

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional
Programa de Pós-Graduação em Economia

Diego Nobuhiko Miyajima

**CENÁRIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, EFEITOS SOBRE A PRODUTIVIDADE
AGRÍCOLA E SEUS IMPACTOS ECONÔMICOS NAS REGIÕES DA AMAZÔNIA
LEGAL BRASILEIRA**

Belo Horizonte - MG
2018

Diego Nobuhiko Miyajima

**CENÁRIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, EFEITOS SOBRE A PRODUTIVIDADE
AGRÍCOLA E SEUS IMPACTOS ECONÔMICOS NAS REGIÕES DA AMAZÔNIA
LEGAL BRASILEIRA**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Economia do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Edson Paulo Domingues

Coorientadora: Prof. Dra. Aline Souza Magalhães

Belo Horizonte - MG
2018

Ficha catalográfica

M685c
2018
Miyajima, Diego Nobuhiko.
Cenário de mudanças climáticas, efeitos sobre a produtividade agrícola e seus impactos econômicos nas regiões da Amazônia Legal Brasileira [manuscrito] / Diego Nobuhiko Miyajima. – 2018.
112 f.: il. e tabs.

Orientador: Edson Paulo Domingues.
Coorientadora: Aline Souza Magalhães.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional.
Inclui bibliografia (f. 101-104) e apêndices.

1. Desenvolvimento sustentável – Teses. 2. Desenvolvimento econômico – Aspectos ambientais – Teses. 3. Amazônia Legal – Teses. 4. Brasil – Clima – Teses. I. Domingues, Edson P. (Edson Paulo). II. Magalhães, Aline Souza. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional. IV. Título.

CDD: 363.7



Curso de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Ciências Econômicas

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE **DIEGO NOBUHIKO MIYAJIMA** Nº. REGISTRO 2016659810. Às dez horas do dia vinte do mês de março de dois mil e dezoito, reuniu-se na *Faculdade de Ciências Econômicas* da Universidade Federal de Minas Gerais a Comissão Examinadora de DISSERTAÇÃO, indicada “*ad referendum*” pelo Colegiado do Curso em 22/02/2018 para julgar, em exame final, o trabalho final intitulado “**Cenário de mudanças climáticas, efeitos sobre a produtividade agrícola e seus impactos econômicos nas regiões da Amazônia Legal Brasileira**”, requisito final para a obtenção do Grau de *Mestre em Economia*, área de concentração em Economia. Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, Prof. Édson Paulo Domingues, após dar o conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra ao candidato, para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento e expedição do resultado final. A Comissão APROVOU o candidato por unanimidade. O resultado final foi comunicado publicamente ao candidato pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 20 de março de 2018.

Prof. Édson Paulo Domingues
(Orientador) (CEDEPLAR/FACE/UFMG)

Profa. Aline Souza Magalhães
(Coorientadora) (CEDEPLAR/FACE/UFMG)

Profa. Débora Freire Cardoso
(CEDEPLAR/FACE/UFMG)

Profa. Terciane Sabadini Carvalho
(UFPR)

Prof. Marco Flávio da Cunha Resende
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Economia

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, especialmente aos meus pais, Nobuo e Hitomi, pelo amor e apoio incondicional.

Ao meu amigo Thiago Simonato pela parceria, incentivos e conselhos desde a época da graduação na UFRRJ.

Aos meus orientadores, Edson Domingues e Aline Magalhães, pelo conhecimento compartilhado e por toda paciência para me orientar.

Aos colegas da turma, em especial Ilya, Marcos, Silas e Tarik, pelos momentos divertidos nos *board games*.

A todos professores e colegas do Cedeplar.

Ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) durante o mestrado.

À RedeClima pela disponibilidade dos dados e estudos sobre mudanças climáticas no Brasil.

RESUMO

Esta dissertação estuda os impactos futuros das mudanças climáticas nas regiões da Amazônia Legal. Para tanto, este trabalho adota dois modelos econômicos: modelo econométrico e modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC) regional. Primeiramente, utiliza-se o modelo econométrico para estimar as variações de produtividade a fatores climáticos (precipitação acumulada e temperatura média) para 11 cultivos agrícolas, com base nos cenários climáticos regionais pelo modelo climático Eta-CPTEC do INPE. Os cenários considerados nas projeções são RCP 8.5 e RCP 4.5, elaborados para o 5º relatório do IPCC. Em seguida, os resultados obtidos são utilizados como projeção de produtividade no modelo REGIA (modelo do tipo EGC com capacidade para analisar 30 mesorregiões da Amazônia Legal e seus respectivos setores econômicos, desenvolvido em Carvalho (2014)). Os resultados do REGIA indicaram quedas nos principais indicadores econômicos da Amazônia Legal em ambos cenários climáticos analisados. Em geral, o cenário climático mais pessimista (RCP 8.5) gera efeitos negativos um pouco maiores em relação ao RCP 4.5. Ademais, observou-se que os impactos econômicos das mudanças climáticas são distintos entre setores e regiões da Amazônia Legal, fruto da heterogeneidade econômica que caracteriza essa região.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas, Economia do Clima, Amazônia Legal, Modelo de Equilíbrio Geral Computável, Modelo Econométrico.

ABSTRACT

This thesis study the future impacts of climate change in the places around Legal Amazon. For that, it adopts two economic models: the econometric model and the regional computable general equilibrium model. At first, the econometric model is used to do projections about productivity variations to climatic factors (accumulated rainfall and average temperature) in 11 agricultural farming, using the INPE's regional climatic model (Eta-CPTEC). In the IPCC's fifth relatory the projections are (RCP 8.5 and RCP 4.5). The next results achieved in the econometric model were used as input in the regional computable general equilibrium model, called (REGIA), which has the capacity to analyze thirty mesoregions in the Legal Amazon and it respective economic sectors. The (REGIA) results had shown decay in the most important economic indicators of the Legal Amazon in both climatic scenarios that was analyzed. . Actually, the worst climatic situation (RCP 8.5) made some negative effects to the (RCP 4.5). It was analyzed that the climatic effects are very different in each mesoregions and some sectors of the Legal Amazon, which means that the effects of climatic changes are heterogeneous in each place and sector studied.

Keywords: Climate Change, Economics of Climate Change, Legal Amazon, Computable General Equilibrium Model, Econometric Model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O limite territorial da Amazônia Legal.....	17
Figura 2 - Quadro de riscos e incertezas na estimação de danos econômicos.....	21
Figura 3 - Gráfico ilustrativo de projeção do impacto das mudanças climáticas	22
Figura 4 – Cenário climático observado no Brasil	43
Figura 5 - Mudança da temperatura média no cenário RCP 8.5.....	44
Figura 6 - Mudança da precipitação no cenário RCP 8.5.....	45
Figura 7 - Mudança da temperatura no cenário RCP 4.5	46
Figura 8 - Mudança da precipitação no cenário RCP 4.5.....	46
Figura 9 - Regiões consideradas no modelo REGIA.....	48
Figura 10 - Estrutura da Tecnologia de Produção do Modelo REGIA	50
Figura 11 - Estrutura de demanda por terra entre setores (ano <i>t</i>)	51
Figura 12 - Estrutura da oferta por terra entre categorias de uso	52
Figura 13 - Estrutura hierárquica da demanda das famílias	53
Figura 14 - Mecanismo de composição da demanda do modelo REGIA	55
Figura 15 - Efeito Marginal da Temperatura sobre a Produtividade Agrícola.....	67
Figura 16 - Efeito Marginal da Precipitação sobre a Produtividade Agrícola.....	68
Figura 17 - Variação média anual de produtividade agrícola por cultivo na Amazônia Legal no período 2021-2080 (RCP 8.5)	78
Figura 18 - Variação média anual de produtividade agrícola por cultivo na Amazônia Legal no período 2021-2080 (RCP 4.5)	79
Figura 19 - Impacto das mudanças climáticas sobre o PIB real por mesorregiões da Amazônia Legal (var. % acumulada no período 2021-2080)	83
Figura 20 - Variações das áreas de lavouras por mesorregião da Amazônia Legal para o cenário RCP 8.5 - desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2021-2080.....	90

Figura 21 - Variações das áreas de lavouras por mesorregião da Amazônia Legal para o cenário RCP 4.5 - desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2021-2080.....	91
Figura 22 - Variações das áreas de pasto por mesorregião da Amazônia Legal para o cenário RCP 8.5 - desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2021-2080.....	92
Figura 23 - Variações das áreas de pasto por mesorregião da Amazônia Legal para o cenário RCP 4.5 - desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2021-2080.....	93
Figura 24 - Var. das áreas de floresta plantada por mesorregião da Amazônia Legal para o cenário RCP 8.5 – desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2021-2080	94
Figura 25 - Var. das áreas de floresta plantada por mesorregião da Amazônia Legal para o cenário RCP 4.5 - desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2021-2080.....	95
Figura 26 - Var. das áreas de floresta natural por mesorregião da Amazônia Legal para o cenário RCP 8.5 - desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2021-2080.....	97
Figura 27 - Var. das áreas de floresta natural por mesorregião da Amazônia Legal para o cenário RCP 4.5 - desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2021-2080.....	97
Figura 28 - Projeção da temperatura média no cenário RCP 8.5	105
Figura 29 - Projeção da precipitação média acumulada no cenário RCP 8.5.....	105
Figura 30 - Projeção da temperatura média no cenário RCP 4.5	106
Figura 31 - Projeção da precipitação média acumulada no cenário RCP 4.5.....	106
Figura 32 - Impacto das mudanças climáticas sobre o PIB real por mesorregiões da Amazônia Legal nos cenários RCP 8.5 e RCP 4.5 (var. % acumulada em 2021-2080).....	106
Figura 33 - Mudança de produtividade agrícola agregada na Amazônia Legal (RCP 8.5)....	107
Figura 34 - Mudança de produtividade agrícola agregada na Amazônia Legal (RCP 4.5)....	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatísticas Descritivas de Produtividade Agrícola.....	41
Tabela 2 - Estatísticas Descritivas das Variáveis do Clima e de Controle	42
Tabela 3 - Descrição setorial do modelo REGIA	47
Tabela 4 - Participação das mesorregiões da Amazônia Legal no PIB do Brasil e no PIB da Amazônia Legal em 2005.....	58
Tabela 5 – Participação das mesorregiões da Amazônia Legal na população do Brasil e na população da Amazônia Legal em 2005	59
Tabela 6 - Participação % dos setores agrícolas no total produzido por cada mesorregião da Amazônia Legal em 2005.....	60
Tabela 7 - Participação % dos demais setores no total produzido por mesorregião da Amazônia Legal em 2005.....	62
Tabela 8 – Áreas de terras utilizadas em agricultura, pecuária e silvicultura/extrativismo por mesorregião da Amazônia Legal em 2005	63
Tabela 9 - Produtividade Total Agrícola e Fatores Climáticos	66
Tabela 10 – Produtividade por cultivos e fatores climáticos (período de 1971-2005).....	69
Tabela 11 - Efeitos da Mudança Climática sobre a produtividade agrícola por Regiões no Cenário RCP 8.5	71
Tabela 12 - Efeitos da Mudança Climática sobre a produtividade agrícola por Regiões no Cenário RCP 4.5	71
Tabela 13 - Relação de variáveis do fechamento do cenário base	73
Tabela 14 - Valores adotados para a construção do cenário base, 2012-2080 (var. % real)....	74
Tabela 15 - Participação dos cultivos por mesorregião da Amazônia Legal.....	76
Tabela 16 - Relação de variáveis do fechamento de cenário das Mudanças Climáticas.....	80
Tabela 17 - Impacto das Mudanças Climáticas sobre os indicadores econômicos da Amazônia Legal - Cenários RCP 8.5 e RCP 4.5 (var. % acumulada, 2021-2080).....	82

Tabela 18 – Contribuição setorial para a redução do PIB por mesorregião da Amazônia Legal nos cenários RCP 8.5 e RCP 4.5 (desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2021-2080).....	86
Tabela 19 - Impacto das mudanças climáticas sobre uso da terra nos cenários RCP 8.5 e RCP 4.5 (em milhares de hectares, valor acumulado de 2021 a 2080 em relação ao cenário base).	88
Tabela 20 - Área de floresta natural perdida (desmatamento) na Amazônia Legal entre 2012 a 2016 (var. % do total da área de floresta natural e demais usos)	109
Tabela 21 - Impacto das Mudanças Climáticas sobre outros indicadores econômicos por mesorregião da Amazônia Legal - Cenários RCP 8.5 e RCP 4.5 (var. % acumulada, 2021-2080).....	110
Tabela 22 - Produção agrícola setorial por mesorregião da Amazônia Legal no período 2021-2080 - Variação % acumulada (RCP 8.5)	111
Tabela 23 - Produção agrícola setorial por mesorregião da Amazônia Legal no período 2021-2080 - Variação % acumulada (RCP 4.5)	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABM	<i>Agent-based Model</i>
BCB	Banco Central do Brasil
BeGreen	<i>Brazilian Energy and Greenhouse Gas Emissions General Equilibrium Model</i>
B-MARIA	<i>Brazilian Multisectoral And Regional/Interregional Analysis Model</i>
CES	Elasticidade de Substituição Constante
CET	Elasticidade de Transformação Constante
DICE	<i>Dynamic Integrated model of Climate and the Economy</i>
DSGE	Dinâmico Estocástico de Equilíbrio Geral
EGC	Equilíbrio Geral Computável
EMCB	Estudo de Mudanças Climáticas no Brasil
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FIPE	Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas
GCMs	<i>General Circulation Models</i>
GEE	Gases do efeito estufa
IAM	<i>Integrated Assessment Model</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ILUC	<i>Indirect Land Use Change</i>
IMAGEM-B	<i>Integrated Multi-Regional Applied General Equilibrium Model for Brazil</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
LES	<i>Linear Expenditure System</i>
MCG	Mudanças Climáticas Globais
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PAGE	<i>Policy Analysis of the Greenhouse Effect</i>
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PIA	Pesquisa Industrial Anual
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
RCP	<i>Representative Concentration Pathway</i>
REGIA	<i>Interregional General Equilibrium Model for the Brazilian Amazon</i>
SECEX	Secretaria de Comércio Exterior
SPARTA	<i>São Paulo Applied Trade Analysis</i>
SUR	<i>Seemingly Unrelated Regression</i>
TERM	<i>The Enormous Regional Model</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1	Particularidades das mudanças climáticas na análise econômica	20
2.2	Técnicas de avaliação econômica das mudanças climáticas	24
2.3	Estudos econômicos sobre mudanças climáticas no Brasil	27
2.3.1	Análise em equilíbrio parcial: modelos econométricos	30
2.3.2	Análise em equilíbrio geral	32
3	METODOLOGIA	35
3.1	Modelo econométrico	35
3.1.1	Base teórica.....	35
3.1.2	Especificação econométrica e estimação	37
3.1.3	Base de dados.....	38
3.2	O Modelo REGIA	47
3.2.1	Estrutura teórica	48
3.2.1.1	<i>Produção setorial</i>	49
3.2.1.2	<i>Módulo de uso da terra</i>	50
3.2.1.3	<i>Demanda regional/Famílias</i>	52
3.2.1.4	<i>Estoque de capital e investimento</i>	56
3.2.1.5	<i>Mercado de trabalho</i>	56
3.2.1.6	<i>Equilíbrio de mercados, demanda por margens e preços de compra</i>	57
3.2.1.7	<i>Outras equações e equações comportamentais</i>	57
3.2.2	Base de dados.....	57
4	SIMULAÇÕES E RESULTADOS	64
4.1	Simulação do modelo econométrico	64
4.1.1	Resultados do modelo econométrico	64

4.2	Simulação do Modelo REGIA	71
4.2.1	Cenário base.....	72
4.2.2	Cenário das mudanças climáticas	75
4.2.3	Resultados das simulações do modelo REGIA.....	81
4.2.3.1	<i>Impactos das mudanças climáticas nos indicadores econômicos regionais</i>	<i>81</i>
4.2.3.2	<i>Impactos das mudanças climáticas no uso da terra</i>	<i>87</i>
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
	REFERÊNCIAS	101
	APÊNDICE A – FIGURAS	105
	APÊNDICE B – TABELAS	109

1 INTRODUÇÃO

A mudança climática é um fenômeno entendido como alterações nos parâmetros climáticos médios da Terra persistidos em período longo de tempo, oriundo de processos naturais e/ou ações antrópicas (IPCC, 2014a).

Ao longo de toda história geológica da Terra, tem sido comum observar as variações climáticas extremas. Entretanto, os estudos cada vez mais apontam e acumulam as evidências de que os humanos são responsáveis pelas mudanças climáticas, tornando um consenso o processo de alterações climáticas no planeta (STERN, 2006). O estudo advindo de paleoclimatologia, por exemplo, mostra que o aumento da temperatura média nas últimas décadas é atípico em relação aos padrões das temperaturas ao longo dos últimos 11.300 anos, indicando mais uma possível evidência da influência da atividade humana sobre o aquecimento global (MARCOTT *et al.*, 2013).

De acordo com o relatório do AR5 IPCC (IPCC, 2014b), a influência das atividades antrópicas sobre o sistema climático é clara e as mudanças climáticas observadas desde 1950 não tem precedentes em milênios. A principal causa destas mudanças é atribuída à excessiva emissão de gases do efeito estufa¹ (GEE) acumulada nas últimas décadas.

A emissão de GEE é causada principalmente pelo consumo de combustível fósseis como carvão mineral, petróleo e gás natural, e pelos desmatamentos, atividades industriais e agropecuária. Tal emissão de gás provoca um fenômeno conhecido como efeito estufa e cria-se uma camada de gases na superfície da Terra que funciona como uma estufa de planta retendo o calor através da radiação solar refletida. A princípio, o efeito estufa é um fenômeno natural fundamental para sobrevivência das vidas na Terra, pois sem ele o planeta tornaria frio demais para manutenção das espécies. Porém, o problema está no aumento crescente das espessuras das camadas de GEE que agrava o potencial do efeito estufa, retendo cada vez mais o calor e causando o problema climático mais conhecido como aquecimento global, ou também como mudanças climáticas. Além disso, os GEE permanecem na superfície da Terra por período muito longo no qual esse tempo mínimo é estimado em cem anos aproximadamente, tornando este problema ainda mais grave.

¹ Os principais gases de efeito estufa emitidas por humanos são o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O).

O aquecimento global começou a receber atenção mundial a partir de 1988 com a criação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). O IPCC é uma instituição criada pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), tem como objetivo principal reunir, sintetizar e divulgar as principais pesquisas científicas sobre as mudanças climáticas com o intuito de fornecer dados para servir de insumo na elaboração das políticas de mitigação e/ou adaptação.

Desde então diversos estudos sobre as mudanças climáticas têm sido produzidos investigando suas causas, seus impactos e formas de mitigação, envolvendo diversas áreas de estudo devido a sua multidisciplinaridade. O estudo da mudança do clima se torna importante devido a sua grande escala, que afeta em nível global, e devido à ausência de solução definitiva que possa reverter as variações climáticas em curso.

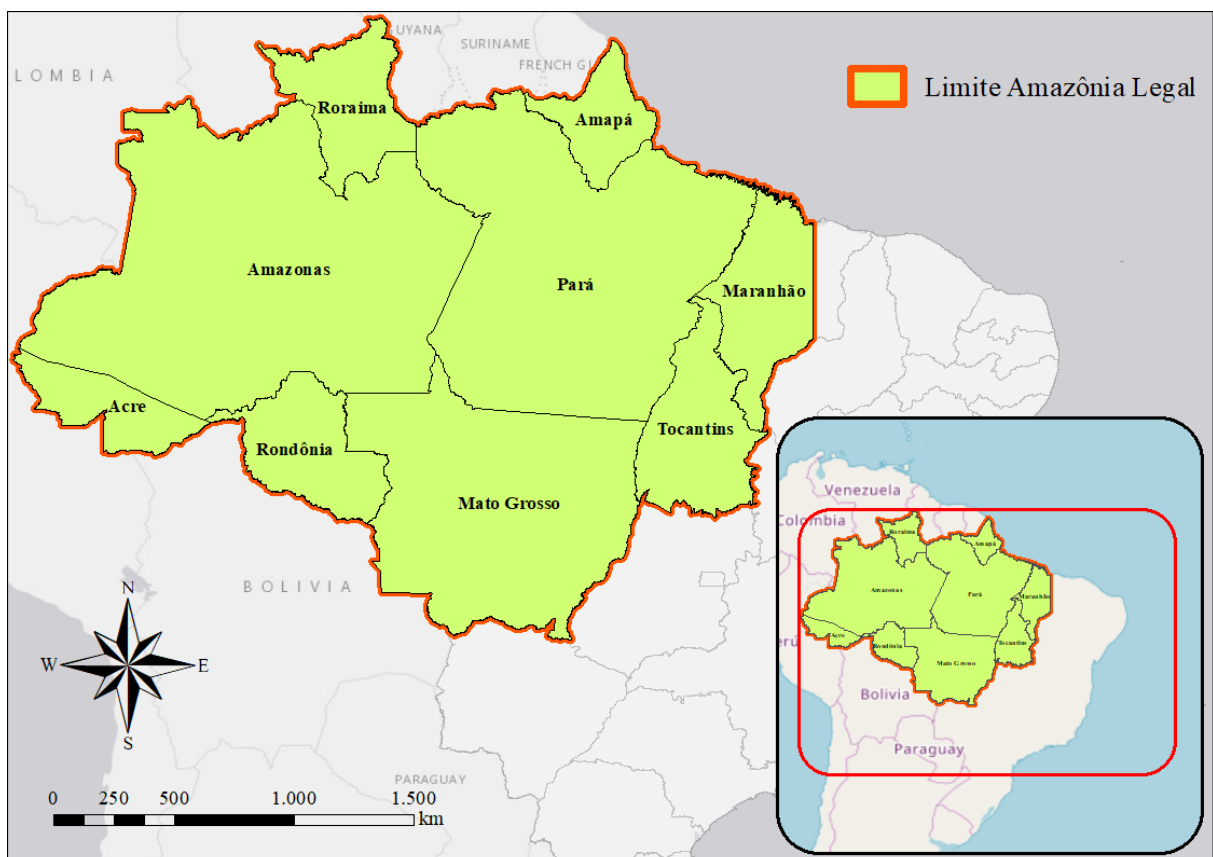
O principal relatório mais recente sobre mudanças climáticas, o AR5 IPCC (IPCC, 2014b), reporta o aumento da temperatura na atmosfera e no oceano, a diminuição da quantidade do gelo e da neve elevando o nível do mar, e aumento das concentrações de GEE na atmosfera. O relatório atribui a causa do aquecimento da Terra visto nos últimos 50 anos às atividades humanas com 95% de certeza. Sua projeção indica que a variação da temperatura global no final do século XXI exceda 1,5°C em dois cenários mais pessimistas (RCP 6.0 e RCP 8.5), e o aquecimento continuará depois do ano 2100 em todos cenários, exceto em cenário menos pessimista (RCP 2.6). Ainda, há previsão de que esse aquecimento provocará com maior frequência os eventos climáticos potencialmente danoso às populações humanas e ecossistemas com grande risco de extinção de algumas espécies de animais e plantas.

Para o Brasil, o relatório do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) afirma que a probabilidade do aumento da temperatura no Brasil é alta, com maior aquecimento concentrado no Sul da Amazônia (PBMC, 2014). Essa projeção aponta que as áreas mais vulneráveis são as regiões da Amazônia e do Nordeste do Brasil. A simulação realizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) sobre a projeção de clima do Brasil indica o aumento da temperatura entre 2° e 8°C, a região Centro-Oeste será a região com máximo de aquecimento em nível nacional, e esse efeito estendem-se para as regiões do Norte, Nordeste e Sudeste do país até o final do século. Em relação às precipitações, haverá um clima mais seco em maior parte do Brasil no verão, e a máxima de redução é localizada nas regiões Centro-Oeste e Sudeste. Por outro lado, as regiões do Sul e norte do Nordeste terão aumento das precipitações (BRASIL, 2016).

As mudanças climáticas pareciam ser um problema do futuro, contudo, suas implicações já podem ser observadas no presente. As consequências deste fenômeno podem ser vistas na forma de eventos climáticos extremos recentes como secas graves no rio São Francisco em 2017, chuvas fortes que causaram as inundações e deslizamentos em Santa Catarina em 2008, entre outros, e esses eventos indicam que o Brasil é vulnerável às variabilidades climáticas e sua incidência será maior no futuro (MARENGO, 2014).

Nesse contexto, a região da Amazônia Legal tem importância fundamental como objeto de estudo quando se trata das questões de aquecimento global devido a sua vasta reserva de diversidade de biomas e da floresta amazônica, além de abranger cerca de 60% do território brasileiro (a Figura 1 ilustra a delimitação territorial da região para mostrar sua vasta extensão territorial).

Figura 1 - O limite territorial da Amazônia Legal



Fonte: Elaboração própria.

Segundo o relatório do IPCC (2007), a região da floresta amazônica pode passar por um processo de savanização, provocando um processo de retroalimentação do aquecimento global, dado que a floresta amazônica tem papel fundamental para absorção do gás carbônico. Além disso, de acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o solo da Amazônia

Legal tem baixa fertilidade natural dos solos, somente 5% do solo é naturalmente fértil (eutróficos), sua riqueza natural e fertilidade do solo é gerada pela própria floresta (IBGE, 2012). Desse modo, qualquer processo que diminua as áreas da floresta amazônica provocaria um grave dano ambiental e potencializaria o processo de aquecimento global.

Na literatura, ainda são escassas as análises econômicas de impactos das mudanças climáticas no Brasil em nível regional, sobretudo na Amazônia Legal. A análise em nível mais desagregado é fundamental para capturar melhor os efeitos climáticos, dado que algumas regiões/setores são mais suscetíveis aos efeitos climáticos e outras menos. Além disso, um modelo geograficamente e setorialmente mais detalhado fornece resultados mais específicos, permitindo a identificação de regiões e setores prioritárias para implementação de políticas públicas.

Avaliar os possíveis custos econômicos decorrente das variações climáticas em termos regionais e setoriais, incorporando os efeitos de mecanismo de transmissão, torna-se necessário para compreender melhor a extensão do problema, pois:

Sem conhecimento minimamente fundamentado sobre as tendências do impacto da mudança do clima, tomadores de decisão ficam desprovidos de instrumentos para identificar os riscos mais graves e urgentes e para avaliar e implantar as medidas de prevenção e adaptação mais eficientes em termos de custos e benefícios (MARGULIS; DUBEUX, 2010, p. 6).

Dessa forma, a intenção desta dissertação é fornecer as projeções dos impactos econômicos das mudanças climáticas nas regiões da Amazônia Legal, através de um modelo geograficamente e setorialmente mais detalhado. Portanto, os resultados do estudo proposto aqui poderão ser importantes e assim auxiliar na elaboração das políticas de mitigação e/ou adaptação, ou ainda, servir de insumo para futuros debates.

Além disso, até o momento, os estudos disponíveis no Brasil são baseados apenas no Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (AR4 IPCC). Já as projeções do presente trabalho são baseadas nos resultados do último relatório do IPCC (AR5 IPCC), no qual utiliza o modelo climático mais completo em relação ao versão anterior, com aumento da confiabilidade nas suas projeções. Desse modo, esta dissertação se diferencia por estar baseada nos novos cenários climáticos (RCP 8.5 e RCP 4.5) do AR5 IPCC e por analisar o impacto econômico das mudanças climáticas na Amazônia Legal, uma região menos estudada economicamente.

Dada esta contextualização, o principal objetivo desta dissertação é projetar os impactos econômicos, em termos regionais e setoriais, das mudanças climáticas na Amazônia Legal. Para tanto, as projeções são compostas em duas etapas metodológicas: primeiro, modelo

econométrico; e segundo, o uso de modelo de EGC. Na primeira etapa, devido à ausência de dados recentes que possam ser empregados como choques (*input*) para simular as mudanças climáticas no modelo de EGC, recorreu-se ao uso de técnicas econométricas para estimar as variações de produtividade agrícola a fatores climáticos (mudança de precipitação e temperatura). A estimação econométrica para o cenário climático do futuro se baseia nos dados fornecidos pelo modelo climático regional Eta-CPTEC do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Esses dados são baseados nos novos cenários do último relatório do IPCC para o período de 2010 a 2099, e foram selecionados o recorte temporal de 2021-2080 neste trabalho. Na etapa seguinte, os parâmetros estimados foram utilizados para alimentar o modelo de EGC, como na estratégia adotada por Faria (2012). O uso de modelo de EGC tem sido recorrente na literatura para avaliar os efeitos econômicos da mudança do clima e a política de mitigação, pois devido a capacidade de tratar a economia considerando interdependência nas escalas regionais e setoriais no horizonte de tempo de longo prazo, mostra-se como um instrumento vantajoso para tratar o tema. Nesta dissertação foi usado o modelo de EGC desenvolvido em Carvalho (2014) e Carvalho, Domingues e Horridge (2017), o REGIA. Nenhuma alteração na estrutura teórica ou base de dados desse modelo foi implementada.

O presente trabalho é composto por 5 capítulos, incluindo este capítulo introdutório que contém a contextualização do problema. O capítulo 2 trata das questões relacionadas à mensuração de impactos econômicos das mudanças climáticas como as metodologias existentes na literatura acerca do tema, bem como suas aplicações. O capítulo 3 apresenta as metodologias adotadas nesta dissertação: a econometria e o modelo REGIA, expondo a base teórica e a base de dados utilizados para cada método. O capítulo 4 descreve as estratégia de simulação (cenário de mudanças climáticas) adotadas no modelo econométrico e no modelo REGIA, e apresenta os resultados das projeções de cada modelo. E, por fim, considerações finais sobre o trabalho de maneira geral.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Particularidades das mudanças climáticas na análise econômica

O fenômeno de mudança climática possui vários fatores peculiares, que são dificilmente incorporados em uma só abordagem econômica, tornando as estimativas de perdas econômicas subestimadas. Como as mudanças climáticas atingem diversas regiões, setores e populações, a incorporação de todos os efeitos climáticos e suas consequências (elevação do nível do mar, desastres naturais, crise hídrica, crise energética, queda de produtividade agrícola, surtos de epidemia, etc) em apenas um modelo é infactível. Por outro lado, há também o fator que superestima os danos econômicos, a inovação tecnológica. Mas os efeitos de desenvolvimento da inovação tecnológica e adaptação climática não são incluídos em modelo por serem incertezas do futuro (MARGULIS; DUBEUX, 2010).



A incerteza está inerente às mudanças climáticas pela sua natureza: a dimensão global em causas e consequências; os impactos persistentes e de longuíssimo prazo; o componente forte de incerteza e de riscos; e o potencial mudança irreversível no mundo (STERN, 2007).

Em relação à modelagem econômica, segundo Vale (2010), os modelos convencionais do chamado corrente gradualista² excluem nas suas estimativas o que não podem ser modelado com precisão e omitem a incerteza, enquanto os precaucionistas fazem o esforço de incluir isso no seu modelo. Na visão do Stern (2007), a incerteza é mais um motivo para tomar providências necessárias contra as possíveis consequências e, portanto, sugere adotar no modelo a pior hipótese possível quando envolve a possibilidade de grandes riscos sobre o futuro da humanidade como no caso das mudanças climáticas.

Para melhor compreensão da incerteza, Downing e Watkiss (2003) e Watkiss *et al.* (2005) compõem um quadro esquematizado combinando as incertezas inerente às mudanças climáticas com as da valoração econômica, representada na Figura 2.

² De acordo com Vale (2010): os gradualistas defendem uma medida de ação gradual, com uma taxa de mitigação linearmente crescente; e os precaucionistas defendem uma medida de ação imediata, adotando o princípio de precaução.

Figura 2 - Quadro de riscos e incertezas na estimação de danos econômicos

		Incerteza na Valoração 		
		Mercado	Não-mercado	Socialmente contingente
Incerteza Na Predição Da mudança climática 	Projeção (aumento do nível do mar)	Proteção costeira Perda de terra seca Energia (aquecimento/resfriamento)	Estresse de calor Perda de terra úmida	Custos regionais Investimentos
	Riscos delimitados (Secas, enchentes, tempestades)	Agricultura Água Variabilidade (secas, enchentes, tempestades)	Mudança no ecossistema Biodiversidade Perda de vidas Efeitos sociais secundários	Vantagens comparativas Estrutura de mercado
	Mudança sistêmica & surpresas (eventos gradiosos)	Significativas perdas De terra e recursos Efeitos não-marginais	Efeitos sociais de ordem maior Colapso regional Perdas irreversíveis	Colapso regional

Fonte: Adaptado de Watkiss *et al.* (2005).

A Figura 2 divide as incertezas em três níveis tanto na coluna quanto na linha. Na coluna está representada as incertezas da valoração econômica dividido em seguintes categorias: mercado, não-mercado e socialmente contingente. Mercado refere-se às perdas cujos preços podem ser atribuídos como valor do mercado. Não-mercado refere-se aos danos intangíveis cujo valor é imensurável por simples preço do mercado como vidas humanas, estresses de calor e ecossistema. E socialmente contingente refere-se aos danos provenientes de um processo dinâmico relacionada às vidas humanas e equidade como pobreza, conflito regional e migração. Nas linhas são representadas as categorias relacionadas às incertezas das mudanças climáticas, classificadas de acordo com nível de probabilidade de predição, e seguem as três categorias definidas pelo IPCC: projeção, riscos delimitados e mudança sistêmica. Os danos classificados em projeção estão associados aos fenômenos climáticos com alta probabilidade de ocorrência como elevação do nível do mar. Na classificação de riscos delimitados estão relacionadas as perdas associadas aos eventos climáticos com maior incerteza quanto à direção, frequência e magnitude como no caso de secas, inundações, furacões e tempestades. Já a classificação de “mudança sistêmica e surpresas” refere-se às perdas decorrentes de fenômeno imprevisível com elevadas incertezas como um colapso do meio ambiente.

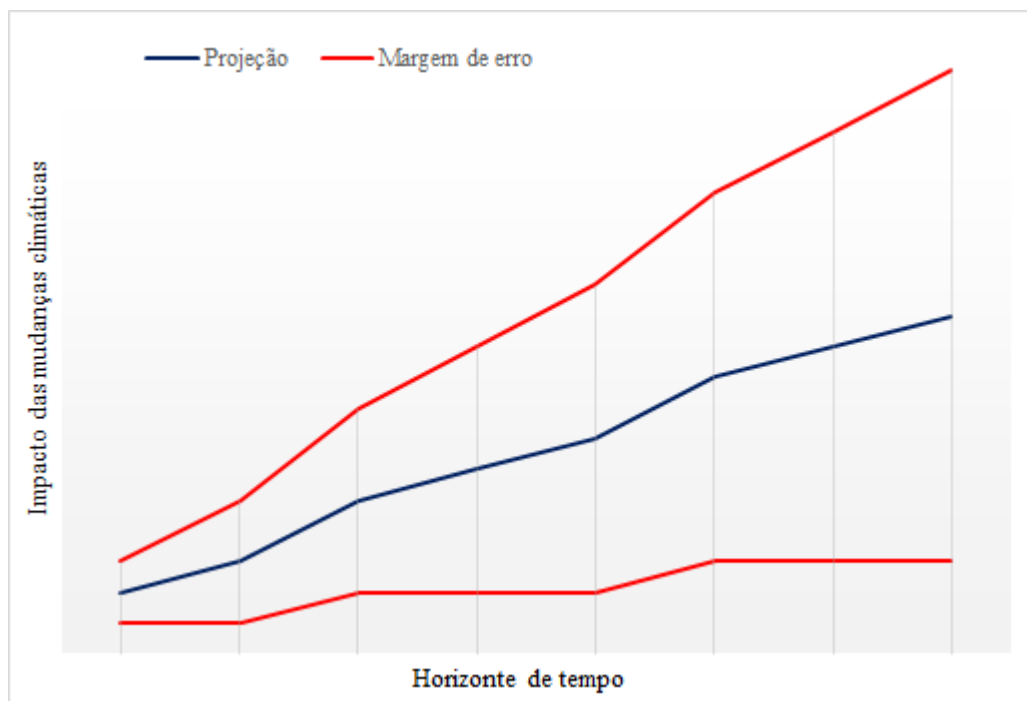
As direções das setas indicam o grau da incerteza, quanto maior a incerteza são classificadas mais à direita e/ou abaixo, com maior dificuldade para mensuração dos impactos. A maioria dos estudos conseguem abordar o extremo canto superior esquerdo do quadro, poucos na região

do meio, e nenhum ainda consegue abordar a última categoria da coluna (WATKISS *et al.*, 2005).

Como fica nítido no quadro, a mensuração dos impactos da elevação do nível do mar é a mais factível devido a possibilidade de mapeamento das possíveis áreas atingidas e ao seu elevado grau de probabilidade de ocorrência e da magnitude do tal fenômeno, fazendo com que tenha menor grau de incerteza. Ademais, verifica-se que os estudos deixam de contabilizar nas suas estimações a maior parte das perdas econômicas classificadas no quadro devido às incertezas.

Além dessas dificuldades, a incerteza gera um efeito multiplicador nas margens de erros da projeção. As incertezas interagem horizontalmente ao longo do tempo e verticalmente num determinado período, de modo que as projeções tendem a incorrer a margem de erros cada vez maiores com o tempo. A Figura 3 mostra um gráfico ilustrativo sobre a projeção do impacto das mudanças climáticas, como pode ver o intervalo de erro tende a aumentar com o tempo. Isso mostra o quanto a projeção de impactos das mudanças climáticas são sensíveis, o pequeno desvio num determinado momento acumula-se no período seguinte e gera margem de erros cada vez maiores no futuro.

Figura 3 - Gráfico ilustrativo de projeção do impacto das mudanças climáticas



Fonte: Elaboração própria.

Em geral, as estimativas dos danos econômicos da década de 1990 têm a tendência de redução significativa nos seus valores devido a inclusão de novos cenários socioeconômicos e de algum fator de adaptação à mudança do clima (DOWNING; WATKISS, 2003).

