricação de produtos de borracha e de material plástico                    |
| S17 | Fabricação de produtos de minerais não-metálicos                             |
| S18 | Metalurgia   |
| S19 | Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos              |
| S20 | Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos    |
| S21 | Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos                              |
| S22 | Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos                              |
| S23 | Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus e peças e acessórios            |
| S24 | Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores |
| S25 | Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas                    |
| S26 | Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos                |
| S27 | Energia elétrica, gás natural e outras utilidades                            |
| S28 | Água, esgoto e gestão de resíduos  |
| S29 | Construção   |
| S30 | Comércio por atacado e a varejo  |
| S31 | Transporte terrestre   |
| S32 | Transporte aquaviário  |
| S33 | Transporte aéreo   |
| S34 | Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio               |
| S35 | Alojamento   |
| S36 | Alimentação  |
| S37 | Edição e edição integrada à impressão  |
| S38 | Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem     |
| S39 | Telecomunicações   |
| S40 | Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação                  |
| S41 | Intermediação financeira, seguros e previdência complementar                 |
| S42 | Atividades imobiliárias  |
| S43 | Atividades jurídicas, contábeis, consultoria e sedes de empresas             |
| S44 | Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P & D        |
| S45 | Outras atividades profissionais, científicas e técnicas                      |
| S46 | Aluguéis não-imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual      |
| S47 | Outras atividades administrativas e serviços complementares                  |
| S48 | Atividades de vigilância, segurança e investigação                           |
| S49 | Administração pública, defesa e seguridade social                            |
| S50 | Educação pública   |
| S51 | Educação privada   |
| S52 | Saúde pública  |
| S53 | Saúde privada  |
| S54 | Atividades artísticas, criativas e de espetáculos                            |
| S55 | Organizações associativas e outros serviços pessoais                         |
| S56 | Serviços domésticos  |

---

# E TESTES DE RAIZ UNITÁRIA

Tabela E.1 – Teste de raiz unitária

| Indústria   | Valor da produção (nível) |         | Valor da produção (ln)  |         |
|---|---------------------------|---------|-------------------------|---------|
|   | Inverse chi-squared (P)   | p-value | Inverse chi-squared (P) | p-value |
| 1-Produtos alimentícios                               | 108.26                    | 0.00    | 157.23                  | 0.00    |
| 2-Bebidas   | 21.41                     | 0.87    | 49.58                   | 0.01    |
| 3-Produtos têxteis                                    | 33.03                     | 1.00    | 62.01                   | 0.62    |
| 4-Vestuário e acessórios                              | 17.74                     | 1.00    | 137.13                  | 0.00    |
| 5-Couros e artefatos de couro                         | 109.43                    | 0.00    | 63.30                   | 0.03    |
| 6-Produtos de madeira                                 | 21.41                     | 0.87    | 49.58                   | 0.01    |
| 7-Celulose e produtos de papel                        | 36.09                     | 1.00    | 31.49                   | 1.00    |
| 8-Impressão e reprodução de gravações                 | 29.65                     | 1.00    | 60.41                   | 0.53    |
| 9-Petróleo e derivados                                | 89.83                     | 0.00    | 24.11                   | 0.84    |
| 10-Produtos químicos                                  | 139.13                    | 0.00    | 88.61                   | 0.03    |
| 11-Produtos farmoquímicos e farmacêuticos             | 100.70                    | 0.00    | 129.33                  | 0.00    |
| 12-Borracha e material plástico                       | 149.47                    | 0.00    | 110.50                  | 0.00    |
| 13-Minerais não metálicos                             | 62.23                     | 0.67    | 89.55                   | 0.04    |
| 14-Metalurgia   | 341.10                    | 0.00    | 255.13                  | 0.00    |
| 15-Produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos  | 75.33                     | 0.37    | 111.06                  | 0.00    |
| 16-Equipamentos de informática, eletrônicos e ópticos | 56.26                     | 0.68    | 101.27                  | 0.00    |
| 17-Máquinas, aparelhos e materiais elétricos          | 115.93                    | 0.00    | 96.26                   | 0.01    |
| 18-Máquinas e equipamentos                            | 62.50                     | 0.67    | 146.56                  | 0.00    |
| 19-Veículos automotores, reboques e carrocerias       | 10.77                     | 1.00    | 151.27                  | 0.00    |
| 20-Outros equipamentos de transporte                  | 27.37                     | 0.78    | 78.37                   | 0.00    |
| 21-Móveis   | 27.37                     | 0.78    | 74.56                   | 0.07    |

Fisher-type unit-root test based on Phillips-Perron tests. Time trend and panel means included. Ho: All panels contain unit roots Ha: At least one panel is stationary

# F RESULTADO DAS ESTIMAÇÕES ECONÔMICAS DO VALOR ADICIONADO AGREGADO

Tabela F.1 – Valor adicionado da Indústria

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM        | (2)<br>POLS              | (3)<br>FE                 | (4)<br>FED               |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 1.019***<br>(0.00940)    | 1.000***<br>(0.00534)    | 0.775***<br>(0.0382)      |                          |
| $I_{it}$ (ln)         | -0.0121***<br>(0.00314)  | -0.0127***<br>(0.00331)  | -0.00977***<br>(0.00243)  | -0.0125***<br>(0.00303)  |
| $T$                   | 0.00928<br>(0.00870)     | 0.0109<br>(0.00885)      | 0.0213**<br>(0.0103)      | 0.0109<br>(0.00799)      |
| $T^2$                 | -0.00120**<br>(0.000550) | -0.00129**<br>(0.000559) | -0.00197***<br>(0.000665) | -0.00129**<br>(0.000511) |
| Constant              | -0.273*<br>(0.140)       | -0.0144<br>(0.0785)      | 3.057***<br>(0.511)       | -0.0161<br>(0.0286)      |
| Observations          | 507                      | 507                      | 507                       | 507                      |
| R-squared             |                          | 0.992                    | 0.664                     | 0.076                    |
| Number of cod         | 39                       |                          | 39                        | 39                       |
| AR(1)                 | 0.00497                  |                          |                           |                          |
| AR(2)                 | 0.377                    |                          |                           |                          |
| Hansen                | 0.178                    |                          |                           |                          |
| Number of Instruments | 36                       |                          |                           |                          |

Standard errors in parentheses

\*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

Tabela F.2 – Valor adicionado dos serviços

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM         | (2)<br>POLS               | (3)<br>FE                 | (4)<br>FED                |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 1.046***<br>(0.0305)      | 1.002***<br>(0.00242)     | 0.937***<br>(0.0219)      |                           |
| $l_{it}$ (ln)         | 0.00419*<br>(0.00244)     | 0.00517**<br>(0.00240)    | 0.00596***<br>(0.00218)   | 0.00563**<br>(0.00219)    |
| $T$                   | 0.0119<br>(0.00942)       | 0.0137**<br>(0.00601)     | 0.0181**<br>(0.00750)     | 0.0138*<br>(0.00762)      |
| $T^2$                 | -0.00125***<br>(0.000472) | -0.00124***<br>(0.000375) | -0.00132***<br>(0.000394) | -0.00124***<br>(0.000416) |
| Constant              | -0.614<br>(0.412)         | 0.00931<br>(0.0451)       | 0.919***<br>(0.312)       | 0.0321<br>(0.0303)        |
| Observations          | 507                       | 507                       | 507                       | 507                       |
| R-squared             |                           | 0.996                     | 0.872                     | 0.087                     |
| Number of cod         | 39                        |                           | 39                        | 39                        |
| AR(1)                 | 0.00156                   |                           |                           |                           |
| AR(2)                 | 0.394                     |                           |                           |                           |
| Hansen                | 0.0780                    |                           |                           |                           |
| Number of Instruments | 28                        |                           |                           |                           |

Standard errors in parentheses

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

# G RESULTADO DAS ESTIMAÇÕES ECONÔMICAS DAS 21 INDÚSTRIAS

Tabela G.1 – Produtos alimentícios

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM       | (2)<br>POLS            | (3)<br>FE              | (4)<br>FED             |
|-----------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 0.956***<br>(0.0204)    | 0.979***<br>(0.00682)  | 0.813***<br>(0.0317)   |                        |
| $I_{it}$ (ln)         | -0.0138**<br>(0.00552)  | -0.0126**<br>(0.00566) | -0.0115**<br>(0.00523) | -0.0145**<br>(0.00575) |
| $T$                   | 0.0289*<br>(0.0167)     | 0.0254<br>(0.0203)     | 0.0342*<br>(0.0195)    | 0.0241<br>(0.0205)     |
| $T^2$                 | -0.00186*<br>(0.000958) | -0.00177<br>(0.00115)  | -0.00181<br>(0.00108)  | -0.00175<br>(0.00118)  |
| Constant              | 0.411*<br>(0.214)       | 0.180<br>(0.115)       | 1.893***<br>(0.361)    | -0.0376<br>(0.0760)    |
| Observations          | 440                     | 440                    | 440                    | 440                    |
| R-squared             |                         | 0.985                  | 0.716                  | 0.019                  |
| AR(1)                 | 0.000436                |                        |                        |                        |
| AR(2)                 | 0.582                   |                        |                        |                        |
| Hansen                | 0.223                   |                        |                        |                        |
| Number of Instruments | 26                      |                        |                        |                        |

Standard errors in parentheses

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Tabela G.2 – Bebidas

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM     | (2)<br>POLS             | (3)<br>FE             | (4)<br>FED            |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 0.982***<br>(0.0366)  | 0.990***<br>(0.00910)   | 0.753***<br>(0.0842)  |                       |
| $I_{it}$ (ln)         | 0.0181**<br>(0.00763) | 0.0172<br>(0.0123)      | 0.0174*<br>(0.00899)  | 0.0100<br>(0.00822)   |
| $T$                   | 0.0239<br>(0.0442)    | 0.0383<br>(0.0298)      | 0.0781<br>(0.0525)    | 0.0351<br>(0.0381)    |
| $T^2$                 | -0.00216<br>(0.00293) | -0.00333**<br>(0.00169) | -0.00447<br>(0.00292) | -0.00341<br>(0.00261) |
| Constant              | 0.192<br>(0.318)      | 0.129<br>(0.0849)       | 1.828***<br>(0.583)   | 0.0741<br>(0.112)     |
| Observations          | 153                   | 153                     | 153                   | 153                   |
| R-squared             |                       | 0.989                   | 0.672                 | 0.034                 |
| AR(1)                 | 0.133                 |                         |                       |                       |
| AR(2)                 | 0.587                 |                         |                       |                       |
| Hansen                | 0.960                 |                         |                       |                       |
| Number of Instruments | 28                    |                         |                       |                       |

Standard errors in parentheses

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Tabela G.3 – Produtos têxteis

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM       | (2)<br>POLS           | (3)<br>FE              | (4)<br>FED            |
|-----------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 0.980***<br>(0.0196)    | 0.973***<br>(0.0146)  | 0.777***<br>(0.0528)   |                       |
| $I_{it}$ (ln)         | 0.000456<br>(0.00445)   | -0.00112<br>(0.00675) | 0.000223<br>(0.00560)  | 1.88e-05<br>(0.00653) |
| $T$                   | -0.00748<br>(0.0165)    | -0.0131<br>(0.0199)   | -0.00286<br>(0.0214)   | -0.0142<br>(0.0228)   |
| $T^2$                 | -0.000356<br>(0.000978) | 9.64e-06<br>(0.00117) | -0.000872<br>(0.00117) | 0.000125<br>(0.00138) |
| Constant              | 0.261<br>(0.210)        | 0.341**<br>(0.136)    | 2.207***<br>(0.554)    | 0.0787<br>(0.0807)    |
| Observations          | 428                     | 428                   | 428                    | 428                   |
| R-squared             |                         | 0.979                 | 0.620                  | 0.018                 |
| AR(1)                 | 0.0421                  |                       |                        |                       |
| AR(2)                 | 0.144                   |                       |                        |                       |
| Hansen                | 0.357                   |                       |                        |                       |
| Number of Instruments | 28                      |                       |                        |                       |

Standard errors in parentheses

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.1

Tabela G.4 – Vestuário e acessórios

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM        | (2)<br>POLS             | (3)<br>FE                | (4)<br>FED              |
|-----------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 0.886***<br>(0.0545)     | 0.975***<br>(0.0106)    | 0.760***<br>(0.0602)     |                         |
| $I_{it}$ (ln)         | 0.0300**<br>(0.0122)     | 0.0309**<br>(0.0121)    | 0.0299**<br>(0.0120)     | 0.0320**<br>(0.0124)    |
| $T$                   | 0.0938***<br>(0.0280)    | 0.0675*<br>(0.0360)     | 0.107***<br>(0.0354)     | 0.0612**<br>(0.0279)    |
| $T^2$                 | -0.00622***<br>(0.00168) | -0.00476**<br>(0.00211) | -0.00645***<br>(0.00203) | -0.00441**<br>(0.00169) |
| Constant              | 0.665<br>(0.442)         | 0.0817<br>(0.122)       | 1.567***<br>(0.432)      | -0.0845<br>(0.0968)     |
| Observations          | 431                      | 431                     | 431                      | 431                     |
| R-squared             |                          | 0.974                   | 0.604                    | 0.031                   |
| AR(1)                 | 0.000293                 |                         |                          |                         |
| AR(2)                 | 0.0417                   |                         |                          |                         |
| Hansen                | 0.227                    |                         |                          |                         |
| Number of Instruments | 33                       |                         |                          |                         |

Standard errors in parentheses

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.1

Tabela G.5 – Couro e arfetatos de couro

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM    | (2)<br>POLS          | (3)<br>FE             | (4)<br>FED           |
|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 0.894***<br>(0.0403) | 0.983***<br>(0.0180) | 0.779***<br>(0.0920)  |                      |
| $I_{it}$ (ln)         | 0.0272*<br>(0.0158)  | 0.0265<br>(0.0165)   | 0.0278**<br>(0.0119)  | 0.0328**<br>(0.0125) |
| $T$                   | -0.0597<br>(0.0579)  | -0.0585<br>(0.0628)  | -0.0488<br>(0.0563)   | -0.0562<br>(0.0538)  |
| $T^2$                 | 0.00198<br>(0.00297) | 0.00196<br>(0.00372) | 0.000696<br>(0.00281) | 0.00168<br>(0.00299) |
| Constant              | 1.034***<br>(0.284)  | 0.418*<br>(0.235)    | 1.831***<br>(0.515)   | 0.311<br>(0.204)     |
| Observations          | 279                  | 279                  | 279                   | 279                  |
| R-squared             |                      | 0.934                | 0.603                 | 0.029                |
| AR(1)                 | 0.00398              |                      |                       |                      |
| AR(2)                 | 0.808                |                      |                       |                      |
| Hansen                | 0.426                |                      |                       |                      |
| Number of Instruments | 26                   |                      |                       |                      |

Standard errors in parentheses

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.1

Tabela G.6 – Produtos de madeira

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM     | (2)<br>POLS             | (3)<br>FE             | (4)<br>FED            |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 0.982***<br>(0.0366)  | 0.990***<br>(0.00910)   | 0.753***<br>(0.0842)  |                       |
| $I_{it}$ (ln)         | 0.0181**<br>(0.00763) | 0.0172<br>(0.0123)      | 0.0174*<br>(0.00899)  | 0.0100<br>(0.00822)   |
| $T$                   | 0.0239<br>(0.0442)    | 0.0383<br>(0.0298)      | 0.0781<br>(0.0525)    | 0.0351<br>(0.0381)    |
| $T^2$                 | -0.00216<br>(0.00293) | -0.00333**<br>(0.00169) | -0.00447<br>(0.00292) | -0.00341<br>(0.00261) |
| Constant              | 0.192<br>(0.318)      | 0.129<br>(0.0849)       | 1.828***<br>(0.583)   | 0.0741<br>(0.112)     |
| Observations          | 153                   | 153                     | 153                   | 153                   |
| R-squared             |                       | 0.989                   | 0.672                 | 0.034                 |
| AR(1)                 | 0.133                 |                         |                       |                       |
| AR(2)                 | 0.587                 |                         |                       |                       |
| Hansen                | 0.960                 |                         |                       |                       |
| Number of Instruments | 28                    |                         |                       |                       |

Standard errors in parentheses

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.1

Tabela G.7 – Celulose e produtos de papel

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM     | (2)<br>POLS             | (3)<br>FE             | (4)<br>FED              |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 0.960***<br>(0.0688)  | 0.954***<br>(0.0295)    | 0.617***<br>(0.159)   |                         |
| $I_{it}$ (ln)         | 0.00596<br>(0.00697)  | 0.00761<br>(0.00868)    | 0.00225<br>(0.00608)  | 0.00454<br>(0.00695)    |
| $T$                   | -0.00216<br>(0.0264)  | 0.00616<br>(0.0158)     | 0.0289<br>(0.0217)    | 0.00144<br>(0.0150)     |
| $T^2$                 | 0.000130<br>(0.00180) | -0.000442<br>(0.000952) | -0.00177<br>(0.00119) | -0.000266<br>(0.000974) |
| Constant              | 0.449<br>(0.681)      | 0.499<br>(0.305)        | 4.040**<br>(1.704)    | 0.0292<br>(0.0517)      |
| Observations          | 390                   | 390                     | 390                   | 390                     |
| R-squared             |                       | 0.967                   | 0.366                 | 0.002                   |
| AR(1)                 | 0.00411               |                         |                       |                         |
| AR(2)                 | 0.802                 |                         |                       |                         |
| Hansen                | 0.135                 |                         |                       |                         |
| Number of Instruments | 26                    |                         |                       |                         |

Standard errors in parentheses

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.1

Tabela G.8 – Impressão e reprodução de gravações

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM     | (2)<br>POLS            | (3)<br>FE            | (4)<br>FED            |
|-----------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 0.937***<br>(0.0332)  | 0.968***<br>(0.00974)  | 0.786***<br>(0.0410) |                       |
| $I_{it}$ (ln)         | -7.65e-05<br>(0.0177) | -0.00387<br>(0.0183)   | 0.0123<br>(0.0193)   | -0.00427<br>(0.0203)  |
| $T$                   | 0.00507<br>(0.0332)   | 0.0320<br>(0.0324)     | -0.0388<br>(0.0408)  | 0.0461<br>(0.0284)    |
| $T^2$                 | 0.000814<br>(0.00188) | -0.000762<br>(0.00201) | 0.00333<br>(0.00264) | -0.00158<br>(0.00169) |
| Constant              | 0.382<br>(0.371)      | 0.0292<br>(0.144)      | 1.823***<br>(0.469)  | -0.284**<br>(0.105)   |
| Observations          | 392                   | 392                    | 392                  | 392                   |
| R-squared             |                       | 0.972                  | 0.591                | 0.014                 |
| AR(1)                 | 0.000156              |                        |                      |                       |
| AR(2)                 | 0.165                 |                        |                      |                       |
| Hansen                | 0.102                 |                        |                      |                       |
| Number of Instruments | 26                    |                        |                      |                       |

Standard errors in parentheses

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.1

Tabela G.9 – Petróleo e derivados

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM      | (2)<br>POLS           | (3)<br>FE              | (4)<br>FED             |
|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 0.914***<br>(0.0522)   | 0.984***<br>(0.0146)  | 0.624***<br>(0.156)    |                        |
| $I_{it}$ (ln)         | -0.0146**<br>(0.00577) | -0.0149*<br>(0.00851) | -0.0145**<br>(0.00595) | -0.0156**<br>(0.00658) |
| $T$                   | -0.0189**<br>(0.00856) | -0.0273<br>(0.0248)   | 0.0221<br>(0.0315)     | -0.0267**<br>(0.0103)  |
| $T^2$                 | 0.000207<br>(0.000697) | 0.000811<br>(0.00146) | -0.00174<br>(0.00225)  | 0.000863<br>(0.000649) |
| Constant              | 1.025*<br>(0.577)      | 0.324*<br>(0.192)     | 3.916**<br>(1.566)     | 0.142***<br>(0.0445)   |
| Observations          | 178                    | 178                   | 178                    | 178                    |
| R-squared             |                        | 0.966                 | 0.377                  | 0.029                  |
| AR(1)                 | 0.0293                 |                       |                        |                        |
| AR(2)                 | 0.217                  |                       |                        |                        |
| Hansen                | 0.788                  |                       |                        |                        |
| Number of Instruments | 24                     |                       |                        |                        |

Standard errors in parentheses

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.1

Tabela G.10 – Produtos químicos

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM      | (2)<br>POLS            | (3)<br>FE              | (4)<br>FED             |
|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 0.849***<br>(0.0630)   | 0.985***<br>(0.0108)   | 0.455***<br>(0.0972)   |                        |
| $I_{it}$ (ln)         | 0.000773<br>(0.00455)  | 0.00202<br>(0.00749)   | -0.0102**<br>(0.00396) | 0.00195<br>(0.00346)   |
| $T$                   | -0.0201*<br>(0.0111)   | -0.00701<br>(0.0176)   | -0.00594<br>(0.0140)   | -0.00604<br>(0.0107)   |
| $T^2$                 | 0.00117*<br>(0.000617) | 0.000582<br>(0.000991) | 0.000446<br>(0.000961) | 0.000518<br>(0.000652) |
| Constant              | 1.758**<br>(0.732)     | 0.185*<br>(0.104)      | 6.061***<br>(1.105)    | 0.0141<br>(0.0389)     |
| Observations          | 426                    | 426                    | 426                    | 426                    |
| R-squared             |                        | 0.984                  | 0.210                  | 0.001                  |
| AR(1)                 | 0.0573                 |                        |                        |                        |
| AR(2)                 | 0.633                  |                        |                        |                        |
| Hansen                | 0.0609                 |                        |                        |                        |
| Number of Instruments | 20                     |                        |                        |                        |