A taxa de desconto, também, exerce grande influência nas estimações. Nordhaus (2007) confronta esses valores utilizando diferentes taxas de desconto e seus resultados obtidos são discrepantes, evidenciando a sensibilidade das estimações na escolha da taxa de desconto. Assim, Nordhaus (2007) critica a adoção da taxa de desconto extremamente baixa no relatório Stern (STERN, 2007), que é considerado um dos estudos econômicos sobre as mudanças climáticas mais citado na literatura.

O relatório Stern fez uma revisão de literatura extensa sobre a economia das mudanças climáticas e desenvolveu um modelo integrado de avaliação próprio (modelo PAGE 2002) para estimar um preço ótimo do carbono, sendo considerado um dos estudos mais completos sobre o tema. O estudo baseia-se na análise de custo-benefício, comparando os custos de mitigação com os custos de inação. Seus resultados apontam para a necessidade imediata de ações de mitigação, pois quanto mais cedo as medidas forem implementadas menor serão seus custos em relação aos custos das medidas de adaptação no futuro. Esse custo de mitigação foi estimado em torno de 1% do PIB global a cada ano. E caso nada for feito, os custos totais e riscos de mudança do clima serão equivalente a perda de 5% a 20% do PIB mundial a cada ano. Para Hargrave, Motta e Luedemann (2011), a maior contribuição deste documento é a inclusão do risco de efeitos catastróficos/extremos de maneira explícita no modelo. Esses efeitos, apesar da sua baixa probabilidade de ocorrência, produziram impactos devastadores na sociedade, mas demais estudos consideram apenas os impactos médios e os mais prováveis.

Nordhaus (2007) considera a escolha da taxa de desconto de 1,4% extremamente baixa no relatório Stern, e assim o estudo estaria considerando um peso bem maior nas gerações futuras em detrimento da geração presente e, conseqüentemente, gera um resultado bastante viesado. Para comprovar sua crítica, Nordhaus (2007) utiliza a mesma taxa de desconto e função de bem-estar do relatório no seu modelo DICE-2007, e os resultados obtidos são próximos de Stern (2007). Mas quando utiliza a taxa de desconto de 6%, os resultados são discrepantes (cerca de cem vezes). Porém, isso não significa que a taxa utilizada por Stern é totalmente incorreta, pois dada a grande incerteza da economia do clima não há como determinar qual é a mais correta (WEITZMAN, 2007). Na visão de Stern, ao adotar uma taxa de desconto elevada, o relatório está considerando que o bem-estar das gerações futuras é menos relevante do que o das geração presente, e isso não seria ético.

Uma das razões na escolha de diferentes valores da taxa de desconto pode ser de natureza política. Weitzman (2007) classifica o relatório Stern como de natureza política por priorizar o uso de baixos custos de mitigação e altos custos das mudanças climáticas, potencializando as perdas econômicas dos efeitos climáticos. Mas seja qual for a razão ainda não há consenso na literatura sobre o valor exato da taxa de desconto que deve ser adotado, e, portanto, o critério adotado é subjetivo.

Portanto, conclui-se que as diferentes taxas de descontos adotadas para cada projeção das mudanças climáticas geram resultados distintos, e esses fatos junto com as incertezas reforçam o quanto é sensível e difícil de projetar o impacto econômico das mudanças climáticas com exatidão.

2.2 Técnicas de avaliação econômica das mudanças climáticas

A mudança climática é uma das externalidades negativas mais complexas para lidar tanto pela sua dimensão global, quanto pela sua extensão de longo prazo que gera tantas incertezas. Na tentativa de estimar os impactos econômicos do tal fenômeno climático, os economistas têm utilizado e desenvolvido variadas metodologias alternativas. Desse modo, os resultados podem apresentar divergência em algum grau por conta do método escolhido e da dimensão de análise abordada. Assim, faz-se necessário compreender as opções metodológicas e, a seguir, serão apresentadas as principais correntes metodológicas sobre o tema, cada uma com sua particularidade.

A primeira corrente refere-se aos modelos econométricos. Esta metodologia se baseia numa técnica estatística utilizando séries de informações do passado para obter uma estimação extrapolada. O tratamento dos dados é feito através de séries de tempo, cortes temporais, painel de dados ou combinação destes. Os resultados deste método dependem da disponibilidade de dados suficientes do passado e da hipótese de que os padrões do passado se repetirão.

Dentro das aplicações dos modelos econométricos, há duas vertentes principais na literatura que estuda o impacto econômico de mudanças climáticas na agricultura: abordagem da função de produção e abordagem ricardiana (ASSUNÇÃO; CHEIN, 2016). Os estudos pioneiros como de Adams (1989) e Adams *et al.* (1988) utilizam a abordagem da função de produção, estes são considerados uma abordagem mais tradicional. Esta abordagem especifica a função de produção de determinados tipos de cultivos em função das mudanças nas variáveis climáticas

como temperatura, precipitação e níveis de dióxido de carbono para calcular a variação do nível de produção a fatores climáticos. Sua vantagem é estimar os efeitos das mudanças climáticas sem viés, pois isolam mantendo fixos os demais fatores não climáticos na análise. Contudo, segundo Mendelson *et al.* (1994), este método possui a tendência de superestimar os impactos dos danos. Essa superestimação dos danos ocorre devido a não consideração de comportamento adaptativo dos agricultores frente à nova situação econômica e/ou condição climática do aquecimento global.

Mendelsohn *et al.* (1994) propõe um novo método chamado abordagem ricardiana como possível alternativa para contornar o problema de superestimação dos danos climáticos. Os resultados da nova abordagem mostraram impactos climáticos significativamente menor em relação ao método tradicional. Esse novo método propõe analisar impactos das variações climáticas sobre os preços das terras agrícolas em determinadas áreas geográficas, em vez de uma análise das produtividades de determinadas culturas. No modelo, o mercado apresenta competição perfeita, e os agricultores são maximizadores de lucros. Assim, a alteração climática provoca a alocação de terra para cultivo mais rentável, e o modelo consegue incorporar os efeitos adaptativos da economia e do clima. Portanto, segundo o autor, essa abordagem tem a vantagem de mensurar tanto os impactos diretos do aquecimento global pela lucratividade de diferentes cultivos quanto os impactos indiretos causado pela substituição das culturas. Entretanto, há um problema de viés de variável omitida na sua estimação, pois as variáveis não observadas correlacionadas com o preço da terra estão excluídos no modelo, ou seja, as variáveis climáticas incorporam os efeitos das variáveis omitidas gerando um viés nas estimações dos impactos climáticos sobre o valor da terra.

Essas análises econométricas, considerado como análise de equilíbrio parcial, captam apenas uma parte do problema específico, o impacto direto. Para mensurar os impactos sistêmicos das mudanças climáticas na economia são utilizados modelo de EGC.

Os modelos de EGC são compostos por um sistema de equações que descrevem a economia real como um todo e as interligações entre cada setores. Têm como base as hipóteses neoclássicas da teoria microeconômica, onde os equilíbrios e as inter-relações de todos agentes econômicos, como consumidores e firmas, são determinados de forma simultânea (BURFISHER, 2011).

O uso do modelo de EGC é recorrente na literatura para avaliar os impactos das mudanças climáticas devido a sua capacidade de captar os efeitos tanto diretos como indiretos da

economia em termos regionais e setoriais. Além disso, é um modelo de projeção *ex-ante* sem a necessidade de dados de série histórica por basear nos fundamentos microeconômicos, e isso torna esta metodologia mais aconselhável para o estudo do impacto econômico da mudança do clima, pois tal fenômeno climático é um processo ainda sem precedentes, assim há ainda uma insuficiência de dados de uma série histórica (DOMINGUES; MAGALHÃES; RUIZ, 2016). Além disso, o aquecimento global apesar de afetar em nível global, seus impactos são heterogêneos para cada região e setor, pois interferem nas inter-relações econômicas devido à abrangência dos efeitos climáticos.

Dessa forma, tratando de estudo das mudanças climáticas, é recomendável o uso de modelo de EGC inter-regional que abrange maior desagregação regional e setorial, pois como os efeitos da mudança climática não são homogêneos dentro de um país seja em termos setoriais, regionais ou grupos populacionais, e a utilização de um modelo com setores e/ou regiões muito agregados não conseguiria capturar os efeitos heterogêneos (HADDAD *et al.*, 2010), isso significa que os resultados de regiões/setores muito agregados não refletem o impacto dos efeitos climáticos de forma mais realista.

Em relação à limitação, o modelo de EGC baseia-se numa hipótese de equilíbrio de mercado (teoria neoclássica) em que pode ser pouco realista para o caso das mudanças climáticas (FARMER *et al.*, 2015), dado que este fenômeno climático pode criar desequilíbrios permanentes no mercado e na sociedade. Ademais, esta metodologia como em outras não consegue incorporar todas as externalidades causadas pela mudança do clima como elevação do nível do mar, eventos extremos, mudança tecnológica, entre outros, gerando uma projeção de danos econômicos provavelmente subestimada. Porém, esta última limitação está mais relacionada com as particularidades do fenômeno climático do que com o método em si.

Outra corrente metodológica é o modelo de crescimento neoclássico, sendo a menos utilizada no Brasil. Um dos modelos mais conhecidos nesta vertente é de Nordhaus (1992) chamado modelo DICE (*Dynamic Integrated model of Climate and the Economy*). Esse é um modelo dinâmico de otimização que tem como objetivo estimar a trajetória ótima de redução de emissão de GEE. Para tanto, utiliza pressuposto básico do modelo de otimização intertemporal de Ramsey. Segundo o autor, o resultado da trajetória estimada pode ser interpretado como o mais eficiente para a mitigação de mudança do clima, de modo que possa avaliar o custo-benefício de diferentes políticas de redução de carbono. Além disso, o modelo DICE se enquadra também na categoria do *Integrated Assessment Model* (IAM) ou modelo econômico-climático, que é um modelo quantitativo que integram os componentes econômicos e componentes biofísicos.

Vale ressaltar que na literatura nacional, de acordo com Moraes e Ferreira Filho (2013), essa abordagem que auxilia nas políticas ótimas de desenvolvimento sustentável é ausente.

2.3 Estudos econômicos sobre mudanças climáticas no Brasil

Na literatura pode ser encontrada uma quantidade considerável de estudos econômicos sobre o tema, em diferentes dimensões de análise e abordagens, tornando a análise geral do problema mais difícil. Como ponto de partida, Moraes e Ferreira Filho (2013) classificam esses estudos em três categorias de análise: mitigação, vulnerabilidade e adaptação, e desta maneira facilitam a comparação e a análise para formuladores de políticas. A definição de cada categoria segue abaixo, de acordo com Nobre (2008, p. 9):

- a) Mitigação: é uma intervenção antropogênica para reduzir a própria força do impacto sobre o sistema climático. A principal estratégia para isso é redução de emissão de GEE.
- b) Vulnerabilidade: é o grau de susceptibilidade de um sistema perante os efeitos adversos da mudança do clima, bem como os impactos dos eventos extremos decorrente do tempo e clima. Um exemplo dessa categoria é mensuração ou criação de índices dos impactos da mudança do clima.
- c) Adaptação: é a capacidade de ajustamento da sociedade em resposta ao novo cenário real ou esperado gerado pela mudança do clima. Refere-se à inovação tecnológica como melhoramento genético, à implementação de programa contra possíveis danos climático, à resiliência e entre outros.

Essas classificações não são exclusivas apenas para a economia, aplicam-se também em outras áreas como agricultura, meio ambiente, saúde, entre outros. A seguir são apresentados alguns trabalhos para cada categoria como exemplos.

Os trabalhos referentes aos efeitos da mitigação sobre a economia, em geral, analisam como as políticas de mitigação de poluição atmosférica afetam a economia. Tourinho, Motta e Alves (2003) simularam a política de tributação sobre carbono com três cenários diferentes (taxas diferentes) no modelo ambiental de EGC estático para analisar os impactos econômicos de uma política ambiental de mitigação na economia brasileira. Seus resultados mostraram desprezível redução do PIB (-0,002% a -0,026%) em relação ao trajetória tendencial (cenário base: economia sem política de carbono), um aumento no investimento total (0,845% a 5,703%), uma

redução de renda das famílias (-0,2% a -1,57%) e a diminuição total da emissão de CO₂ variando entre 0,198% e 1,36%. A redução de carbono foi provocado pela transferência de recursos do setor mais intensivo em emissão de carbono para menos intensivo. Conclui-se que a implementação de tal política ambiental afetam em pequena magnitude as principais variáveis macroeconômicas, inclusive a emissão total de carbono, entretanto, a política alcançaria o objetivo de reduzir a emissão de carbono.

Magalhães e Domingues (2013), também, simularam as políticas ambientais de taxaço sobre a emissão de GEE na economia brasileira, utilizando o modelo de EGC dinâmico denominado BeGreen. O diferencial deste trabalho foi a avaliação do impacto distributivo sobre as famílias da política de baixo carbono e também pela ampla desagregação do setor energético no seu modelo. Os resultados indicaram um decréscimo acumulado do PIB real no ano 2030 em relação ao trajetória tendencial, variando entre -0,91% e -11,29% para meta de redução de emissão de 5% e 25% do carbono, respectivamente. E o impacto distributivo sobre as famílias da política é regressivo em termos de variações de consumo. Autores recomendam a prática de metas ambiciosas de redução de GEE para períodos longos e metas menos ambiciosas para o curto prazo para evitar os custos elevadíssimos, levando em consideração a atual matriz energética brasileira intensiva em fontes mais “limpas”, e sugere as políticas de redistribuição da receita arrecadada e política industrial de incentivo à inovação tecnológica como possíveis alternativas de solução.

A literatura das análises de mitigação é mais consolidada em relação a outras categorias de análise, tanto pela quantidade quanto pelos modelos desenvolvidos específicos para tratar das políticas ambientais de mitigação brasileira como o BeGreen de Magalhães (2013).

Na categoria de vulnerabilidade, é analisada a magnitude dos impactos negativos (perdas econômicas) identificando os setores e/ou regiões mais atingidas. O relatório do FIPE-FEAM (2011), por exemplo, avaliou os impactos econômicos das mudanças climáticas em Minas Gerais por meio de um “Índice de Vulnerabilidade Econômica às MCG”. Esse índice mede a suscetibilidade regional de Minas Gerais à mudança do clima em nível microrregional, o valor do indicador superior a “1” significa uma microrregião com estrutura produtiva mais suscetível à adversidade do clima e inferior a “1” sinaliza menos suscetível. Os índices apontam a região central do estado de Minas Gerais menos vulneráveis à mudança do clima e, em contraste, as regiões do Norte de Minas como as mais vulneráveis. Assim, com mudanças climáticas, pode-se esperar o agravamento das disparidades regionais em Minas Gerais, as regiões mais pobres mais afetadas e os ricos menos suscetíveis.

A vulnerabilidade econômica do Brasil às MCGs foi investigada no estudo: “Economia da Mudança do Clima no Brasil: custos e oportunidades” de Margulis e Dubbeux (2010). Esse estudo foi pioneiro em analisar, de modo integrado as projeções de diferentes setores, o impacto da mudança do clima no território nacional, reunindo pela primeira vez no país uma grande equipe interdisciplinar composta por cientistas das principais instituições brasileiras de pesquisa. As suas análises são divididas em perspectivas macroeconômica, regional e setorial, e ainda abrangem, além da vulnerabilidade, as análises de mitigação e adaptação, junto com recomendações de políticas públicas enriquecendo o trabalho. As projeções do trabalho foram simulados com cenários econômico e climático brasileiro (A2-BR e B2-BR), baseado nos cenários climáticos desenvolvidos pelo IPCC (2007). As projeções mostram que sem os efeitos da mudança climática, em 2050 com reais de 2008, o país terá PIB de R\$ 15,3 trilhões no cenário A2-BR e R\$ 16 trilhões no cenário B2-BR, e com mudanças climáticas esses PIBs se reduzem em 0,5% e 2,3%, respectivamente. Em termos regionais, as piores perdas econômicas incidirão nas regiões Norte e Nordeste, as mais pobres do Brasil. Por seu turno, os impactos nas regiões Sudeste e Sul serão mínimos ou até benéficos, mas esses efeitos positivos não compensariam as perdas do Norte e do Nordeste. Dessa maneira, conclui-se que “o custo da inação de hoje será o aprofundamento das desigualdades regionais e de renda no futuro (MARGULIS; DUBEUX, 2010, p. 6)” e, além disso, constatou-se que no cenário B2-BR, a economia mais “limpa”, o PIB é maior do que cenário A2-BR.

Os estudos enquadrados nesta categoria ainda é relativamente recente na literatura brasileira, porém nas últimas décadas seus números têm crescido. Assim, cada vez mais há melhor identificação das vulnerabilidades econômicas brasileiras regionalmente e setorialmente, contribuindo para elaboração de medidas contra mudança do clima. Mas ainda há necessidade de estudos regionais em escala menor, como em nível mesorregional, microrregional e municipal.

Em relação à categoria de adaptação, analisa-se o efeito econômico ou custo-benefício de implementação de algum ajuste/medida para confrontar ao novo ambiente climático esperado. Esse tipo de análise ainda é bastante limitada, pois:

O próprio conceito de adaptação é complexo, do ponto de vista econômico. A definição do nível desejado de controle é difícil, assim como a separação do que sejam medidas de adaptação e ações gerais de desenvolvimento. Também não é trivial incorporar a incerteza na definição de adaptação, ou seja, é necessário adaptar-se sem saber com certeza a que se adaptar (MARGULIS; DUBEUX, 2010, p.44).

Apesar destas complexidades, Margulis e Dubeux (2010) avaliaram os custos de adaptação nos setores: agrícola e energético, os quais há maior disponibilidade de informações, e na zona costeira foram estimados apenas os custos de gestão costeira como base mínima para iniciar as medidas de adaptação. No setor agrícola, seus resultados prevê um custo médio de R\$ 1 milhão por cada tipo de cultivo ao ano no horizonte de 8 a 12 anos para desenvolver o melhoramento genético³. Já a irrigação se mostrou menos vantajosas em termos de custos. No setor energético, prevê a necessidade de instalar uma fonte de energia adicional como gás natural, tecnologias avançadas de queima de bagaço de cana e energia eólica para compensar a queda de capacidade firme da geração hidrelétrica prevista nos cenários climáticos A2-BR e B2-BR, os custos são estimados em US\$ 51 bilhões e US\$ 48 bilhões, nos respectivos cenários. E, na zona costeira, estimou-se que o país precisa investir 93 milhões por ano para conhecer melhor o litoral brasileiro, como um custo para elaboração de estratégia de adaptação.

No Brasil, a literatura dedicada a esta categoria de adaptação ainda é escassa. Apenas recentemente na área de agricultura houve algum avanço, principalmente sobre melhoramento genético e irrigação como estratégias adaptativas. Estes apontam que o uso de tais medidas beneficiariam lucratividade e reduziriam vulnerabilidades dos produtores rurais no contexto da mudança climática⁴. Entretanto, é importante ressaltar que estes não consideram no seu cálculo o impacto ecológico, no caso de melhoramento genético através dos transgênicos, e conflitos de uso de recursos hídricos entre consumo humano, consumo industrial e agricultura, gerando a necessidade de desenvolver estudos mais aprofundados. Esse é um dos simples exemplos da complexidade desta categoria, os custos consequentes pela implementação de adaptação.

As duas próximas subseções seguintes apresentam aplicações empíricas dos principais vertentes metodológicas no Brasil para avaliação dos impactos de mudanças climáticas, o modelo econométrico e o modelo de EGC.

2.3.1 Análise em equilíbrio parcial: modelos econométricos

As aplicações econométricas para avaliar o impacto econômico das mudanças climáticas para o caso brasileiro concentram-se na área de agricultura, e os principais métodos são modelo

³ Melhoramento genético neste texto incluem culturas de seleção genética e geneticamente modificado (transgênico).

⁴ Pesquisas de Cunha, Coelho e Féres (2015), Cunha *et al.* (2013) e Pires e Cunha (2014) são alguns exemplos.

ricardiano e sua extensão para alocação de uso da terra. Os primeiros estudos desta natureza surgem a partir da década de 1990.

Um dos primeiros estudos referente ao caso brasileiro é de Sanghi *et al.* (1997 *apud* Evenson e Alves 1998, p.225). Neste trabalho, aplicaram-se o modelo ricardiano de produtividade da terra e examina como a mudança climática afeta o retorno líquido (valor da terra agrícola) em diferentes lugares do Brasil. Suas análises apontam a existência de um impacto sistêmico sobre a renda agrícola e os custos através da temperatura, e estes efeitos têm comportamento não linear e variado para cada estação.

Evenson e Alves (1998), também, utilizam o mesmo modelo anterior, mas adiciona variáveis tecnológicas da agricultura no seu modelo, pois aplicações tradicionais deste modelo não considera diferenças tecnológicas existentes entre cada tipo de uso da terra. No modelo, há alocação do uso de terra entre os diferentes tipos de uso, a saber, lavouras temporárias, lavouras permanentes, pastos naturais, pastos plantados, florestas naturais e florestas plantadas, e desta maneira pode ser classificado como um modelo de uso da terra, sendo a extensão do modelo ricardiano tradicional. Seu resultado indicaram uma queda de 1,98% das áreas de florestas naturais e um aumento de 3,54% das áreas de pastos naturais num cenário de aumento uniforme de 1°C na temperatura no Brasil.

Baseado no modelo de uso da terra exposto no estudo anterior, Féres, Reis e Speranza (2009) propuseram duas inovações. Primeiro, seu modelo econométrico é consistente com a teoria microeconômica, derivando do problema de maximização de lucro do produtor rural. Segundo, é a utilização de métodos de estimação simultânea para estimar o sistema de equações de alocação da terra. Os principais resultados encontrados foram a redução significativa das áreas de florestas nos estabelecimentos agrícolas, sobretudo na Amazônia, e o aumento das áreas de pastos. Também, verificaram-se a conversão das áreas de lavoura para áreas de pastos. Em termos de produtividade média, verificou-se que as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste são as mais afetadas negativamente.

Numa análise regional mais desagregada, Massetti *et al.* (2013) utilizaram o modelo ricardiano para analisar o impacto das mudanças climáticas sobre o valor da terra agrícola no território brasileiro em nível microrregional. Seus resultados são projeções para os anos 2060 e 2100 baseados nos cenários de *General Circulation Models* (GCMs) e, em geral, indicam impactos negativos para todas as regiões do Brasil, exceto Sul. As regiões mais prejudicadas são Norte e Nordeste. Ademais, suas estimações prevê maior efeito negativo em 2060 do que em 2100.

Assunção e Chein (2016) estimaram os efeitos climáticos sobre a produtividade agrícola dos estabelecimentos brasileiros em nível municipal. De acordo com autores, seu modelo pode ser classificado como um modelo intermediário entre abordagem de função de produção e modelo ricardiano, e apesar de tratar explicitamente a função de produção, há possibilidade de adaptação de maneira consistente com a teoria microeconômica através da alocação dos cultivos e trabalhadores. Seus resultados são analisados no período 2030-2049 e indicam uma queda de produtividade agrícola da ordem de 18,2% no Brasil. A região mais atingidas negativamente é o Norte, com -35%, e menos afetada é o Sul com -4,2%. Em nível municipal, a variação de produtividade agrícola pode variar entre -40% a 15%.

Em síntese, as aplicações de modelo econométrico no caso brasileiro fornecem os efeitos climáticos sobre a questão de conversão do uso de solo e variação de produtividade média da agricultura. Percebe-se que os estudos ainda concentram no setor agrícola, porém há avanços metodológicos no decorrer dos anos, incorporando consistência teórica nos modelos.

2.3.2 Análise em equilíbrio geral

De maneira semelhante à subseção anterior, aqui serão apresentadas as aplicações do modelo de EGC para o caso brasileiro. Nesta metodologia, nota-se que os efeitos climáticos são analisados principalmente a partir dos choques sobre o setor agrícola.

Domingues *et al.* (2008)⁵ foi um dos primeiros trabalhos a projetar impacto das mudanças climáticas utilizando o modelo de EGC inter-regional no Brasil, mais especificamente na região Nordeste. Neste trabalho foram utilizadas as estimativas das implicações sobre as disponibilidade de terras aptas para a agricultura como proxy dos efeitos das mudanças climáticas, baseadas nos cenários fornecidos pelo IPCC. Os choques calculados foram variação na oferta do fator terra para setor agropecuário agregado. Os resultados da simulação indicaram impactos negativos sobre PIB (-13,1%) e emprego (-5,95%) do Nordeste. Estas perdas econômicas se acentuaram principalmente nos estados mais pobres. Assim, destaca-se a necessidade de políticas de mitigação e de controle de emissões para evitar, por exemplo, o possível aumento do fluxo migratório para regiões menos afetadas, pressionando os serviços de infraestrutura urbana das regiões metropolitanas.

⁵ Como pode notar, o uso de modelo de EGC é relativamente recente no Brasil. Na literatura internacional pode ser encontrado a partir da década de 1990 como de Darwin *et al.* (1995).

Seguindo o foco regional, FIPE-FEAM (2011) avaliou os impactos das mudanças climáticas sobre a economia mineira. Nesse estudo foi adotado a mesma metodologia de Haddad *et al.* (2010) e, além disso, foi criado um indicador de vulnerabilidade econômica às mudanças climáticas para mapear as regiões mais susceptíveis aos danos climáticos. Em todos cenários projetados, as regiões Central do estado de MG mostraram-se menos vulneráveis, e as regiões Norte do estado foram as mais vulneráveis. Portanto, concluiu-se que os efeitos das mudanças climáticas em Minas Gerais seriam concentradores e intensificariam com tempo as disparidades regionais, afetando principalmente as regiões mais pobres do estado.

Haddad *et al.* (2010) avaliaram os impactos das mudanças climáticas sobre economia brasileira em termos macroeconômico, regional e setorial. A sua metodologia utiliza como núcleo o modelo de EGC integrado com outros módulos de energia, agricultura e demografia. Seus resultados indicaram que em todos os cenários das mudanças climáticas, mais pessimistas e conservadores, geram um custo permanente na economia brasileira. E concluiu-se que as mudanças climáticas aumentariam as desigualdades regionais e sociais, principalmente atingindo as regiões mais pobres e as áreas rurais. Este estudo forneceu análise macroeconômica para o “Estudo de Mudanças Climáticas no Brasil: custos e oportunidades” (EMCB)⁶, sintetizado em Margulis e Dubeux (2010).

Outro trabalho similar é o de Faria (2012). Utilizou-se um modelo de EGC inter-regional com especificação detalhada de uso da terra para avaliar o impacto econômico das mudanças climáticas no Brasil. Seu objetivo principal foi incorporar uma especificação detalhada de módulo de terra no modelo, ou seja, seu foco é mais na questão de modelagem econômica. Esta abordagem foi inédita na aplicação para o caso brasileiro. Seus resultados apontaram uma redução do PIB nacional, e a agricultura foi o setor mais prejudicado.

Ferreira Filho e Moraes (2014) também avaliaram os efeitos econômicos das mudanças climáticas com modelo de EGC inter-regional em unidades de federação, contudo, com foco sobre atividade agrícola do país. A simulação se baseou nos cenários climáticos A2 e B2 do IPCC (2007) para o ano de 2020 e 2070. Os choques aplicados foram detalhados por produto, 8 tipos de cultura, e por região estadual. Seus resultados indicaram que, em termos macroeconômicos, as perdas monetárias sobre a agricultura brasileira serão relativamente baixas no longo prazo devido à incidência de choques negativos sobre as regiões menos

⁶“EMCB é uma iniciativa pioneira para analisar e quantificar o impacto da mudança do clima na agenda de desenvolvimento do país”.

expressivas em atividades agrícolas, gerando custo econômico baixo. Em termos regionais, observou-se maior danos sobre regiões mais pobres, sobretudo nas famílias de renda baixa.

Todos esses trabalhos nacionais citados acima têm um ponto em comum: baseiam-se nos cenários climáticos A2 e B2 do IPCC (2007). O cenário A2, considerado o cenário mais pessimista, tem como as premissas de alta elevação de temperatura com o desenvolvimento regional, crescimento populacional e mudanças tecnológicas lentas. Já o cenário B2, considerado moderado, tem como as premissas a baixa elevação de temperatura com o desenvolvimento econômico, crescimento populacional e mudanças tecnológicas moderados. Ainda não se encontra as projeções econômicas baseadas nos novos cenários climáticos (RCPs) do AR5 IPCC (2014). Os RCPs são os mais recentes com atualizações e têm maior confiabilidade em relação às projeções do AR4 IPCC. Nos cenários do AR4 apenas levaram em consideração a quantidade de GEE emitida. No AR5, foi utilizado um sistema mais completo que inclui os impactos das emissões de GEE, a alteração da capacidade de dissipar o calor. A partir desses cenários climáticos são projetados os cenários econômicos e climático brasileiro, e isso mostra a importância das pesquisas do IPCC bem como a interdisciplinaridade e a dependência dos estudos das outras áreas para desenvolver os estudos econômicos sobre o tema.

Como foi visto acima, há considerável acervo de literatura nacional sobre o tema. Porém, ainda há indefinições no mapeamento dos efeitos econômicos das mudanças climáticas tanto pela incerteza e quanto pelos resultados distintos apresentados no uso das metodologias distintas, de modo que há necessidade de preencher essas lacunas (MORAES; FERREIRA FILHO, 2013)

3 METODOLOGIA

Esta dissertação utiliza dois procedimentos metodológicos distintos: primeiro, estima as variações de produtividade agrícola brasileira, decorrentes das alterações climáticas, através do uso de modelo econométrico; segundo, projeta os impactos econômicos regionais das mudanças climáticas na Amazônia Legal utilizando um modelo de EGC regional, o REGIA. Os resultados da primeira etapa são fundamentais para etapa posterior, pois estes servirão de *input* para alimentar o REGIA. Essa estratégia de integração de um modelo de EGC com um modelo econométrico para avaliar os efeitos econômicos da mudança do clima também pode ser encontrado em Faria e Haddad (2017).

3.1 Modelo econométrico

O modelo econométrico adotado neste trabalho segue a metodologia desenvolvida em Bragança (2015)⁷. Este modelo permite estimar a sensibilidade da produtividade agrícola a fatores climáticos como temperatura e precipitação, simulando os efeitos das mudanças climáticas sobre a produtividade agrícola em nível municipal.

3.1.1 Base teórica

O modelo econométrico adotado aqui parte de uma economia agrária com M municípios, em que cada município $m \in M$ há um produtor agrícola representativo que decide a alocação de terra L_m entre $k \in K$ culturas agrícolas distintas. A quantidade de produção Q_{mk} depende da quantidade de terra T_{mk} , de insumos X_{mk} e de um vetor de características geográficas \mathbf{C}_m , representada pela seguinte expressão:

$$Q_{mk}(\mathbf{C}_m) = \gamma_{mk} f^k(T_{mk}, X_{mk} | \mathbf{C}_m) \quad (1)$$

onde γ_{mk} é um vetor de produtividade da cultura k no município m , e a função segue $f_T^k > 0$, $f_X^k > 0$, $f_{TT}^k \leq 0$ e $f_{XX}^k \leq 0$.

Assim, o problema de maximização de lucro do agricultor representativo é composto pelas duas etapas a seguir.

⁷ Este trabalho é o relatório interno da sub-rede economia da RedeClima.

Na primeira etapa, dado o preço unitário dos insumos w_m , o agricultor representativo toma sua decisão de alocação dos insumos escolhendo a quantidade de insumo que maximiza o lucro com a cultura k no município m para cada quantidade de terra L_{mk} , definida da seguinte forma:

$$V_{mk}(T_{mk}|\mathbf{C}_m) = \max_{X_{mk}} [\gamma_{mk} f^k(T_{mk}, X_{mk}|\mathbf{C}_m) - w_m x_{mk}]$$

Na segunda etapa, o agricultor representativo toma sua decisão de alocação de terra escolhendo a quantidade que maximiza o retorno agregado sujeito à restrição de terra, dada pela seguinte expressão:

$$\max_{\{T_{mk}\}} \Pi_m(\mathbf{C}_m) = \sum_k V_{mk}(T_{mk}|\mathbf{C}_m), \text{ s. a } \sum_k T_{mk} = T_m$$

As condições de primeira ordem do problema acima são expressas por:

$$V'_{mk}(T_{mk}|\mathbf{C}_m) \geq V'_{mk}(T_{mk}|\mathbf{C}_m), \forall k, k' > 0 \in K \quad (2)$$

A equação (2) vale com igualdade sempre que $T_{mk}^* > 0$ e com desigualdade estrita sempre que $T_{mk}^* = 0$. Assim, o equilíbrio do modelo é dado pela seguinte igualdade:

$$\sum_k T_{mk}^*(\mathbf{C}_m) = T_m \quad (3)$$

Através das equações (2) e (3), a alocação ótima de terra é definida implicitamente. A mudança no vetor climático \mathbf{C}_m para \mathbf{C}'_m (cenário de mudanças climáticas) afetaria a produtividade agrícola de diferentes culturas e isso implicaria na alocação ótima de terra inicial $T_{mk}^*(\mathbf{C}_m)$ para $T_{mk}^*(\mathbf{C}'_m)$, pois os agricultores transferem as atividades de menor lucratividade relativa para maior lucratividade relativa para maximizar seus lucros.

Para obter a equação que permite capturar os efeitos dos fatores climáticos sobre a produtividade agrícola, considere o vetor de produtividades individuais $\gamma_{m1} = (\gamma_{m1}, \dots, \gamma_{mk})$. Resolvendo o sistema de equações (2) e (3), com a função de produção agrícola da equação (1), é possível obter a função de produtividade para cada cultura no equilíbrio. A função obtida é dada apenas com parâmetros do modelo, dada pela seguinte forma:

$$Y_{mk}^*(\mathbf{C}_m) = \frac{Q_{mk}^*(\mathbf{C}_m)}{T_{mk}^*(\mathbf{C}_m)} = Y_k(w_m, \gamma_m, \mathbf{C}_m) \quad (4)$$

Assim, a equação (4) permite a estimação dos efeitos dos fatores climáticos (mudanças climáticas) sobre a produtividade de k cultura no município m .

Além disso, a partir da equação (4) é possível definir a produtividade agrícola agregada no equilíbrio como a seguir:

$$Y_m(\mathbf{C}_m) = \frac{Q_m^*(\mathbf{C}_m)}{T_m} = Y(w_m, \gamma_m, \mathbf{C}_m) \quad (5)$$

A equação (5) permite estimação dos efeitos dos fatores climáticos sobre a produtividade agregada no município m .

Ademais, o modelo permite analisar como a mudança climática afeta as atividades agrícolas em dois componentes. O primeiro é o efeito das mudanças climáticas sobre a produtividade agrícola, sendo considerado como efeitos de margem intensiva (efeito sobre a produtividade). O segundo é o efeito sobre o uso da terra decorrente das variações de produtividade agrícola, sendo classificado como efeito de margem extensiva. Entretanto, neste trabalho não foi calculado esse segundo componente nesta etapa econométrica, porque efeitos sobre o uso da terra serão capturados pelo modelo de EGC regional na etapa seguinte. O significativo acervo de estudos sobre o uso do solo através do modelo econométrico (modelo de uso da terra) para o caso brasileiro (BARBOSA, 2011; FERES et al., 2008; FÉRES; REIS; SPERANZA, 2009; FERREIRA, 2015) torna-se pouco relevante avançar o estudo nesta direção. Além disso, esse modelo de uso da terra baseia-se na hipótese pouco razoável para a questão de uso da terra como a alocação de terra sem custo e com livre mobilidade deste fator. Mas essa limitação pode ser superada com o uso do modelo REGIA que possui um módulo de uso da terra que permite capturar a alocação de terra considerando mecanismo de ajuste de preços e de nível de produção, remuneração da terra e elasticidade de conversão da terra.

3.1.2 Especificação econométrica e estimação

Para obter o modelo empírico para estimar a sensibilidade de produtividade agrícola para cultura k no município m , considere a equação (4) definida na seção anterior. Suponha a hipótese de mobilidade perfeita de fatores produtivos entre os municípios. Isso implica que o preço dos fatores produtivos é igual em todos os municípios da amostra, isto é, $w = w_m, \forall m$. Portanto, essa hipótese permite a estimação do modelo sem a inclusão dos dados de preços de fatores, e a equação (4) pode ser reescrito da seguinte forma funcional para relação entre produtividade agrícola e fatores climáticos:

$$Y_{mk}^*(\mathbf{C}_m) = Y_k(w, \gamma_m, \mathbf{C}_m) = \exp(\gamma_m + \theta_k(\mathbf{C}_m) + \epsilon_{mk}),$$

em que ϵ_{mk} é um termo de erro idiossincrático. Reescrevendo a expressão acima, temos:

$$\ln Y_{mk} = \gamma_m + \theta_k(\mathbf{C}_m) + \epsilon_{mk}$$

Para possibilitar a estimação da equação acima na ausência de dados em painel, a função é aproximada às características municipais γ_m utilizando as características observáveis \mathbf{X}_m . Assim, obtemos a seguinte equação para a relação entre produtividade agrícola de cultivo k e fatores climáticos:

$$\ln Y_{mk} = \theta_k(\mathbf{C}_m) + \beta'_k \mathbf{X}_m + \epsilon_{mk} \quad (6)$$

O sistema de equações acima apresenta $cov(\epsilon_{mk}, \epsilon_{mk'})$ diferente de zero, pois choques que afetam cultura k provavelmente se correlacionam com choques que afetam outra cultura k' . Nesse caso, deve ser utilizado o método de SUR (*Seemingly Unrelated Regression*) para recuperar a sensibilidade, porém, como \mathbf{C}_m e \mathbf{X}_m são iguais para todas as culturas, esse método será equivalente à estimação por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) (BRAGANÇA, 2015). No trabalho similar, Féres *et al.* (2009) também utilizam a estimação por MQO, ponderada pela área dos estabelecimentos agrícolas.