Standard errors in parentheses

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.1

Tabela G.11 – Produtos farmoquímicos e farmacêuticos

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM      | (2)<br>POLS            | (3)<br>FE              | (4)<br>FED             |
|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 1.006***<br>(0.00898)  | 0.997***<br>(0.0122)   | 0.771***<br>(0.0924)   |                        |
| $I_{it}$ (ln)         | 0.00214<br>(0.00460)   | 0.00108<br>(0.00606)   | -0.000559<br>(0.00545) | 0.00178<br>(0.00562)   |
| $T$                   | -0.0516**<br>(0.0201)  | -0.0501***<br>(0.0176) | -0.0241<br>(0.0209)    | -0.0498***<br>(0.0172) |
| $T^2$                 | 0.00253**<br>(0.00118) | 0.00235**<br>(0.00101) | 0.000739<br>(0.00121)  | 0.00235**<br>(0.00107) |
| Constant              | 0.145<br>(0.117)       | 0.265*<br>(0.151)      | 2.856**<br>(1.080)     | 0.222***<br>(0.0583)   |
| Observations          | 247                    | 247                    | 247                    | 247                    |
| R-squared             |                        | 0.992                  | 0.678                  | 0.059                  |
| AR(1)                 | 0.0783                 |                        |                        |                        |
| AR(2)                 | 0.758                  |                        |                        |                        |
| Hansen                | 0.186                  |                        |                        |                        |
| Number of Instruments | 20                     |                        |                        |                        |

Standard errors in parentheses

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.1

Tabela G.12 – Borracha e material plástico

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM       | (2)<br>POLS             | (3)<br>FE                 | (4)<br>FED               |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 0.980***<br>(0.0150)    | 1.006***<br>(0.00824)   | 0.837***<br>(0.0228)      |                          |
| $I_{it}$ (ln)         | -0.00876<br>(0.00615)   | -0.0121**<br>(0.00574)  | -0.0105*<br>(0.00526)     | -0.0125**<br>(0.00542)   |
| $T$                   | 0.0287*<br>(0.0165)     | 0.0330*<br>(0.0172)     | 0.0405**<br>(0.0153)      | 0.0332*<br>(0.0170)      |
| $T^2$                 | -0.00230**<br>(0.00102) | -0.00261**<br>(0.00102) | -0.00307***<br>(0.000867) | -0.00263**<br>(0.000998) |
| Constant              | 0.133<br>(0.178)        | -0.158**<br>(0.0793)    | 1.627***<br>(0.250)       | -0.0959<br>(0.0590)      |
| Observations          | 481                     | 481                     | 481                       | 481                      |
| R-squared             |                         | 0.990                   | 0.674                     | 0.032                    |
| AR(1)                 | 0.0551                  |                         |                           |                          |
| AR(2)                 | 0.126                   |                         |                           |                          |
| Hansen                | 0.0883                  |                         |                           |                          |
| Number of Instruments | 28                      |                         |                           |                          |

Standard errors in parentheses

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.1

Tabela G.13 – Minerais não metálicos

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM        | (2)<br>POLS              | (3)<br>FE                | (4)<br>FED               |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 0.986***<br>(0.0284)     | 0.988***<br>(0.00651)    | 0.793***<br>(0.0322)     |                          |
| $I_{it}$ (ln)         | 0.00877<br>(0.00573)     | 0.00438<br>(0.00579)     | 0.00758<br>(0.00488)     | 0.00526<br>(0.00529)     |
| $T$                   | 0.0713***<br>(0.0259)    | 0.0759***<br>(0.0175)    | 0.0957***<br>(0.0194)    | 0.0747***<br>(0.0209)    |
| $T^2$                 | -0.00516***<br>(0.00148) | -0.00544***<br>(0.00102) | -0.00604***<br>(0.00105) | -0.00543***<br>(0.00122) |
| Constant              | 0.00206<br>(0.290)       | -0.0380<br>(0.0982)      | 1.826***<br>(0.343)      | -0.152**<br>(0.0745)     |
| Observations          | 438                      | 438                      | 438                      | 438                      |
| R-squared             |                          | 0.989                    | 0.731                    | 0.095                    |
| AR(1)                 | 0.0222                   |                          |                          |                          |
| AR(2)                 | 0.502                    |                          |                          |                          |
| Hansen                | 0.0978                   |                          |                          |                          |
| Number of Instruments | 28                       |                          |                          |                          |

Standard errors in parentheses

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.1

Tabela G.14 – Metalurgia

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM      | (2)<br>POLS            | (3)<br>FE               | (4)<br>FED             |
|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 0.976***<br>(0.0407)   | 0.998***<br>(0.0133)   | 0.567***<br>(0.0611)    |                        |
| $I_{it}$ (ln)         | -0.0415**<br>(0.0168)  | -0.0441**<br>(0.0190)  | -0.0259***<br>(0.00938) | -0.0461***<br>(0.0165) |
| $T$                   | -0.0967***<br>(0.0373) | -0.0942***<br>(0.0289) | -0.0348<br>(0.0365)     | -0.0936***<br>(0.0228) |
| $T^2$                 | 0.00387*<br>(0.00231)  | 0.00377**<br>(0.00172) | -0.00101<br>(0.00264)   | 0.00375**<br>(0.00151) |
| Constant              | 0.610*<br>(0.329)      | 0.384**<br>(0.153)     | 4.534***<br>(0.561)     | 0.360***<br>(0.0764)   |
| Observations          | 398                    | 398                    | 398                     | 398                    |
| R-squared             |                        | 0.968                  | 0.410                   | 0.068                  |
| AR(1)                 | 0.0291                 |                        |                         |                        |
| AR(2)                 | 0.0898                 |                        |                         |                        |
| Hansen                | 0.0900                 |                        |                         |                        |
| Number of Instruments | 26                     |                        |                         |                        |

Standard errors in parentheses

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.1

Tabela G.15 – Produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM       | (2)<br>POLS             | (3)<br>FE                | (4)<br>FED              |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 0.978***<br>(0.0167)    | 0.987***<br>(0.0123)    | 0.648***<br>(0.0558)     |                         |
| $I_{it}$ (ln)         | -0.0252***<br>(0.00543) | -0.0242***<br>(0.00631) | -0.0170***<br>(0.00575)  | -0.0258***<br>(0.00552) |
| $T$                   | -0.0121<br>(0.0121)     | -0.0147<br>(0.0182)     | 0.0400**<br>(0.0180)     | -0.0174<br>(0.0113)     |
| $T^2$                 | -0.000732<br>(0.000730) | -0.000567<br>(0.00108)  | -0.00371***<br>(0.00114) | -0.000434<br>(0.000658) |
| Constant              | 0.359*<br>(0.189)       | 0.275**<br>(0.134)      | 3.744***<br>(0.579)      | 0.142***<br>(0.0436)    |
| Observations          | 462                     | 462                     | 462                      | 462                     |
| R-squared             |                         | 0.985                   | 0.497                    | 0.102                   |
| AR(1)                 | 0.0210                  |                         |                          |                         |
| AR(2)                 | 0.889                   |                         |                          |                         |
| Hansen                | 0.389                   |                         |                          |                         |
| Number of Instruments | 39                      |                         |                          |                         |

Standard errors in parentheses

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.1

Tabela G.16 – Equipamentos de informática, eletrônicos e ópticos

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM      | (2)<br>POLS           | (3)<br>FE              | (4)<br>FED             |
|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 0.955***<br>(0.0297)   | 0.962***<br>(0.0176)  | 0.761***<br>(0.0625)   |                        |
| $I_{it}$ (ln)         | -0.0425***<br>(0.0141) | -0.0340**<br>(0.0146) | -0.0341**<br>(0.0126)  | -0.0416***<br>(0.0133) |
| $T$                   | 0.0146<br>(0.0312)     | 0.0272<br>(0.0370)    | 0.00172<br>(0.0321)    | 0.0262<br>(0.0308)     |
| $T^2$                 | -0.00151<br>(0.00197)  | -0.00228<br>(0.00232) | -0.000506<br>(0.00208) | -0.00246<br>(0.00199)  |
| Constant              | 0.347<br>(0.273)       | 0.248<br>(0.189)      | 2.177***<br>(0.605)    | -0.0933<br>(0.100)     |
| Observations          | 351                    | 351                   | 351                    | 351                    |
| R-squared             |                        | 0.947                 | 0.585                  | 0.035                  |
| AR(1)                 | 0.0198                 |                       |                        |                        |
| AR(2)                 | 0.00414                |                       |                        |                        |
| Hansen                | 0.191                  |                       |                        |                        |
| Number of Instruments | 28                     |                       |                        |                        |

Standard errors in parentheses

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.1

Tabela G.17 – Máquinas, aparelhos e materiais elétricos

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM       | (2)<br>POLS             | (3)<br>FE              | (4)<br>FED              |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 0.943***<br>(0.0204)    | 0.966***<br>(0.0168)    | 0.629***<br>(0.0781)   |                         |
| $I_{it}$ (ln)         | -0.0253***<br>(0.00776) | -0.0211***<br>(0.00749) | -0.0212**<br>(0.00792) | -0.0248***<br>(0.00817) |
| $T$                   | -0.0287<br>(0.0214)     | -0.0283<br>(0.0247)     | 0.00835<br>(0.0231)    | -0.0322<br>(0.0220)     |
| $T^2$                 | 0.000455<br>(0.00130)   | 0.000567<br>(0.00148)   | -0.00198<br>(0.00132)  | 0.000800<br>(0.00133)   |
| Constant              | 0.764***<br>(0.219)     | 0.514***<br>(0.182)     | 3.991***<br>(0.791)    | 0.160**<br>(0.0758)     |
| Observations          | 402                     | 402                     | 402                    | 402                     |
| R-squared             |                         | 0.973                   | 0.458                  | 0.046                   |
| AR(1)                 | 0.00517                 |                         |                        |                         |
| AR(2)                 | 0.0239                  |                         |                        |                         |
| Hansen                | 0.126                   |                         |                        |                         |
| Number of Instruments | 28                      |                         |                        |                         |

Standard errors in parentheses

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.1

Tabela G.18 – Máquinas e equipamentos mecânicos

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM      | (2)<br>POLS            | (3)<br>FE                 | (4)<br>FED              |
|-----------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 0.970***<br>(0.0237)   | 0.975***<br>(0.00817)  | 0.588***<br>(0.0711)      |                         |
| $I_{it}$ (ln)         | -0.0106**<br>(0.00471) | -0.0129**<br>(0.00539) | -0.00715<br>(0.00471)     | -0.0131***<br>(0.00471) |
| $T$                   | -0.00179<br>(0.0166)   | 0.000459<br>(0.0196)   | 0.0654***<br>(0.0147)     | -0.00592<br>(0.0178)    |
| $T^2$                 | -0.00129<br>(0.000949) | -0.00141<br>(0.00117)  | -0.00464***<br>(0.000862) | -0.00101<br>(0.00102)   |
| Constant              | 0.447<br>(0.285)       | 0.388***<br>(0.141)    | 4.465***<br>(0.793)       | 0.124*<br>(0.0682)      |
| Observations          | 432                    | 432                    | 432                       | 432                     |
| R-squared             |                        | 0.980                  | 0.488                     | 0.088                   |
| AR(1)                 | 0.000197               |                        |                           |                         |
| AR(2)                 | 0.531                  |                        |                           |                         |
| Hansen                | 0.270                  |                        |                           |                         |
| Number of Instruments | 33                     |                        |                           |                         |

Standard errors in parentheses

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.1

Tabela G.19 – Veículos automotores, reboques e carrocerias

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM       | (2)<br>POLS             | (3)<br>FE                | (4)<br>FED             |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 0.963***<br>(0.0274)    | 0.977***<br>(0.00936)   | 0.704***<br>(0.0836)     |                        |
| $I_{it}$ (ln)         | -0.00771<br>(0.00647)   | -0.00459<br>(0.00655)   | -0.00887<br>(0.00592)    | -0.00877<br>(0.00668)  |
| $T$                   | 0.0233<br>(0.0232)      | 0.0183<br>(0.0251)      | 0.0995***<br>(0.0343)    | 0.0127<br>(0.0242)     |
| $T^2$                 | -0.00338**<br>(0.00133) | -0.00304**<br>(0.00143) | -0.00805***<br>(0.00206) | -0.00289*<br>(0.00145) |
| Constant              | 0.477<br>(0.314)        | 0.336***<br>(0.111)     | 3.119***<br>(0.862)      | 0.108<br>(0.0821)      |
| Observations          | 408                     | 408                     | 408                      | 408                    |
| R-squared             |                         | 0.981                   | 0.659                    | 0.120                  |
| AR(1)                 | 0.00242                 |                         |                          |                        |
| AR(2)                 | 0.646                   |                         |                          |                        |
| Hansen                | 0.121                   |                         |                          |                        |
| Number of Instruments | 28                      |                         |                          |                        |

Standard errors in parentheses

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.1

Tabela G.20 – Outros equipamentos de transporte

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM      | (2)<br>POLS             | (3)<br>FE              | (4)<br>FED              |
|-----------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 0.971***<br>(0.0796)   | 0.999***<br>(0.0138)    | 0.768***<br>(0.0789)   |                         |
| $I_{it}$ (ln)         | -0.0679***<br>(0.0202) | -0.0601***<br>(0.0172)  | -0.0494**<br>(0.0202)  | -0.0594***<br>(0.0195)  |
| $T$                   | -0.159**<br>(0.0682)   | -0.155***<br>(0.0487)   | -0.137***<br>(0.0364)  | -0.152***<br>(0.0499)   |
| $T^2$                 | 0.00810**<br>(0.00370) | 0.00809***<br>(0.00269) | 0.00591**<br>(0.00214) | 0.00774***<br>(0.00262) |
| Constant              | 0.745<br>(0.614)       | 0.514**<br>(0.223)      | 2.386***<br>(0.710)    | 0.508**<br>(0.200)      |
| Observations          | 203                    | 203                     | 203                    | 203                     |
| R-squared             |                        | 0.963                   | 0.642                  | 0.113                   |
| AR(1)                 | 0.0118                 |                         |                        |                         |
| AR(2)                 | 0.183                  |                         |                        |                         |
| Hansen                | 0.738                  |                         |                        |                         |
| Number of Instruments | 24                     |                         |                        |                         |

Standard errors in parentheses

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.1

Tabela G.21 – Móveis

| VARIABLES             | (1)<br>SYSTEM GMM       | (2)<br>POLS             | (3)<br>FE               | (4)<br>FED              |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| $VP_{t-1}$ (ln)       | 0.947***<br>(0.0275)    | 0.966***<br>(0.0155)    | 0.810***<br>(0.0530)    |                         |
| $l_{it}$ (ln)         | -0.00900<br>(0.00986)   | -0.0112<br>(0.0120)     | -0.0109<br>(0.0119)     | -0.0135<br>(0.0119)     |
| $T$                   | 0.0807**<br>(0.0365)    | 0.0837**<br>(0.0425)    | 0.0894**<br>(0.0411)    | 0.0758**<br>(0.0368)    |
| $T^2$                 | -0.00528**<br>(0.00217) | -0.00546**<br>(0.00249) | -0.00521**<br>(0.00237) | -0.00505**<br>(0.00217) |
| Constant              | 0.257<br>(0.229)        | 0.0730<br>(0.134)       | 1.403***<br>(0.492)     | -0.204<br>(0.138)       |
| Observations          | 348                     | 348                     | 348                     | 348                     |
| R-squared             |                         | 0.948                   | 0.662                   | 0.011                   |
| AR(1)                 | 0.0389                  |                         |                         |                         |
| AR(2)                 | 0.910                   |                         |                         |                         |
| Hansen                | 0.216                   |                         |                         |                         |
| Number of Instruments | 28                      |                         |                         |                         |

Standard errors in parentheses

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.1

## H SUBTOTAIS DOS IMPACTOS SOBRE O PRB

As tabelas a seguir apresentam os resultados individuais dos efeitos de cada indústria afetada diretamente sobre o RPB das 41 regiões do modelo. A soma dos efeitos individuais por indústria é igual ao efeito total apresentado na Tabela 3.10. Os resultados estão em variação percentual em relação ao período base.

Tabela H.1 – RCP4.5 - curto prazo

| Região                 | Total | Alimentos | Vestuário | Couro | Petróleo | Metalurgia | Prod. Metal | Prod. Infor | Maq. Eletrica | Maq. Meca | Outros trans |
|------------------------|-------|-----------|-----------|-------|----------|------------|-------------|-------------|---------------|-----------|--------------|
| Arujá                  | -0,25 | -0,03     | 0,01      | 0,00  | -0,05    | -0,08      | -0,05       | -0,01       | -0,02         | -0,03     | 0,00         |
| Barueri                | -0,13 | -0,01     | 0,01      | 0,00  | 0,00     | -0,01      | -0,02       | -0,06       | -0,02         | -0,02     | 0,00         |
| Biritiba Mirim         | -0,02 | -0,01     | 0,01      | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 0,00        | -0,01       | 0,00          | 0,00      | 0,00         |
| Caieiras               | -0,30 | -0,01     | 0,02      | 0,01  | -0,01    | -0,15      | -0,06       | -0,03       | -0,05         | -0,03     | 0,00         |
| Cajamar                | -0,44 | -0,04     | 0,00      | 0,00  | -0,23    | -0,01      | -0,05       | -0,05       | -0,03         | -0,04     | 0,00         |
| Carapicuíba            | -0,20 | -0,05     | 0,02      | 0,00  | 0,00     | -0,01      | -0,03       | -0,06       | -0,04         | -0,02     | 0,00         |
| Cotia                  | -0,36 | -0,05     | 0,02      | 0,00  | -0,01    | -0,07      | -0,03       | -0,14       | -0,04         | -0,04     | 0,00         |
| Diadema                | -0,34 | -0,03     | 0,01      | 0,00  | -0,04    | -0,08      | -0,07       | -0,06       | -0,03         | -0,04     | 0,00         |
| Embu das Artes         | -0,28 | -0,07     | 0,00      | 0,00  | 0,00     | -0,01      | -0,04       | -0,08       | -0,07         | -0,01     | 0,00         |
| Embu-Guaçu             | -0,25 | -0,04     | 0,01      | 0,00  | 0,00     | -0,10      | -0,03       | -0,01       | -0,05         | -0,01     | 0,00         |
| Ferraz de Vasconcelos  | -1,29 | -0,09     | 0,02      | 0,01  | 0,00     | -0,56      | -0,16       | 0,00        | -0,25         | -0,04     | -0,22        |
| Francisco Morato       | -0,05 | -0,02     | 0,00      | 0,00  | 0,00     | 0,00       | -0,03       | 0,00        | 0,00          | 0,00      | 0,00         |
| Franco da Rocha        | -0,54 | -0,02     | 0,02      | 0,00  | -0,40    | -0,01      | -0,09       | 0,00        | 0,00          | -0,03     | 0,00         |
| Guararema              | -0,16 | -0,09     | 0,01      | 0,00  | 0,00     | -0,01      | 0,00        | -0,02       | -0,04         | 0,00      | 0,00         |
| Guarulhos              | -0,58 | -0,06     | 0,04      | 0,00  | -0,03    | -0,20      | -0,13       | -0,04       | -0,07         | -0,04     | -0,04        |
| Itapecerica da Serra   | -0,06 | -0,02     | 0,00      | 0,00  | 0,00     | 0,00       | -0,01       | -0,01       | -0,01         | -0,01     | -0,01        |
| Itapevi                | -0,33 | -0,11     | 0,02      | 0,00  | 0,00     | -0,17      | -0,01       | -0,02       | -0,03         | -0,01     | 0,00         |
| Itaquaquecetuba        | -0,71 | -0,01     | 0,02      | 0,00  | -0,02    | -0,31      | -0,16       | -0,12       | -0,09         | -0,03     | 0,00         |
| Jandira                | -0,33 | -0,03     | 0,08      | 0,00  | 0,00     | -0,24      | -0,06       | 0,00        | -0,02         | -0,04     | -0,01        |
| Juquitiba              | -0,04 | 0,00      | 0,01      | 0,00  | 0,00     | -0,01      | -0,02       | -0,01       | 0,00          | 0,00      | 0,00         |
| Mairiporã              | -0,20 | -0,01     | 0,03      | 0,00  | 0,00     | -0,09      | -0,04       | -0,03       | -0,02         | -0,04     | 0,00         |
| Mauá                   | -0,02 | 0,00      | 0,00      | 0,00  | -0,02    | -0,01      | 0,01        | 0,00        | 0,00          | 0,00      | 0,00         |
| Mogi das Cruzes        | -0,18 | -0,03     | 0,01      | 0,00  | 0,00     | -0,08      | -0,02       | -0,02       | -0,02         | -0,02     | 0,00         |
| Osasco                 | -0,10 | -0,01     | 0,01      | 0,00  | -0,01    | -0,02      | -0,01       | -0,01       | -0,01         | -0,01     | -0,01        |
| Pirapora do Bom Jesus  | -0,46 | -0,01     | 0,01      | 0,00  | 0,00     | -0,43      | -0,01       | 0,00        | 0,00          | -0,01     | 0,00         |
| Poá                    | -0,43 | -0,03     | 0,04      | 0,00  | -0,07    | -0,06      | -0,07       | -0,01       | -0,23         | -0,01     | 0,00         |
| Ribeirão Pires         | 0,41  | 0,05      | 0,00      | 0,00  | 0,06     | 0,06       | 0,14        | 0,03        | 0,02          | 0,04      | 0,00         |
| Rio Grande da Serra    | 0,52  | 0,51      | 0,00      | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 0,02        | 0,00        | 0,00          | 0,00      | 0,00         |
| Salesópolis            | -0,01 | -0,01     | 0,01      | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 0,00        | 0,00        | 0,00          | 0,00      | 0,00         |
| Santa Isabel           | -0,05 | -0,01     | 0,02      | 0,00  | 0,00     | 0,00       | -0,01       | -0,04       | 0,00          | 0,00      | 0,00         |
| Santana de Parnaíba    | -0,33 | -0,09     | 0,01      | 0,00  | 0,00     | -0,02      | -0,03       | -0,06       | -0,03         | -0,07     | -0,03        |
| Santo André            | -0,01 | 0,00      | 0,00      | 0,00  | 0,00     | -0,01      | 0,00        | 0,00        | 0,00          | 0,00      | 0,00         |
| São Bernardo do Campo  | -0,15 | -0,02     | 0,01      | 0,00  | -0,01    | -0,07      | -0,02       | -0,01       | -0,02         | -0,02     | 0,00         |
| São Caetano do Sul     | -0,16 | -0,04     | 0,01      | 0,00  | 0,00     | -0,05      | -0,02       | -0,04       | -0,01         | -0,01     | -0,01        |
| São Lourenço da Serra  | -0,01 | -0,01     | 0,01      | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 0,00        | 0,00        | 0,00          | 0,00      | 0,00         |
| São Paulo              | -0,13 | -0,03     | 0,03      | 0,00  | -0,02    | -0,03      | -0,02       | -0,03       | -0,02         | -0,01     | 0,00         |
| Suzano                 | -0,25 | -0,04     | 0,02      | 0,00  | -0,01    | -0,03      | -0,05       | -0,05       | -0,05         | -0,05     | 0,00         |
| Taboão da Serra        | -0,30 | -0,04     | 0,02      | 0,00  | -0,02    | -0,01      | -0,05       | -0,07       | -0,05         | -0,04     | -0,05        |
| Vargem Grande Paulista | -0,04 | -0,05     | 0,02      | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 0,00        | 0,00        | 0,00          | 0,00      | 0,00         |
| Resto de São Paulo     | 0,01  | 0,00      | 0,00      | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 0,00        | 0,00        | 0,00          | 0,00      | 0,00         |
| Resto do Brasil        | 0,01  | 0,00      | 0,00      | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 0,00        | 0,00        | 0,00          | 0,00      | 0,00         |