Por fim, na estimação da equação (6) foi incluído polinômio quadrático da temperatura e precipitação para capturar a não-linearidade destas variáveis (MENDELSON; NORDHAUS; SHAW, 1994). É razoável considerar essa hipótese na estimação, pois excesso da precipitação e da temperatura, tanto em termos negativos quanto em termos positivos, tendem a prejudicar a produção agrícola. Além disso, as variáveis climáticas consideradas são organizadas em médias semestrais para capturar a questão de sazonalidade dos efeitos climáticos sobre a produtividade agrícola, pois cada cultura agrícola possui produtividade distinto para cada período do ano (FÉRES; REIS; SPERANZA, 2009). Por esse motivo, para estimação da produtividade agrícola total não foi adotado esse critério de sazonalidade e, baseado na análise empírica de Schlenker *et al.* (2006), foi utilizada a ponderação pela raiz quadrada da área total agrícola de cada município.

3.1.3 Base de dados

As culturas agrícolas (setores agrícolas) selecionadas neste trabalho são onze: algodão herbáceo, arroz em casca, café em grão, cana-de-açúcar, frutas cítricas, fumo em folha, mandioca, milho em grão, outros da lavoura, soja em grão e “trigo e cereais”. A escolha dessas

culturas é devido a compatibilização com os setores agrícolas disponíveis no modelo REGIA, pois o objetivo central da estimação da produtividade agrícola é alimentar o modelo REGIA para simular o cenário das mudanças climáticas via queda (ou aumento) de produtividade agrícola na Amazônia Legal.

A principal fonte de dados utilizada é o Censo Agropecuário 2006 do IBGE. A partir dessa base de dados, foram construídos os indicadores de produção agrícola e área de estabelecimento agrícola para $k \in K$ cultivos e $m \in M$ municípios do Brasil.

Além disso, utilizou-se essa mesma base de dados para construção de variáveis de controle como indicadores de uso de fatores primários (capital e trabalho). O capital é representado pelo logaritmo natural do valor de capital (veículos, tratores, máquinas e implementos) por hectare. Já o trabalho é representado pelo logaritmo natural do número de trabalhadores por hectare. Outras variáveis de controle também foram incluídas na estimação como área de benfeitorias/caminhos, capital social (proporção de entidade de classe e cooperativa no município) e indicador de instalações representado pelo logaritmo natural de benfeitorias, instalações e prédios. Não foram utilizados variáveis de *dummy* para tipos de solo, pois segundo Assunção e Chein (2016) os dados de localização geográficos mostraram-se mais importantes aos efeitos marginais, enquanto as características do tipo de solo mostraram-se menos relevantes.

Assim, os dados geográficos foram incluídos como controles na análise empírica. Esses dados são variáveis de altitude, latitude e longitude, obtidos na base de dados do Ipeadata.

A produtividade da cultura k é definida como o valor da produção monetária dividido pela área de terra utilizado pela cultura k , dada da seguinte maneira:

$$Y_m = \frac{\text{Valor da produção de } k \text{ em } m}{\text{Área de cultura } k \text{ em } m}$$

E a produtividade agrícola agregada é dada como:

$$Y_m = \frac{\sum_k \text{Valor da produção de } k \text{ em } m}{\text{Área cultivada em } m}$$

Em relação aos dados climáticos, as variáveis de precipitação acumulada (mm) e temperatura média (°C) foram utilizadas tanto para dados climáticos observados quanto para projeções climáticas. Os dados climáticos observados (históricos) foram obtidos a partir da base de dados

de *Terrestrial Air Temperature and Precipitation*⁸ descritas em Willmott e Matsuura (2012). Esses dados são estimativas mensais de temperatura e precipitação para todas regiões da Terra, obtidos a partir de interpolações de estações climáticas com resolução de 0.5 graus (dados em *grids*). O período selecionado foi 1971-2005, anos anteriores ao Censo Agropecuário 2006 do IBGE. Esses dados climáticos foram calculados em médias mensais para setor agrícola total e, também, em médias semestrais para 11 setores agrícolas da seguinte maneira: janeiro a junho (referentes ao período de primavera e verão); e julho a dezembro (referentes ao período de outono e inverno). Os dados climáticos em nível municipal foram obtidas a partir de uma média ponderada pela distância dos dados climáticos dos quatro *grids* ao redor do centroide de cada município.

Para simulações dos cenários climáticos, foram utilizadas as projeções de temperatura e precipitação⁹ do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Esses dados são projeções mensais nos períodos de 2006-2040, 2040-2070 e 2071-2099, calculados com o modelo climático regional Eta-CPTEC do INPE e são fornecidos em resolução espacial 20km x 20km. Os cenários considerados nestas projeções são RCP 8.5 e RCP 4.5 do último relatório (5º relatório) do IPCC. O RCP 8.5 é o cenário mais pessimista, resultando no aumento da temperatura média global de cerca de 4°C no final do século XXI. Já o RCP 4.5 é o cenário mais otimista com projeção do aquecimento global de cerca de 1°C. O primeiro cenário corresponde aproximadamente ao cenário A2 no AR4 do IPCC, no qual o forçamento radioativo cresce quase linearmente com valores elevados durante o século 21, enquanto o outro cenário corresponde aproximadamente ao cenário B1 no AR4 do IPCC, no qual o forçamento radioativo cresce quase linearmente até o ano 2060 e depois essa taxa de crescimento diminui até o final do século (CHOU *et al.*, 2014). Para calcular as projeções climáticas em nível municipal foi utilizado o mesmo procedimento dos dados climáticos históricos descrito anteriormente.

Os municípios com uso de terra menor que 100 hectares foram excluídos, pois a produtividade de uso da terra extensivo é diferente de uso intensivo. Também foram excluídos os que não possuem dados de uso da terra ou dados climáticos. Assim, a amostra final utilizada para a estimação é composta por 5323 municípios.

⁸ Detalhes dos dados de precipitação encontra-se em *Terrestrial Precipitation: 1900-2010 Gridded Monthly Time Series*. Disponível em: http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/Global2011/README.GlobalTsP2011.html. Detalhes dos dados de temperatura encontra-se em *Terrestrial Air Temperature: 1900-2010 Gridded Monthly Time Series*. Disponível em: http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/Global2011/README.GlobalTsT2011.html.

⁹ Essa base de dados é fornecida em repositório de dados de projeções climáticas futuras do Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST/INPE). Disponível em: <http://dadosclima.ccst.inpe.br>.

A Tabela 1 mostra as estatísticas descritivas sobre a produtividade total da agricultura e de cada setor agrícola. As médias estão ponderadas pelas áreas empregadas de cada setor. Essas estatísticas indicam que há diferença significativa nas médias das produtividades entre diferentes setores agrícolas. Em relação ao número de observações, alguns cultivos como algodão herbáceo, fumo e “trigo e cereais” são produzidos em poucos municípios comparados com demais setores.

Tabela 1 - Estatísticas Descritivas de Produtividade Agrícola

Setor	Produtividade (R\$/ha)		Número de municípios
	Média	Desvio-padrão	
Agricultura (Total)	1,851.1	39.5	5,323
Arroz em casca	1,695.5	75.9	2,761
Milho	1,082.0	20.1	5,152
Trigo e Cereais	655.1	19.8	735
Cana de açúcar	3,736.5	138.5	3,687
Soja em grão	1,089.8	16.7	1,362
Outros da lavoura	2,089.7	127.6	5,316
Mandioca	2,231.6	201.6	4,494
Fumo em folha	5,080.7	289.2	813
Algodão herbáceo	3,751.9	426.7	458
Frutas cítricas	5,890.4	341.9	2,019
Café em grão	4,391.9	194.8	1,736

Fonte: Elaboração própria com base nos dados obtidos no Censo Agropecuário 2006 do IBGE.

A Tabela 2 apresenta as variáveis do clima e de controle utilizadas na análise empírica. As médias estão ponderadas pela área agrícola de cada município. A temperatura média mensal é de 22,12 graus *Celsius*, e a precipitação média mensal é de 123,02 mm/mês. Já a temperatura média da primavera/verão é de 23,75 graus *Celsius* enquanto a do outono/inverno é de 20,49 graus *Celsius*, indicando uma diferença razoável do valor para diferentes períodos do ano. De modo semelhante, a média da precipitação da primavera/verão é de 162,64 mm/mês enquanto a média do outono/inverno é de 83,40 mm/mês, apresentando uma diferença significativa (quase o dobro) entre diferentes períodos. Os indicadores de características geográficas indicam que a média de altitude é de 472,66 metros. Já a latitude e a longitude apresentam média de -17,93 e -48,82 graus, respectivamente. E as médias das variáveis de insumo primário mostram valor positivo para capital (5,74) e negativo para trabalho (-3,13). Como o trabalho é representado em logaritmo natural de trabalhador por hectare, esse valor negativo significa que em média há menos de “1” trabalhador por hectare.

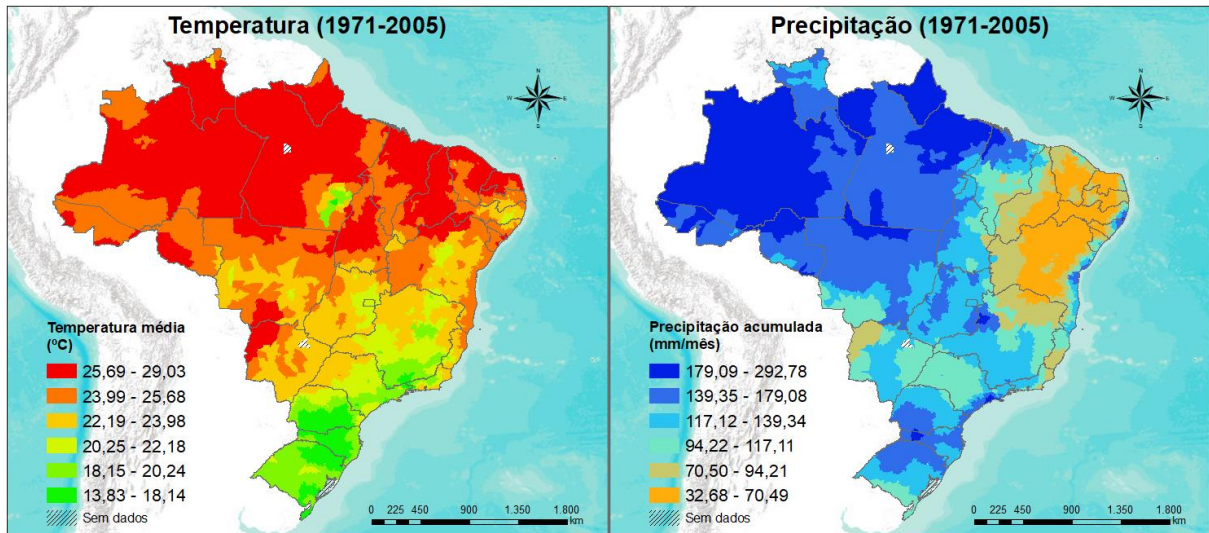
Tabela 2 - Estatísticas Descritivas das Variáveis do Clima e de Controle

Variável	Média	Desvio-Padrão	Min.	Max.	Obs.
Temperatura (mensal)	22.12	2.84	13.83	29.03	5323
Precipitação (mensal)	123.02	33.38	32.68	292.78	5323
Temperatura (Primavera e Verão)	23.75	2.06	16.50	29.57	5323
Temperatura (Outono e Inverno)	20.49	3.72	11.16	28.48	5323
Precipitação (Primavera e Verão)	162.64	60.11	31.78	386.79	5323
Precipitação (Outono e Inverno)	83.40	47.03	9.01	302.70	5323
Altitude	472.66	262.87	0	1495.64	5323
Latitude	-17.93	7.78	-33.69	4.58	5323
Longitude	-48.82	6.28	-72.92	-34.81	5323
Capital	5.74	1.28	-2.30	9.88	5323
Trabalho	-3.13	1.23	-6.97	1.53	5323
Associados às entidades de classes	0.53	0.24	0	1.00	5323
Associados às cooperativas	0.20	0.20	0	0.99	5323
Benfeitorias (área)	1887.58	2455.89	0	70023	5323
Instalações	5.80	1.24	-4.10	11.08	5323

Fonte: Elaboração própria com base nos dados obtidos nos *Terrestrial Air Temperature and Precipitation*, Censo Agropecuário 2006 do IBGE e Ipeadata.

A Figura 4 ilustra a condição climática do cenário base utilizada no modelo econométrico adotado neste trabalho. Os valores apresentados são a média mensal do período de 1971-2005. Através dessa figura, pode-se observar um padrão heterogêneo na distribuição espacial da temperatura e da precipitação no Brasil. As maiores temperaturas médias do Brasil estão localizadas em grande parte da região Norte e Nordeste, e as menores se encontram nas regiões Sudeste e Sul do país. Em relação a precipitação, a maior índice de precipitação acumulada está localizada na região Norte e o pior índice de precipitação se encontra notadamente na região Nordeste.

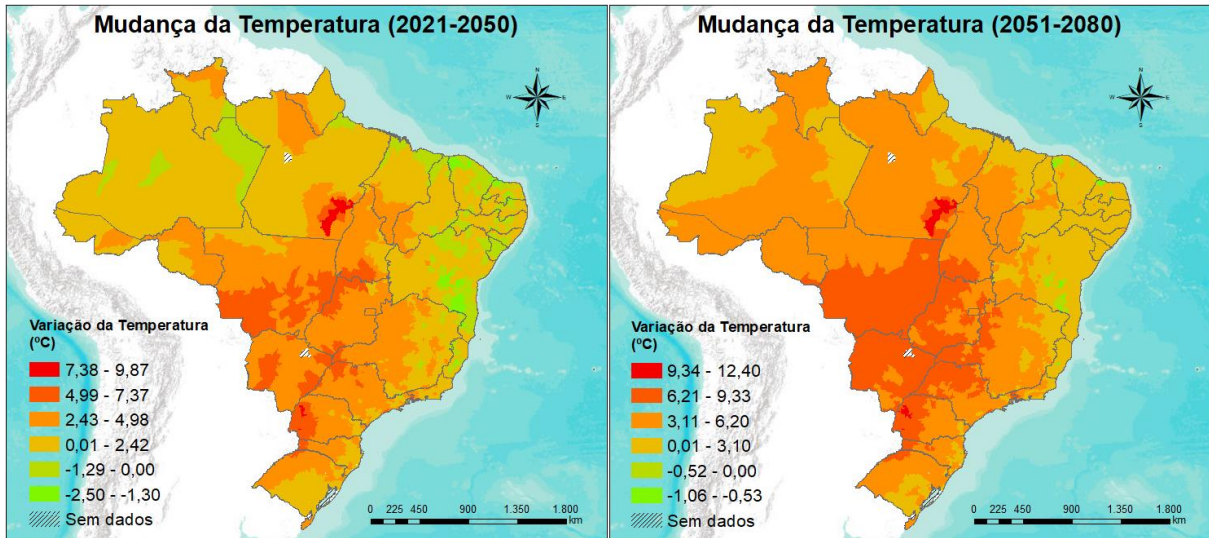
Figura 4 – Cenário climático observado no Brasil



Fonte: Elaboração própria com base nos dados obtidos no *Terrestrial Air Temperature and Precipitation*.

A Figura 5 apresenta as projeções das mudanças de temperatura média em relação ao cenário base (1971-2005) para os períodos 2021-2050 e 2051-2080, ambos no cenário RCP 8.5 (cenário mais pessimista do AR5 IPCC). As projeções da temperatura indicam que o Brasil, em ambos períodos analisados, teria aumento de 2,1°C a 4°C na temperatura média e esse efeito seria acentuado nas áreas centrais do país (Centro-Oeste). No período posterior (2051-2080), o aumento da temperatura média se intensificaria em todas áreas, principalmente no Norte e Centro-Oeste (cerca de 4°C e 6°C em média, respectivamente). Já o Nordeste teria aumento médio da temperatura de 1,8°C, e apenas os estados de Maranhão e Piauí continuariam como as regiões com maiores médias de temperatura (a Figura 28 do Apêndice A mostra a temperatura média do Brasil no cenário RCP 8.5).

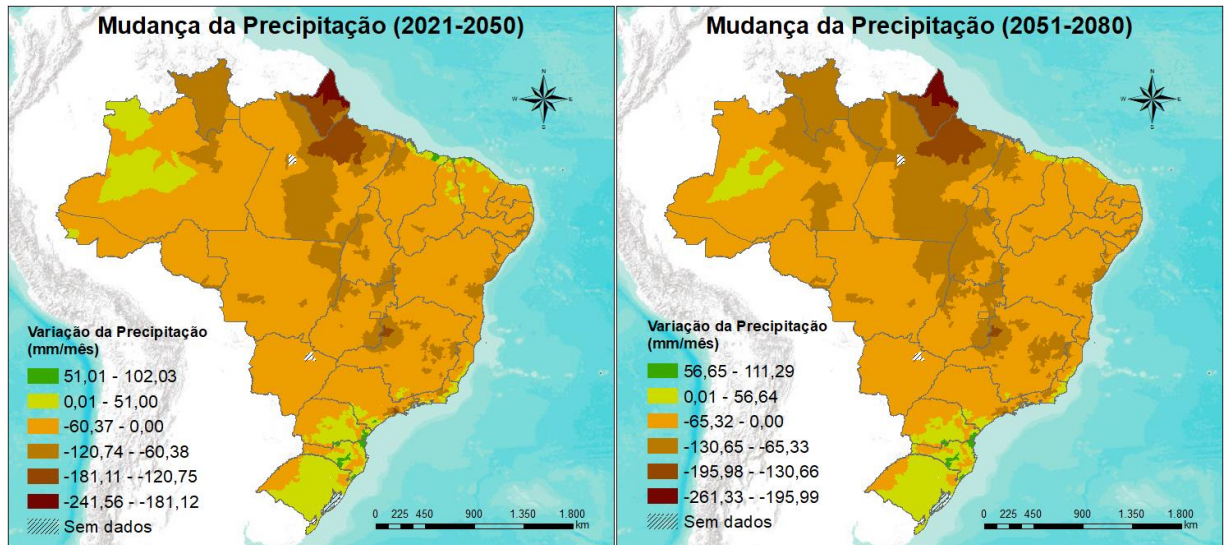
Figura 5 - Mudança da temperatura média no cenário RCP 8.5



Fonte: Elaboração própria com base nas projeções da *Terrestrial Air Temperature* e do modelo climático regional Eta-CPTEC do INPE.

Da mesma forma, a Figura 6 mostra as projeções de mudanças no volume médio da precipitação em relação ao cenário base, nos mesmos períodos e no mesmo cenário climático da figura anterior. Nos ambos períodos (2021-2050 e 2051-2080), as projeções mostram que haveria grande perda de precipitação média acumulada no Amapá e numa parcela significativa do estado do Pará. Na maior parte do Nordeste, onde a precipitação é historicamente baixa, tenderia a ficar ainda pior, ou seja, chover ainda menos. No período 2051-2080, por exemplo, a precipitação média acumulada do Nordeste cairia de 85,59 mm/mês para 46,42 mm/mês, sendo que o valor médio do Brasil é de 116,66 mm/mês no cenário base (1971-2005). Em geral, a maior parte das áreas do Brasil sofreriam com perdas de precipitação acumulada e esse efeito pioraria no decorrer do tempo. Por outro lado, algumas regiões do estado do Amazonas e região Sul do Brasil beneficiariam com o aumento da precipitação.

Figura 6 - Mudança da precipitação no cenário RCP 8.5

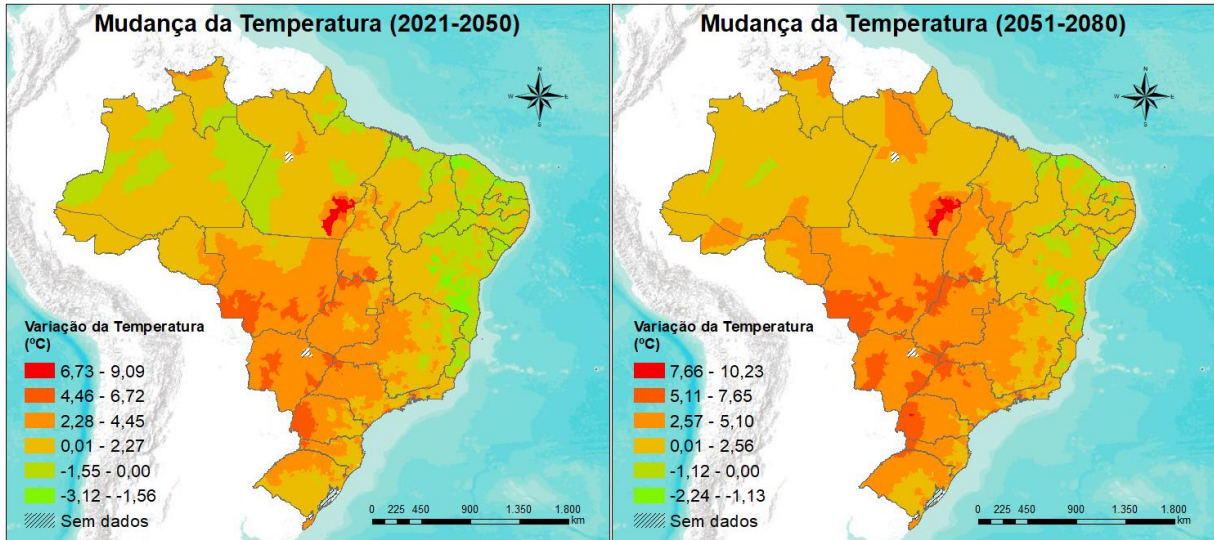


Fonte: Elaboração própria com base nas projeções da *Terrestrial Precipitation* e do modelo climático regional Eta-CPTEC do INPE.

A Figura 7 e a Figura 8 apresentam de maneira semelhante às duas figuras anteriores, porém para o cenário menos pessimista (RCP 4.5). A primeira figura mostra que algumas regiões do Norte e do Nordeste têm queda de temperatura média no período 2021-2050 em relação ao período 1971-2005. Porém, no período subsequente, quase toda região do Brasil tem aumento médio da temperatura. Como no cenário RCP 8.5, a região mais prejudicada com aumento médio da temperatura é a região central (Centro-Oeste), mas esse cenário provoca menor magnitude na mudança da temperatura no cenário RCP 4.5. Em relação à segunda figura, nota-se a maior queda de precipitação acumulada na região Norte, mais especificamente no Amapá, Pará e Roraima. Por outro lado, as regiões que terão aumento do volume da precipitação são região Sul, uma parte do Amazonas e pequenas regiões do Nordeste.

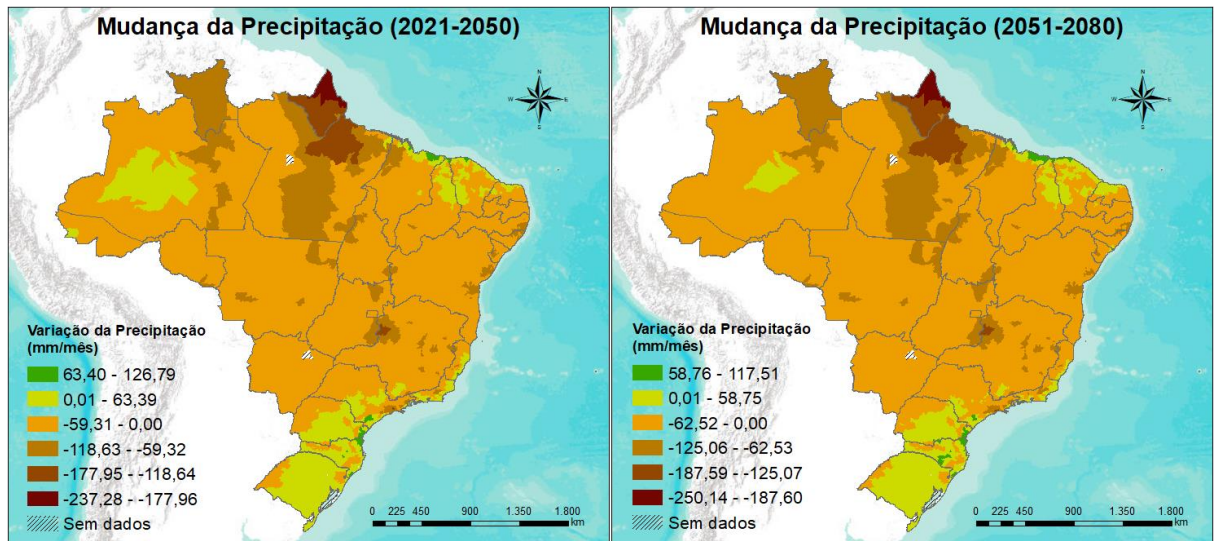
Em síntese, as estimativas para o cenário RCP 4.5 apresentam os mesmos padrões de distribuição espacial tanto para temperatura quanto para precipitação em relação ao RCP 8.5, porém com diferenças na magnitude dessas variáveis.

Figura 7 - Mudança da temperatura no cenário RCP 4.5



Fonte: Elaboração própria com base nas projeções da *Terrestrial Air Temperature* e do modelo climático regional Eta-CPTEC do INPE.

Figura 8 - Mudança da precipitação no cenário RCP 4.5



Fonte: Elaboração própria com base nas projeções da *Terrestrial Precipitation* e do modelo climático regional Eta-CPTEC do INPE.

Observando as projeções das mudanças climáticas apresentadas acima, a princípio pode causar a impressão de que a região Nordeste seria a menos impactada. Porém, examinando as condições climáticas históricas e as variações projetadas conforme mostradas nas Figura 29 e 31 do Apêndice A, pode-se notar que o Nordeste continuaria com pior índice de precipitação acumulada entre todas as regiões do Brasil, segundo os períodos e os cenários considerados.

3.2 O Modelo REGIA¹⁰

Neste trabalho foi utilizado o modelo REGIA (*Interregional General Equilibrium Model for the Brazilian Amazon*), desenvolvido por Carvalho (2014) com o objetivo de analisar os efeitos do desmatamento e o papel das políticas de controle na Amazônia Legal em termos setoriais e regionais. O REGIA permite analisar os efeitos econômicos regionais de políticas e cenários na Amazônia Legal. Portanto, permite analisar questões como mudanças no uso do solo, variação na produtividade agrícola, impactos de investimentos, entre outros. Nesta dissertação, o REGIA foi usado para analisar os impactos econômicos das mudanças climáticas na Amazônia Legal.

As principais características do modelo REGIA são: a) a desagregação regional em nível mesorregional, composto por 30 mesorregiões da Amazônia Legal e restante do Brasil; b) modelo de EGC regional com dinâmica recursiva e inclusão de um módulo de uso de terra, importante para o tema deste trabalho, que trata dos efeitos das MCG sobre a produtividade da agricultura; e c) maior desagregação do setor agrícola (11 setores) e do setor pecuário (5 setores), em contrapartida, maior agregação do setor industrial.

A descrição dos setores considerados no REGIA está na Tabela 3. Os setores do N° 1 a 11 são pertencentes ao setor agrícola e os setores do N° 13 a 17 são pertencentes ao setor pecuária.

Tabela 3 - Descrição setorial do modelo REGIA

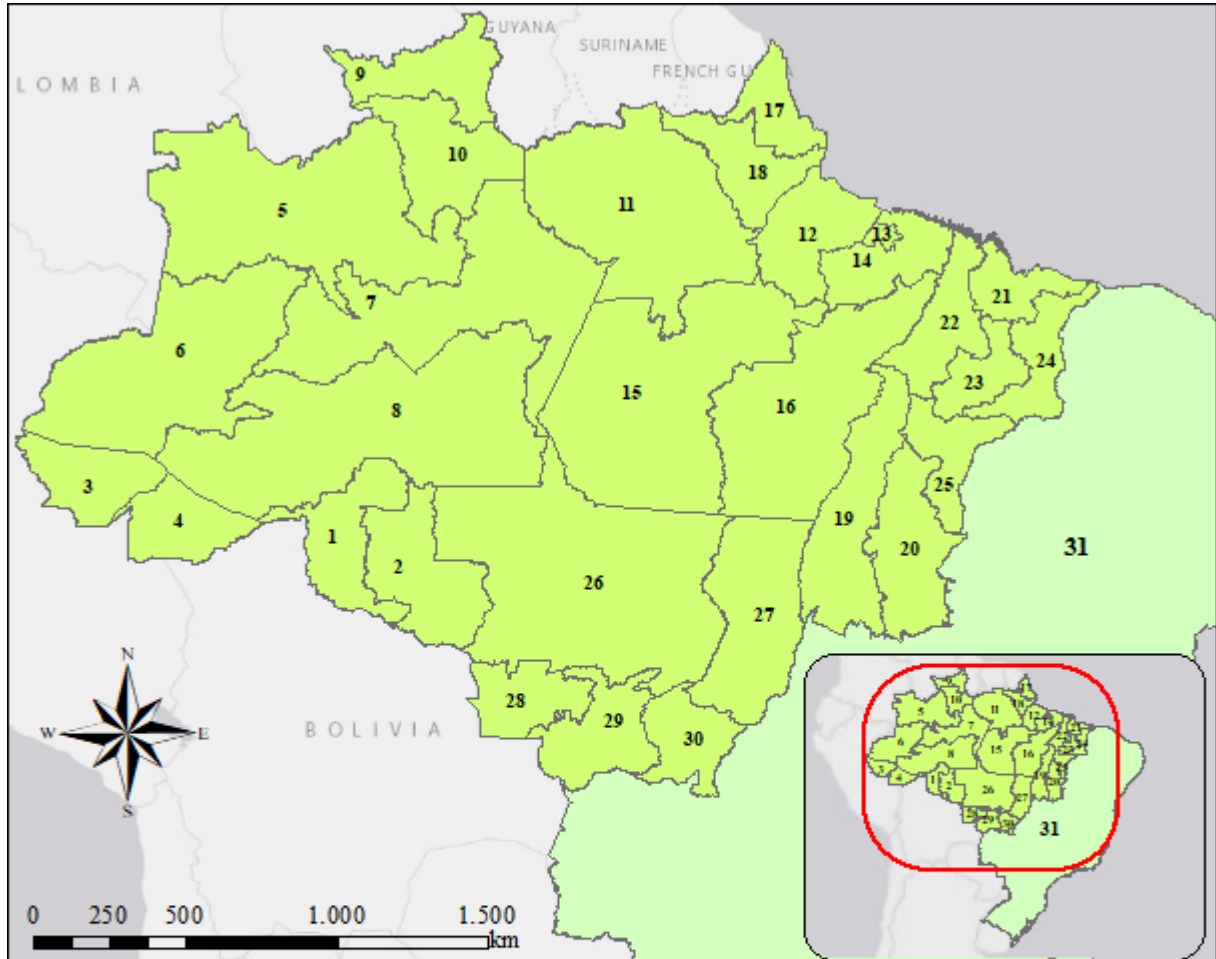
N°	Setor	N°	Setor
1.	Arroz em casca	15.	Suíños
2.	Milho em grão	16.	Aves
3.	Trigo e cereais	17.	Ovos
4.	Cana de açúcar	18.	Pesca e Aquicultura
5.	Soja em grão	19.	Indústria Extrativa
6.	Outros da lavoura	20.	Alimentos e Bebidas
7.	Mandioca	21.	Indústria Diversas
8.	Fumo em folha	22.	Eletrônicos
9.	Algodão Herbáceo	23.	Comércio (setor de margem)
10.	Frutas cítricas	24.	Transportes (setor de margem)
11.	Café em grão	25.	Construção
12.	Exploração Florestal e Silvicultura	26.	Serviços
13.	Bovinos	27.	Setor Público
14.	Leite		

Fonte: Elaboração própria com base nas informações do modelo REGIA.

¹⁰ Diversas passagens desta sessão seguem Carvalho (2014).

Em relação à regionalização, a Figura 9 ilustra as 30 mesorregiões da Amazônia Legal mais o restante do Brasil consideradas no modelo REGIA.

Figura 9 - Regiões consideradas no modelo REGIA



1- Madeira-Guaporé	11- Baixo Amazonas	21- Norte Maranhense	31- Restante do Brasil
2- Leste Rondoniense	12- Marajó	22- Oeste Maranhense	
3- Vale do Juruá	13- Metropolitana de Belém	23- Centro Maranhense	
4- Vale do Acre	14- Nordeste Paraense	24- Leste Maranhense	
5- Norte Amazonense	15- Sudoeste Paraense	25- Sul Maranhense	
6- Sudoeste Amazonense	16- Sudeste Paraense	26- Norte Mato-grossense	
7- Centro Amazonense	17- Norte do Amapá	27- Nordeste Mato-grossense	
8- Sul Amazonense	18- Sul do Amapá	28- Sudoeste Mato-grossense	
9- Norte de Roraima	19- Ocidental do Tocantins	29- Centro-Sul Mato-grossense	
10- Sul de Roraima	20- Oriental do Tocantins	30- Sudeste Mato-grossense	

Fonte: Elaboração própria com base nas informações do modelo REGIA.

3.2.1 Estrutura teórica

O REGIA segue a estrutura de EGC multirregional do tipo Johansen, em que o seu método de solução é dada de forma linearizada e seus resultados são fornecidos na forma de variações percentuais. Essa estrutura tem origem na tradição australiana de modelagem de equilíbrio geral

e é predominantemente adotada pelos modelos de EGC brasileiros como B-MARIA (HADDAD, 2004), SPARTA (DOMINGUES, 2002), IMAGEM-B (CEDEPLAR/UFMG) e BeGreen (MAGALHÃES, 2013). Além disso, os resultados se baseiam na abordagem *bottom-up*, em que os resultados nacionais são formados a partir das agregações dos resultados regionais.

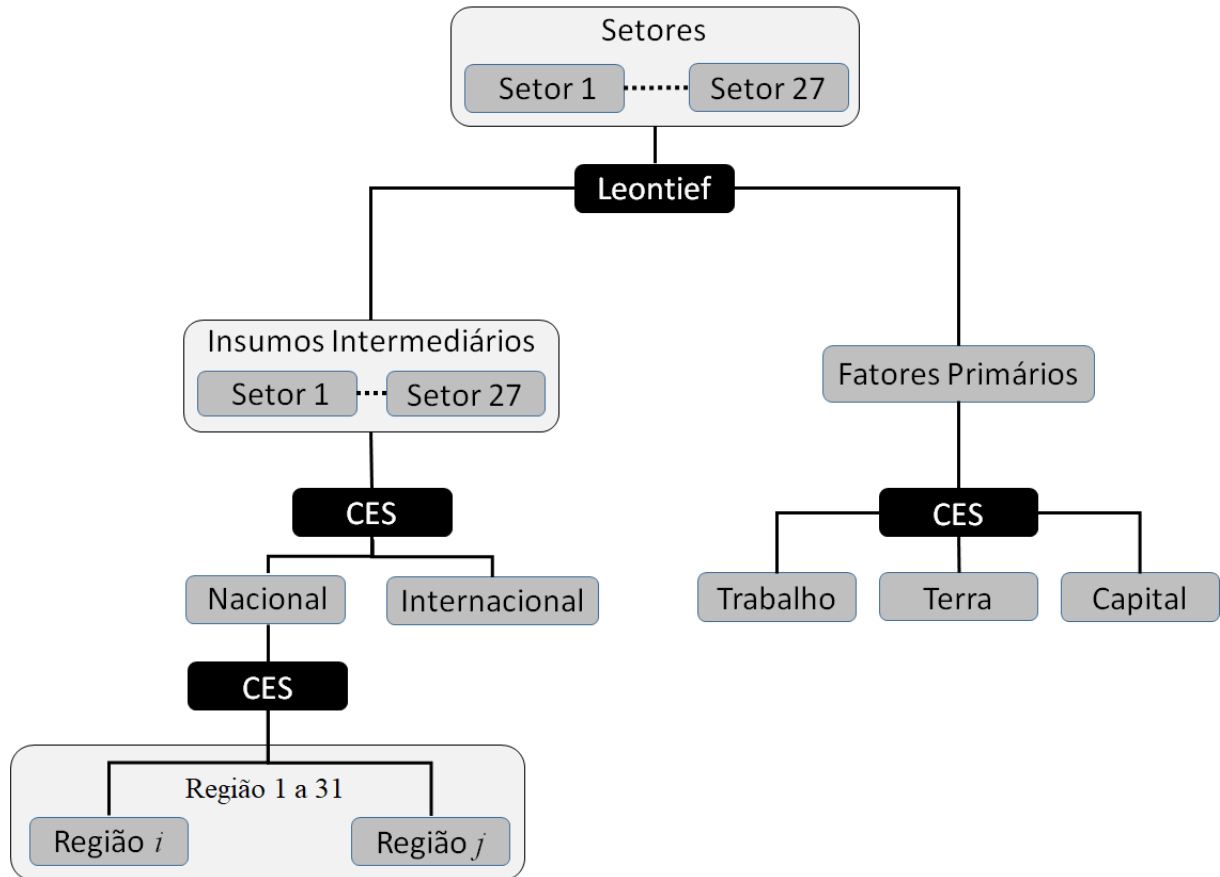
A estrutura teórica do REGIA tem como base o modelo australiano TERM (*The Enormous Regiona Model*). O TERM foi projetado para permitir simulações mais rápidas envolvendo grandes números de regiões e setores desagregados, esse ganho de eficiência é possibilitada pela sua estrutura de dados compacta dada por uma série de hipóteses simplificadoras (HORRIDGE, 2012). De modo geral, os conjuntos de equações do REGIA que compõem as relações de demanda e oferta seguem a hipótese de otimização e condições de equilíbrio de mercado. Inclusive, os agregados nacionais como taxa de emprego, PIB, saldo comercial, investimentos, entre outros são definidos nesse conjunto de equações do modelo. Os setores produtivos tomam suas decisões baseadas na minimização de custos de produção sujeitos a uma tecnologia de retornos constantes de escala. Por outro lado, os consumidores escolhem os bens seguindo a maximização de utilidade sujeitos a uma restrição orçamentária.