Tabela H.2 – RCP4.5 - longo prazo

| Região                 | Total | Alimentos | Vestuário | Couro | Petróleo | Metalurgia | Prod. Metal | Prod. Infor | Maq. Eletrica | Maq. Meca | Outros trans |
|------------------------|-------|-----------|-----------|-------|----------|------------|-------------|-------------|---------------|-----------|--------------|
| Arujá                  | -0,62 | -0,05     | 0,05      | 0,00  | -0,08    | -0,13      | -0,15       | -0,08       | -0,10         | -0,08     | -0,02        |
| Barueri                | -0,30 | -0,02     | 0,03      | 0,00  | -0,01    | -0,02      | -0,07       | -0,10       | -0,05         | -0,05     | -0,01        |
| Biritiba Mirim         | -0,34 | -0,04     | 0,05      | 0,00  | -0,02    | -0,03      | -0,09       | -0,06       | -0,07         | -0,05     | -0,01        |
| Caieiras               | -0,42 | -0,01     | 0,02      | 0,02  | -0,01    | -0,18      | -0,10       | -0,04       | -0,07         | -0,04     | 0,00         |
| Cajamar                | -0,75 | -0,05     | 0,03      | 0,00  | -0,27    | -0,04      | -0,13       | -0,10       | -0,09         | -0,08     | -0,01        |
| Carapicuíba            | -0,44 | -0,08     | 0,05      | 0,00  | -0,01    | -0,03      | -0,10       | -0,10       | -0,10         | -0,06     | -0,01        |
| Cotia                  | -0,56 | -0,07     | 0,03      | 0,00  | -0,01    | -0,10      | -0,07       | -0,18       | -0,08         | -0,07     | -0,01        |
| Diadema                | -0,54 | -0,05     | 0,03      | 0,00  | -0,06    | -0,11      | -0,12       | -0,09       | -0,07         | -0,06     | -0,01        |
| Embu das Artes         | -0,57 | -0,10     | 0,03      | 0,00  | -0,02    | -0,03      | -0,12       | -0,14       | -0,13         | -0,05     | -0,01        |
| Embu-Guaçu             | -0,44 | -0,05     | 0,02      | 0,00  | -0,01    | -0,13      | -0,09       | -0,04       | -0,09         | -0,04     | -0,01        |
| Ferraz de Vasconcelos  | -1,63 | -0,11     | 0,04      | 0,01  | -0,01    | -0,65      | -0,24       | -0,03       | -0,31         | -0,08     | -0,25        |
| Francisco Morato       | -0,23 | -0,04     | 0,02      | 0,00  | -0,01    | -0,01      | -0,08       | -0,03       | -0,04         | -0,03     | -0,01        |
| Franco da Rocha        | -0,82 | -0,03     | 0,04      | 0,00  | -0,45    | -0,04      | -0,17       | -0,04       | -0,05         | -0,07     | -0,01        |
| Guararema              | -0,50 | -0,13     | 0,05      | 0,01  | -0,02    | -0,04      | -0,10       | -0,09       | -0,11         | -0,05     | -0,02        |
| Guarulhos              | -0,86 | -0,09     | 0,07      | 0,01  | -0,05    | -0,26      | -0,21       | -0,08       | -0,12         | -0,08     | -0,05        |
| Itapecerica da Serra   | -0,31 | -0,03     | 0,03      | 0,00  | -0,02    | -0,03      | -0,08       | -0,06       | -0,06         | -0,04     | -0,03        |
| Itapevi                | -0,67 | -0,15     | 0,05      | 0,00  | -0,02    | -0,21      | -0,10       | -0,07       | -0,10         | -0,06     | -0,01        |
| Itaquaquecetuba        | -1,04 | -0,02     | 0,05      | 0,01  | -0,03    | -0,38      | -0,25       | -0,18       | -0,15         | -0,07     | -0,01        |
| Jandira                | -0,55 | -0,05     | 0,11      | 0,00  | -0,01    | -0,29      | -0,12       | -0,04       | -0,06         | -0,06     | -0,02        |
| Juquitiba              | -0,34 | -0,02     | 0,04      | 0,00  | -0,02    | -0,04      | -0,11       | -0,07       | -0,07         | -0,05     | -0,01        |
| Mairiporã              | -0,43 | -0,03     | 0,06      | 0,00  | -0,01    | -0,12      | -0,11       | -0,07       | -0,06         | -0,08     | -0,01        |
| Mauá                   | -0,16 | -0,01     | 0,02      | 0,00  | -0,02    | -0,02      | -0,02       | -0,03       | -0,04         | -0,02     | -0,01        |
| Mogi das Cruzes        | -0,47 | -0,05     | 0,04      | 0,00  | -0,02    | -0,11      | -0,10       | -0,08       | -0,08         | -0,06     | -0,01        |
| Osasco                 | -0,45 | -0,03     | 0,05      | 0,00  | -0,04    | -0,06      | -0,11       | -0,08       | -0,09         | -0,06     | -0,03        |
| Pirapora do Bom Jesus  | -0,56 | -0,01     | 0,01      | 0,00  | -0,01    | -0,46      | -0,03       | -0,02       | -0,02         | -0,02     | 0,00         |
| Poá                    | -0,64 | -0,05     | 0,06      | 0,00  | -0,09    | -0,09      | -0,13       | -0,03       | -0,28         | -0,03     | -0,01        |
| Ribeirão Pires         | 0,36  | 0,06      | 0,01      | 0,00  | 0,07     | 0,06       | 0,10        | 0,02        | 0,00          | 0,03      | -0,01        |
| Rio Grande da Serra    | 0,37  | 0,61      | 0,04      | 0,00  | -0,02    | -0,03      | -0,06       | -0,05       | -0,06         | -0,04     | -0,01        |
| Salesópolis            | -0,31 | -0,03     | 0,05      | 0,00  | -0,02    | -0,02      | -0,09       | -0,06       | -0,07         | -0,05     | -0,01        |
| Santa Isabel           | -0,33 | -0,03     | 0,05      | 0,00  | -0,02    | -0,03      | -0,09       | -0,10       | -0,07         | -0,04     | -0,01        |
| Santana de Parnaíba    | -0,57 | -0,12     | 0,03      | 0,00  | -0,01    | -0,04      | -0,09       | -0,11       | -0,07         | -0,11     | -0,04        |
| Santo André            | -0,15 | -0,01     | 0,02      | 0,00  | -0,01    | -0,02      | -0,03       | -0,03       | -0,03         | -0,02     | -0,01        |
| São Bernardo do Campo  | -0,25 | -0,03     | 0,02      | 0,00  | -0,01    | -0,08      | -0,05       | -0,03       | -0,04         | -0,03     | 0,00         |
| São Caetano do Sul     | -0,37 | -0,06     | 0,03      | 0,00  | -0,02    | -0,07      | -0,08       | -0,08       | -0,05         | -0,03     | -0,02        |
| São Lourenço da Serra  | -0,26 | -0,02     | 0,04      | 0,00  | -0,02    | -0,02      | -0,08       | -0,05       | -0,06         | -0,04     | -0,01        |
| São Paulo              | -0,32 | -0,04     | 0,06      | 0,00  | -0,03    | -0,05      | -0,08       | -0,07       | -0,07         | -0,04     | -0,01        |
| Suzano                 | -0,40 | -0,05     | 0,03      | 0,00  | -0,01    | -0,04      | -0,10       | -0,07       | -0,08         | -0,08     | -0,01        |
| Taboão da Serra        | -0,59 | -0,07     | 0,04      | 0,00  | -0,04    | -0,03      | -0,13       | -0,13       | -0,10         | -0,08     | -0,06        |
| Vargem Grande Paulista | -0,33 | -0,08     | 0,05      | 0,00  | -0,02    | -0,02      | -0,08       | -0,05       | -0,06         | -0,05     | -0,01        |
| Resto de São Paulo     | -0,16 | -0,01     | 0,02      | 0,00  | -0,01    | -0,01      | -0,05       | -0,03       | -0,04         | -0,02     | -0,01        |
| Resto do Brasil        | -0,14 | 0,00      | 0,02      | 0,00  | -0,01    | -0,01      | -0,05       | -0,03       | -0,04         | -0,02     | -0,01        |

Tabela H.3 – RCP8.5 - curto prazo

| Região                 | Total | Alimentos | Vestuário | Couro | Petróleo | Metalurgia | Prod. Metal | Prod. Infor | Maq. Eletrica | Maq. Meca | Outros trans |
|------------------------|-------|-----------|-----------|-------|----------|------------|-------------|-------------|---------------|-----------|--------------|
| Arujá                  | -0,77 | -0,09     | 0,03      | 0,00  | -0,14    | -0,25      | -0,15       | -0,04       | -0,06         | -0,08     | 0,00         |
| Barueri                | -0,39 | -0,04     | 0,03      | 0,00  | -0,01    | -0,03      | -0,06       | -0,17       | -0,06         | -0,06     | 0,00         |
| Biritiba Mirim         | -0,06 | -0,03     | 0,03      | 0,00  | -0,01    | -0,01      | -0,01       | -0,01       | -0,01         | -0,01     | 0,00         |
| Caieiras               | -0,85 | -0,02     | 0,04      | 0,04  | -0,02    | -0,41      | -0,18       | -0,07       | -0,14         | -0,07     | 0,00         |
| Cajamar                | -1,44 | -0,11     | 0,01      | 0,01  | -0,75    | -0,04      | -0,17       | -0,15       | -0,11         | -0,12     | 0,00         |
| Carapicuíba            | -0,55 | -0,14     | 0,06      | 0,00  | -0,01    | -0,03      | -0,09       | -0,16       | -0,12         | -0,05     | -0,01        |
| Cotia                  | -1,12 | -0,15     | 0,05      | 0,00  | -0,01    | -0,23      | -0,08       | -0,43       | -0,13         | -0,14     | 0,00         |
| Diadema                | -1,20 | -0,11     | 0,02      | 0,00  | -0,15    | -0,28      | -0,25       | -0,19       | -0,12         | -0,13     | 0,00         |
| Embu das Artes         | -0,87 | -0,22     | 0,01      | 0,00  | -0,01    | -0,02      | -0,13       | -0,24       | -0,22         | -0,03     | 0,00         |
| Embu-Guaçu             | -0,70 | -0,11     | 0,02      | 0,00  | 0,00     | -0,29      | -0,10       | -0,02       | -0,16         | -0,04     | 0,00         |
| Ferraz de Vasconcelos  | -2,89 | -0,19     | 0,04      | 0,01  | -0,01    | -1,25      | -0,35       | 0,00        | -0,55         | -0,10     | -0,50        |
| Francisco Morato       | -0,14 | -0,06     | 0,01      | 0,00  | 0,00     | 0,00       | -0,08       | -0,01       | 0,00          | 0,00      | 0,00         |
| Franco da Rocha        | -1,54 | -0,05     | 0,05      | 0,00  | -1,13    | -0,04      | -0,27       | -0,01       | 0,00          | -0,09     | 0,00         |
| Guararema              | -0,93 | -0,49     | 0,03      | 0,01  | -0,01    | -0,04      | -0,01       | -0,13       | -0,27         | -0,03     | 0,00         |
| Guarulhos              | -1,11 | -0,13     | 0,08      | 0,01  | -0,06    | -0,39      | -0,24       | -0,09       | -0,14         | -0,08     | -0,08        |
| Itapecerica da Serra   | -0,40 | -0,11     | 0,02      | 0,00  | -0,01    | -0,01      | -0,04       | -0,08       | -0,05         | -0,04     | -0,09        |
| Itapevi                | -0,97 | -0,32     | 0,05      | 0,00  | 0,00     | -0,49      | -0,03       | -0,05       | -0,10         | -0,03     | 0,00         |
| Itaquaquecetuba        | -1,59 | -0,02     | 0,05      | 0,01  | -0,04    | -0,70      | -0,35       | -0,26       | -0,20         | -0,08     | -0,01        |
| Jandira                | -0,96 | -0,09     | 0,22      | 0,00  | -0,01    | -0,71      | -0,17       | -0,01       | -0,06         | -0,10     | -0,03        |
| Juquitiba              | -0,15 | -0,01     | 0,03      | 0,00  | -0,01    | -0,04      | -0,08       | -0,04       | 0,00          | 0,00      | 0,00         |
| Mairiporã              | -0,57 | -0,04     | 0,09      | 0,00  | -0,01    | -0,25      | -0,12       | -0,07       | -0,04         | -0,12     | 0,00         |
| Mauá                   | -0,70 | -0,02     | 0,03      | 0,00  | -0,37    | -0,16      | -0,10       | -0,04       | -0,01         | -0,02     | 0,00         |
| Mogi das Cruzes        | -0,68 | -0,10     | 0,03      | 0,00  | -0,01    | -0,28      | -0,08       | -0,08       | -0,09         | -0,08     | 0,00         |
| Osasco                 | -0,26 | -0,04     | 0,02      | 0,00  | -0,04    | -0,07      | -0,03       | -0,04       | -0,02         | -0,01     | -0,03        |
| Pirapora do Bom Jesus  | -1,47 | -0,01     | 0,02      | 0,00  | -0,01    | -1,39      | -0,03       | -0,01       | -0,01         | -0,03     | 0,00         |
| Poá                    | -0,96 | -0,07     | 0,09      | 0,00  | -0,16    | -0,14      | -0,15       | -0,01       | -0,50         | -0,01     | 0,00         |
| Ribeirão Pires         | -0,01 | 0,00      | 0,01      | 0,00  | -0,01    | -0,02      | -0,01       | 0,00        | 0,00          | 0,01      | 0,00         |
| Rio Grande da Serra    | 0,06  | 0,06      | 0,01      | 0,00  | -0,01    | -0,01      | 0,00        | 0,00        | 0,00          | 0,00      | 0,00         |
| Salesópolis            | -0,03 | -0,04     | 0,03      | 0,00  | -0,01    | 0,00       | 0,00        | -0,01       | 0,00          | 0,00      | 0,00         |
| Santa Isabel           | -0,20 | -0,03     | 0,10      | 0,00  | -0,01    | -0,01      | -0,03       | -0,20       | -0,01         | -0,02     | 0,00         |
| Santana de Parnaíba    | -0,96 | -0,27     | 0,03      | 0,00  | -0,01    | -0,05      | -0,09       | -0,18       | -0,08         | -0,21     | -0,10        |
| Santo André            | -0,24 | -0,04     | 0,02      | 0,00  | -0,01    | -0,13      | -0,03       | -0,01       | -0,02         | -0,02     | 0,00         |
| São Bernardo do Campo  | -0,51 | -0,06     | 0,02      | 0,00  | -0,02    | -0,22      | -0,06       | -0,04       | -0,05         | -0,07     | 0,00         |
| São Caetano do Sul     | -0,52 | -0,12     | 0,02      | 0,00  | -0,01    | -0,15      | -0,06       | -0,13       | -0,03         | -0,02     | -0,03        |
| São Lourenço da Serra  | -0,07 | -0,02     | 0,02      | 0,00  | -0,01    | 0,00       | -0,04       | -0,01       | 0,00          | 0,00      | 0,00         |
| São Paulo              | -0,28 | -0,06     | 0,08      | 0,00  | -0,04    | -0,06      | -0,05       | -0,07       | -0,05         | -0,02     | -0,01        |
| Suzano                 | -0,56 | -0,08     | 0,04      | 0,00  | -0,01    | -0,06      | -0,12       | -0,10       | -0,11         | -0,12     | 0,00         |
| Taboão da Serra        | -0,63 | -0,08     | 0,04      | 0,00  | -0,04    | -0,02      | -0,11       | -0,15       | -0,10         | -0,08     | -0,10        |
| Vargem Grande Paulista | -0,20 | -0,24     | 0,07      | 0,00  | -0,01    | 0,00       | 0,00        | 0,00        | 0,00          | -0,02     | 0,00         |
| Resto de São Paulo     | 0,03  | 0,00      | 0,00      | 0,00  | -0,01    | 0,00       | 0,01        | 0,01        | 0,01          | 0,01      | 0,00         |
| Resto do Brasil        | 0,02  | 0,00      | 0,00      | 0,00  | 0,00     | 0,00       | 0,01        | 0,00        | 0,00          | 0,00      | 0,00         |