3.2.1.1 *Produção setorial*

A estrutura da tecnologia de produção setorial (Figura 10) mostra o esquema da combinação de uso dos fatores primários e insumos intermediários para produção setorial. A tecnologia de produção setorial é determinada por meio de combinação dos fatores primários (capital, trabalho e terra) e insumos intermediários seguindo uma proporção fixa (função Leontieff). Os insumos intermediários são demandados entre origem nacional e internacional, definida por uma função CES (elasticidade de substituição constante). Ainda, no caso da origem nacional, a demanda é desagregada entre diferentes regiões nacionais (30 mesorregiões da Amazônia Legal e restante do Brasil) seguindo uma função CES. Nesta etapa considera a hipótese de substituição imperfeita na alocação entre insumos intermediários de origem nacional e internacional, bem como entre os insumos de diferentes regiões nacionais, conforme a hipótese de Armington (1969). Ademais, a produção setorial assume-se a minimização de custos de produção sujeito a

uma tecnologia de retornos constantes de escala. O uso de retornos constantes de escala é mais usual para evitar alguns possíveis problemas metodológicos¹¹.

Figura 10 - Estrutura da Tecnologia de Produção do Modelo REGIA



Fonte: Elaboração própria baseado em Carvalho (2014).

3.2.1.2 Módulo de uso da terra

Um dos diferenciais do REGIA é o módulo de uso da terra, também conhecido como ILUC (*indirect land use change*). Entre os modelos de EGC regional brasileiro, além do REGIA, apenas o modelo desenvolvido por Ferreira Filho e Horridge (2014; 2012) e o modelo BLUE (FARIA, 2012) possuem esta especificação para o tratamento do uso de terra.

A principal contribuição do REGIA em relação aos modelos com módulo de uso da terra foi calcular a elasticidade de conversão da terra para cada mesorregião da Amazônia Legal. Este cálculo foi necessário, pois a região analisada apresenta áreas heterogêneas (área de preservação ambiental, área de preservação permanente, etc). O modelo de Ferreira Filho e Horridge (2012;

¹¹ A discussão do uso de retornos não-constantemente de escala no modelo de EGC e suas implicações pode ser encontrada em Haddad (2004).

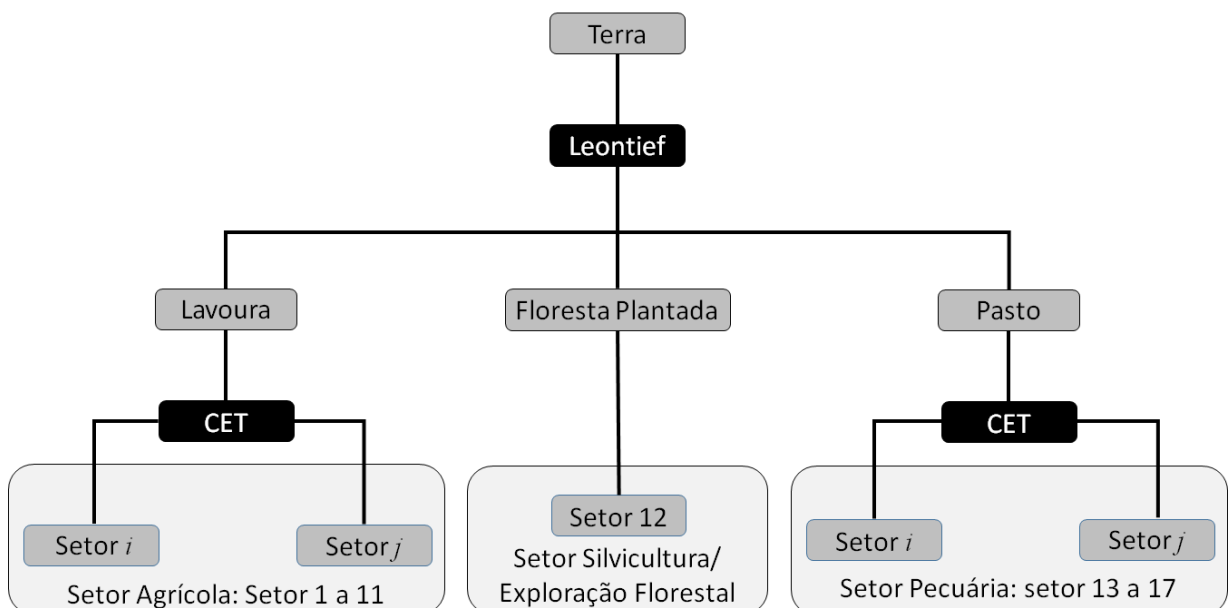
2014), por exemplo, utilizou a elasticidade de conversão da terra igual para o Brasil inteiro por ter desagregação regional em nível estadual.

O tratamento do uso de terra traz vantagens para este estudo do impacto das mudanças climáticas, pois permite capturar os efeitos das mudanças climáticas sobre o uso de terra na economia, a partir dos choques de produtividade estimados para os cenários futuros de temperatura e pluviosidade (sessão 4.2.2 desta dissertação).

Como pode observar na Figura 10, a terra faz parte da composição dos fatores primários para a produção setorial. O fator terra é determinado para cada região de maneira que o uso da área total da terra seja fixa, assim impede que o tamanho do território de cada região não se altere.

A Figura 11 ilustra a estrutura da alocação do fator terra entre diferentes setores. No primeiro nível, há o fator terra que é desagregado em três tipos de uso da terra: a) lavoura, utilizada por 11 setores da agricultura; b) pasto, utilizada por 5 setores da pecuária; e c) floresta plantada, utilizada por 1 setor de exploração florestal e silvicultura. No segundo nível, para cada categoria de uso da terra, exceto silvicultura e exploração florestal por ser o único setor que utiliza esse tipo de fator terra no modelo, há escolha entre setores via função CET (elasticidade de transformação constante). Inicialmente, o uso da terra é pré-determinado associado ao ano base do modelo. Nos anos seguintes, a dinâmica da demanda por terra corresponde às variações da remuneração da terra de cada setor e cada uso da terra é distribuído no ano t seguindo uma função do tipo CET entre os diferentes setores/produtos para cada região (CARVALHO, 2014).

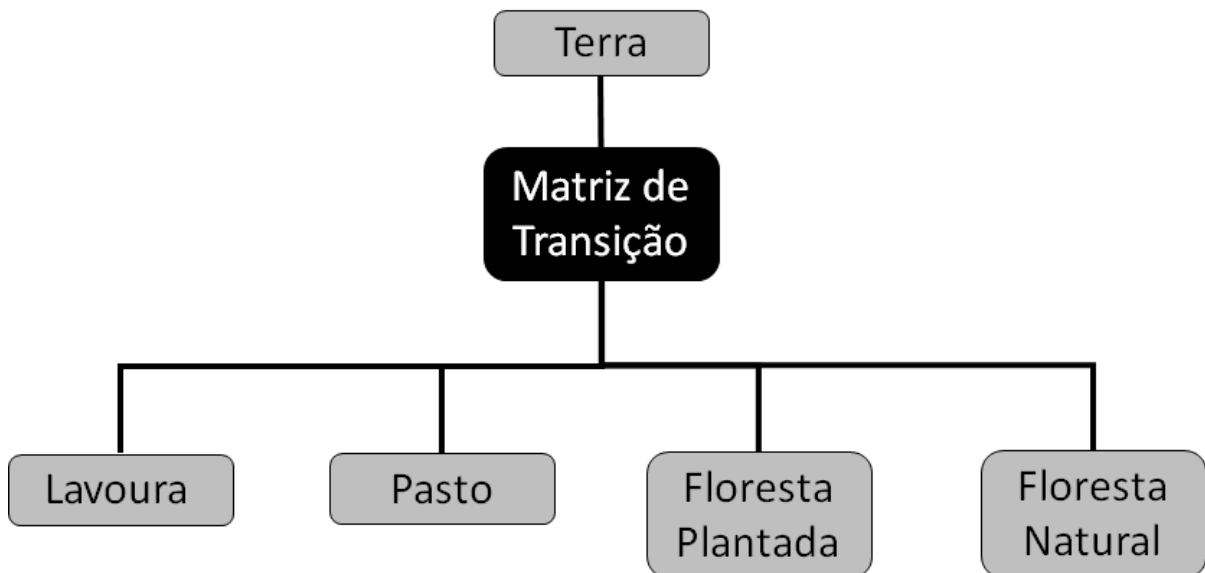
Figura 11 - Estrutura de demanda por terra entre setores (ano t)



Fonte: adaptado de Carvalho (2014).

Em relação à oferta da terra, diferentemente da demanda, há mobilidade entre as diferentes categorias de uso da terra no período entre o ano t e ano $t + 1$. Esse processo de mobilidade da terra é ajustado pela matriz de transição, pois uma função CET não é capaz de capturar essa dinâmica de transição entre os diferentes tipos de uso da terra. A matriz contém a informação de grau de conversão da terra entre os tipos de usos para cada região e o grau de disponibilidade da terra reflete na elasticidade de oferta da terra, quanto maior a área disponível maior a elasticidade, isto é, maior facilidade de conversão do uso da terra em termos de custos. Portanto, a dinâmica do mercado de oferta da terra é ajustado pela matriz de transição. Por fim, para garantir o equilíbrio de mercado da terra, a variação da demanda por terra é igual a variação da oferta da terra, fixando a oferta total disponível para cada região. A figura 12 ilustra essa estrutura da oferta da terra (CARVALHO, 2014).

Figura 12 - Estrutura da oferta por terra entre categorias de uso



Fonte: adaptado de Carvalho (2014).

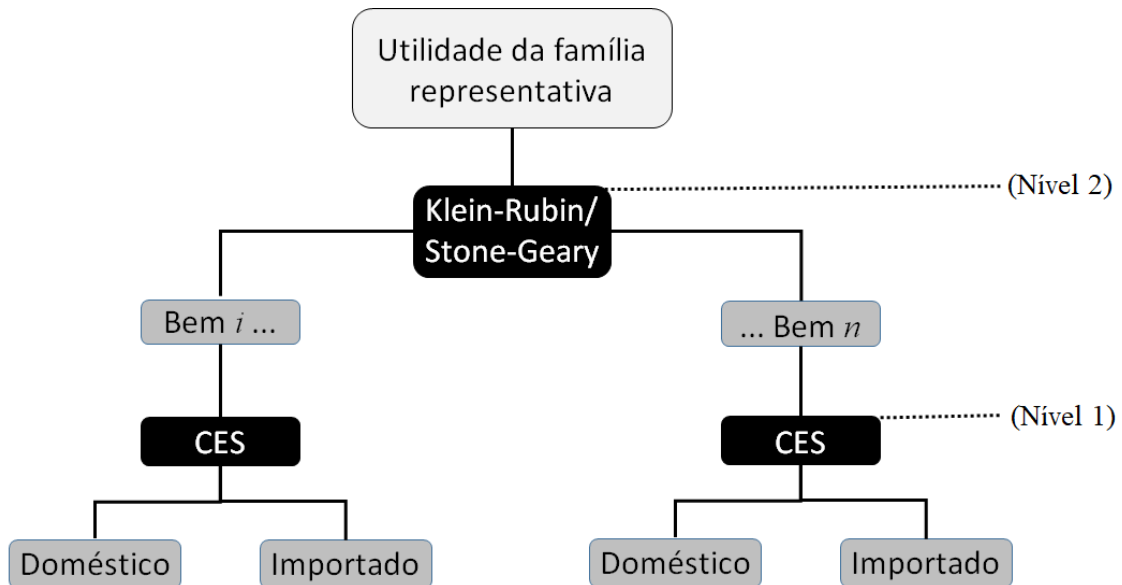
3.2.1.3 Demanda regional/Famílias

No modelo, as famílias são representadas por família representativa em cada região. As demandas das famílias derivam de um problema de maximização de utilidade, modeladas por uma estrutura hierárquica baseado num sistema de preferência CES/Klein-Rubin, dividido em dois níveis (Figura 13). No nível 1, é definida a origem dos bens (entre bem doméstico e bem importado) seguindo a função CES, sendo adotada a hipótese de Armington. No nível 2, ocorre a agregação dos bens compostos por uma função Stone-Geary ou Klein-Rubin. A maximização

de utilidade decorrente do consumo segundo essa função dá origem ao sistema linear de gastos (LES – *Linear Expenditure System*). O LES implica que a participação do gasto acima do nível de subsistência, para cada bem, representa uma proporção constante do gasto total de subsistência de cada família. Há um requisito de “consumo de subsistência” para família, em que os bens são adquiridos qualquer que seja o preço do produto até o nível de subsistência. O consumo acima do nível de subsistência, o resíduo do orçamento do consumidor, é denominado de “gasto de luxo”. O gasto de luxo segue uma participação orçamentária marginal, calibrado de acordo com parâmetros de elasticidade do gasto e de participação orçamentária.

Portanto, as demandas das famílias seguem um LES. Este sistema de demanda requer apenas um vetor de elasticidade de gasto (ou participações no orçamento marginal) e um parâmetro Frisch para cada região (FRISCH, 1959). O parâmetro Frisch mede a sensibilidade da utilidade marginal da renda, dado pela razão negativa entre gastos de subsistência e de gastos de não-subsistência. Espera-se que esse parâmetro seja maior para famílias pobres do que para famílias ricas: quanto maior o parâmetro, em módulo, menor o grau de consumo de “luxo” e maior o grau de consumo de “subsistência”.

Figura 13 - Estrutura hierárquica da demanda das famílias



Fonte: Elaboração própria baseado em Magalhães (2013) e Carvalho (2014).

A Figura 14 ilustra o mecanismo de composição por origem das demandas regionais do modelo REGIA e a composição da demanda por bem x do usuário. Este mecanismo é dividida em quatro níveis.

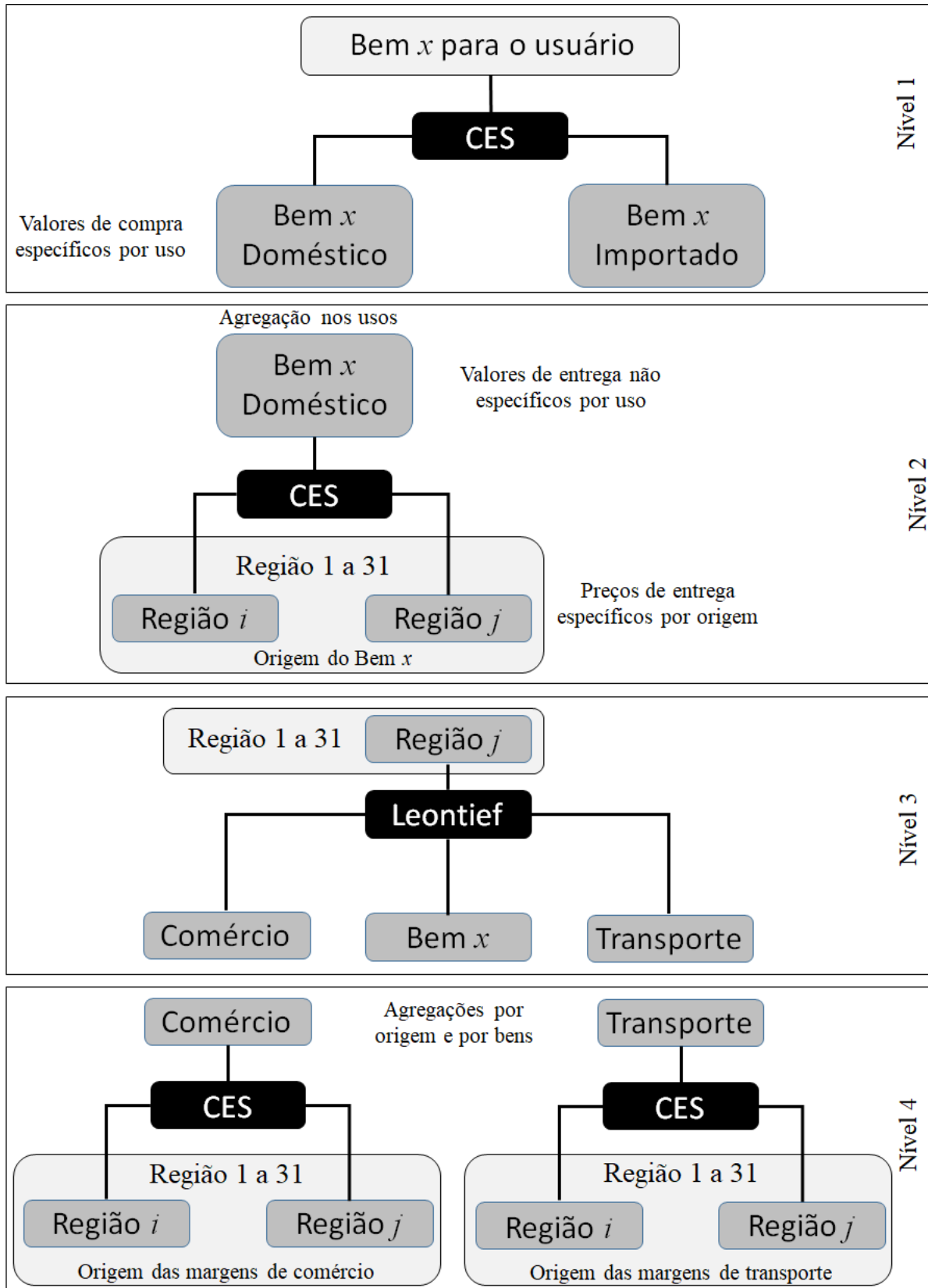
No nível 1, o usuário escolhe entre bem x doméstico ou importado, seguindo uma função CES de acordo com hipótese de Armington. Em geral, o parâmetro de substituição desta função é específico para cada bem, mas é comum por uso e por região de uso. As demandas são relacionadas aos valores de compra específicos por uso e as demandas por bens domésticos de cada região são agregadas considerando todos os usos para determinar o valor total. E a matriz de uso é valorada em preços de “entrega”, incorporando os valores básicos e de margem, porém não inclui os impostos por uso específico.

No nível 2, há tratamento de substituição entre bens das diferentes regiões e adota novamente uma especificação CES. Esta especificação implica que regiões com queda de custo relativo de produção aumentam seu *market-share* na região de destino do bem. O mecanismo de substituição é baseado em preços de entrega. Neste nível a decisão é feita com base em todos os usos, assim a proporção de bem x proveniente da região j é a mesma no uso das famílias e nos demais usos, como para insumos intermediários dos setores.

O nível 3 determina a composição de valores básicos e margens de comércio e transporte de cada origem para cada destino. A participação de cada um desses componentes no preço de entrega é determinada por uma função Leontief. Dessa maneira, não há possibilidade de substituição entre as margens de comércio e transporte. A participação de cada margem no preço de entrega é uma combinação de origem, destino, bem e fonte.

Por fim, o nível 4 mostra como as margens sobre bem x de uma região i para região j podem ser produzidas em diferentes regiões. As margens de transporte são distribuídas equitativamente entre as regiões. Por outro lado, as margens de comércio são distribuídas com maior parcela em sua região de destino, com algum grau de substituição do fornecimento dessas margens especificada por uma função CES.

Figura 14 - Mecanismo de composição da demanda do modelo REGIA



Fonte: Elaboração própria baseado em Magalhães (2013) e Carvalho (2014)

3.2.1.4 *Estoque de capital e investimento*

Os investimentos são classificados na categoria do usuário final dos bens. O consumo proveniente dos investimentos produzem novas unidades de capital (formação bruta de capital fixo). A escolha de insumos para produção de capital se baseia na minimização de custos sujeito a uma estrutura de tecnologia hierarquizada. Esta estrutura é quase similar à estrutura hierarquizada de tecnologia de produção setorial (Figura 10), a diferença está na ausência dos fatores primários como insumo e não há escolha entre as origens regionais (nível abaixo da origem nacional).

Na especificação de dinâmica recursiva como modelo REGIA, o investimento e o estoque de capital seguem mecanismos de acumulação e de deslocamento intersetorial orientados pelas taxas de depreciação e de retorno.

3.2.1.5 *Mercado de trabalho*

Neste trabalho o modelo REGIA adota a hipótese de emprego nacional exógeno, pois a região em questão (Amazônia Legal) para análise apresenta uma parcela pequena do total de emprego nacional. Além disso, a consideração de um mercado de trabalho mais simplificada facilita o processo computacional do modelo. Portanto, o modelo não possui um sistema de ajuste temporal do mercado de trabalho para o caso nacional.

O mercado de trabalho regional, por sua vez, é endógeno e tem duas formas de operacionalização:

- a) O salário real (ou nominal) fixo e o emprego determinado pelo lado da demanda no mercado de trabalho. Esta é a configuração padrão para análise de curto prazo, todos os salários são indexados ao índice de preços do consumo na região, ou são indexados a um índice nacional de preços;
- b) O emprego nacional exógeno com salários se ajustando endogenamente para equilibrar o mercado de trabalho regional. O valor do emprego nacional é determinado por características demográficas históricas. Esta é a configuração padrão para análise de longo-prazo¹², o mercado de trabalho responde endogenamente ao salário médio, com diferenciais de salário setoriais e regionais fixos. Desse modo, permite simular a mobilidade intersetorial e regional do trabalho.

¹² Neste trabalho foi adotado esta configuração para o fechamento do mercado de trabalho.

Vale ressaltar que o mercado de trabalho regional do REGIA refere-se ao emprego de cada região da Amazônia Legal (30 mesorregiões) e do restante do Brasil.

3.2.1.6 Equilíbrio de mercados, demanda por margens e preços de compra

O REGIA opera com equações de equilíbrio de mercado para todos os bens consumidos localmente, inclusive para domésticos e importados. Desse modo, existe equilíbrio de mercado para todos os bens (domésticos e importados), assim como para o mercado de fatores (capital, trabalho e terra) em cada região. A demanda por margens de transporte e de comércio são proporcionais aos fluxos de bens aos quais estão conectadas. Os preços de compra para todos os grupos de usuários finais em cada região são a soma dos valores básicos, dos impostos tanto direto como indiretos e margens de comércio e de transporte. E o imposto sobre vendas são tratados como taxas *ad-valorem* sobre os fluxos básicos (MAGALHÃES, 2009).

3.2.1.7 Outras equações e equações comportamentais

Além das especificações teóricas apresentadas nas seções anteriores, o REGIA é composto por uma série de equações operacionais utilizadas para calcular os agregados macroeconômicos e indicadores do banco de dados. Mais detalhes do modelo REGIA como as equações comportamentais encontram-se em Carvalho (2014).

3.2.2 Base de dados

A base de dados do REGIA foi construída através do procedimento de regionalização a partir da matriz de insumo-produto nacional do IBGE do ano de 2005 como dados principais. Além disso, utilizou os dados deflacionados do Censo Agropecuário de 2006 para obter as informações sobre remuneração do fator terra. O procedimento se baseou na metodologia proposta em Horridge (2006), adaptado para o caso brasileiro. Para o procedimento computacional utilizou diversas fontes de dados para obter as participações por região das seguintes fontes: PIB por região através do IBGE; exportações por região no sistema ALICEWEB da SECEX; a massa salarial por setor e por região pela Relação Anual de Informações Sociais (RAIS). O resultado final do procedimento é modelo com 31 regiões e 27 setores que leva em consideração os dados oficiais das Contas Regionais, Contas Nacionais,

Matriz de Insumo-Produto, dados do IBGE, Comércio Exterior (SECEX), Produção Industrial (PIA) e emprego (RAIS). O detalhe do procedimento de construção de base de dados do REGIA pode ser encontrado em Carvalho (2014).

Alguns dos principais dados da base de dados do REGIA, tais como PIB, população, produção e uso de terra por mesorregião da Amazônia Legal serão apresentados a seguir. Vale lembrar que o banco de dados do REGIA é referente ao ano de 2005.

Tabela 4 - Participação das mesorregiões da Amazônia Legal no PIB do Brasil e no PIB da Amazônia Legal em 2005

Mesorregiões	UF	Participação % no PIB do Brasil	Participação % no PIB da Amazônia Legal
1- Madeira-Guaporé	RO	0,21	2,78
2- Leste Rondoniense	RO	0,34	4,40
3- Vale do Juruá	AC	0,04	0,53
4- Vale do Acre	AC	0,16	2,12
5- Norte Amazonense	AM	0,02	0,20
6- Sudoeste Amazonense	AM	0,05	0,61
7- Centro Amazonense	AM	1,54	20,03
8- Sul Amazonense	AM	0,05	0,60
9- Norte de Roraima	RR	0,13	1,70
10- Sul de Roraima	RR	0,02	0,30
11- Baixo Amazonas	PA	0,14	1,85
12- Marajó	PA	0,04	0,53
13- Metropolitana de Belém	PA	0,86	11,17
14- Nordeste Paraense	PA	0,18	2,37
15- Sudoeste Paraense	PA	0,07	0,97
16- Sudeste Paraense	PA	0,57	7,41
17- Norte do Amapá	AP	0,02	0,21
18- Sul do Amapá	AP	0,21	2,67
19- Ocidental do Tocantins	TO	0,28	3,65
20- Oriental do Tocantins	TO	0,15	1,93
21- Norte Maranhense	MA	0,60	7,76
22- Oeste Maranhense	MA	0,31	4,08
23- Centro Maranhense	MA	0,11	1,43
24- Leste Maranhense	MA	0,05	0,63
25- Sul Maranhense	MA	0,07	0,87
26- Norte Mato-grossense	MT	0,47	6,09
27- Nordeste Mato-grossense	MT	0,11	1,42
28- Sudoeste Mato-grossense	MT	0,13	1,66
29- Centro-Sul Mato-grossense	MT	0,46	5,96
30- Sudeste Mato-grossense	MT	0,32	4,09
Amazônia Legal	-	7,71	100,00
Restante do Brasil	-	92,29	-

Fonte: Adaptado de Carvalho (2014), baseado nos banco de dados do REGIA.

A Tabela 4 mostra a participação do PIB de cada mesorregião da Amazônia Legal no Brasil e na Amazônia Legal, em 2005. A participação do PIB da Amazônia Legal no Brasil é baixa

(cerca de 7,71%), considerando que sua área corresponde a cerca de 60% do território nacional. Todas as mesorregiões da Amazônia Legal, exceto o Centro Amazonense, possuem a participação inferior a 1% no PIB brasileiro.

Tabela 5 – Participação das mesorregiões da Amazônia Legal na população do Brasil e na população da Amazônia Legal em 2005

Mesorregiões	UF	Participação % na população do Brasil	Participação % na população da Amazônia Legal
1- Madeira-Guaporé	RO	0,30	2,40
2- Leste Rondoniense	RO	0,53	4,25
3- Vale do Juruá	AC	0,11	0,84
4- Vale do Acre	AC	0,26	2,06
5- Norte Amazonense	AM	0,06	0,49
6- Sudoeste Amazonense	AM	0,19	1,52
7- Centro Amazonense	AM	1,37	10,95
8- Sul Amazonense	AM	0,13	1,05
9- Norte de Roraima	RR	0,17	1,36
10- Sul de Roraima	RR	0,04	0,34
11- Baixo Amazonas	PA	0,37	2,98
12- Marajó	PA	0,23	1,81
13- Metropolitana de Belém	PA	1,29	10,30
14- Nordeste Paraense	PA	0,89	7,09
15- Sudoeste Paraense	PA	0,26	2,06
16- Sudeste Paraense	PA	0,75	5,98
17- Norte do Amapá	AP	0,02	0,19
18- Sul do Amapá	AP	0,30	2,39
19- Ocidental do Tocantins	TO	0,50	3,95
20- Oriental do Tocantins	TO	0,26	2,05
21- Norte Maranhense	MA	1,21	9,64
22- Oeste Maranhense	MA	0,69	5,48
23- Centro Maranhense	MA	0,48	3,80
24- Leste Maranhense	MA	0,46	3,65
25- Sul Maranhense	MA	0,15	1,20
26- Norte Mato-grossense	MT	0,45	3,55
27- Nordeste Mato-grossense	MT	0,14	1,12
28- Sudoeste Mato-grossense	MT	0,16	1,31
29- Centro-Sul Mato-grossense	MT	0,55	4,42
30- Sudeste Mato-grossense	MT	0,22	1,75
Amazônia Legal	-	12,52	100,00
Restante do Brasil	-	87,48	-

Fonte: Elaboração própria a partir dos banco de dados do REGIA.

Dentre as 30 mesorregiões, apenas o Centro Amazonense e Metropolitana de Belém se destacam com elevada participação no PIB da Amazônia Legal. O Centro Amazonense possui cerca de 20% no total do PIB da Amazônia Legal e 1,54% no PIB brasileiro. Já a Metropolitana de Belém possui 11,17% e 0,86%, respectivamente. Com apenas o PIB destas duas regiões juntas equivale aproximadamente a um terço do PIB da Amazônia Legal. O restante das

mesorregiões possui participação da ordem de 0,2% a 7,76% no PIB da Amazônia Legal, e destas 10 mesorregiões possuem PIB inferior a 1%.

A Tabela 5 apresenta a participação da população de cada mesorregião no Brasil e na Amazônia Legal, em 2005. A população total da Amazônia Legal corresponde a cerca de 12,5% no total da população brasileira. A região mais populosa é o Centro Amazonense, Metropolitana do Belém e Norte Maranhense com, respectivamente, 10,95%, 10,3% e 9,64% no total da população da Amazônia Legal.

Tabela 6 - Participação % dos setores agrícolas no total produzido por cada mesorregião da Amazônia Legal em 2005

Mesorregiões	Algodão Herbáceo	Frutas Cítricas	Mandioca	Outros da Lavoura	Soja em grão	Restante	Total de Agricultura
1- Madeira-Guaporé	0,00	0,35	11,24	1,16	0,01	2,07	14,83
2- Leste Rondoniense	0,00	0,13	3,67	1,15	0,58	7,93	13,47
3- Vale do Juruá	0,00	0,82	33,19	6,54	0,00	1,01	41,56
4- Vale do Acre	0,01	0,43	16,49	1,96	0,00	0,93	19,83
5- Norte Amazonense	0,00	6,51	20,80	1,36	0,00	0,18	28,85
6- Sudoeste Amazonense	0,00	0,28	19,86	6,80	0,00	0,77	27,71
7- Centro Amazonense	0,00	0,14	2,09	0,60	0,00	0,12	2,95
8- Sul Amazonense	0,00	0,31	31,43	4,68	0,07	4,18	40,67
9- Norte de Roraima	0,00	0,31	4,73	7,32	0,46	1,82	14,65
10- Sul de Roraima	0,00	0,22	25,89	13,45	0,15	1,25	40,97
11- Baixo Amazonas	0,00	0,52	15,02	10,95	0,72	1,40	28,62
12- Marajó	0,00	0,66	1,60	0,53	0,00	0,02	2,81
13- Metropolitana de Belém	0,00	0,06	1,83	7,09	0,00	0,01	8,99
14- Nordeste Paraense	0,00	1,12	17,09	34,51	0,01	0,16	52,90
15- Sudoeste Paraense	0,00	0,44	11,79	8,13	0,02	2,48	22,86
16- Sudeste Paraense	0,00	1,96	2,81	0,87	0,11	0,66	6,40
17- Norte do Amapá	0,00	1,52	27,38	3,31	0,00	0,07	32,29
18- Sul do Amapá	0,00	0,39	8,58	2,52	0,00	0,08	11,56
19- Ocidental do Tocantins	0,00	1,29	1,64	24,72	0,95	0,90	29,50
20- Oriental do Tocantins	0,25	0,74	2,05	1,25	3,98	1,18	9,45
21- Norte Maranhense	0,00	0,09	5,38	2,03	0,00	0,29	7,80
22- Oeste Maranhense	0,00	0,18	8,62	2,26	0,00	1,09	12,15
23- Centro Maranhense	0,00	0,70	4,04	5,27	0,06	1,99	12,05
24- Leste Maranhense	0,01	0,13	2,34	5,75	0,10	1,98	10,31
25- Sul Maranhense	8,40	0,27	0,39	1,64	13,89	3,45	28,04
26- Norte Mato-grossense	30,53	0,27	3,04	1,88	14,07	3,92	53,70
27- Nordeste Mato-grossense	16,66	0,09	10,52	21,64	7,59	1,93	58,41
28- Sudoeste Mato-grossense	0,90	0,13	2,33	0,44	1,24	2,33	7,37
29- Centro-Sul Mato-grossense	1,05	0,15	3,30	1,52	0,63	0,42	7,06
30- Sudeste Mato-grossense	53,44	0,01	1,43	0,61	4,78	0,94	61,21
Amazônia Legal	7,46	0,50	5,01	5,30	2,24	1,41	21,92

Fonte: Elaboração própria a partir dos banco de dados do REGIA.

A Tabela 6 mostra a participação dos setores da agricultura no total da produção de cada mesorregião da Amazônia Legal em 2005. A agricultura corresponde a 21,92% no total da

produção da Amazônia Legal. Os cultivos mais expressivos da região são algodão herbáceo, outros da lavoura e mandioca com 7,46%, 5,3% e 5,01%, respectivamente. Dentre os cultivos, o algodão herbáceo se destaca com alta participação no total da agricultura da Amazônia e representa 68,5% no total da produção do algodão brasileiro, mas sua produção é concentrada apenas no estado do Mato Grosso (Norte Mato-grossense, Nordeste Mato-grossense e Sudeste Mato-grossense). Assim, a elevada participação (entre 53,7% e 61,2%) do setor agrícola no total da produção dessas regiões pode ser explicado pelo algodão herbáceo. Já a produção de mandioca e de outros da lavoura são mais distribuída entre as regiões como pode ser observada na tabela. A mandioca tem peso relevante na agricultura para maioria das regiões, e principalmente no Vale do Juruá com 33,19% da participação no total da sua produção. O setor de outros da lavoura também é relevante para muitas regiões, principalmente no Nordeste Paraense (34,51%) e no Ocidental do Tocantins (24,72%).

A Tabela 7 apresenta a participação dos demais setores da economia no total da produção de cada mesorregião da Amazônia Legal em 2005. O setor de serviços tem maior participação no total da produção da Amazônia Legal com 32,07%. Esse setor também possui elevada participação no total da produção das mesorregiões da Amazônia Legal, no Sul do Amapá o serviço representa 73,31% no total da sua produção.

A participação do setor de silvicultura e extrativismo no total da produção da Amazônia Legal é de 5,74%, mas a produção da Amazônia deste setor representa 53,6% no total da silvicultura e extrativismo brasileiro. Esse setor tem grande participação na produção de Marajó (54,06%) e do Norte Amazonense (49,32%).

A indústria da Amazônia Legal tem 7,85% no total da produção industrial do país, e 4,01% desse valor está no Centro Amazonense devido ao Polo Industrial de Manaus, localizado nesta região. A participação da indústria no total da produção da Amazônia Legal é de 19,75%, é superior ao setor de silvicultura e extrativismo, pecuária e pesca e aquicultura.

Tabela 7 - Participação % dos demais setores no total produzido por mesorregião da Amazônia Legal em 2005

Mesorregiões	Silvicultura e Extrativismo	Pecuária	Pesca e Aquicultura	Industria	Serviços
1- Madeira-Guaporé	11,52	13,82	5,43	20,13	34,27
2- Leste Rondoniense	4,66	31,79	12,77	6,86	30,44
3- Vale do Juruá	3,48	14,47	4,97	8,46	27,07
4- Vale do Acre	6,08	19,00	6,69	3,19	45,21
5- Norte Amazonense	49,32	0,01	2,20	0,02	19,60
6- Sudoeste Amazonense	16,47	3,25	15,83	1,22	35,53
7- Centro Amazonense	0,31	1,82	8,96	56,01	29,96
8- Sul Amazonense	17,33	3,92	18,61	2,95	16,52
9- Norte de Roraima	3,91	10,66	0,00	1,89	68,88
10- Sul de Roraima	19,35	12,83	0,00	9,28	17,57
11- Baixo Amazonas	10,42	13,55	8,36	19,05	20,00
12- Marajó	54,06	15,95	10,26	8,77	8,14
13- Metropolitana de Belém	0,37	3,13	1,98	16,35	69,17
14- Nordeste Paraense	21,89	5,41	3,43	7,97	8,39
15- Sudoeste Paraense	14,85	22,61	14,13	14,57	10,97
16- Sudeste Paraense	13,15	17,30	10,86	24,97	27,32
17- Norte do Amapá	1,34	12,10	1,67	1,05	51,54
18- Sul do Amapá	1,19	2,17	0,18	11,59	73,31
19- Ocidental do Tocantins	0,99	23,11	2,63	2,19	41,57
20- Oriental do Tocantins	1,17	24,47	2,75	4,02	58,13
21- Norte Maranhense	2,49	5,80	1,74	9,12	73,06
22- Oeste Maranhense	9,07	32,34	9,79	12,34	24,32
23- Centro Maranhense	18,70	37,22	11,26	5,26	15,51
24- Leste Maranhense	10,74	19,93	5,78	28,45	24,80
25- Sul Maranhense	4,77	20,96	6,24	17,05	22,95
26- Norte Mato-grossense	4,73	13,29	4,29	11,44	12,54
27- Nordeste Mato-grossense	1,20	19,68	6,37	4,52	9,82
28- Sudoeste Mato-grossense	1,56	41,30	13,25	26,03	10,48
29- Centro-Sul Mato-grossense	0,36	9,36	3,02	8,71	71,50
30- Sudeste Mato-grossense	0,36	13,70	4,47	2,57	17,69
Amazônia Legal	5,74	13,73	6,80	19,75	32,06

Fonte: Elaboração própria a partir dos banco de dados do REGIA.

A Tabela 8 mostra as áreas de terras (em milhares de hectares) utilizadas na agricultura, pecuária e silvicultura e extrativismo por mesorregião da Amazônia Legal em 2005. Nota-se que a pecuária utiliza grande extensão de terras na Amazônia Legal, aproximadamente de 50,6 milhões de hectares. A maior parcela de terra da pecuária é destinada ao setor de bovinos, cerca 27 milhões de hectares. O Sudeste Paraense e o Norte Mato-grossense são as regiões que utilizam mais terras para a pecuária, cerca de 9,8 e 7,5 milhões de hectares, respectivamente.