Tabela H.4 – RCP8.5 - longo prazo

| Região                 | Total | Alimentos | Vestuário | Couro | Petróleo | Metalurgia | Prod. Metal | Prod. Infor | Maq. Eletrica | Maq. Meca | Outros trans |
|------------------------|-------|-----------|-----------|-------|----------|------------|-------------|-------------|---------------|-----------|--------------|
| Arujá                  | -1,72 | -0,15     | 0,13      | 0,00  | -0,23    | -0,37      | -0,41       | -0,20       | -0,24         | -0,22     | -0,04        |
| Barueri                | -0,81 | -0,06     | 0,07      | 0,00  | -0,03    | -0,07      | -0,18       | -0,27       | -0,14         | -0,13     | -0,02        |
| Biritiba Mirim         | -0,84 | -0,10     | 0,10      | 0,00  | -0,06    | -0,07      | -0,22       | -0,16       | -0,17         | -0,13     | -0,03        |
| Caieiras               | -1,16 | -0,04     | 0,06      | 0,05  | -0,04    | -0,50      | -0,27       | -0,12       | -0,19         | -0,11     | -0,01        |
| Cajamar                | -2,24 | -0,17     | 0,07      | 0,01  | -0,88    | -0,10      | -0,38       | -0,28       | -0,26         | -0,23     | -0,03        |
| Carapicuíba            | -1,14 | -0,22     | 0,12      | 0,00  | -0,04    | -0,08      | -0,25       | -0,26       | -0,25         | -0,15     | -0,03        |
| Cotia                  | -1,67 | -0,21     | 0,09      | 0,00  | -0,04    | -0,29      | -0,20       | -0,56       | -0,22         | -0,22     | -0,02        |
| Diadema                | -1,78 | -0,15     | 0,06      | 0,00  | -0,20    | -0,36      | -0,39       | -0,30       | -0,21         | -0,20     | -0,02        |
| Embu das Artes         | -1,63 | -0,30     | 0,07      | 0,00  | -0,05    | -0,08      | -0,33       | -0,40       | -0,38         | -0,14     | -0,03        |
| Embu-Guaçu             | -1,17 | -0,13     | 0,06      | 0,00  | -0,03    | -0,35      | -0,23       | -0,11       | -0,25         | -0,11     | -0,02        |
| Ferraz de Vasconcelos  | -3,68 | -0,25     | 0,09      | 0,02  | -0,03    | -1,46      | -0,53       | -0,08       | -0,69         | -0,18     | -0,55        |
| Francisco Morato       | -0,59 | -0,10     | 0,05      | 0,00  | -0,03    | -0,03      | -0,22       | -0,09       | -0,10         | -0,07     | -0,02        |
| Franco da Rocha        | -2,24 | -0,08     | 0,11      | 0,00  | -1,28    | -0,09      | -0,46       | -0,11       | -0,11         | -0,18     | -0,02        |
| Guararema              | -1,91 | -0,66     | 0,13      | 0,02  | -0,06    | -0,12      | -0,24       | -0,31       | -0,48         | -0,16     | -0,04        |
| Guarulhos              | -1,74 | -0,18     | 0,15      | 0,01  | -0,10    | -0,50      | -0,42       | -0,18       | -0,25         | -0,16     | -0,10        |
| Itapecerica da Serra   | -1,07 | -0,17     | 0,08      | 0,00  | -0,05    | -0,06      | -0,23       | -0,20       | -0,18         | -0,14     | -0,12        |
| Itapevi                | -1,82 | -0,42     | 0,14      | 0,00  | -0,05    | -0,61      | -0,25       | -0,19       | -0,27         | -0,14     | -0,03        |
| Itaquaquecetuba        | -2,34 | -0,05     | 0,11      | 0,02  | -0,08    | -0,86      | -0,56       | -0,40       | -0,33         | -0,17     | -0,03        |
| Jandira                | -1,53 | -0,14     | 0,31      | 0,01  | -0,04    | -0,85      | -0,34       | -0,09       | -0,16         | -0,18     | -0,06        |
| Juquitiba              | -0,90 | -0,05     | 0,11      | 0,00  | -0,05    | -0,10      | -0,31       | -0,19       | -0,17         | -0,11     | -0,03        |
| Mairiporã              | -1,15 | -0,07     | 0,16      | 0,00  | -0,04    | -0,33      | -0,29       | -0,18       | -0,16         | -0,22     | -0,02        |
| Mauá                   | -1,13 | -0,05     | 0,07      | 0,00  | -0,42    | -0,22      | -0,21       | -0,11       | -0,09         | -0,08     | -0,02        |
| Mogi das Cruzes        | -1,46 | -0,17     | 0,10      | 0,01  | -0,05    | -0,39      | -0,28       | -0,22       | -0,24         | -0,19     | -0,03        |
| Osasco                 | -1,14 | -0,09     | 0,11      | 0,01  | -0,10    | -0,14      | -0,28       | -0,20       | -0,22         | -0,15     | -0,08        |
| Pirapora do Bom Jesus  | -1,73 | -0,02     | 0,03      | 0,00  | -0,02    | -1,48      | -0,08       | -0,04       | -0,05         | -0,06     | -0,01        |
| Poá                    | -1,45 | -0,10     | 0,14      | 0,01  | -0,21    | -0,19      | -0,29       | -0,08       | -0,62         | -0,07     | -0,02        |
| Ribeirão Pires         | -0,28 | -0,01     | 0,04      | 0,00  | -0,02    | -0,05      | -0,10       | -0,05       | -0,06         | -0,02     | -0,01        |
| Rio Grande da Serra    | -0,57 | 0,08      | 0,08      | 0,00  | -0,05    | -0,07      | -0,19       | -0,13       | -0,15         | -0,10     | -0,03        |
| Salesópolis            | -0,76 | -0,09     | 0,11      | 0,00  | -0,05    | -0,06      | -0,21       | -0,15       | -0,17         | -0,11     | -0,03        |
| Santa Isabel           | -0,91 | -0,08     | 0,19      | 0,00  | -0,05    | -0,07      | -0,23       | -0,37       | -0,16         | -0,13     | -0,03        |
| Santana de Parnaíba    | -1,60 | -0,36     | 0,08      | 0,00  | -0,03    | -0,10      | -0,23       | -0,31       | -0,19         | -0,33     | -0,12        |
| Santo André            | -0,64 | -0,06     | 0,05      | 0,00  | -0,04    | -0,18      | -0,14       | -0,08       | -0,10         | -0,08     | -0,02        |
| São Bernardo do Campo  | -0,77 | -0,08     | 0,05      | 0,00  | -0,03    | -0,27      | -0,13       | -0,08       | -0,10         | -0,10     | -0,01        |
| São Caetano do Sul     | -1,06 | -0,19     | 0,07      | 0,01  | -0,04    | -0,21      | -0,19       | -0,22       | -0,13         | -0,09     | -0,05        |
| São Lourenço da Serra  | -0,70 | -0,06     | 0,08      | 0,00  | -0,04    | -0,05      | -0,23       | -0,13       | -0,14         | -0,10     | -0,03        |
| São Paulo              | -0,75 | -0,09     | 0,14      | 0,00  | -0,06    | -0,10      | -0,19       | -0,17       | -0,15         | -0,10     | -0,03        |
| Suzano                 | -0,93 | -0,12     | 0,07      | 0,01  | -0,04    | -0,10      | -0,22       | -0,16       | -0,18         | -0,17     | -0,01        |
| Taboão da Serra        | -1,31 | -0,16     | 0,10      | 0,01  | -0,08    | -0,06      | -0,29       | -0,29       | -0,23         | -0,18     | -0,13        |
| Vargem Grande Paulista | -0,92 | -0,31     | 0,14      | 0,00  | -0,05    | -0,05      | -0,20       | -0,13       | -0,15         | -0,14     | -0,03        |
| Resto de São Paulo     | -0,38 | -0,01     | 0,04      | 0,00  | -0,03    | -0,03      | -0,12       | -0,07       | -0,09         | -0,06     | -0,02        |
| Resto do Brasil        | -0,35 | -0,01     | 0,04      | 0,00  | -0,02    | -0,02      | -0,11       | -0,07       | -0,08         | -0,06     | -0,02        |

# I MATRIZES DE SENSIBILIDADE

Tabela I.1 – Matriz de sensibilidade - curto prazo

| Região | S3       | S7       | S8       | S12      | S18      | S19      | S20      | S21      | S22      | S24      |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| R1     | -0,07985 | -0,01345 | -0,00347 | -0,11379 | -0,05281 | -0,03116 | -0,00963 | -0,01949 | -0,03176 | -0,00008 |
| R2     | -0,06814 | -0,01328 | -0,00537 | -0,05499 | -0,00994 | -0,00953 | -0,02086 | -0,01015 | -0,01210 | -0,00084 |
| R3     | -0,09959 | -0,01751 | -0,00875 | -0,06270 | -0,00482 | -0,00301 | -0,01237 | -0,00370 | 0,01123  | -0,00272 |
| R4     | -0,09435 | -0,02087 | -0,01528 | -0,08764 | -0,07159 | -0,03604 | -0,01754 | -0,03306 | -0,02868 | -0,00201 |
| R5     | -0,09273 | -0,00696 | -0,00468 | -0,39446 | -0,01384 | -0,03832 | -0,02355 | -0,02423 | -0,04804 | -0,00026 |
| R6     | -0,11257 | -0,01960 | -0,00483 | -0,03764 | -0,00809 | -0,01480 | -0,02757 | -0,02319 | -0,01459 | -0,00074 |
| R7     | -0,12705 | -0,02029 | -0,00557 | -0,05371 | -0,03789 | -0,01693 | -0,05569 | -0,02729 | -0,04475 | -0,00051 |
| R8     | -0,11833 | -0,01308 | -0,00599 | -0,13795 | -0,07360 | -0,05682 | -0,03625 | -0,03424 | -0,06219 | -0,00096 |
| R9     | -0,14036 | -0,00817 | -0,00361 | -0,03889 | -0,00863 | -0,02276 | -0,03218 | -0,04676 | -0,00929 | 0,00001  |
| R10    | -0,16811 | -0,01522 | -0,00640 | -0,03785 | -0,10860 | -0,04349 | -0,01105 | -0,08736 | -0,03420 | 0,00019  |
| R11    | -0,13654 | -0,01666 | -0,00743 | -0,04326 | -0,19580 | -0,05712 | -0,00492 | -0,10424 | -0,03128 | -0,04192 |
| R12    | -0,08868 | -0,01282 | -0,00585 | -0,02150 | 0,00064  | -0,01039 | -0,00337 | 0,00163  | 0,00906  | 0,00044  |
| R13    | -0,06976 | -0,01756 | -0,00451 | -0,59558 | -0,01241 | -0,04488 | -0,00525 | 0,00013  | -0,02676 | 0,00017  |
| R14    | -0,31081 | -0,01450 | -0,00683 | -0,05452 | -0,01326 | -0,00397 | -0,02354 | -0,06832 | -0,00955 | -0,00042 |
| R15    | -0,09833 | -0,02135 | -0,00576 | -0,07807 | -0,06238 | -0,03682 | -0,01555 | -0,02739 | -0,02447 | -0,00616 |
| R16    | -0,12958 | -0,01188 | -0,00413 | -0,03870 | -0,00524 | -0,01424 | -0,01963 | -0,01731 | -0,02706 | -0,01367 |
| R17    | -0,13705 | -0,01240 | -0,00250 | -0,02586 | -0,06095 | -0,00378 | -0,00609 | -0,01506 | -0,00359 | 0,00055  |
| R18    | -0,06124 | -0,01754 | -0,00677 | -0,05281 | -0,10145 | -0,05093 | -0,03301 | -0,03668 | -0,02010 | -0,00046 |
| R19    | -0,08486 | -0,03989 | -0,00566 | -0,04819 | -0,08777 | -0,02052 | -0,00532 | -0,01234 | -0,03444 | -0,00249 |
| R20    | -0,07110 | -0,02061 | -0,00637 | -0,03354 | -0,01095 | -0,01949 | -0,01401 | -0,00018 | 0,00962  | 0,00048  |
| R21    | -0,08401 | -0,03009 | -0,00589 | -0,04515 | -0,04264 | -0,02222 | -0,01486 | -0,01012 | -0,04137 | -0,00022 |
| R22    | -0,07604 | -0,02248 | -0,00498 | -0,46647 | -0,07310 | -0,05693 | -0,01712 | -0,00550 | -0,02696 | -0,00141 |
| R23    | -0,11425 | -0,01648 | -0,00631 | -0,05986 | -0,06141 | -0,01780 | -0,01918 | -0,02538 | -0,03601 | -0,00116 |
| R24    | -0,04120 | -0,00701 | -0,00257 | -0,03814 | -0,01219 | -0,00512 | -0,00705 | -0,00463 | -0,00358 | -0,00261 |
| R25    | -0,10283 | -0,01828 | -0,00904 | -0,08192 | -0,27003 | -0,01554 | -0,01085 | -0,00723 | -0,01512 | -0,00289 |
| R26    | -0,09299 | -0,02695 | -0,00689 | -0,11716 | -0,02556 | -0,02543 | -0,00777 | -0,09528 | -0,00159 | -0,00088 |
| R27    | -0,16103 | -0,01471 | -0,00633 | -0,18612 | -0,06992 | -0,17527 | -0,02245 | -0,02195 | -0,04724 | -0,00173 |
| R28    | -0,76270 | -0,01158 | -0,00554 | -0,03546 | -0,01025 | -0,00575 | -0,00286 | 0,00128  | 0,00886  | 0,00048  |
| R29    | -0,11378 | -0,02099 | -0,00954 | -0,05827 | -0,00089 | 0,00192  | -0,00932 | -0,00038 | 0,00964  | -0,00168 |
| R30    | -0,07755 | -0,03918 | -0,00633 | -0,05337 | -0,00878 | -0,00984 | -0,04358 | -0,00243 | -0,00832 | -0,00082 |
| R31    | -0,14794 | -0,01438 | -0,00578 | -0,05022 | -0,01402 | -0,01454 | -0,02064 | -0,01315 | -0,05484 | -0,00690 |
| R32    | -0,09229 | -0,01601 | -0,00599 | -0,05479 | -0,05869 | -0,02028 | -0,00760 | -0,00975 | -0,01966 | -0,00113 |
| R33    | -0,09980 | -0,01503 | -0,00598 | -0,07379 | -0,06141 | -0,02809 | -0,01580 | -0,02013 | -0,06153 | -0,00237 |
| R34    | -0,11675 | -0,01189 | -0,00552 | -0,04479 | -0,03792 | -0,02116 | -0,02750 | -0,00982 | -0,01149 | -0,00442 |
| R35    | -0,11094 | -0,02146 | -0,01011 | -0,04816 | -0,00274 | -0,00372 | -0,01080 | -0,00039 | 0,01057  | 0,00000  |
| R36    | -0,08153 | -0,02420 | -0,00552 | -0,06189 | -0,01470 | -0,00853 | -0,01394 | -0,01037 | -0,00584 | -0,00144 |
| R37    | -0,11445 | -0,01852 | -0,00814 | -0,09225 | -0,01993 | -0,02508 | -0,02284 | -0,02535 | -0,04651 | -0,00318 |
| R38    | -0,08030 | -0,01417 | -0,00528 | -0,04736 | -0,01132 | -0,01789 | -0,02094 | -0,01889 | -0,02316 | -0,00786 |
| R39    | -0,17778 | -0,03022 | -0,00854 | -0,04926 | -0,00096 | 0,00124  | -0,00686 | 0,00022  | 0,00238  | -0,00097 |
| R40    | -0,18502 | -0,02251 | -0,01456 | -0,15193 | -0,04402 | -0,02142 | -0,03325 | -0,02079 | -0,03221 | -0,01688 |
| R41    | -0,16541 | -0,02336 | -0,01429 | -0,10280 | -0,02763 | -0,00968 | -0,01608 | -0,00844 | -0,00654 | -0,00735 |