A agricultura utiliza aproximadamente 16,8 milhões de hectares na Amazônia Legal, cerca de 4,98 milhões de hectares pertence à plantação de mandioca, 4,39 milhões ao setor de outros de lavoura e 4,13 milhões ao algodão herbáceo.

O setor de silvicultura e extrativismo utiliza menor extensão de terra em relação aos demais setores. A região que se destaca no uso da terra para este setor é o Sudeste Paraense, aproximadamente de 2,5 milhões de hectares.

Tabela 8 – Áreas de terras utilizadas em agricultura, pecuária e silvicultura/extrativismo por mesorregião da Amazônia Legal em 2005

Mesorregiões	Agricultura	Pecuária	Silvicultura e Extrativismo
	em milhares de hectares		
1- Madeira-Guaporé	95,64	1.667,32	209,71
2- Leste Rondoniense	399,64	4.892,50	399,94
3- Vale do Juruá	299,22	170,56	81,60
4- Vale do Acre	648,21	1.131,90	97,01
5- Norte Amazonense	56,76	6,50	54,00
6- Sudoeste Amazonense	216,33	59,98	78,22
7- Centro Amazonense	447,88	352,84	416,64
8- Sul Amazonense	117,71	628,99	165,33
9- Norte de Roraima	89,82	146,66	34,21
10- Sul de Roraima	50,38	304,28	83,72
11- Baixo Amazonas	1.029,98	936,98	639,38
12- Marajó	323,54	59,05	170,31
13- Metropolitana de Belém	282,14	102,30	50,07
14- Nordeste Paraense	1.887,35	1.679,07	906,48
15- Sudoeste Paraense	202,91	2.083,52	795,73
16- Sudeste Paraense	324,58	9.775,80	2.494,47
17- Norte do Amapá	66,17	22,83	11,17
18- Sul do Amapá	122,17	61,81	34,81
19- Ocidental do Tocantins	1.152,55	5.827,03	323,76
20- Oriental do Tocantins	268,79	2.532,47	24,87
21- Norte Maranhense	681,04	423,93	212,03
22- Oeste Maranhense	303,60	3.107,57	448,09
23- Centro Maranhense	224,72	935,58	244,78
24- Leste Maranhense	273,21	19,67	27,70
25- Sul Maranhense	509,87	89,36	12,84
26- Norte Mato-grossense	3.493,61	7.512,50	774,63
27- Nordeste Mato-grossense	752,60	2.748,85	221,44
28- Sudoeste Mato-grossense	312,15	2.300,26	153,82
29- Centro-Sul Mato-grossense	209,84	636,30	59,52
30- Sudeste Mato-grossense	1.973,98	415,09	68,97
Amazônia Legal	16.816,37	50.631,49	9.295,24

Fonte: Elaboração própria a partir dos banco de dados do REGIA

4 SIMULAÇÕES E RESULTADOS

As simulações deste trabalho têm como objetivo principal projetar os impactos econômicos das mudanças climáticas na Amazônia Legal, sob a perspectiva regional e setorial, e analisá-los. Assim, nesta seção, serão apresentados os procedimentos adotados para as simulações do modelo econométrico e do modelo REGIA, bem como seus resultados.

4.1 Simulação do modelo econométrico

O principal objetivo da simulação do modelo econométrico neste trabalho é obter as estimativas do impacto das mudanças climáticas sobre a produtividade dos cultivos agrícolas para cada mesorregião considerado no modelo REGIA. Para isso, foi adotado o método de simulação semelhante a de Assunção e Chein (2016).

O primeiro passo foi estimar a produtividade agrícola do cultivo k no município m para o período base do cenário climático (C_m), através da equação (6) definida no capítulo anterior.

Em seguida, estima-se a mesma equação considerando as projeções climáticas para o período futuro (\hat{C}_m). A variação de produtividade agrícola decorrente das mudanças climáticas é dada pela seguinte expressão:

$$\Delta E(\ln Y_{mk}) = [\theta_k(\hat{C}_m) + \beta'_k X_m] - [\theta_k(C_m) + \beta'_k X_m]$$

Conforme a descrição no capítulo anterior, os cenários climáticos do futuro considerados nas simulações foram RCP 8.5 e RCP 4.5 para os períodos 2021-2050 e 2051-2080.

Para avaliar o mesmo efeito para a produtividade agrícola agregada, utiliza-se o mesmo procedimento acima para a produtividade agrícola total. Os efeitos sobre a produtividade total não será utilizada para o cálculo dos choques, mas foi calculada para ilustrar os efeitos sobre as regiões do Brasil, sobretudo nas regiões que compõem a Amazônia Legal (Norte e uma parcela do Centro-Oeste e do Nordeste).

4.1.1 Resultados do modelo econométrico

A Tabela 9 apresenta os resultados das estimações do efeito sobre a produtividade agrícola total dos fatores climáticos, isto é, os coeficientes das variáveis climáticas (temperatura e precipitação). Inicialmente, foram estimados considerando a sazonalidade do clima para

analisar como os diferentes períodos do ano afetam os efeitos marginais dos parâmetros climáticos. Na primeira coluna está indicada a estimação sem variáveis de controle, e nas demais colunas mostram as estimações com adição gradativa de controles. Na segunda coluna, adicionou-se controle de características geográficas tais como altitude, latitude e longitude. Na terceira coluna, adicionou-se controle de fatores primários como capital e trabalho. Na quarta coluna, estão incluídos controles de capital social dos produtores agrícolas. Na quinta coluna, incluiu-se restantes das variáveis de controles. Conforme à tabela, os sinais e a escala dos coeficientes não sofreram grandes alterações com inclusões das variáveis de controles. A última coluna é referente à estimação sem considerar a sazonalidade do clima com todas variáveis de controles incluídas.

As variáveis de temperatura e precipitação foram estatisticamente significativas em quase todas estimações, apenas a precipitação do outono/inverno não foi significativa. O R-Quadrado das regressões varia entre 0,23 e 0,34 quando incorpora a sazonalidade do clima, e 0,27 quando considera apenas a média mensal.

Tabela 9 - Produtividade Total Agrícola e Fatores Climáticos

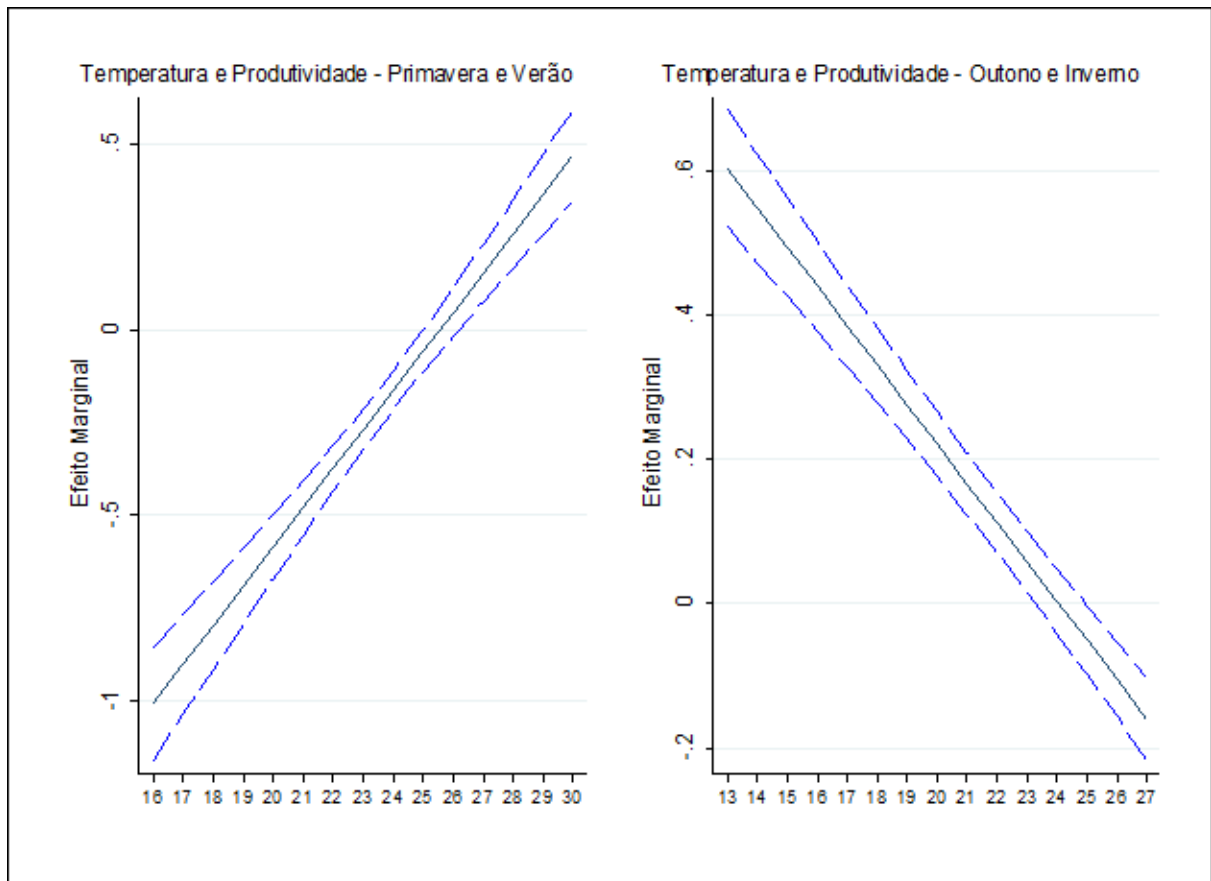
	Variável Dependente: log (Produtividade Total)					
	Coef. (1)	Coef. (2)	Coef. (3)	Coef. (4)	Coef. (5)	Coef. (6)
Temperatura (Primavera e Verão)	-2.584*** (0.216)	-2.952*** (0.215)	-3.071*** (0.220)	-2.722*** (0.223)	-2.695*** (0.223)	- (-)
Temperatura (Outono e Inverno)	1.436*** (0.084)	1.523*** (0.083)	1.543*** (0.087)	1.321*** (0.090)	1.312*** (0.090)	- (-)
Temperatura ao quadrado (Primavera e Verão)	0.053*** (0.005)	0.058*** (0.005)	0.060*** (0.005)	0.053*** (0.005)	0.053*** (0.005)	- (-)
Temperatura ao quadrado (Outono e Inverno)	-0.034*** (0.002)	-0.032*** (0.002)	-0.032*** (0.002)	-0.028*** (0.002)	-0.027*** (0.002)	- (-)
Precipitação (Primavera e Verão)	0.017*** (0.001)	0.013*** (0.001)	0.013*** (0.001)	0.012*** (0.001)	0.012*** (0.001)	- (-)
Precipitação (Outono e Inverno)	0.004*** (0.001)	0.003** (0.001)	0.001 (0.001)	-0.002 (0.001)	-0.002 (0.001)	- (-)
Precipitação ao quadrado (Primavera e Verão)	-0.000*** (0.000)	-0.000*** (0.000)	-0.000*** (0.000)	-0.000*** (0.000)	-0.000*** (0.000)	- (-)
Precipitação ao quadrado (Outono e Inverno)	-0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000*** (0.000)	0.000*** (0.000)	0.000*** (0.000)	- (-)
Temperatura (Média mensal)	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)	0.432*** (0.065)
Temperatura ao quadrado (Média mensal)	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)	-0.008*** (0.002)
Precipitação (Média mensal)	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)	0.024*** (0.003)
Precipitação ao quadrado (Média mensal)	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)	-0.000*** (0.000)
Características Geográficas	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Fatores primários	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Capital social	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Outros	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim
Observações	5,323	5,323	5,323	5,323	5,323	5,323
R-Quadrado	0.232	0.298	0.324	0.338	0.342	0.271

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados das estimações do modelo econométrico. Nota: Erro-padrão robusto a heterocedasticidade entre parênteses. *** p-valor <0.01, ** p-valor <0.05, * p-valor <0.1.

A Figura 15 e a Figura 16 reportam graficamente os efeitos marginais da temperatura e da precipitação, respectivamente, sobre a produtividade agrícola com base na especificação da coluna (5) da Tabela 9. Como pode observar nas figuras, os efeitos marginais do clima são diferentes de acordo com períodos do ano, e, portanto, isto reforça a relevância de considerar a questão de sazonalidade no modelo para as estimações de produtividade agrícola. A temperatura da primavera/verão apresenta efeito marginal positivo a partir de 25 graus celsius. Por outro lado, a temperatura outono/inverno aponta sentido oposto do efeito anterior, a partir

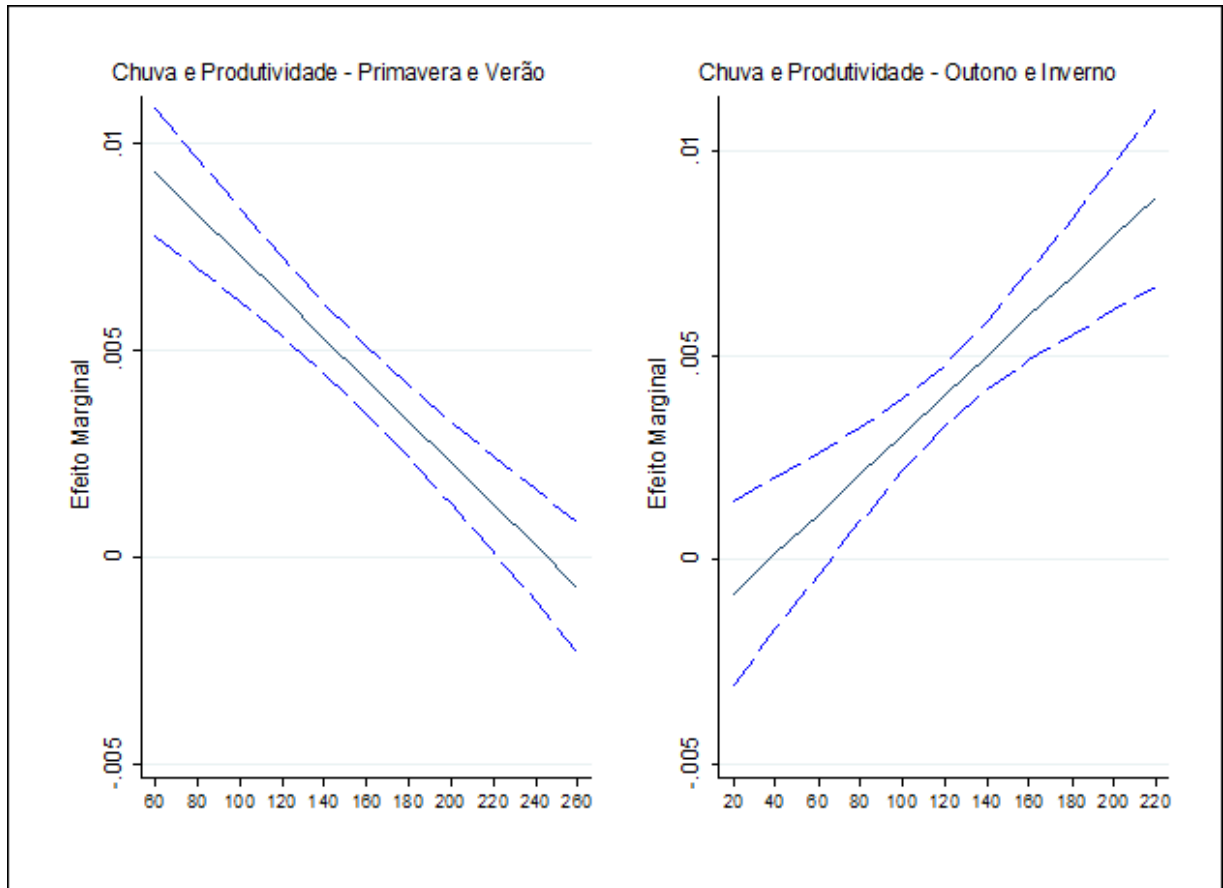
de 24 graus celsius indica efeito negativo. Em relação à chuva, a precipitação primavera/verão indica efeito marginal negativo a partir de 240 mm/mês e a precipitação outono/inverno apresenta efeito marginal positivo a partir do valor próximo de 40 mm/mês. Portanto, o aumento da precipitação no segundo semestre do ano tem relação positiva com a produtividade agrícola.

Figura 15 - Efeito Marginal da Temperatura sobre a Produtividade Agrícola



Fonte: Elaboração própria com base nos coeficientes obtidos da coluna (5) da Tabela 9.

Figura 16 - Efeito Marginal da Precipitação sobre a Produtividade Agrícola



Fonte: Elaboração própria com base nos coeficientes obtidos da coluna (5) da Tabela 9.

A Tabela 10 mostra os coeficientes estimados do clima (temperatura e precipitação) para 11 culturas agrícolas selecionadas. Os resultados indicam claramente a existência das heterogeneidades dos efeitos marginais, tanto nos sinais quanto nas magnitudes entre diferentes cultivos, sugerindo a existência dos efeitos distintos do clima sobre a produtividade agrícola de cada cultivo. As significâncias das variáveis são mais fracas comparadas aos setores agrícolas agregados, mas ainda são razoáveis e apenas o cultivo de cana-de-açúcar, em especial, apresenta a significância estatística bastante baixa. Porém, o cultivo mais importante da Amazônia Legal, “outros da lavoura¹³”, apresenta elevada significância dos parâmetros para a temperatura e precipitação.

¹³ “Outros da lavoura” é composto por restantes dos cultivos que não foram contemplados explicitamente no REGIA como cebola, batata, feijão, melancia, tomate, etc.

Tabela 10 – Produtividade por cultivos e fatores climáticos (período de 1971-2005)

	Variável Dependente: log (Produtividade Agrícola por cultivo <i>k</i>)										
	Arroz em casca	Milho	Trigo e Cereais	Cana de açúcar	Soja em grão	Outros da lavoura	Mandioca	Fumo em folha	Algodão herbáceo	Frutas cítricas	Café em grão
Temperatura (Primavera e Verão)	0.819* (0.420)	-0.517*** (0.174)	-0.285 (0.640)	-0.036 (0.293)	-0.265* (0.160)	-2.667*** (0.251)	0.442 (0.276)	-0.813 (0.634)	0.310 (1.175)	1.871** (0.828)	-2.053*** (0.522)
Temperatura (Outono e Inverno)	-0.168 (0.134)	0.082 (0.076)	0.121 (0.354)	-0.079 (0.123)	0.022 (0.081)	1.465*** (0.105)	-0.056 (0.105)	0.466* (0.263)	0.087 (0.438)	-0.355 (0.343)	0.997*** (0.273)
Temperatura ao quadrado (Primavera e Verão)	-0.016* (0.009)	0.010*** (0.004)	0.007 (0.015)	0.004 (0.006)	0.006 (0.004)	0.050*** (0.005)	-0.008 (0.006)	0.018 (0.014)	-0.007 (0.023)	-0.037** (0.018)	0.042*** (0.011)
Temperatura ao quadrado (Outono e Inverno)	0.002 (0.003)	-0.002 (0.002)	-0.005 (0.010)	-0.000 (0.003)	-0.000 (0.002)	-0.029*** (0.002)	-0.000 (0.002)	-0.012* (0.007)	-0.001 (0.010)	0.006 (0.008)	-0.021*** (0.007)
Precipitação (Primavera e Verão)	-0.010*** (0.003)	0.011*** (0.001)	-0.014** (0.006)	0.004* (0.002)	0.011*** (0.004)	0.008*** (0.001)	0.004*** (0.001)	0.006 (0.004)	0.035*** (0.006)	0.008 (0.005)	0.003 (0.003)
Precipitação (Outono e Inverno)	0.004 (0.003)	0.003** (0.001)	-0.015* (0.008)	-0.002 (0.002)	0.011*** (0.003)	0.004*** (0.001)	0.006*** (0.001)	0.019*** (0.003)	0.012* (0.007)	0.007** (0.003)	0.003 (0.004)
Precipitação ao quadrado (Primavera e Verão)	0.000*** (0.000)	-0.000*** (0.000)	0.000*** (0.000)	-0.000 (0.000)	-0.000** (0.000)	-0.000*** (0.000)	0.000 (0.000)	-0.000 (0.000)	-0.000*** (0.000)	-0.000* (0.000)	-0.000 (0.000)
Precipitação ao quadrado (Outono e Inverno)	-0.000* (0.000)	-0.000 (0.000)	0.000** (0.000)	0.000* (0.000)	-0.000*** (0.000)	0.000 (0.000)	-0.000** (0.000)	-0.000*** (0.000)	-0.000 (0.000)	-0.000** (0.000)	-0.000 (0.000)
Observações	2,718	5,142	732	3,633	1,359	5,312	4,452	807	429	1,963	1,703
R-Quadrado	0.622	0.460	0.311	0.064	0.217	0.217	0.280	0.533	0.736	0.049	0.419

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo econométrico. Nota: Erro-padrão robusto a heterocedasticidade entre parênteses. *** p-valor <0.01, ** p-valor <0.05, * p-valor <0.

A título de resumir os resultados de choques de produtividade projetados, a Tabela 11 apresenta os resultados das simulações do modelo econométrico para os períodos 2021-2050 e 2051-2080 no cenário RCP 8.5. É importante ressaltar que estes valores devem ser interpretados como o impacto das mudanças climáticas sobre a produtividade média da agricultura considerando apenas os efeitos das alterações das temperaturas e das precipitações, dadas as condições tecnológicas do cenário base¹⁴ (tecnologia observada no Censo Agropecuário de 2006). Por exemplo, a produtividade agrícola do Sudeste será 12,7% (37,1%) inferior, entre 2021-2050 (2051-2080), em relação ao período 1971-2005. Vale observar que a produtividade crescerá com o desenvolvimento da tecnologia, mas este efeito não foi incluído no cálculo devido à incerteza (previsão do futuro). A região que terá maior queda da produtividade agrícola em ambos períodos é o Nordeste, com -40,9% em 2021-2050 e -45,1% em 2051-2080. Já a região Norte que compõe a maior parte do território da Amazônia Legal terá queda significativa na produtividade agrícola de 29% em 2021-2050. Esse efeito se intensifica no período posterior (2051-2080) e atinge queda de 43,9%. A região Sul terá ganho na produtividade agrícola no valor de 47,4% (2021-2050) e 65,9% em 2051-2080. Na média, o Brasil terá queda em torno de 12% na produtividade média da agricultura em ambos períodos. Em síntese, as regiões do Norte, Nordeste e Centro-Oeste são as mais afetadas negativamente e os efeitos se intensificam com o tempo tanto em termos negativos quanto em termos positivos. Esses resultados são consistentes com outros estudos (ASSUNÇÃO; CHEIN, 2016; FERES et al., 2008; FÉRES; REIS; SPERANZA, 2009; REDECLIMA, 2015), que indicam o Norte, Nordeste e Centro-Oeste como os mais afetados, e as regiões Sudeste e Sul como menos prejudicadas ou até favorecidas.

¹⁴ Vale lembrar que o cenário base do modelo econométrico foi calculado a partir dos dados históricos (1971-2005) de precipitação e temperatura e dos dados do Censo Agropecuário de 2006. Portanto, o cenário base refere-se ao período de 1971-2005.

Tabela 11 - Efeitos da Mudança Climática sobre a produtividade agrícola por Regiões no Cenário RCP 8.5

Região	Cenário RCP 8.5			
	Efeito Percentual (2021-2050)		Efeito Percentual (2051-2080)	
	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão
Norte	-0,290	0,171	-0,439	0,184
Nordeste	-0,409	0,215	-0,451	0,186
Centro-Oeste	-0,281	0,091	-0,354	0,104
Sudeste	-0,127	0,275	-0,371	0,104
Sul	0,474	0,277	0,659	0,386
Brasil	-0,124	0,414	-0,123	0,520

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados do modelo econométrico.

Nota: As médias estão ponderadas pela área agrícola.

A Tabela 12 apresenta os resultados de modo similar à tabela anterior, mas para o cenário RCP 4.5. Novamente, o Nordeste é a região que terá maior queda da produtividade agrícola com -34,7% (2021-2050) e -31,7% (2051-2080). Em geral, os resultados indicam o padrão quase semelhante ao cenário anterior, porém a intensidade dos efeitos diminuem significativamente. Nesse cenário, o Brasil terá queda de -8,3% na produtividade média da agricultura no período 2021-2050 e esse impacto diminui com queda de -4,9% no período seguinte (2051-2080).

Tabela 12 - Efeitos da Mudança Climática sobre a produtividade agrícola por Regiões no Cenário RCP 4.5

Região	Cenário RCP 4.5			
	Efeito Percentual (2021-2050)		Efeito Percentual (2051-2080)	
	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão
Norte	-0,250	0,165	-0,289	0,175
Nordeste	-0,347	0,238	-0,317	0,259
Centro-Oeste	-0,231	0,082	-0,246	0,095
Sudeste	-0,062	0,280	-0,077	0,291
Sul	0,465	0,241	0,600	0,290
Brasil	-0,083	0,390	-0,049	0,443

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados do modelo econométrico.

Nota: As médias estão ponderadas pela área agrícola.

4.2 Simulação do Modelo REGIA

Nesta seção serão apresentadas as estratégias de simulação do cenário das mudanças climáticas adotadas no modelo REGIA. A simulação se baseia no cenário no qual a agricultura da Amazônia Legal sofre as perdas de produtividade sob efeitos das mudanças climáticas (alterações dos níveis de precipitação e temperatura) no período 2021-2080. Adoção de período

de tempo explícito na simulação é permitida devido ao mecanismo de dinâmica recursiva incorporado no REGIA, no qual as variáveis endógenas se ajustam diante dos choques exógenos (CARVALHO, 2014).

4.2.1 Cenário base

O cenário base representa a trajetória econômica sem considerar os efeitos das mudanças climáticas, sendo utilizado como uma referência para comparação com o cenário econômico sob efeitos das mudanças climáticas. Dessa forma, os resultados dos impactos econômicos das mudanças climáticas são apresentados na forma de desvios em relação ao cenário base.

Uma das etapas fundamentais para a simulação do modelo de EGC é a definição do fechamento tanto para o cenário base quanto para o cenário das mudanças climáticas. O fechamento é o conjunto de variáveis endógenas e exógenas no qual define o mecanismo de ajustamento (funcionamento) da economia e a forma como será inserido os choques, isto é, a hipótese de operacionalização das simulações (CARVALHO, 2014).

Neste trabalho, o fechamento do cenário base considera exogenamente os dados “históricos” como os indicadores macroeconômicos, a taxa de crescimento populacional e a taxa de desmatamento para o período de 2006 a 2016. Para o período subsequente (2017-2080), onde foram inseridos os dados “históricos” serão determinados endogenamente. O consumo regional acompanha a renda regional com a propensão marginal a consumir exógena. O gasto do governo segue o consumo das famílias nacionalmente e regionalmente. O fator terra de “florestas naturais e demais usos” é exógeno para as regiões sem floresta tropical e a capacidade de expansão da agropecuária via desmatamento é pequena. Maior detalhe do fechamento do cenário base encontra-se em Carvalho (2014), pois este trabalho segue a hipótese similar. A relação de variáveis do fechamento do cenário base encontra-se na Tabela 13, as variáveis exógenas estão em cinzas.

Tabela 13 - Relação de variáveis do fechamento do cenário base

Variáveis	Descrição	Cenário Base	
		2006-2016	2017-2080
PIB real (lado da oferta)			
frnorm	Deslocamento da taxa de retorno normal bruta (regional)		
frnorm_id	Deslocamento da taxa de retorno normal bruta (nacional)		
gtrend	Razão tendencial do investimento sobre o capital (regional)		
flab_io	Deslocamento do salário regional		
NatMacro("AggEmploy")	Emprego agregado nacional		
flab_iod	Deslocamento do salário nacional		
labslack	Ajuste do emprego agregado		
acap, alnd, atot, blab_o, blab_oid			
bint_scd			
aprim_i	Variáveis de mudanças tecnológicas		
atradmar_cs			
aprintot			
PIB real (lado da demanda)			
NatMacro("RealHou")	Consumo real das famílias		
fgovgen	Deslocamento da demanda do governo (nacional)		
NatMacro("RealGov")	Consumo do governo		
fgovtot2	Deslocamento da demanda do governo (regional)		
fgov_s	Deslocamento da demanda do governo por produto (regional)		
NatMacro("RealInv")	Investimento real		
NatMacro("ExpVol")	Volume das exportações		
NatMacro("RealGDP")	PIB real		
shrBoTnom	A participação da Balança Comercial no PIB no longo prazo fixa		
invslack	Exogeneização do investimento nacional		
fhou	Propensão marginal a consumir (regional)		
Condições Externas			
fpexp	Deslocamento dos preços das exportações		
fqexp	Deslocamento da quantidade exportada		
fqexp_cs	Deslocamento geral da quantidade exportada		
pfimp	Preço dos importados em moeda estrangeira		
Impostos			
delPTXRATE	Mudança na taxa de imposto sobre a produção		
Distribuição dos Investimentos			
finv4	Deslocamento do investimento de longo prazo		
faccum	Deslocamento que ativa a equação de acumulação de capital		
delUnity	Variável <i>dummy</i> = 1 para ativar a equação de acumulação de capital		
Número de famílias			
nhou	Número de famílias		
Módulo de Uso da Terra			
delLnd	Variável <i>dummy</i> = 1 para ativar o módulo de uso da terra		
qlndbrd1	Área de terra de "floresta natural e demais usos" nas regiões sem floresta tropical		
fqtrans	Deslocamento do uso da terra		
landtwist	Mudança no uso da terra não causada pelos preços		
Numerário			
NatMacro("CPI")	Índice de preços ao consumidor		

Fonte: Elaboração própria. Baseado em Carvalho (2014).

Como a base de dados do REGIA é de 2005, a simulação do cenário base adotada neste trabalho se inicia a partir do ano 2006 e prossegue até o ano 2080. Vale ressaltar que recentes modelos de EGC nacionais utilizam a base de dado de 2013, entretanto, o uso da base de dados de 2005 não o torna inadequado, pois o horizonte de tempo da projeção é extremamente extenso (até 2080) e, desse modo, a diferença entre 2005 e 2013 para iniciar a simulação é ínfima neste caso específico. Posto isso, no período 2006-2011 foram utilizados os mesmos dados utilizados em Carvalho (2014). No período 2012-2016, foram utilizados os dados das contas nacionais do IBGE (2017A) para as principais indicadores macroeconômicos e, para os anos posteriores (2017-2080), foram utilizadas projeções de crescimento econômico baseadas nas projeções do Banco Central do Brasil (BCB, 2016). As taxas de crescimentos adotadas a partir de 2020 são constantes ao ano, sendo os valores de 2021 a 2080 delimitados em taxas acumuladas quinquenais. A taxa de crescimento populacional do período 2012-2016 segue os dados do IBGE (2017B) e nos anos subsequentes é fixada em 1% a.a. A Tabela 14 apresenta as variações percentuais adotadas na simulação do cenário base.

Tabela 14 - Valores adotados para a construção do cenário base, 2012-2080 (var. % real)

Indicadores	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020-2080
PIB	1.9	3.0	0.1	-3.8	-3.6	0.53	1.64	2.06	2.18
Consumo das Famílias	3.5	3.5	1.3	-3.9	-4.2	0.53	1.64	2.06	2.18
Gasto do Governo	2.3	1.5	1.2	-1.1	-0.6	0.53	1.64	2.06	2.18
Investimento	0.8	5.8	-4.5	-13.9	-10.2	0.53	1.64	2.06	2.18
Exportações	0.3	2.4	-1.1	6.3	1.9	0.53	1.64	2.06	2.18
Crescimento populacional	0.93	0.9	0.86	0.83	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do IBGE (2017A;2017B) e BCB (2016).

Nota: As taxas do período 2006-2011 encontram-se em Carvalho (2014).

Em relação às taxas de desmatamento, foram utilizados os valores encontrados em Carvalho (2014) e nos anos subsequentes, de 2012 a 2016, foram calculados a partir dos dados do Sistema de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal do PRODES/INPE e encontram-se na Tabela 20 do Apêndice B. Os valores das taxas de desmatamento são apresentados por mesorregião como sendo a área desmatada em relação à área de floresta natural e demais usos.

Por fim, é importante ressaltar que o cenário base não altera significativamente o valor do desvio (impacto das mudanças climáticas) em relação ao cenário base. Isto é, os efeitos dos choques em variáveis exógenas independe do cenário base caso os fechamentos forem elaborados corretamente (HORRIDGE, 2012). Portanto, a adoção de taxas de crescimento constante na projeção do cenário base torna-se aceitável para o modelo de EGC dinâmico.

4.2.2 Cenário das mudanças climáticas

O presente trabalho tem como objetivo principal projetar os impactos econômicos das mudanças climáticas na Amazônia Legal. Para tanto, os canais explorados para simular os efeitos das mudanças climáticas foram quedas de produtividade agrícola, dado que o setor agrícola é um dos setores mais sensíveis a fatores climáticos e relativamente mais fácil de incorporar ao modelo pela disponibilidade de dados em relação aos demais setores (ex: queda de produtividade, perda das áreas aptas para cultivo e conversão de terra). Desse maneira, uma série de estudos aplicaram choques na agricultura como a forma de mensurar os impactos econômico da mudança do clima (DOMINGUES; MAGALHÃES; RUIZ, 2016; FARIA, 2012; MORAES, 2010; FERREIRA FILHO; MORAES, 2014). Esta dissertação se diferencia, em relação a estes trabalhos, por se basear em novos cenários climáticos (RCP 8.5 e RCP 4.5) do AR5 IPCC e por analisar com foco regional, a Amazônia Legal, uma região menos estudada economicamente.

É importante lembrar que estas simulações do cenário das mudanças climáticas não incorporam outros efeitos tais como inundações, secas, savanização, aumento do nível do oceano, entre outros. Portanto, os resultados das simulações captam uma parcela do impacto das mudanças climáticas sobre a região. Considera-se somente as variações na precipitação média acumulada e temperatura média, que alteram a produtividade da terra da agricultura, adotando a hipótese de que o fator tecnológico se mantém constante. Esta é uma limitação das simulações, que não capturam todos os potenciais fatores associados às mudanças climáticas, dado a confiabilidade e disponibilidade de dados.

As variações sobre a produtividade de 11 setores agrícolas das 30 mesorregiões da Amazônia Legal e resto do Brasil foram calculadas com base nas estimações do modelo econométrico, como explicado na seção 3. O cálculo consiste em agregar, ponderando pelas áreas agrícolas, as variações de produtividade agrícola municipal para as regiões consideradas no modelo REGIA. As taxas estimadas são uma média referente aos períodos de 2021-2050 e 2051-2080, cada período contendo 30 anos, para dois cenários climáticos estabelecidos pelo IPCC (RCP 8.5 e RCP 4.5). Assim, as taxas médias de 30 anos foram convertidas em taxas quinquenais para utilizá-las na simulação, resultando em seis taxas quinquenais uniformes para cada período, ou seja, doze taxas quinquenais no total para cada cenário climático.

A Tabela 15 apresenta as participações dos cultivos na agricultura de cada mesorregião da Amazônia Legal, baseadas nos valores da base de dados do REGIA. Essa tabela mostra quais

são os cultivos mais importantes em cada região e permite filtrar as variações de produtividade mais relevantes para cada região. Essa análise é importante, pois choques elevados em determinado setor de uma região não necessariamente causa impacto econômico significativo.

Tabela 15 - Participação dos cultivos por mesorregião da Amazônia Legal

Nº	Mesorregião	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
1	Madeira-Guaporé	1%	1%	0%	0%	0%	8%	76%	0%	0%	2%	12%
2	Leste Rondoniense	3%	2%	0%	0%	4%	9%	27%	0%	0%	1%	53%
3	Vale do Juruá	1%	1%	0%	0%	0%	16%	80%	1%	0%	2%	0%
4	Vale do Acre	1%	1%	0%	0%	0%	10%	83%	0%	0%	2%	2%
5	Norte Amazonense	0%	0%	0%	0%	0%	5%	72%	0%	0%	23%	0%
6	Sudoeste Amazonense	1%	1%	0%	0%	0%	25%	72%	0%	0%	1%	1%
7	Centro Amazonense	0%	0%	0%	4%	0%	20%	71%	0%	0%	5%	0%
8	Sul Amazonense	1%	1%	0%	1%	0%	12%	77%	2%	0%	1%	6%
9	Norte de Roraima	11%	2%	0%	0%	3%	50%	32%	0%	0%	2%	0%
10	Sul de Roraima	2%	1%	0%	0%	0%	33%	63%	0%	0%	1%	0%
11	Baixo Amazonas	2%	2%	0%	0%	3%	38%	52%	0%	0%	2%	1%
12	Marajó	0%	0%	0%	0%	0%	19%	57%	0%	0%	24%	0%
13	Metropolitana de Belém	0%	0%	0%	0%	0%	79%	20%	0%	0%	1%	0%
14	Nordeste Paraense	0%	0%	0%	0%	0%	65%	32%	0%	0%	2%	0%
15	Sudoeste Paraense	3%	2%	0%	0%	0%	36%	52%	0%	0%	2%	7%
16	Sudeste Paraense	5%	4%	0%	1%	2%	14%	44%	0%	0%	31%	0%
17	Norte do Amapá	0%	0%	0%	0%	0%	10%	85%	0%	0%	5%	0%
18	Sul do Amapá	0%	0%	0%	0%	0%	22%	74%	0%	0%	3%	0%
19	Ocidental do Tocantins	3%	0%	0%	0%	3%	84%	6%	0%	0%	4%	0%
20	Oriental do Tocantins	7%	4%	0%	1%	42%	13%	22%	0%	3%	8%	0%
21	Norte Maranhense	3%	1%	0%	0%	0%	26%	69%	0%	0%	1%	0%
22	Oeste Maranhense	5%	3%	0%	0%	0%	19%	71%	0%	0%	1%	0%
23	Centro Maranhense	11%	5%	0%	1%	0%	44%	34%	0%	0%	6%	0%
24	Leste Maranhense	15%	3%	0%	1%	1%	56%	23%	0%	0%	1%	0%
25	Sul Maranhense	3%	2%	0%	7%	50%	6%	1%	0%	30%	1%	0%
26	Norte Mato-grossense	3%	3%	0%	0%	26%	4%	6%	0%	57%	0%	1%
27	Nordeste Mato-grossense	3%	0%	0%	0%	13%	37%	18%	0%	29%	0%	0%
28	Sudoeste Mato-grossense	3%	3%	0%	24%	17%	6%	32%	0%	12%	2%	1%
29	Centro-Sul Mato-grossense	1%	2%	0%	2%	9%	22%	47%	0%	15%	2%	0%
30	Sudeste Mato-grossense	0%	1%	0%	0%	8%	1%	2%	0%	87%	0%	0%
31	Resto do Brasil	1%	3%	1%	4%	5%	32%	13%	10%	4%	11%	15%

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados do REGIA. Nota: C1 = arroz em casca; C2 = Milho em grão; C3 = trigo e cereais; C4 = cana de açúcar; C5 = soja em grão; C6 = outros da lavoura; C7 = mandioca; C8 = fumo em folha; C9 = algodão herbáceo; C10 = frutas cítricas; e C11 = café em grão.

Por exemplo, a mandioca (C7) em Madeira-Guaporé tem peso de 76% na agricultura desta região enquanto o arroz (C1) representa apenas 1%. A queda de produtividade da mandioca causaria maior impacto adverso na economia de Madeira-Guaporé em relação ao mesmo efeito sobre a produtividade do arroz. Em geral, a mandioca e outros da lavoura são os cultivos que

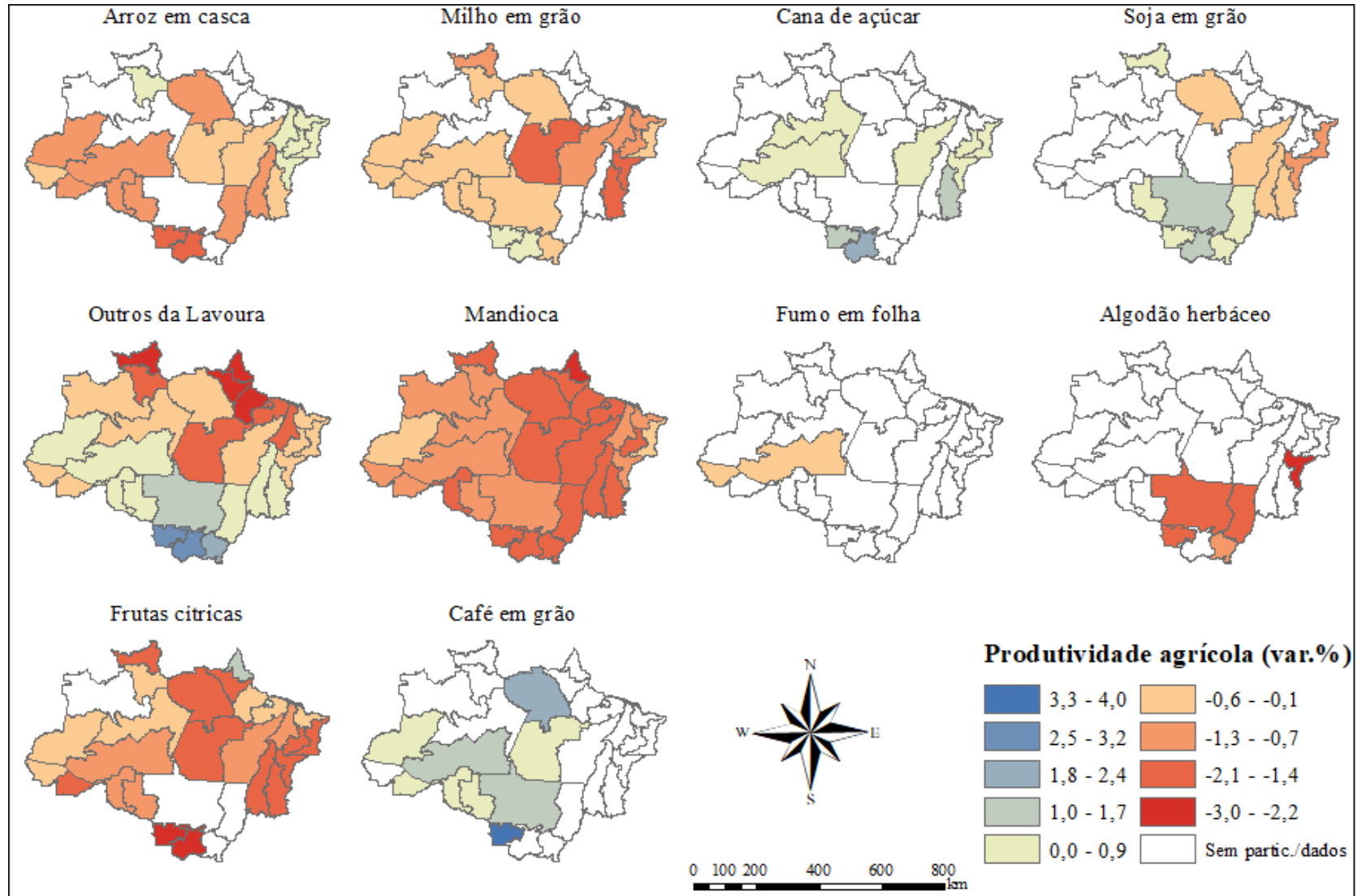
possuem maior peso na agricultura da Amazônia Legal, e o fumo em folha e “trigo e cereais” são os que possuem pouca participação na agricultura da região.

Como pode-se observar na Tabela 15, há muitos cultivos sem representatividade para cada região. Dessa forma, os choques onde os cultivos têm peso menor do que 1% na região foram excluídos da simulação. Os choques do setor de “trigo e cereais” (C3), por exemplo, foram excluídos em todas regiões, exceto no resto do Brasil.

Os choques aplicados nas simulações encontram-se nas Figura 17 e 18. Estas figuras ilustram a variação percentual anual de produtividade média da terra agrícola por cultivos para período 2021-2080 nos cenários climáticos RCP 8.5 e RCP 4.5, respectivamente. É importante lembrar que os choques aplicados no REGIA foram taxas quinquenais uniformes para dois períodos (2021-2050 e 2051-2080), porém, nas figuras estão expressos em taxas anuais com o intuito de facilitar a identificação dos impactos na Amazônia Legal por mesorregiões. “Trigo e cereais” foi excluído nestas figuras por não apresentar choques para as regiões da Amazônia Legal, mas o choque foi aplicado para o resto do Brasil, pois os efeitos climáticos atingem todo território nacional.

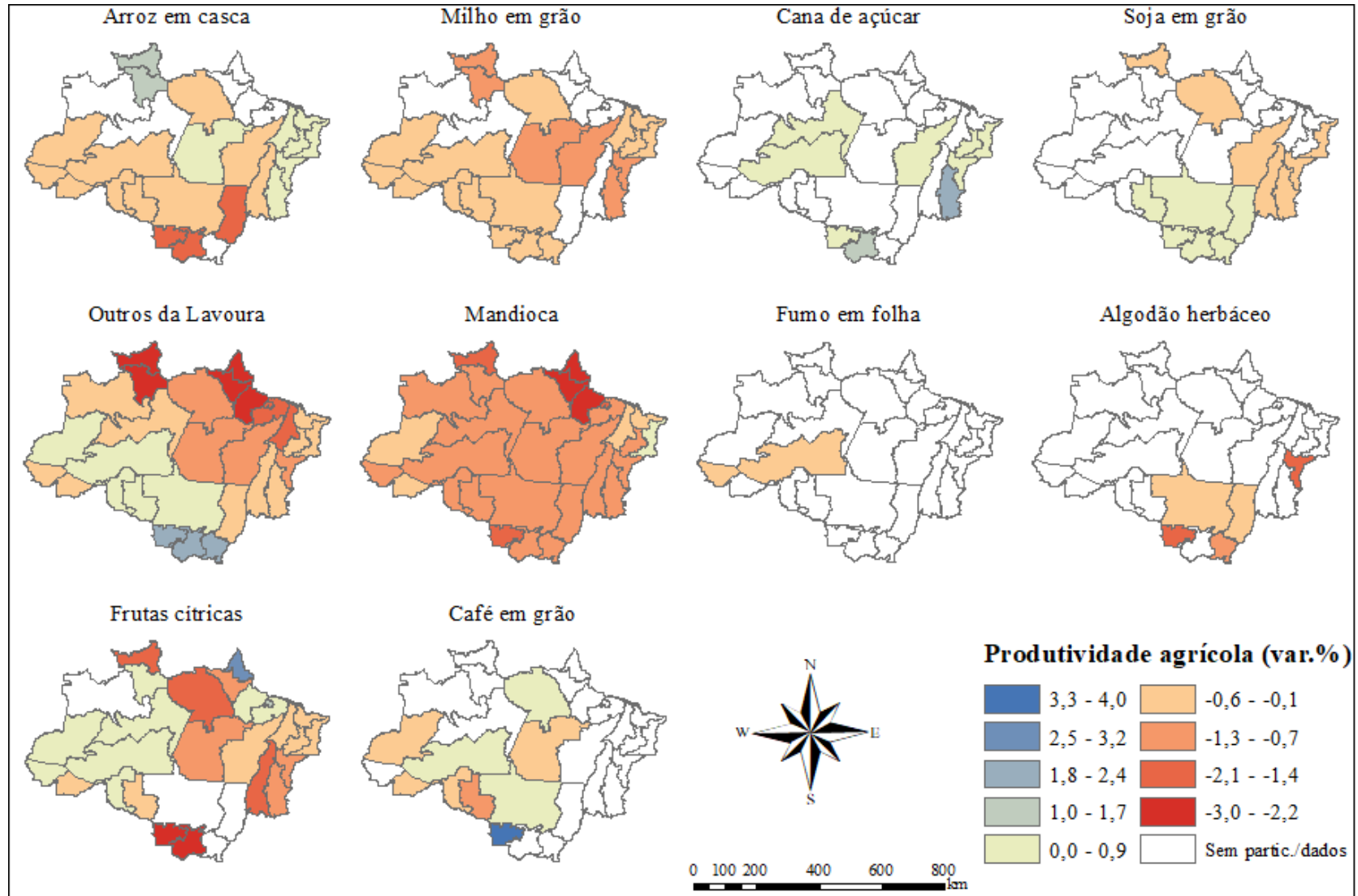
De acordo com as figuras, observa-se que as variações de produtividade agrícola possuem padrão bastante heterogêneo por cultivos e por mesorregiões, ressaltando a importância da projeção incorporando os impactos diferenciados sobre cada cultivo e região. Para auxiliar na melhor identificação das mesorregiões da Amazônia Legal mais afetadas pelas quedas de produtividade agrícola, a Figura 33 e Figura 34 do Apêndice A ilustram as variações de produtividade média da terra agrícola agregada para os períodos 2021-2050 e 2051-2080, em ambos cenários climático.

Figura 17 - Variação média anual de produtividade agrícola por cultivo na Amazônia Legal no período 2021-2080 (RCP 8.5)



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da simulação do modelo econométrico.

Figura 18 - Variação média anual de produtividade agrícola por cultivo na Amazônia Legal no período 2021-2080 (RCP 4.5)



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da simulação do modelo econométrico.

Em relação ao fechamento nas simulações, ou seja, determinação das variáveis endógenas e exógenas, assume-se que as variáveis macroeconômicas e de uso da terra são endógenas. A Tabela 16 apresenta relação de variáveis adotadas no fechamento de cenário das mudanças climáticas.

Tabela 16 - Relação de variáveis do fechamento de cenário das Mudanças Climáticas

Variáveis	Descrição
PIB real (lado da oferta)	
frnorm	Deslocamento da taxa de retorno normal bruta (regional)
frnorm_id	Deslocamento da taxa de retorno normal bruta (nacional)
gtrend	Razão tendencial do investimento sobre o capital (regional)
flab_io	Deslocamento do salário regional
NatMacro("AggEmploy")	Emprego agregado nacional
labslack	Ajuste do emprego agregado
acap, alnd, atot, blab_o, blab_oid	
bint_scd	Variáveis de mudanças tecnológicas
aprim_i	
atradmar_cs	
PIB real (lado da demanda)	
fgovgen	Deslocamento da demanda do governo (nacional)
fgovtot2	Deslocamento da demanda do governo (regional)
fgov_s	Deslocamento da demanda do governo por produto (regional)
shrBoTnom	A participação da Balança Comercial no PIB no longo prazo fixa
invslack	Exogeneização do investimento nacional
fhou	Propensão marginal a consumir (regional)
fpexp	Deslocamento dos preços das exportações
fqexp	Deslocamento da quantidade exportada
fqexp_cs	Deslocamento geral da quantidade exportada
pfimp	Preço dos importados em moeda estrangeira
Impostos	
delPTXRATE	Mudança na taxa de imposto sobre a produção
Distribuição dos Investimentos	
finv4	Deslocamento do investimento de longo prazo
faccum	Deslocamento que ativa a equação de acumulação de capital
delUnity	Variável dummy = 1 para ativar a equação de acumulação de capital
Número de famílias	
nhou	Número de famílias
Módulo de Uso da Terra	
delLnd	Variável dummy = 1 para ativar o módulo de uso da terra
qlndbrd1	Área de terra de "floresta natural e demais usos" nas regiões que não possuem floresta tropical
landtwist	Mudança no uso da terra não causada pelos preços
Numerário	
NatMacro("CPI")	Índice de preços ao consumidor

Fonte: Elaboração própria. Baseado em Carvalho (2014).

4.2.3 Resultados das simulações do modelo REGIA

Nesta seção, os resultados dos impactos econômicos das mudanças climáticas na Amazônia Legal serão apresentados com foco regional, segundo os cenários descritos anteriormente. Os valores apresentados a seguir representam a variação percentual acumulada e devem ser interpretados como desvios em relação ao cenário base, no qual não ocorre os efeitos das mudanças climáticas sobre a agricultura (queda de produtividade da terra). Os resultados para o Brasil e resto do Brasil, apesar de computados pelo REGIA, não serão reportados, uma vez que o Resto do Brasil no modelo é uma região única, que por ser completamente distinta em termos econômicos, climáticos, ambientais, faz com que um valor médio de choques de produtividade, e os resultados associados a este choque não capturem adequadamente os efeitos das mudanças climáticas sobre esta região ampla e heterogênea. Contudo, o choque médio sobre a região (Resto do Brasil) foi efetuado para evitar possíveis vazamentos entre regiões que recebem choques e aquelas que não. Apesar da mudança climática ter repercussões sobre todo o país, o foco do presente será a região da Amazônia Legal.

4.2.3.1 Impactos das mudanças climáticas nos indicadores econômicos regionais

A Tabela 17 reporta os resultados do impacto das mudanças climáticas, em ambos cenários climáticos (RCP 8.5 e RCP 4.5), sobre as principais indicadores econômicos da Amazônia Legal. De acordo com as projeções do modelo REGIA, considerando as diferenças entre os cenários com e sem mudanças climáticas, a mudança do clima causaria impacto negativo sobre todos os principais indicadores econômicos da Amazônia Legal para o período de 2021-2080. A economia da Amazônia Legal sofreria redução do PIB real de 1,92%, no cenário RCP 8.5, mais pessimista, e de 1,68%, no cenário RCP 4.5, cenário no qual políticas mitigatórias são adotadas. Se os custos de MCG na Amazônia Legal até 2080 fossem antecipados para hoje (PIB de 2012 como referência) a uma taxa de desconto intertemporal de 1,0% a.a, o custo em termos de PIB ficaria em torno de R\$ 53,2 bilhões (RCP 8.5) a R\$ 48,7 bilhões (RCP 4.5), o que representaria entre 14% a 13% do PIB da Amazônia Legal em 2012.

Tabela 17 - Impacto das Mudanças Climáticas sobre os indicadores econômicos da Amazônia Legal - Cenários RCP 8.5 e RCP 4.5 (var. % acumulada, 2021-2080)

Indicadores	2021-2080	
	RCP 8.5	RCP 4.5
PIB real	-1,92	-1,68
Consumo das Famílias	-0,86	-0,82
Investimentos	-2,94	-2,82
Exportações	-0,71	-0,90
Emprego	-0,92	-0,87

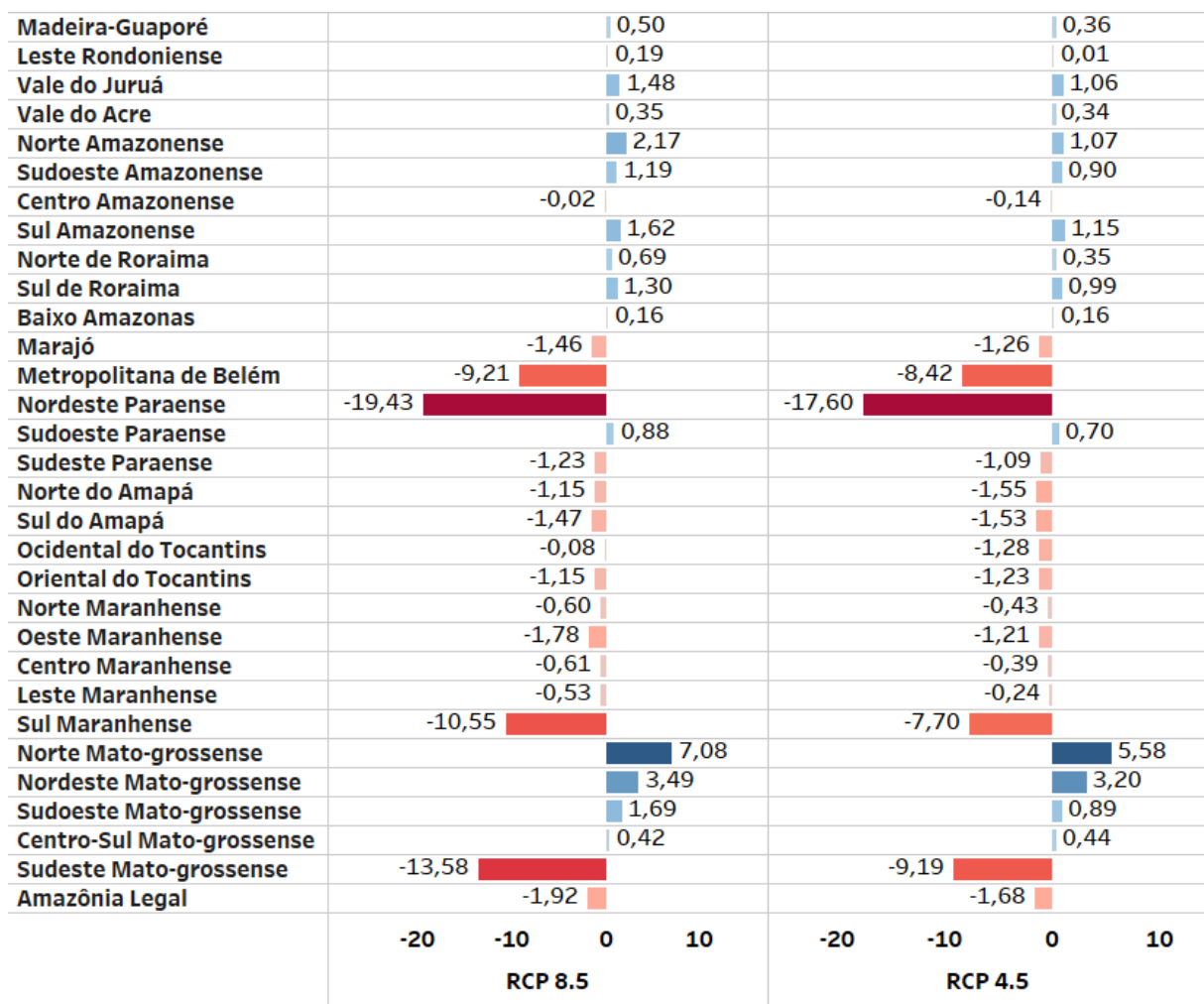
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados das simulações do modelo REGIA.

A principal causa dessa redução do PIB real é a queda do nível de atividade da agricultura, provocada pela perda de produtividade da terra agrícola em decorrência dos efeitos da mudança do clima. Segundo os mecanismos do modelo, a redução de produtividade da terra implica a necessidade de maior uso deste fator para manter pelo menos o mesmo nível de produção. Nesta condição, o preço relativo do fator terra aumenta, e a demanda por outros fatores de produção como trabalho, capital e insumos intermediários tendem a retrair, pois há diminuição de recursos disponíveis para adquiri-los devido a necessidade de alocar uma parcela maior de recursos destinados ao fator terra. Conseqüentemente, a estrutura de custos das firmas sofre mudanças, deixando os produtos domésticos menos competitivos com efeitos negativos sobre o nível de exportações. Ainda, a diminuição da demanda por fatores primários reduz a renda das famílias e das firmas, tendendo a desestimular o consumo de bens intermediários e finais. Por fim, a retração do consumo pode gerar contração de investimentos e impacto negativo sobre o nível de emprego e de produção da economia. Com efeito, os indicadores econômicos apresentados na Tabela 17 como PIB real, consumo das famílias, investimentos, exportações e emprego são todos negativos e, dentre eles, o investimento é o que apresenta maior redução da ordem de -2,94% (RCP 8.5) a -2,82% (RCP 4.5), em 2021-2080.

Sob a perspectiva no nível mesorregional, as regiões não são afetadas homoganeamente. A Figura 19 ilustra o impacto das mudanças climáticas, em termos de variação percentual acumulada, sobre as atividades econômicas por mesorregião da Amazônia Legal para o período de estudo (2021-2080), segundo os cenários RCP 8.5 e RCP 4.5 (a Figura 32 do Apêndice A apresenta estes impactos no mapa). E na Tabela 21 do Apêndice B, encontram-se os resultados para demais indicadores econômicos por mesorregião da Amazônia Legal. Em geral, a economia das mesorregiões da Amazônia Legal sofreriam maior impacto negativo no cenário climático mais pessimista (RCP 8.5) e menor impacto negativo no cenário menos pessimista

(RCP 4.5), conforme esperado. Esse padrão se repete da mesma forma para o caso do impacto positivo, porém, o maior ganho econômico não compensaria a perda para a região, resultando em maior perda do PIB no cenário climático mais pessimista. Esse comportamento pode ser explicado pela magnitude das variações de produtividade agrícola, pois os efeitos climáticos tendem a ser mais intensos, tanto para variações positivas quanto negativas, no cenário RCP 8.5 comparado ao cenário RCP 4.5.

Figura 19 - Impacto das mudanças climáticas sobre o PIB real por mesorregiões da Amazônia Legal (var. % acumulada no período 2021-2080)



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados das simulações do modelo REGIA.

Ainda, observa-se que não há impacto negativo para todas as regiões. Cerca de metade das mesorregiões apresentaram elevação do PIB real em ambos cenários, apesar das quedas generalizadas de produtividade agrícola apresentadas nas Figuras 33 e 34 do Apêndice A. Isso pode ser explicado pelo ganho de produtividade de alguns cultivos como café e cana de açúcar os quais podem ter amenizado, ou até compensado, os efeitos das perdas de produtividade de outros cultivos nas regiões.

Em ambos cenários climáticos, as mesorregiões da Amazônia Legal que sofreriam redução do PIB estão localizadas predominantemente na Amazônia Oriental¹⁵. Por outro lado, a economia das mesorregiões da Amazônia Ocidental se beneficiaria com impacto das mudanças climáticas, com exceção do Centro Amazonense.

Especificamente, as regiões que sofreriam maior dano econômico são Nordeste Paraense, Sudeste Mato-grossense, Sul Maranhense e Metropolitana de Belém. Em ambos cenários climáticos considerados, o Nordeste Paraense apresentaria a maior queda de atividade econômica dentre todas regiões da Amazônia Legal, indicando redução do PIB entre 19,43% e 17,60% para o período de 2021-2080 em relação ao cenário base, para RCP 8.5 e RCP 4.5, respectivamente. Essas reduções são decorrentes da elevada taxa negativa de produtividade média agrícola agregada e da alta participação da agricultura na economia desta região (cerca de 52,9%). Os setores responsáveis pelo impacto negativo mais proeminente são mandioca e “outros da lavoura”, além de apresentarem quedas de produtividade mais intensas no cenário simulado, têm maior peso na atividade agrícola desta região. No caso do Sudeste Mato-grossense, as projeções indicam quedas do PIB de 13,58% (RCP 8.5) e 9,19% (RCP 4.5) em relação ao cenário base. A principal causa decorre da queda significativa de produtividade do algodão, no qual representa 87,3% da agricultura local. Ademais, a agricultura é responsável por 61,2% do nível de atividade da região.

Em contraste, a região do Sul Maranhense, embora apresente menor peso da agricultura na economia em relação aos casos anteriores (cerca de 28%), sofreria perda significativa do PIB da ordem de -10,55% (RCP 8.5) e -7,7% (RCP 4.5) em relação ao cenário base. Esse impacto é devido as reduções de produtividade das principais atividades agrícolas da região, soja e algodão.

Por outro lado, de acordo com as projeções, os efeitos das mudanças climáticas causariam impacto positivo significativo no PIB do Norte Mato-grossense e do Nordeste Mato-grossense. O aumento do PIB no Norte Mato-grossense chegaria a 7,08% (RCP 8.5) e 5,58% (RCP 4.5) em relação ao cenário base. Esse ganho econômico pode ser explicado pela queda fraca de produtividade agrícola agregada e pelo aumento da produtividade de alguns cultivos como soja que tem participação significativa na agricultura da região. Já os resultados para o Nordeste

¹⁵ A Amazônia Oriental é composta pelos seguintes estados: Pará, Maranhão, Amapá, Tocantins e Mato Grosso. Já a Amazônia Ocidental é constituída pela área abrangida pelos estados do Amazonas, Acre e territórios de Rondônia e Roraima.

Mato-grossense indicam aumento do PIB de 3,49% (RCP 8.5) a 3,2% (RCP 4.5), favorecido também pela fraca queda de produtividade agrícola em relação as demais regiões.

Os resultados também não necessariamente estão ligados a atividade agrícola e sua importância na economia. A região Metropolitana de Belém se enquadra neste caso, uma vez que possui apenas 9% do peso da agricultura na sua economia, mas é bem afetada nas projeções, que indicam perda do PIB de -9,21% (RCP 8.5) e -8,42% (RCP 4.5). Apesar dos choques para simular o cenário das mudanças climáticas neste trabalho serem aplicados diretamente apenas na agricultura, os efeitos do clima atingem outros setores na forma de impacto indireto, pois as estruturas da cadeia produtiva numa economia real são interdependentes setorialmente e regionalmente. Assim, os efeitos das reduções de produtividade da terra agrícola se propagam para diferentes setores da economia e para outras regiões onde há transações de mercadorias e insumos. Portanto, é necessário observar estes efeitos no âmbito setorial para avaliar o real magnitude do impacto do clima na economia real. A Tabela 18 reporta os impactos das mudanças climáticas sobre as atividades setoriais por mesorregião da Amazônia Legal para o período de 2021-2080 nos cenários RCP 8.5 e RCP 4.5, em relação ao cenário base. No caso da região Metropolitana de Belém, por exemplo, grande parte da redução do PIB tem origem em repercussões indiretas sobre outros setores da economia, como é o caso do setor de serviços, nível de atividade é bem superior ao do setor agrícola. Nessa região, segundo cenário RCP 8.5 no período 2021-2080, o PIB do setor serviço sofreria redução de 6,25% enquanto o da agricultura reduziria 3,65%, em relação ao cenário base. Já para o cenário RCP 4.5, essa redução seria de 5,69% contra 3,31%, respectivamente. Na agricultura, o cultivo responsável pela perda do PIB agrícola é do setor “outros da lavoura”, que representa cerca de 79% do peso da agricultura da Metropolitana de Belém.

Tabela 18 – Contribuição setorial para a redução do PIB por mesorregião da Amazônia Legal nos cenários RCP 8.5 e RCP 4.5 (desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2021-2080)

Mesorregião	Agricultura		Extrativismo e Silvicultura		Pecuária		Pesca e Aquicultura		Indústria		Serviços	
	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5
MadGuapore	0,42	0,33	-0,05	-0,01	0,01	0,02	-0,02	-0,03	-0,04	-0,06	0,19	0,11
LesteRO	-0,09	-0,07	-0,02	-0,01	0,03	0,01	-0,06	-0,08	-0,02	-0,04	0,35	0,19
ValeJurua	1,40	1,09	-0,02	-0,01	-0,03	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,03	0,19	0,13
ValeAcre	0,26	0,27	-0,05	-0,02	-0,08	-0,03	-0,03	-0,03	-0,01	-0,01	0,23	0,16
NorteAM	2,72	1,37	-0,40	-0,17	0,00	0,00	-0,01	-0,01	0,00	0,00	-0,25	-0,15
SudoesteAM	1,20	1,00	-0,10	-0,04	0,00	-0,01	-0,05	-0,07	0,01	0,01	0,15	0,07
CentroAM	0,09	0,07	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,05	-0,06	-0,13	-0,15	0,06	-0,01
SulAM	1,82	1,39	-0,12	-0,04	-0,02	-0,02	-0,16	-0,18	0,00	-0,01	0,16	0,10
NorteRR	0,29	0,17	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	-0,02
SulRR	1,42	1,15	-0,14	-0,08	-0,04	-0,04	0,00	0,00	-0,02	-0,04	-0,04	-0,05
BaixoAmaz	0,53	0,49	-0,10	-0,05	-0,07	-0,04	-0,07	-0,08	-0,01	-0,03	-0,10	-0,12
Marajo	0,17	0,06	-0,70	-0,41	-0,29	-0,23	-0,38	-0,38	-0,14	-0,15	-0,31	-0,29
MetroBelem	-3,65	-3,31	0,00	0,00	-0,06	-0,05	-0,07	-0,06	-0,56	-0,53	-6,25	-5,69
NordestePA	-21,49	-19,38	-0,25	-0,17	-0,32	-0,29	-0,24	-0,22	-0,59	-0,55	-1,39	-1,27
SudoestePA	1,26	1,13	-0,06	-0,02	0,00	-0,01	-0,18	-0,18	-0,02	-0,05	-0,11	-0,13
SudestePA	0,06	0,04	-0,08	-0,02	-0,11	-0,06	-0,22	-0,23	-0,13	-0,13	-0,85	-0,77
NorteAP	-0,53	-0,88	-0,02	-0,01	-0,12	-0,09	-0,03	-0,03	-0,02	-0,02	-0,80	-0,85
SulAP	-0,12	-0,17	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	0,00	0,00	-0,10	-0,11	-1,47	-1,45
OcidentalTO	0,58	-0,51	-0,01	-0,01	-0,26	-0,26	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,23	-0,59
OrientalTO	-0,83	-0,60	-0,01	-0,01	-0,19	-0,10	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04	-0,15	-0,54
NorteMA	0,19	0,21	-0,02	-0,01	-0,05	-0,03	-0,02	-0,02	-0,07	-0,06	-0,68	-0,56
OesteMA	-0,26	-0,01	-0,05	-0,02	-0,38	-0,23	-0,23	-0,23	-0,25	-0,23	-0,82	-0,66
CentroMA	0,42	0,43	-0,18	-0,09	-0,38	-0,25	-0,21	-0,21	-0,06	-0,06	-0,32	-0,26
LesteMA	0,46	0,52	-0,19	-0,11	-0,23	-0,14	-0,06	-0,06	-0,18	-0,15	-0,36	-0,30
SulMA	-8,18	-5,64	-0,31	-0,23	-0,60	-0,43	-0,11	-0,11	-0,37	-0,31	-1,60	-1,27
NorteMT	6,13	4,87	-0,05	-0,03	0,01	0,04	-0,03	-0,04	0,03	0,01	0,95	0,74
NordesteMT	3,79	3,41	-0,01	0,00	-0,13	-0,07	-0,04	-0,05	-0,01	-0,01	-0,03	0,00
SudoesteMT	0,74	0,29	-0,01	0,00	0,02	0,01	-0,08	-0,11	0,27	0,18	0,70	0,52
CentroSulMT	0,35	0,26	0,00	0,00	-0,03	-0,03	0,00	-0,01	-0,06	-0,05	0,13	0,26
SudesteMT	-9,87	-6,31	-0,05	-0,04	-1,83	-1,31	-0,12	-0,10	-0,21	-0,15	-3,58	-2,41

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da simulação do modelo REGIA.

Uma análise mais pormenorizada da Tabela 18, indica impactos econômicos bastante distintos das mudanças climáticas sobre diferentes setores econômicos da Amazônia Legal, bem como entre mesorregiões.

Obviamente, a agricultura apresenta-se como o setor mais sensível ao clima, registrando maior magnitude de variações sobre suas atividades em relação aos demais setores. Dentre as mesorregiões da Amazônia Legal, o Nordeste Paraense (região 14) sofreria um efeito adverso mais intenso sobre o nível de atividades agrícolas com redução de 21,49% (RCP 8.5) a 19,38% (RCP 4.5) no período 2021-2080. O cultivo responsável por tal desempenho é “outros da lavoura”, sendo responsável por cerca de 88% do total da redução do PIB. Já a agricultura do Norte Mato-grossense (região 26) se beneficiaria majoritariamente com aumento do PIB da agricultura entre 6,13% (RCP 8.5) e 4,87% (RCP 4.5).

Por outro lado, os setores como extrativismo e silvicultura, pecuária, pesca e aquicultura, indústria e serviços, apresentam menor impacto sobre seus respectivos níveis de atividade setorial. Ainda assim, as mudanças climáticas causariam efeitos negativos sobre estes setores devido aos efeitos sobre renda e consumo desencadeados com a redução do nível de atividade e emprego. Portanto, há uma escala de efeitos indiretos das mudanças climáticas na economia.

Vale ressaltar também que, em algumas mesorregiões da Amazônia Legal, as mudanças climáticas provocariam ganho no nível de atividade agrícola e perdas nos demais setores, gerando resultado líquido negativo do PIB. Essas mesorregiões seriam as seguintes: Centro Amazonense (região 6), Marajó (região 12), Sudeste Paraense (região 16), Ocidental Tocantins (região 19), Norte Maranhense (região 21), Centro Maranhense (região 23) e Leste Maranhense (região 24). A região de Marajó, por exemplo, no cenário RCP 8.5, apresenta ganho do PIB agrícola de 0,17% enquanto os setores como extrativismo e silvicultura, pecuária, pesca e aquicultura, indústria e serviços apresentam quedas do PIB, respectivamente, de 0,7%, 0,29%, 0,38%, 0,14% e 0,31%, o que contribuiu para a queda líquida do PIB da região, via efeitos indiretos setoriais e regionais.

Por outro lado, há efeito oposto do caso anterior como em Leste Rondoniense (região 2), onde há perda do PIB agrícola e esse efeito negativo é compensado, em termos líquidos, com ganho do PIB de outros setores.

4.2.3.2 Impactos das mudanças climáticas no uso da terra

Nesta seção, procurou-se avaliar os potenciais efeitos das mudanças climáticas sobre as áreas de lavoura, pasto, floresta plantada e floresta natural na Amazônia Legal, uma vez que a queda de produtividade agrícola da terra, decorrente da mudança do clima, pode alterar significativamente a estrutura produtiva e o padrão de uso da terra da região.

Tendo em vista a heterogeneidade espacial da Amazônia Legal, inclusive a dos efeitos climáticos, espera-se impactos regionais distintos para cada mesorregião. Assim, a análise de resultado por mesorregiões permite observar como os impactos das mudanças climáticas afetam cada região individualmente.

Vale ressaltar, novamente, que os valores dos resultados apresentados a seguir são expressos em desvios acumulados em relação ao cenário base. A Tabela 19 reporta as variações das áreas

(em milhares de hectares) de lavoura, pasto, floresta plantada e floresta natural para o período 2021-2080 em ambos cenários climáticos (RCP 8.5 e RCP 4.5).

Tabela 19 - Impacto das mudanças climáticas sobre uso da terra nos cenários RCP 8.5 e RCP 4.5 (em milhares de hectares, valor acumulado de 2021 a 2080 em relação ao cenário base)

Mesorregiões	Lavoura		Pasto		Floresta Plantada		Floresta Natural	
	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5
1- Madeira-Guaporé	91	68	-38	-25	-4	-3	-49	-41
2- Leste Rondoniense	9	33	-3	-21	-2	-2	-4	-10
3- Vale do Juruá	140	106	-16	-12	-4	-3	-119	-91
4- Vale do Acre	248	169	-98	-63	-5	-3	-145	-103
5- Norte Amazonense	48	35	0	0	-1	-1	-46	-34
6- Sudoeste Amazonense	56	57	-3	-3	-2	-1	-51	-53
7- Centro Amazonense	154	73	-17	-8	-10	-3	-128	-63
8- Sul Amazonense	113	83	-25	-21	-3	-1	-84	-61
9- Norte de Roraima	113	103	-14	-13	-2	-1	-97	-89
10- Sul de Roraima	99	96	-16	-16	-3	-2	-80	-78
11- Baixo Amazonas	586	545	-87	-73	-36	-27	-463	-446
12- Marajó	523	455	-18	-16	-29	-24	-476	-415
13- Metropolitana de Belém	23	23	-12	-11	-5	-4	-7	-7
14- Nordeste Paraense	364	349	-194	-182	-69	-66	-102	-101
15- Sudoeste Paraense	273	246	-61	-53	-16	-10	-196	-183
16- Sudeste Paraense	126	74	-105	-65	-25	-13	4	5
17- Norte do Amapá	150	143	-6	-6	-2	-2	-143	-135
18- Sul do Amapá	259	245	-16	-15	-4	-4	-238	-226
19- Ocidental do Tocantins	59	115	-56	-109	-3	-6	0	0
20- Oriental do Tocantins	19	15	-19	-15	0	0	0	0
21- Norte Maranhense	76	43	-36	-20	-7	-4	-33	-19
22- Oeste Maranhense	70	44	-60	-38	-4	-2	-7	-4
23- Centro Maranhense	55	43	-34	-25	-5	-3	-16	-15
24- Leste Maranhense	3	2	-2	-1	-2	-1	0	0
25- Sul Maranhense	11	9	-10	-8	-1	-1	0	0
26- Norte Mato-grossense	242	142	6	46	-5	0	-242	-187
27- Nordeste Mato-grossense	116	96	-32	-17	-1	1	-82	-80
28- Sudoeste Mato-grossense	-12	-1	10	2	0	0	2	-1
29- Centro-Sul Mato-grossense	16	12	-15	-10	-2	-1	0	0
30- Sudeste Mato-grossense	111	85	-98	-75	-13	-10	0	0
Amazônia Legal	4.142	3.508	-1.075	-872	-265	-198	-2.802	-2.438

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados das simulações do modelo REGIA.