Tabela I.2 – Matriz de sensibilidade - longo prazo

| Região | S3       | S7       | S8       | S12      | S18      | S19      | S20      | S21      | S22      | S24      |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| R1     | 0,68150  | 0,03674  | 0,00740  | 0,08819  | 0,01583  | -0,18955 | -0,02815 | -0,14770 | -0,28085 | -0,07780 |
| R2     | 0,28565  | 0,01463  | 0,00253  | 0,05587  | 0,01777  | -0,08472 | -0,02502 | -0,06524 | -0,12711 | -0,03431 |
| R3     | 0,38201  | 0,01605  | -0,00380 | 0,01385  | 0,03442  | -0,16755 | -0,04779 | -0,12489 | -0,22358 | -0,07369 |
| R4     | 0,10838  | -0,00008 | -0,00778 | -0,02560 | -0,05063 | -0,05986 | -0,01620 | -0,05164 | -0,07214 | -0,01649 |
| R5     | 0,54040  | 0,03750  | 0,00606  | -0,13318 | 0,04046  | -0,17399 | -0,03339 | -0,12371 | -0,25023 | -0,06254 |
| R6     | 0,39894  | 0,01854  | 0,00491  | 0,10419  | 0,03636  | -0,12475 | -0,03563 | -0,10222 | -0,18306 | -0,05091 |
| R7     | 0,21667  | 0,00798  | 0,00198  | 0,04111  | -0,00542 | -0,09160 | -0,05676 | -0,07881 | -0,14759 | -0,03363 |
| R8     | 0,25942  | 0,01601  | 0,00205  | -0,00815 | -0,05328 | -0,11995 | -0,04016 | -0,08728 | -0,17138 | -0,03685 |
| R9     | 0,49260  | 0,03598  | 0,00713  | 0,10282  | 0,04530  | -0,15517 | -0,04115 | -0,14156 | -0,21786 | -0,06204 |
| R10    | 0,28882  | 0,01918  | 0,00277  | 0,08427  | -0,06010 | -0,12527 | -0,01897 | -0,14310 | -0,17311 | -0,04301 |
| R11    | 0,28322  | 0,01519  | 0,00123  | 0,06186  | -0,15254 | -0,12817 | -0,01378 | -0,14914 | -0,16081 | -0,07787 |
| R12    | 0,35313  | 0,02167  | 0,00367  | 0,10538  | 0,03958  | -0,10121 | -0,01070 | -0,06774 | -0,13788 | -0,04177 |
| R13    | 0,42360  | 0,01884  | 0,00450  | -0,30734 | 0,02914  | -0,14267 | -0,01676 | -0,08246 | -0,19119 | -0,04948 |
| R14    | 0,40782  | 0,03025  | 0,00182  | 0,08540  | 0,04965  | -0,18365 | -0,04485 | -0,17728 | -0,26805 | -0,07883 |
| R15    | 0,35034  | 0,01145  | 0,00274  | 0,04397  | -0,02401 | -0,11878 | -0,02373 | -0,09435 | -0,16680 | -0,04859 |
| R16    | 0,45045  | 0,02876  | 0,00540  | 0,09302  | 0,04170  | -0,14598 | -0,03253 | -0,11200 | -0,22011 | -0,07082 |
| R17    | 0,56123  | 0,03556  | 0,00882  | 0,14536  | 0,00728  | -0,15868 | -0,02026 | -0,12589 | -0,23786 | -0,06850 |
| R18    | 0,44625  | 0,01847  | 0,00257  | 0,08639  | -0,04326 | -0,13712 | -0,03920 | -0,10859 | -0,17993 | -0,04907 |
| R19    | 0,35663  | -0,00659 | 0,00344  | 0,06869  | -0,04579 | -0,10891 | -0,01343 | -0,08020 | -0,17597 | -0,04407 |
| R20    | 0,63955  | 0,02657  | 0,00366  | 0,14369  | 0,05676  | -0,17151 | -0,03252 | -0,12498 | -0,24369 | -0,07372 |
| R21    | 0,39032  | 0,00475  | 0,00285  | 0,08096  | 0,01161  | -0,11706 | -0,02439 | -0,08514 | -0,18513 | -0,04708 |
| R22    | 0,30275  | 0,00746  | 0,00332  | -0,29380 | -0,04276 | -0,11734 | -0,02292 | -0,06304 | -0,14785 | -0,03681 |
| R23    | 0,43912  | 0,02034  | 0,00138  | 0,04649  | -0,00698 | -0,14203 | -0,03720 | -0,11747 | -0,22273 | -0,06025 |
| R24    | 0,83542  | 0,05039  | 0,01064  | 0,20006  | 0,07132  | -0,19351 | -0,02322 | -0,14493 | -0,29149 | -0,08737 |
| R25    | 0,12446  | 0,00396  | -0,00090 | -0,00820 | -0,27054 | -0,05074 | -0,00979 | -0,03291 | -0,07123 | -0,01852 |
| R26    | 0,28512  | 0,00239  | 0,00148  | 0,01514  | 0,00431  | -0,09520 | -0,01443 | -0,13856 | -0,12210 | -0,03555 |
| R27    | 0,16561  | 0,01203  | 0,00170  | -0,06200 | -0,05497 | -0,24213 | -0,02524 | -0,06757 | -0,13564 | -0,03052 |
| R28    | -0,12943 | 0,03195  | 0,00437  | 0,10581  | 0,04013  | -0,15720 | -0,02162 | -0,11026 | -0,22079 | -0,06562 |
| R29    | 0,52176  | 0,01940  | -0,00206 | 0,07751  | 0,05561  | -0,16438 | -0,03619 | -0,12422 | -0,24209 | -0,07540 |
| R30    | 0,51013  | -0,00138 | 0,00128  | 0,07468  | 0,04036  | -0,15357 | -0,05894 | -0,11237 | -0,22614 | -0,06584 |
| R31    | 0,25074  | 0,01695  | 0,00247  | 0,05546  | 0,01613  | -0,10381 | -0,02909 | -0,07865 | -0,17524 | -0,04607 |
| R32    | 0,30030  | 0,01418  | 0,00244  | 0,04895  | -0,03147 | -0,09264 | -0,01484 | -0,06765 | -0,13695 | -0,03649 |
| R33    | 0,13018  | 0,00531  | 0,00069  | -0,00591 | -0,05033 | -0,07252 | -0,01751 | -0,05019 | -0,12833 | -0,02127 |
| R34    | 0,27962  | 0,01825  | 0,00221  | 0,05017  | -0,00916 | -0,11715 | -0,03701 | -0,07774 | -0,15569 | -0,04488 |
| R35    | 0,45200  | 0,01935  | -0,00042 | 0,09635  | 0,04524  | -0,14140 | -0,03099 | -0,10458 | -0,20360 | -0,06090 |
| R36    | 0,37400  | 0,00924  | 0,00373  | 0,06985  | 0,02276  | -0,10218 | -0,02230 | -0,07959 | -0,15204 | -0,04385 |
| R37    | 0,13641  | 0,00339  | -0,00180 | -0,03945 | -0,00207 | -0,07406 | -0,02788 | -0,06251 | -0,12416 | -0,02766 |
| R38    | 0,37883  | 0,02117  | 0,00358  | 0,08276  | 0,02259  | -0,12380 | -0,03210 | -0,09622 | -0,18357 | -0,05491 |
| R39    | 0,43316  | 0,01137  | 0,00010  | 0,09280  | 0,05339  | -0,15138 | -0,02767 | -0,11260 | -0,22518 | -0,06823 |
| R40    | 0,29960  | 0,01407  | -0,00466 | -0,01392 | -0,00255 | -0,12347 | -0,04148 | -0,09759 | -0,18755 | -0,06220 |
| R41    | 0,24961  | 0,00968  | -0,00512 | 0,01519  | 0,00910  | -0,10400 | -0,02571 | -0,07807 | -0,15334 | -0,04794 |