Na seção anterior, os resultados das projeções do REGIA indicaram que a agricultura é particularmente sensível aos efeitos das mudanças climáticas. Assim, espera-se que as variações de uso da terra sejam maiores sobre as áreas de lavouras. Com efeito, nos cenários RCP 8.5 e

RCP 4.5 para o período 2021-2080, os resultados das simulações indicaram maior impacto sobre as áreas de lavoura na Amazônia Legal, com expansão de cerca de 4,1 (RCP 8.5) e 3,5 (RCP 4.5) milhões de hectares em relação ao cenário base.

Como foi descrito anteriormente, segundo os mecanismos do modelo, a queda de produtividade da terra agrícola causada pelos efeitos climáticos pressionam agricultores a usar mais terra para compensar a perda de produtividade agrícola, levando a um processo de conversão de demais usos da terra em direção a lavoura, dado que fator tecnológico se mantém constante. Vale ressaltar que maior uso da terra agrícola não implica necessariamente um aumento da produção agrícola, como pode ser observado nas Tabela 22 e 23 do Apêndice B.

Ainda na Tabela 19, como a área total de uma determinada mesorregião é fixa, ou seja, a área total de uma região não pode variar, o aumento de um determinado uso da terra implica necessariamente na redução, proporcionalmente ao efeito oposto, dos demais usos da terra. Dessa forma, observa-se que a expansão das áreas de agricultura estaria causando a redução das áreas de pasto e/ou florestas na Amazônia Legal. Nota-se maior proporção das perdas das áreas de floresta natural em relação aos demais usos, e portanto, o aumento da lavoura seria dado pelo sacrifício das áreas de florestas naturais.

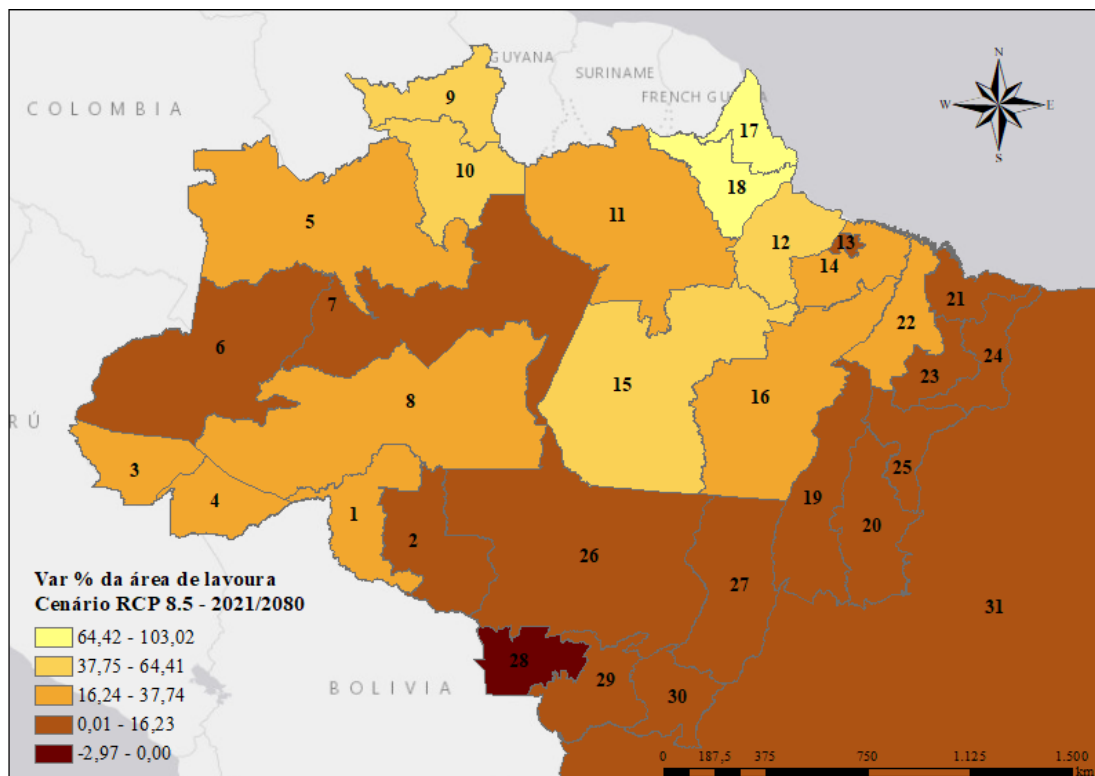
No nível mesorregional, a sensibilidade de conversão das terras não é homogênea visto que cada região possui elasticidades de oferta da terra e quantidade de terras disponíveis distintas, bem como dinâmica própria de crescimento (CARVALHO, 2014). No entanto, todas as mesorregiões apresentam expansão das áreas de lavoura, exceto o Sudoeste Mato-grossense. Tanto no cenário RCP 8.5 quanto no cenário RCP 4.5, as mesorregiões que mais expandiriam as áreas de lavouras em hectares, em relação ao cenário base, seria Baixo Amazonas e Marajó. No caso do Baixo Amazonas, esse aumento seria em torno de 586 a 545 mil hectares, e do Marajó, o aumento da área de lavoura seria da ordem de 523 a 455 mil hectares. Em ambas regiões, a expansão das áreas de lavouras seria direcionada, majoritariamente, ao cultivo de mandioca. A explicação para esse resultado está mais relacionado com as elasticidades mais altas da oferta da terra nestas mesorregiões e possibilidade de conversão segundo a matriz de transição.

A Figura 20 e a Figura 21 ilustram o crescimento percentual acumulado das áreas de lavoura na Amazônia Legal em 2021-2080, segundo os cenários RCP 8.5 e RCP 4.5, respectivamente, em relação ao cenário base. No cenário RCP 8.5, as regiões de maior expansão das áreas de lavoura seriam Norte do Amapá (região 17; 103% acumulado) e Sul do Amapá (região 18; 93%

acumulado). Ambas compõem o estado do Amapá. Essas regiões são justamente as que sofreram maior perda de produtividade agrícola, como pode ser confirmada pela magnitude dos choques, e portanto, esse resultado deve-se ao comportamento de compensar tal perda. Porém, a variação da produção agrícola nessas regiões ainda foi negativa, ou seja, o aumento de uso da terra agrícola não compensaria a queda acentuada de produtividade da terra. Em relação ao cenário RCP 4.5, a magnitude dos efeitos das mudanças climáticas sobre o uso da terra para lavoura é mais suave, mas segue o mesmo padrão e a dinâmica do cenário anterior.

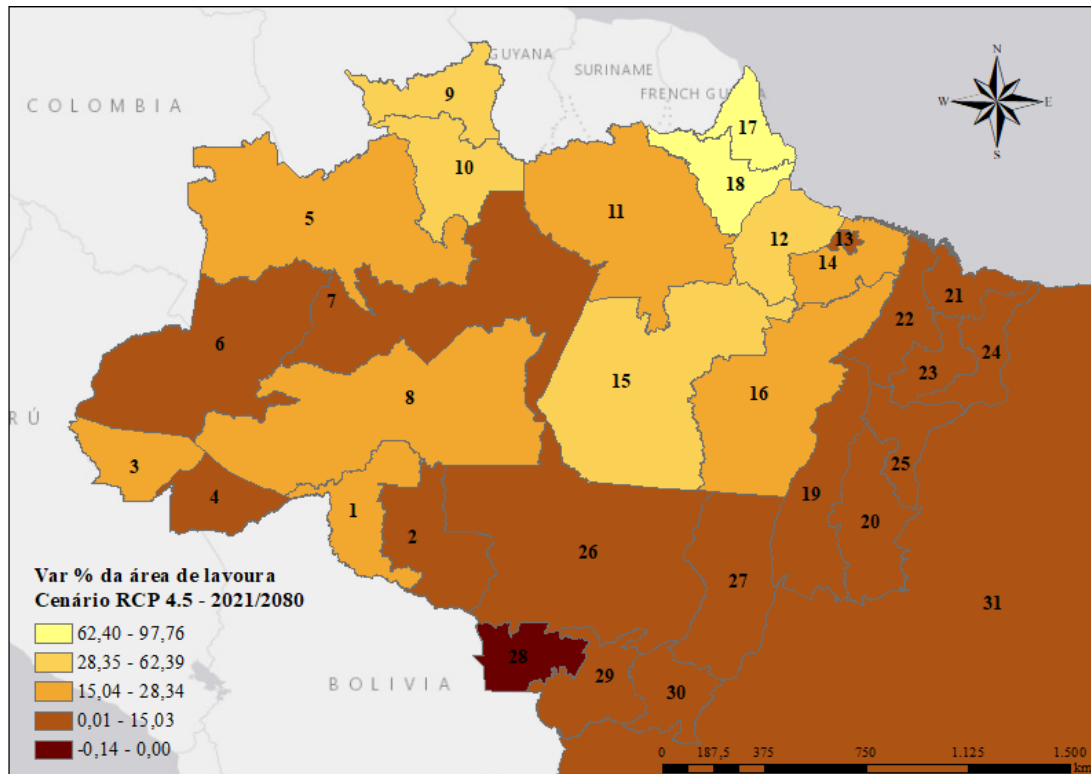
Vale ressaltar que a maior demanda pela terra agrícola, com a queda de sua produtividade, provoca aumento da remuneração (preço) da terra de lavoura. Porém esse aumento do preço não desestimula, com aumento de custos, a expansão das áreas de lavoura, pois a queda generalizada da produção agrícola decorrente da queda de produtividade permite a elevação significativa de preço deste bem, mantendo incentivo a expandir a agricultura.

Figura 20 - Variações das áreas de lavouras por mesorregião da Amazônia Legal para o cenário RCP 8.5 - desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2021-2080



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados das simulações do modelo REGIA.

Figura 21 - Variações das áreas de lavouras por mesorregião da Amazônia Legal para o cenário RCP 4.5 - desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2021-2080



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados das simulações do modelo REGIA.

Em relação às áreas de pasto, como pode ser verificado na Tabela 19, a Amazônia Legal perde terras do setor pecuário em torno de 1 milhão de hectares acumulado no cenário RCP 8.5 em 2080; no cenário RCP 4.5, a perda é de 872 mil hectares.

Em geral, as áreas de pasto são reduzidas para grande maioria das mesorregiões consideradas. Dentre os fatores de uso da terra (lavoura, pasto e floresta plantada¹⁶), o pasto é o que sofreria maior impacto negativo. Segundo Carvalho (2014), o comportamento da quantidade de áreas para cada uso da terra no modelo REGIA é determinado principalmente pela variação da remuneração dos usos. Portanto, a principal causa do decréscimo das áreas de pasto pode ser atribuída à maior perda da remuneração de pasto em relação aos demais usos.

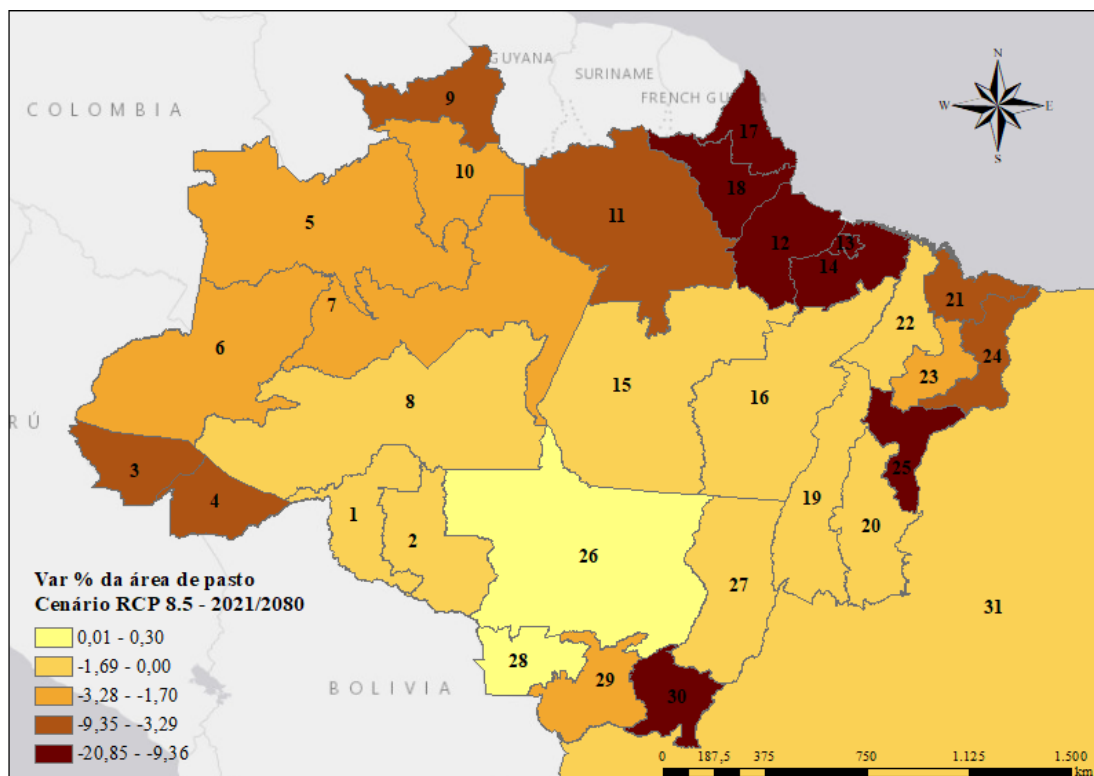
A mesorregião que se destaca com a maior área de pasto perdida é o Nordeste Paraense no valor de -194 (RCP 8.5) e -182 (RCP 4.5) mil hectares acumulados em relação ao cenário base no ano 2080. Nesse caso, diferentemente do caso geral, a proporção de conversão da terra de pasto para lavoura foi maior do que floresta para lavoura. A causa disso repousa no menor peso da pecuária na economia do Nordeste Paraense (apenas 5,4%) em relação aos demais setores de

¹⁶ Vale ressaltar que as áreas de “floresta natural” não são utilizadas como fator primário de terra por nenhum setor da produção no modelo REGIA.

uso da terra (agricultura 52,9%; extrativismo e silvicultura 21,9%), que desestimularia o uso da terra para pasto mesmo com a queda de produtividade da terra de lavoura.

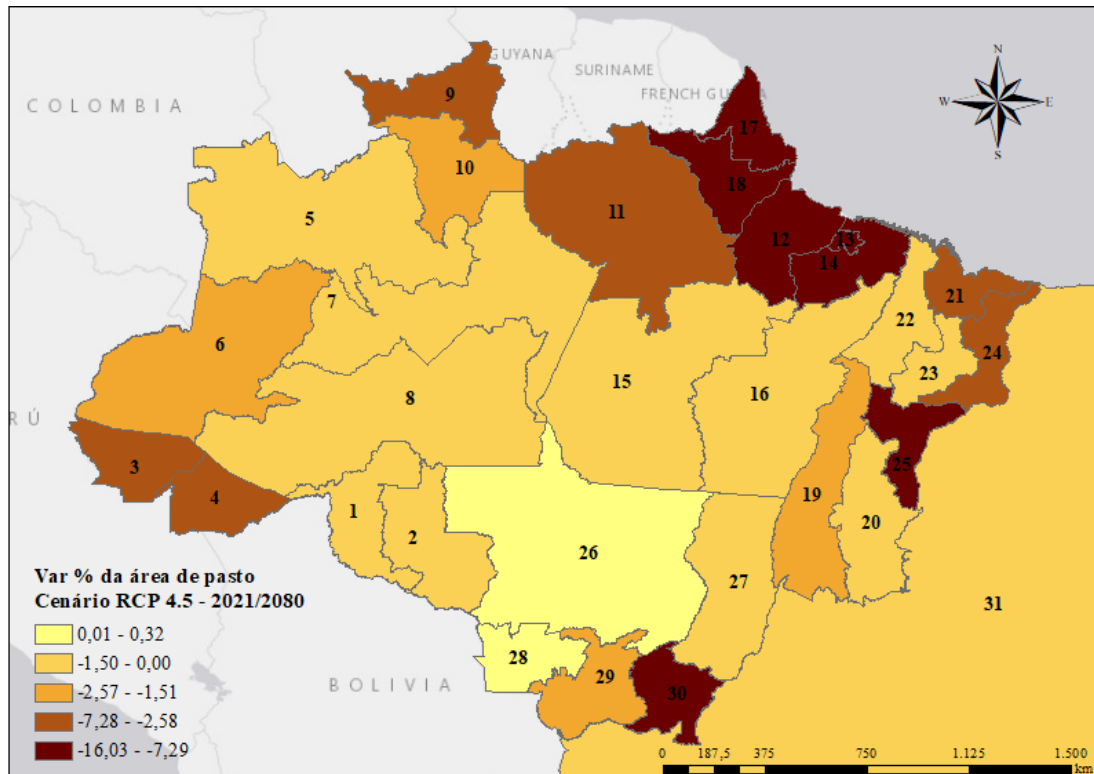
A Figura 22 e a Figura 23 mostram o impacto das mudanças climáticas sobre as áreas de pasto em termos de variação percentual acumulada, em relação ao cenário base, para o período 2021-2080 nos cenários RCP 8.5 e 4.5, respectivamente. De acordo com as figuras, as mesorregiões que apresentaram maior impacto negativo seriam Sudeste Mato-grossense (região 30), Nordeste Paraense (região 14), Marajó (região 12), Norte do Amapá (região 17), Sul do Amapá (região 18), Metropolitana de Belém (região 13) e Sul Maranhense (região 25), com quedas de 20,8%, 10,8%, 10,7%, 9,6%, 9,6%, 9,4% e 9,4%, respectivamente, no cenário RCP 8.5. O cenário RCP 4.5, segue mesmo padrão com magnitude um pouco menor. A razão dessas quedas reside no aumento do preço (remuneração) da terra de pasto nestas regiões. Diferentemente do caso da agricultura, esse aumento do custo é proveniente da queda de oferta de pasto devido às conversões de terras para as áreas de lavoura, dado que a demanda por pasto não sofre grande alteração como em lavoura.

Figura 22 - Variações das áreas de pasto por mesorregião da Amazônia Legal para o cenário RCP 8.5 - desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2021-2080



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados das simulações do modelo REGIA.

Figura 23 - Variações das áreas de pasto por mesorregião da Amazônia Legal para o cenário RCP 4.5 - desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2021-2080



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados das simulações do modelo REGIA.

No tocante à floresta plantada, pode-se observar a redução geral destas áreas, conforme mostrada na Tabela 19, mas a magnitude desta redução é menor quando comparada a de pasto. Isso significa que o aumento do preço (remuneração) da terra de floresta plantada foi relativamente menor do que para pasto. A Amazônia Legal perderia 265 e 198 mil hectares nos cenários RCP 8.5 e RCP 4.5, respectivamente, o que representa 2,8% a 2,1% da área de floresta natural da região de 2005¹⁷. Dentre as mesorregiões da Amazônia Legal, em termos de áreas em hectares, o Nordeste Paraense sofreria maior diminuição da floresta plantada da ordem de 66 mil hectares a 69 mil conforme os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, respectivamente. Entretanto, esse resultado afetaria pouco a economia desta região, como pode ser observada na Tabela 18, apesar dela ser a que teria o PIB real mais prejudicado entre todas mesorregiões da Amazônia Legal e possuir segunda maior participação de produção regional do setor de extrativismo/silvicultura.

A Figura 24 e a Figura 25 mostram o impacto em cada mesorregião das mudanças climáticas sobre as áreas de floresta plantada em termos de variação percentual acumulada, em relação ao cenário base, para o período 2021-2080 nos cenários RCP 8.5 e 4.5, respectivamente. De acordo

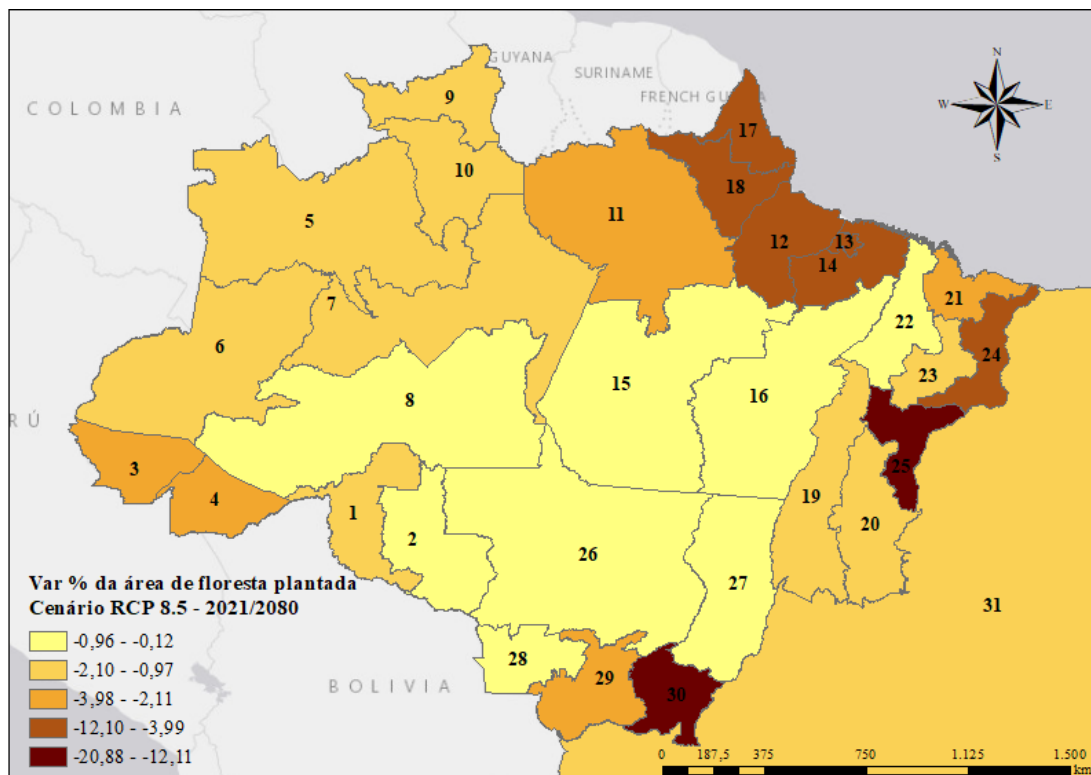
¹⁷ As áreas de floresta plantada da Amazônia Legal de 2005 foram extraídas do banco de dados do REGIA.

com as figuras, as mesorregiões mais impactadas negativamente seriam: Sudeste Mato-grossense (região 30) e Sul Maranhense (região 25), com queda de 20,9% e 12,1%, respectivamente, segundo o cenário RCP 8.5; Sudeste Mato-grossense, novamente, com queda de 16%, segundo o cenário RCP 4.5. A causa dessa redução é devido a restrição do desmatamento (uso da terra de floresta natural) que foi estabelecida no fechamento do modelo¹⁸. Com isso, a expansão da agricultura dessa região impactaria negativamente em direção às áreas de florestas plantadas, o que também ocorre para pasto.

Apesar da elevada magnitude da redução das áreas de floresta plantada para estas regiões, o impacto sobre a redução do PIB real é relativamente baixo, como pode ser observado na Tabela 18. Isso se deve ao peso do setor “extrativismo e silvicultura” ser bem pequeno: 4,8% para Sul Maranhense e apenas 0,4% para Sudeste Mato-grossense.

Por outro lado, a região de Marajó não apresentaria grande perda das áreas de floresta plantada: queda de 2,2% e 1,7% para os cenários RCP 8.5 e RCP 4.5, respectivamente. Porém, seria o local mais prejudicado dentre os setores de “extrativismo e silvicultura” (Tabela 18), pois esse setor corresponde a 54,1% do PIB desta região.

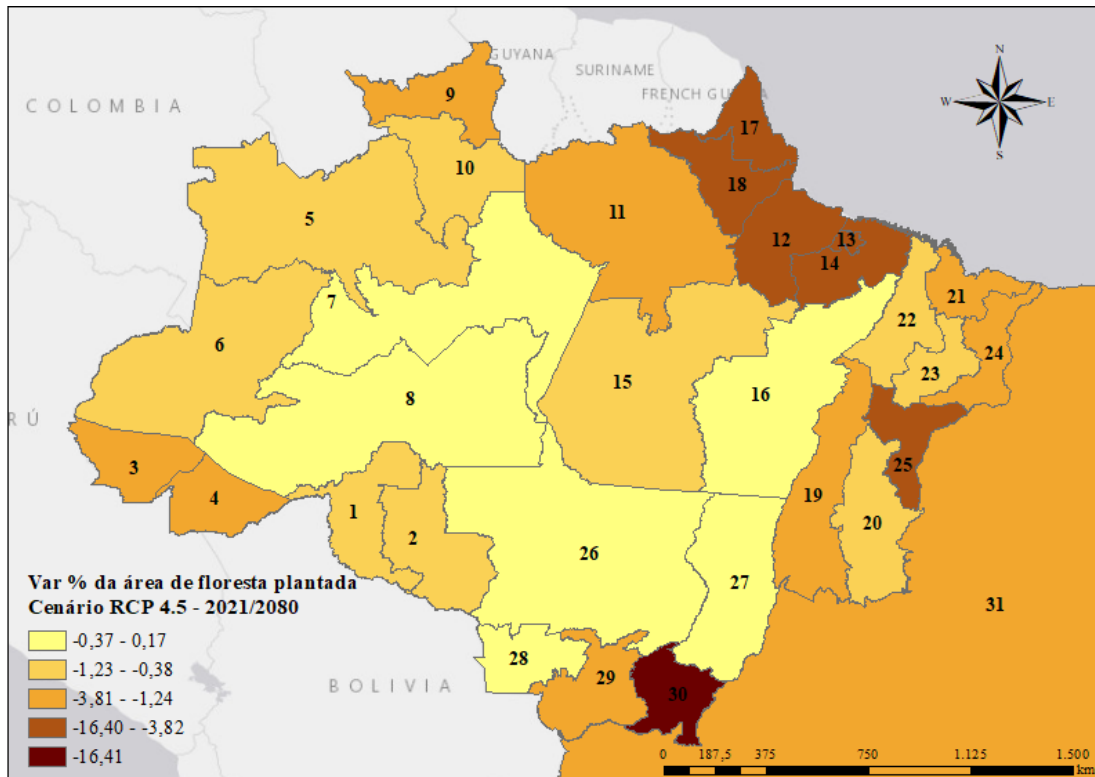
Figura 24 - Var. das áreas de floresta plantada por mesorregião da Amazônia Legal para o cenário RCP 8.5 – desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2021-2080



¹⁸ Esta restrição de desmatamento foi estabelecida para a região do REGIA, “que não possui floresta tropical e onde a capacidade de expansão da agropecuária via desmatamento seja pequena” (CARVALHO, 2014, p. 111).

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados das simulações do modelo REGIA.

Figura 25 - Var. das áreas de floresta plantada por mesorregião da Amazônia Legal para o cenário RCP 4.5 - desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2021-2080



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados das simulações do modelo REGIA.

Por fim, em relação às áreas de floresta natural, observa-se a queda acentuada destas áreas na Tabela 19, o que configura um recrudescimento do desmatamento. Para o caso de floresta natural no REGIA, o valor negativo aqui pode ser interpretado como aumento das áreas de desmatamento. O impacto seria a perda em torno de 2,8 a 2,4 milhões de hectares, segundo os cenários RCP 8.5 e RCP 4.5 respectivamente, no acumulado até 2080, o que equivale aproximadamente a um desmatamento do tamanho do estado do Alagoas, no cenário mais pessimista. Ainda, percebe-se que a perda das áreas de floresta natural é causada integralmente pela expansão das áreas agrícolas, ou seja, a conversão de terra da floresta natural ocorre na direção da lavoura.

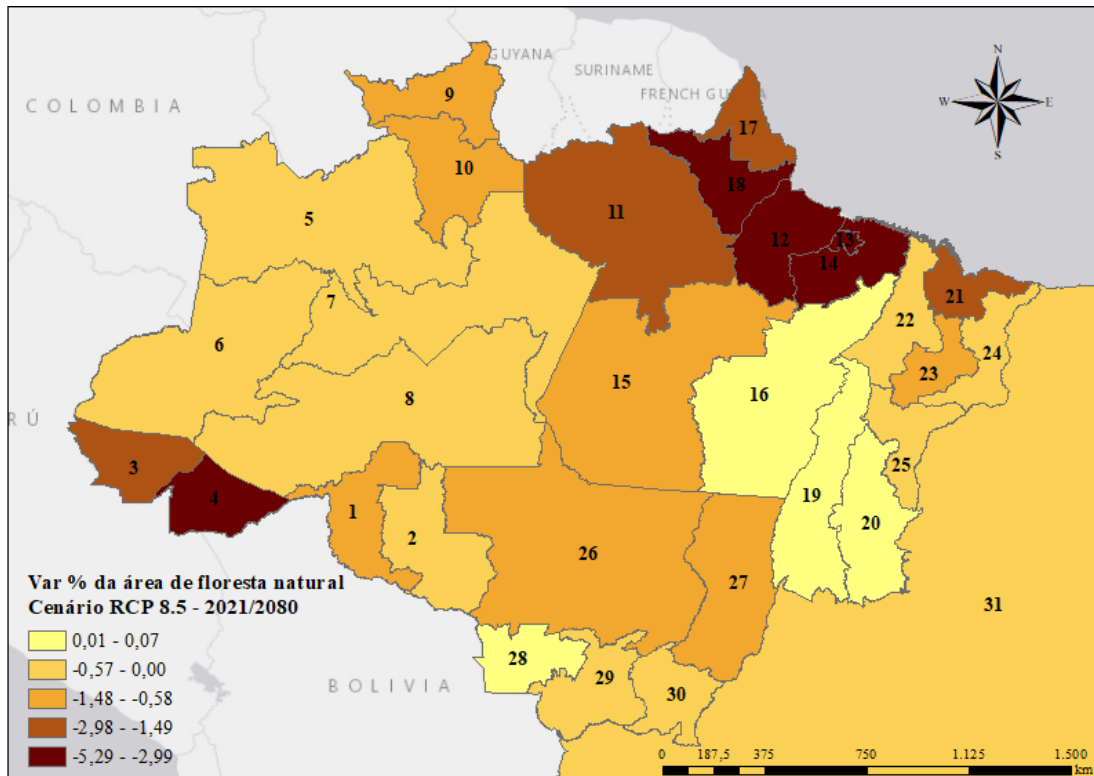
Desse modo, os resultados sugerem que os impactos das mudanças climáticas sobre a produtividade agrícola tenderiam a estimular o desmatamento na Amazônia Legal. Outros estudos também indicam esta tendência, mesmo utilizando outras metodologias, como a econometria. Esse padrão, por exemplo, também é reproduzido nas projeções de estudos de Ferreira (2015) e projeções para outros biomas, como as projeções realizadas para Minas Gerais (FIPE-FEAM, 2011) e para todas regiões do Brasil (BARBOSA, 2011; FÉRES; REIS; SPERANZA, 2009). Portanto, os estudos empíricos sugerem que a mudança do clima tem

potencial para elevar as áreas de desmatamento e esse efeito tende a ser maior no cenário climático mais pessimista.

Dentre as mesorregiões com maior área desmatada nas projeções estão Baixo Amazonas e Marajó, com 446 e 415 mil hectares desmatados, respectivamente, no cenário RCP 4.5. Isto equivale a cerca de 1,4% e 4,2% das áreas de floresta natural destas mesorregiões. E o desmatamento aumenta para 463 e 476 mil hectares, respectivamente, no cenário climático pior (RCP 8.5).

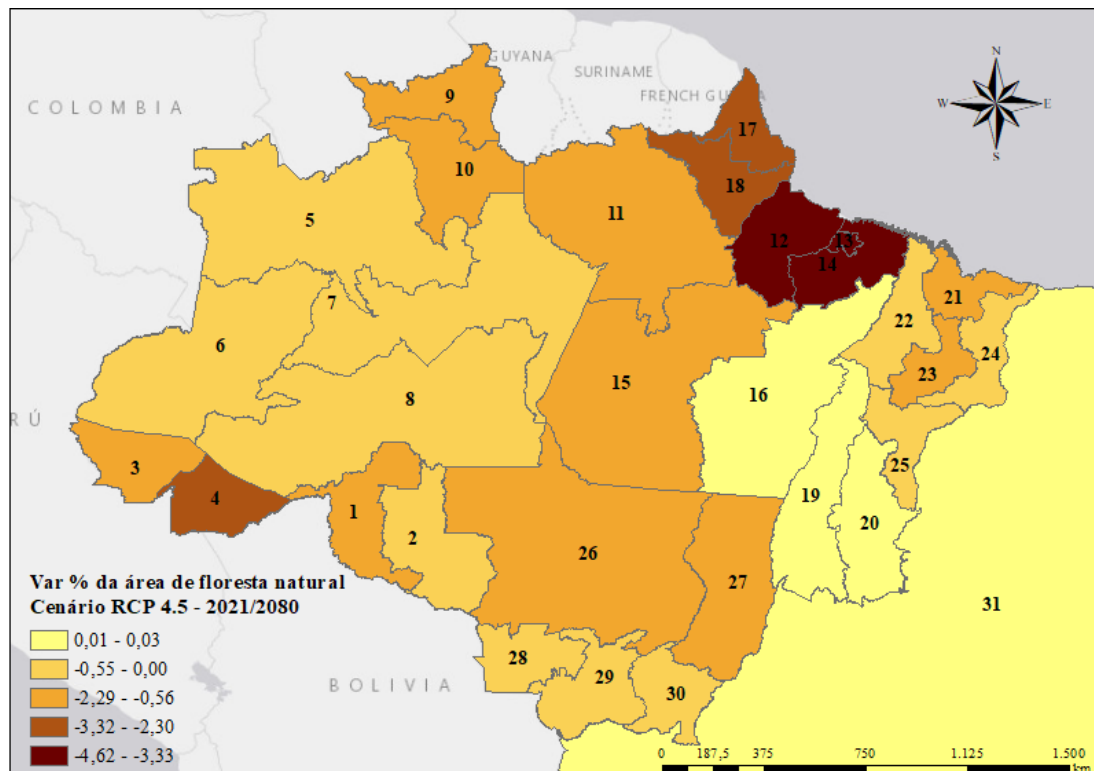
A Figura 26 e a Figura 27 mostram o impacto das mudanças climáticas sobre as áreas de floresta natural (ou desmatamento) em termos de variação percentual acumulada, em relação ao cenário base, para o período 2021-2080 nos cenários RCP 8.5 e 4.5, respectivamente. Neste caso, esta taxa pode ser interpretada como a taxa de desmatamento. As mesorregiões mais desmatadas são: Vale do Juruá, Marajó, Metropolitana do Belém, Nordeste Paraense e Sul do Amapá, com aumento do desmatamento de 3,2%, 5,3%, 3,4%, 3,6% e 3%, respectivamente, no cenário RCP 8.5; Marajó, Metropolitana do Belém e Nordeste Paraense, com aumento do desmatamento de 4,6%, 3,3% e 3,6%, respectivamente, no cenário RCP 4.5. A magnitude desses efeitos é relativamente baixa considerando o histórico, cuja taxa de desmatamento entre 2004 a 2015 foi de 78%, segundo PRODES/INPE. Nota-se que o pior cenário climático causaria maior desmatamento, atingindo maiores regiões e em nível mais elevado.

Figura 26 - Var. das áreas de floresta natural por mesorregião da Amazônia Legal para o cenário RCP 8.5 - desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2021-2080



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados das simulações do modelo REGIA.

Figura 27 - Var. das áreas de floresta natural por mesorregião da Amazônia Legal para o cenário RCP 4.5 - desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2021-2080



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados das simulações do modelo REGIA.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação simulou os impactos econômicos das mudanças climáticas na Amazônia Legal, com o objetivo de identificar os potenciais danos econômicos setoriais e regionais, dado que conforme a literatura, os efeitos das mudanças climáticas globais são heterogêneos e há carência de estudo econômico sobre o tema nesta região. O diferencial deste trabalho é por estar baseado nos novos cenários climáticos (RCP 8.5 e RCP 4.5) do AR5 IPCC e por utilizar o modelo de EGC regional, o REGIA. Este modelo possui detalhamento regional e setorial, com possibilidade de preços flexíveis e deslocamento de fatores entre setores e regiões, para a Amazônia Legal, e portanto, adequado para capturar a heterogeneidade dos efeitos das mudanças climáticas na região.

As simulações representam variações sobre a produtividade agrícola decorrentes de mudanças no níveis de precipitação e temperatura entre 2021 e 2080, conforme dados do INPE e IPCC. Em linhas gerais, as projeções econômicas indicaram reduções do PIB e dos principais indicadores econômicos na Amazônia Legal, em ambos cenários climáticos considerados. Dentre eles, o investimento seria o componente a sofrer a maior retração na região. Contudo, o impacto negativo sobre o PIB pode ser considerado relativamente baixo considerando que o horizonte de tempo analisado (2021 a 2080) foi bastante extenso. A queda acumulada do PIB em -1,92% no cenário RCP 8.5, equivale a uma média anual de -0,03%. Nesse ponto, deve-se ressaltar dois pontos:

- a) O comportamento adaptativo dos produtores diante dos efeitos climáticos ameniza os custos econômicos extremos. Como Mendelsohn et al. (1994) observaram, os cálculos que consideram apenas a queda de produtividade sem considerar a possibilidade de produtores poderem migrar (adaptar) para outra atividade mais rentável tende a superestimar as perdas econômicas. Desse modo, o mecanismo de ajuste de mercado (inclusive a adaptação das firmas) e de preços incorporado no modelo de EGC tende a não potencializar os efeitos econômicos da mudança do clima.
- a) Não inclusão de todos os possíveis efeitos climáticos no modelo tende a subestimar as perdas econômicas. Assim, como esta dissertação considera apenas a queda de produtividade agrícola nas simulações sem incorporar outros possíveis efeitos das mudanças climáticas sobre a região, os resultados deste trabalho podem ser considerados como um limite inferior dos potenciais impactos, dado que podem haver inúmeros fatores decorrentes das alterações climáticas que intensificariam as potenciais

perdas econômicas, tais como elevação do nível do mar, crise hídrica, diminuição das ofertas de energia elétrica, catástrofes naturais, entre outros.

No entanto, sob uma perspectiva mesorregional, verificou-se um quadro bastante diferenciado espacialmente. Os efeitos climáticos sobre a economia da Amazônia Legal por mesorregião são bastante heterogêneos, conforme aponta a literatura. Algumas mesorregiões seriam impactadas negativamente com diferentes níveis de magnitudes e, de modo semelhante, outras seriam beneficiadas em termos econômicos. As mais negativamente afetadas seriam Nordeste Paraense, Sudeste Mato-grossense, Sul Maranhense e Metropolitana de Belém. Estas apresentaram, de maneira geral, perdas elevadas de taxa de produtividade da terra dos cultivos mais importantes para agricultura de cada região. Já as mais favorecidas seriam Norte Mato-grossense e Nordeste Mato-grossense, com baixo nível das perdas de produtividade agrícola e até com aumento de produtividade como da cana de açúcar e do café.

Por outro lado, de acordo com as projeções do REGIA, as regiões mais pobres não necessariamente foram as mais atingidas com redução do PIB ou do emprego. Entretanto, esse resultado tem grande possibilidade de estar subestimado considerando que há fatores como elevado grau de economia de subsistência e emprego informal nas regiões mais pobres, os quais o modelo de EGC não consegue capturar.

Outro resultado projetado nas simulações refere-se ao aumento da taxa de desmatamento na região. As projeções sugerem crescimento das áreas desmatadas e aumento da lavoura na Amazônia Legal como uma das consequências dos efeitos climáticos sobre a produtividade agrícola. A dinâmica consiste basicamente na expansão das áreas de lavoura que pressionam outros usos da terra para redução das áreas de pasto e florestas. O processo de conversão projetado pelo modelo, contudo, diverge de estudos econométricos para a região (BARBOSA, 2011; FÉRES; REIS; SPERANZA, 2009; FERREIRA, 2015), dado que estes apontam para o aumento das áreas de pastos, principalmente. A possível causa da divergência repousa no mecanismo de ajuste de mercado e de preços dos modelos de EGC, dado que neste caso, há possibilidade de preços flexíveis e deslocamento de fatores produtivos entre setores e regiões, o que não acontece em modelos de equilíbrio parcial.

Em síntese, as magnitudes dos impactos negativos e positivos são maiores no cenário climático mais pessimista (RCP 8.5) do que o cenário RCP 4.5 (menos pessimista), conforme esperado. Esse resultado vai de encontro com a literatura sobre o tema.

Com estes resultados, o presente trabalho procurou contribuir com as respostas aos possíveis efeitos climáticos na economia da Amazônia Legal ao longo deste século. Identificar as possíveis perdas econômicas decorrentes das mudanças climáticas é relevante, pois há crescente necessidade de implementação de políticas de mitigação e/ou adaptação para enfrentar e prevenir danos mais intensos no futuro próximo, tendo em vista que as ocorrências de catástrofes naturais tem se tornado mais frequentes nas últimas décadas e provocando prejuízos econômicos maiores. Nesse contexto, o setor de agropecuária necessita de uma atenção especial, pois diversos estudos apresentam a produção deste setor como a mais vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas (Margulis e Dubeux, 2010, FIPE-FEAM, 2011, Domingues et. al, 2016, Feres et. al, 2009). Assim, o incentivo às pesquisas que visam aumentar a produtividade e resistência dos cultivos (melhoramento genético e outras técnicas adaptativas e sustentáveis), como as já praticadas pela Embrapa e Emater são fundamentais. Além disso, é necessário implementar políticas públicas (políticas adaptativas) para promover a transferência destas técnicas desenvolvidas aos produtores rurais, dado que parcela significativa da produção agropecuária da Amazônia Legal (agricultura familiar) tende a ter maior restrição para se adaptar às mudanças climáticas.

Por fim, é importante ressaltar as limitações do trabalho, dado que não foram incluídos fatores adicionais, que pela falta de disponibilidade de dados e limitações metodológicas impossibilitam, por exemplo, capturar mecanismos endógenos de mudança tecnológica por parte dos produtores ou estimar com maior acuidade os choques de produtividade via inclusão de elementos topográficos e mais específicos de cada região, além dos impactos sobre a pecuária. Na agenda de pesquisa, estão, portanto, parte destas limitações, como a incorporação de questões tecnológicas e hídricas nos modelos de equilíbrio geral e integração metodológica com outros modelos. Além disso, as futuras pesquisas devem ser cada vez mais interdisciplinares, envolvendo diversas áreas da ciência, pois a mudança climática é um tema complexo e abrangente. Para tal, torna-se imprescindível o papel de rede de pesquisa, que seja capaz de envolver os pesquisadores de diversas áreas da ciência para promover um estudo interdisciplinar.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, R. M. et al. Implications of global climate change for western agriculture. **Western Journal of Agricultural Economics**, p. 348–356, 1988.
- ADAMS, R. M. Global climate change and agriculture: an economic perspective. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 71, n. 5, p. 1272–1279, 1989.
- ADAMS, R. M. et al. Global climate change and US agriculture. **Nature**, v. 345, n. 6272, p. 219, 1990.
- ARMINGTON, P. S. A theory of demand for products distinguished by place of production. **Staff Papers**, v. 16, n. 1, p. 159–178, 1969.
- ASSUNÇÃO, J.; CHEIN, F. Climate change and agricultural productivity in Brazil: future perspectives. **Environment and Development Economics**, v. 21, n. 5, p. 581–602, 2016.
- BARBOSA, E. C. P. **Mudanças climáticas e o padrão do uso do solo no Brasil**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2011.
- BRAGANÇA, A. A. Mudanças Climáticas, Adaptação e Agricultura no Brasil. REDECLIMA, 2015.
- BURFISHER, M. E. **Introduction to computable general equilibrium models**. [s.l.] Cambridge University Press, 2011.
- CARVALHO, T. S. **Uso do Solo e Desmatamento nas Regiões da Amazônia Legal Brasileira: condicionantes econômicos e impactos de políticas públicas, 2014, 219 p.** [s.l.] Tese de Doutorado). Belo Horizonte: Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar) Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.
- CARVALHO, T. S.; DOMINGUES, E. P.; HORRIDGE, J. M. Controlling deforestation in the Brazilian Amazon: Regional economic impacts and land-use change. **Land Use Policy**, v. 64, p. 327–341, 2017.
- 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**, v. 3, n. 5, p. 512–525, 2014.
- CUNHA, D. A.; COELHO, A. B.; FÉRES, J. G. Irrigation as an adaptive strategy to climate change: an economic perspective on Brazilian agriculture. **Environment and Development Economics**, v. 20, n. 1, p. 57–79, 2015.
- CUNHA, D. A. DA et al. Irrigação como estratégia de adaptação de pequenos agricultores às mudanças climáticas: aspectos econômicos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, n. 2, p. 369–386, 2013.
- DARWIN, R. et al. **World agriculture and climate change: Economic adaptations**. [s.l.: s.n.].
- DE SOUZA FERREIRA FILHO, J. B.; HORRIDGE, M. Ethanol expansion and indirect land use change in Brazil. **Land Use Policy**, v. 36, p. 595–604, 2014.

DOMINGUES, E. P. **Dimensão regional e setorial da integração brasileira na Área de Livre Comércio das Américas**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2002.

DOMINGUES, E. P. et al. Cenários de mudanças climáticas e agricultura no Brasil: impactos econômicos na região Nordeste. 2008.

DOMINGUES, E. P.; MAGALHÃES, A. S.; RUIZ, R. M. Cenários de mudanças climáticas e agricultura no Brasil: impactos econômicos na região Nordeste. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 42, n. 2, p. 229–246, 2016.

DOWNING, T.; WATKISS, P. Overview: The Marginal Social Costs of Carbon in Policy Making: Applications. **Uncertainty and a Possible Risk Based Approach**, 2003.

EVENSON, R. E.; ALVES, D. C. O. Technology, climate change, productivity and land use in Brazilian agriculture. **Planejamento e políticas públicas**, n. 18, 1998.

FARIA, W. R. **Modelagem e avaliação de fenômenos relacionados ao uso da terra no Brasil**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2012.

FARIA, W. R.; HADDAD, E. A.. **Climate Change Economics**, v. 8, n. 01, p. 1750002, 2017.

FARMER, J. D. et al. A third wave in the economics of climate change. **Environmental and Resource Economics**, v. 62, n. 2, p. 329–357, 2015.

FERES, J. G. et al. **Assessing the Impact of Climate Change on the Brazilian Agricultural Sector**. 46th Congress, July 20-23, 2008, Rio Branco, Acre, Brasil. **Anais...2008**

FÉRES, J.; REIS, E.; SPERANZA, J. **Mudanças climáticas globais e seus impactos sobre os padrões de uso do solo no Brasil**. XXXVII Encontro Nacional de Economia, 2009, Foz do Iguaçu. **Anais...2009**

FERREIRA-FILHO, J.; HORRIDGE, M. **Endogenous land use and supply, and food security in Brazil**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://ideas.repec.org/p/cop/wpaper/g-229.html>>.

FERREIRA FILHO, J. B. DE S.; MORAES, G. I. DE. Climate change, agriculture and economic effects on different regions of Brazil. **Environment and Development Economics**, v. 20, n. 01, p. 37–56, 2014.

FERREIRA FILHO, J. B.; HORRIDGE, M. Ethanol expansion and indirect land use change in Brazil. **Land Use Policy**, v. 36, p. 595–604, 2014.

FERREIRA, M. D. P. Climate change, farm size and land use in Brazilian Legal Amazon. 2015.

FIPE/FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. Avaliação de impactos de mudanças climáticas sobre a economia mineira: relatório resumo. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2011. 46p.

FRISCH, R. A complete scheme for computing all direct and cross demand elasticities in a model with many sectors. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, p. 177–196,

1959.

HADDAD, E. A. **Retornos crescentes, custo de transporte e crescimento regional**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2004.

HADDAD, E. A. et al. Impactos Econômicos das Mudanças Climáticas no Brasil. 2010.

HARGRAVE, J.; MOTTA, R. S. DA; LUEDEMANN, G. Análises de custo-benefício das mudanças climáticas. **Motta, RS; Hargrave, J.; Luedemann, G.; Gutierrez, MB S (Eds.). Mudança do Clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios**. Brasília, IPEA, 2011.

HORRIDGE, M. The TERM model and its database. In: **Economic Modeling of Water**. [s.l.] Springer, 2012. p. 13–35.

HORRIDGE, M. Preparing a Term bottom-up regional database. **Preliminary Draft, Centre of Policy Studies, Monash University**, 2006.

IPCC. Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática. **Quarto Relatório de Avaliação**, 2007.

IPCC. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-IntegrationBrochure_FINAL.pdf>.

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**. [s.l.] IPCC, 2014b. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf>.

MAGALHÃES, A. S. **O comércio por vias internas e seu papel sobre o crescimento e desigualdade regional no Brasil**. [s.l.] Banco do Nordeste de Brasil, 2011.

MAGALHÃES, A. S. **Economia de baixo carbono no Brasil: Alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa**. 2013. 290 f. [s.l.] (Tese de Doutorado) Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

MAGALHÃES, A. S.; DOMINGUES, E. P. Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa. **Texto para discussão**, n. 491, 2013.

MARCOTT, S. A. et al. A reconstruction of regional and global temperature for the past 11,300 years. **science**, v. 339, n. 6124, p. 1198–1201, 2013.

MARENGO, J. A. O futuro clima do Brasil. **Revista USP**, n. 103, p. 25–32, 2014.

MARGULIS, S.; DUBEUX, C. B. S. **Economia da mudança do clima no Brasil: custos e oportunidades**. São Paulo: IBEP Gráfica, 2010.

MASSETTI, E. et al. The Impact of Climate Change on the Brazilian Agriculture: A Ricardian Study at Microregion Level. 2013.

MENDELSON, R.; NORDHAUS, W. D.; SHAW, D. The impact of global warming on agriculture: a Ricardian analysis. **The American economic review**, p. 753–771, 1994.

MORAES, G. I. DE; FERREIRA FILHO, J. B. DE S. Brasil, Mudanças Climáticas e Economia: o que há estabelecido? **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 41, 2013.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas e o Brasil - Contextualização. **Parcerias estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 7–18, 2008.

NORDHAUS, W. D. An optimal transition path for controlling greenhouse gases. **SCIENCE-NEW YORK THEN WASHINGTON-**, v. 258, p. 1315, 1992.

NORDHAUS, W. D. A review of the Stern review on the economics of climate change. **Journal of economic literature**, v. 45, n. 3, p. 686–702, 2007.

PBMC. **Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudança Climáticas**. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/pt/publicacoes/relatorios-pbmc/item/impactos-vulnerabilidades-e-adaptacao-volume-2-completo?category_id=18>.

PIRES, M. V.; CUNHA, D. A. DA. Climate change and adaptive strategies in Brazil: the economic effects of genetic breeding. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 52, n. 4, p. 627–642, 2014.

SCHLENKER, W.; HANEMANN, W. M.; FISHER, A. C. The impact of global warming on US agriculture: an econometric analysis of optimal growing conditions. **The Review of Economics and Statistics**, v. 88, n. 1, p. 113–125, 2006.

STERN, N. What is the economics of climate change? **WORLD ECONOMICS-HENLEY ON THAMES-**, v. 7, n. 2, p. 1, 2006.

STERN, N. H. **The economics of climate change: the Stern review**. [s.l.] cambridge University press, 2007.

TOURINHO, O. A. F.; MOTTA, R. S. DA; ALVES, Y. L. B. Uma aplicação ambiental de um modelo de equilíbrio geral. 2003.

VALE, P. M. Economia das mudanças climáticas: uma avaliação dos principais modelos. 2010.

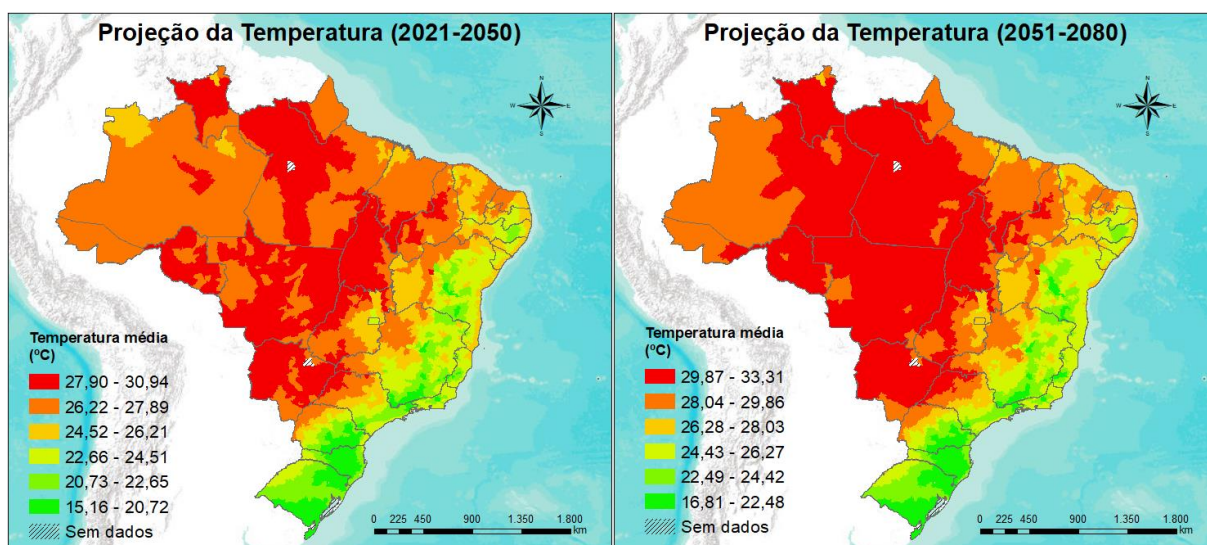
WATKISS, P. et al. The impacts and costs of climate change. **Brussels, European Commission DG Environment**, 2005.

WEITZMAN, M. L. A Review of The Stern Review on the Economics of Climate Change. **Journal of Economic Literature**, v. 45, p. 703–724, 2007.

WILLMOTT, C. J.; MATSUURA, K.; LEGATES, D. R. Terrestrial air temperature and precipitation: monthly and annual time series (1950--1999). **Center for climate research version**, v. 1, 2001.

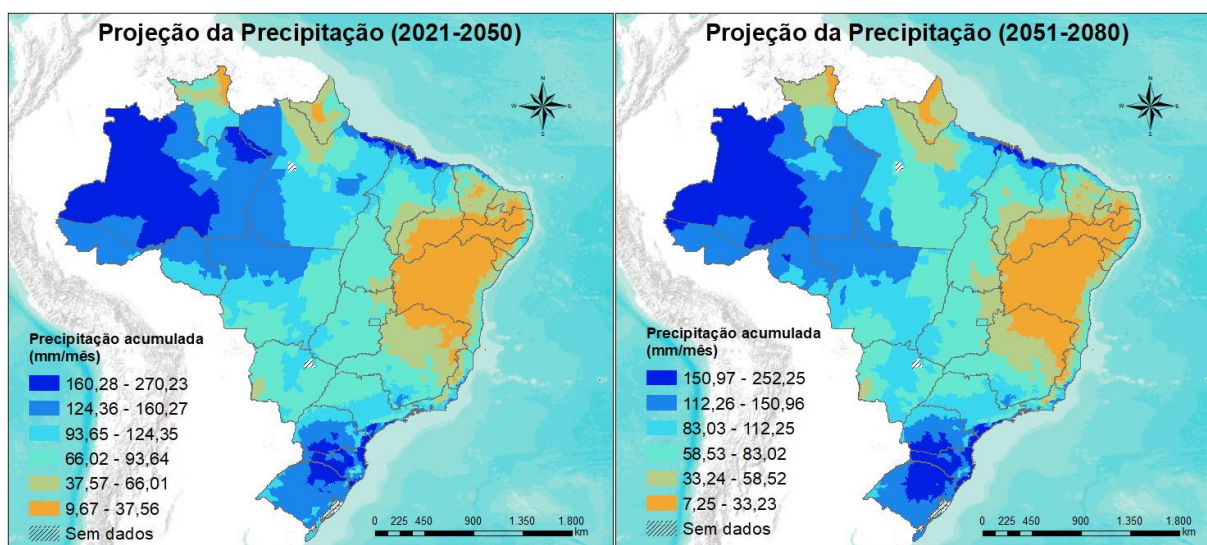
APÊNDICE A - FIGURAS

Figura 28 - Projeção da temperatura média no cenário RCP 8.5



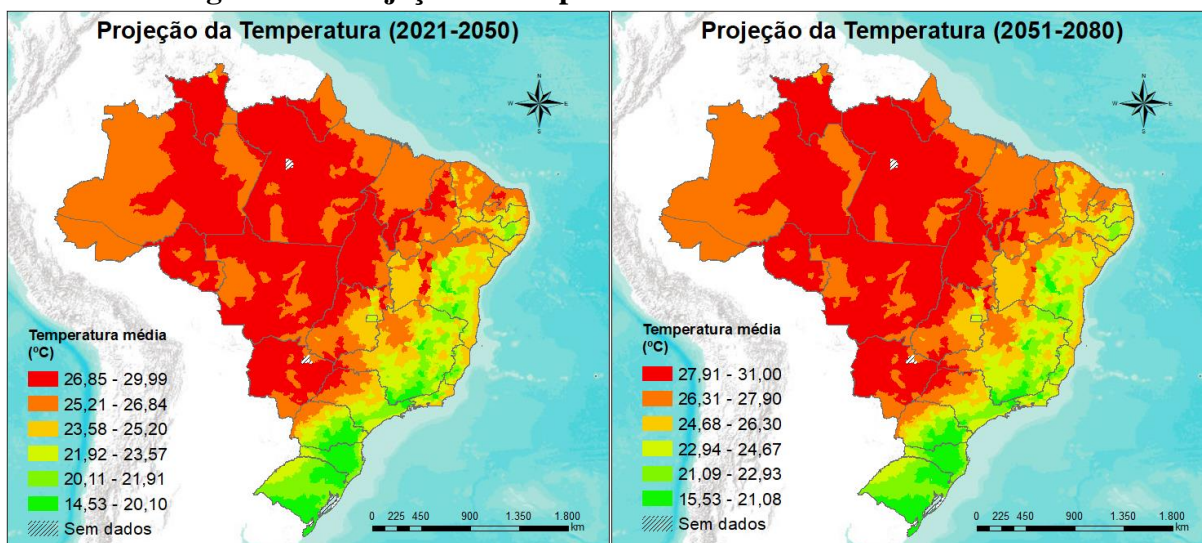
Fonte: Elaboração própria com base nas projeções do modelo climático regional Eta-CPTEC do INPE.

Figura 29 - Projeção da precipitação média acumulada no cenário RCP 8.5



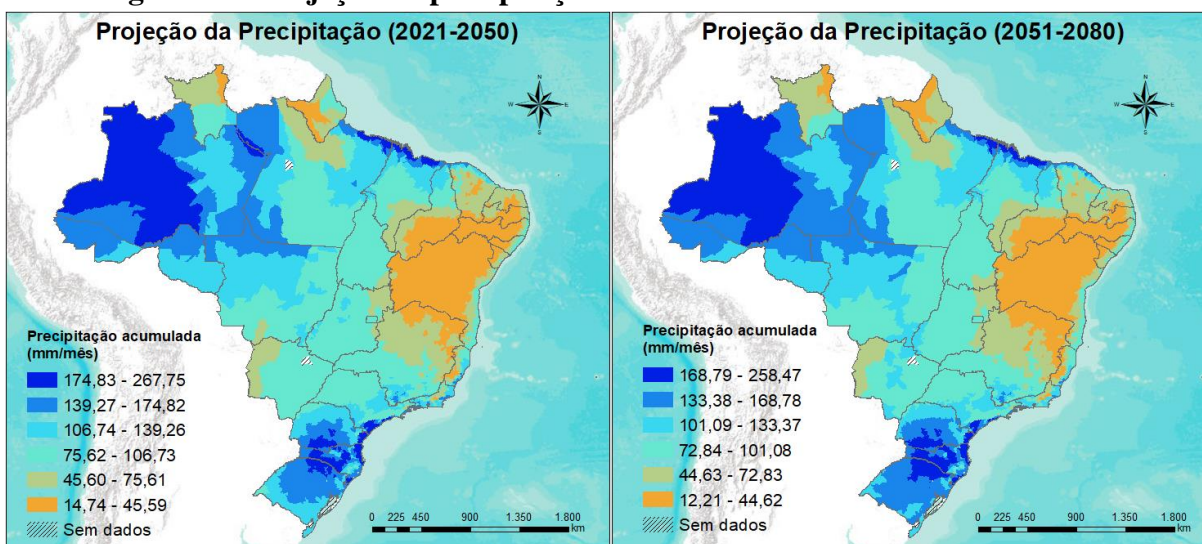
Fonte: Elaboração própria com base nas projeções do modelo climático regional Eta-CPTEC do INPE.

Figura 30 - Projeção da temperatura média no cenário RCP 4.5



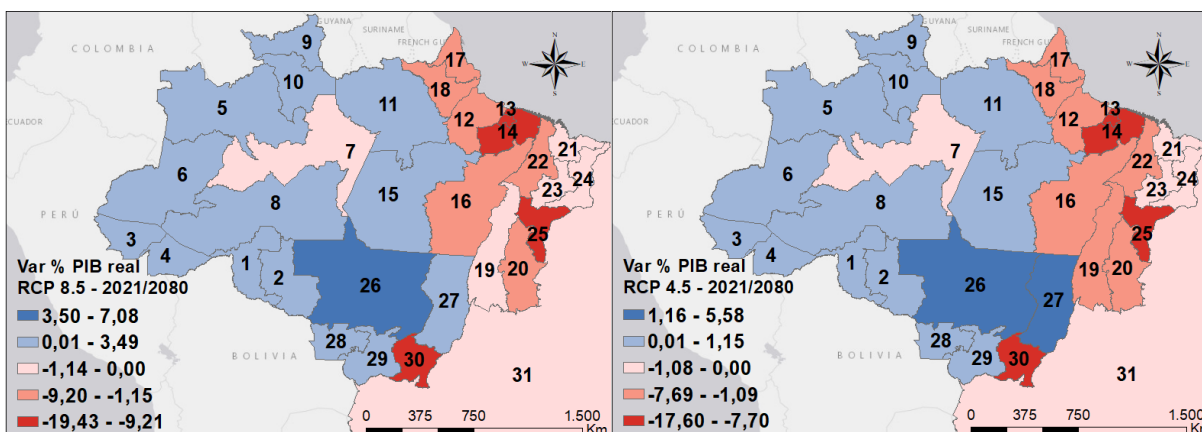
Fonte: Elaboração própria com base nas projeções do modelo climático regional Eta-CPTEC do INPE.

Figura 31 - Projeção da precipitação média acumulada no cenário RCP 4.5



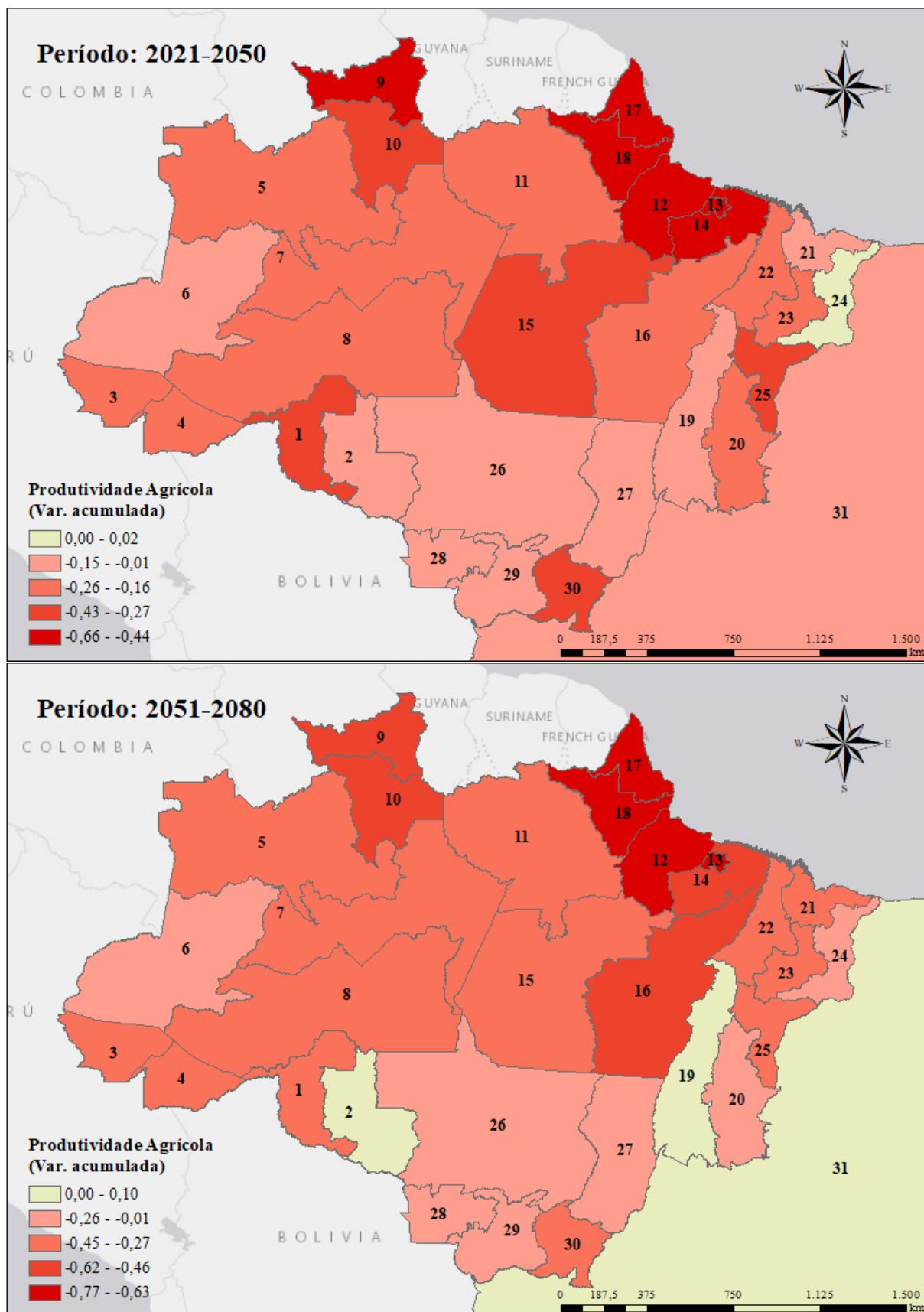
Fonte: Elaboração própria com base nas projeções do modelo climático regional Eta-CPTEC do INPE.

Figura 32 - Impacto das mudanças climáticas sobre o PIB real por mesorregiões da Amazônia Legal nos cenários RCP 8.5 e RCP 4.5 (var. % acumulada em 2021-2080)



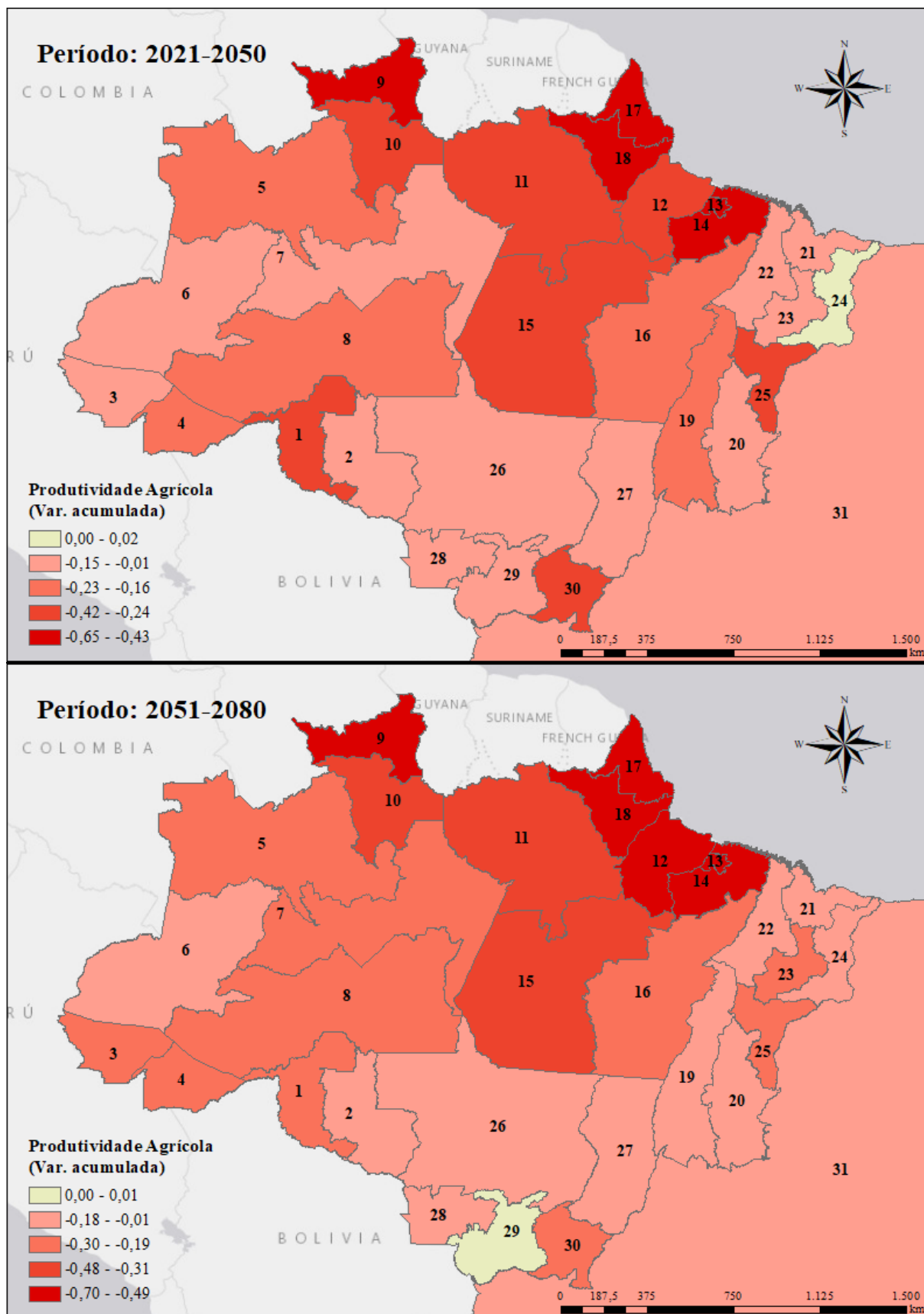
Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados das simulações do modelo REGIA.

Figura 33 - Mudança de produtividade agrícola agregada na Amazônia Legal (RCP 8.5)



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da simulação do modelo econométrico e da base de dados do REGIA.

Figura 34 - Mudança de produtividade agrícola agregada na Amazônia Legal (RCP 4.5)



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da simulação do modelo econométrico e da base de dados do REGIA.

APÊNDICE B - TABELAS

Tabela 20 - Área de floresta natural perdida (desmatamento) na Amazônia Legal entre 2012 a 2016 (var. % do total da área de floresta natural e demais usos)

Mesorregiões	UF	2012	2013	2014	2015	2016
Madeira Guaporé	RO	-0,48	-0,82	-0,63	-0,77	-0,91
Leste Rondoniense	RO	-0,37	-0,34	-0,29	-0,38	-0,52
Vale do Juruá	AC	-0,13	-0,08	-0,15	-0,04	-0,11
Vale do Acre	AC	-0,30	-0,25	-0,40	-0,33	-0,49
Norte Amazonense	AM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sudoeste Amazonense	AM	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
Centro Amazonense	AM	-0,02	-0,02	-0,04	-0,03	-0,03
Sul Amazonense	AM	-0,08	-0,08	-0,08	-0,12	-0,18
Norte de Roraima	RR	-0,03	-0,03	-0,04	-0,05	-0,06
Sul de Roraima	RR	-0,07	-0,09	-0,12	-0,09	-0,14
Baixo Amazonas	PA	-0,07	-0,05	-0,08	-0,10	-0,08
Marajó	PA	-0,02	-0,02	-0,07	-0,11	-0,19
Metropolitana de Belém	PA	-0,16	-0,25	-0,06	-0,13	-0,12
Nordeste Paraense	PA	-0,24	-0,41	-0,24	-0,28	-0,30
Sudoeste Paraense	PA	-0,18	-0,24	-0,22	-0,29	-0,31
Sudeste Paraense	PA	-0,41	-0,49	-0,32	-0,38	-0,60
Norte do Amapá	AP	-0,01	-0,02	-0,01	-0,01	0,00
Sul do Amapá	AP	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01
Ocidental de Tocantins	TO	-0,05	-0,09	-0,05	-0,06	-0,06
Oriental de Tocantins	TO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Norte Maranhense	MA	-0,06	-0,12	-0,07	-0,04	-0,05
Oeste Maranhense	MA	-0,17	-0,25	-0,21	-0,22	-0,26
Centro Maranhense	MA	-0,49	-0,28	-0,36	-0,20	-0,23
Leste Maranhense	MA	-0,02	-0,04	-0,03	-0,03	-0,03
Sul Maranhense	MA	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
Norte Mato-grossense	MT	-0,16	-0,26	-0,25	-0,35	-0,33
Nordeste Mato-grossense	MT	-0,13	-0,08	-0,08	-0,11	-0,09
Sudoeste Mato-grossense	MT	-0,06	-0,08	-0,10	-0,09	-0,10
Centro-Sul Mato-grossense	MT	-0,01	-0,02	-0,01	-0,02	-0,01
Sudeste Mato-grossense	MT	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados do PRODES/INPE.

Tabela 21 - Impacto das Mudanças Climáticas sobre outros indicadores econômicos por mesorregião da Amazônia Legal - Cenários RCP 8.5 e RCP 4.5 (var. % acumulada, 2021-2080)

Mesorregião	Consumo das Famílias		Investimentos		Exportações		Emprego	
	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5
1 MadGuapore	0,42	0,34	1,31	0,81	-0,41	-0,71	0,64	0,47
2 LesteRO	0,12	0,08	0,47	0,22	-0,31	-0,63	0,35	0,21
3 ValeJurua	1,39	0,99	4,78	3,58	-0,11	-0,51	1,62	1,13
4 ValeAcre	0,47	0,43	1,27	1,03	-0,23	-0,59	0,70	0,57
5 NorteAM	1,42	0,69	9,37	4,15	0,16	0,17	1,65	0,83
6 SudoesteAM	0,92	0,70	3,28	2,71	0,28	0,25	1,14	0,84
7 CentroAM	-0,07	-0,13	0,04	-0,33	-0,34	-0,42	0,16	0,01
8 SulAM	1,50	1,08	4,57	3,26	0,25	0,23	1,73	1,21
9 NorteRR	0,76	0,46	0,90	0,09	-0,39	-0,68	0,99	0,60
10 SulRR	1,21	0,95	3,16	2,76	-0,37	-0,70	1,44	1,09
11 BaixoAmaz	0,32	0,34	1,35	1,24	-0,44	-0,61	0,55	0,47
12 Marajo	-1,46	-1,16	-4,04	-3,38	0,12	0,12	-1,24	-1,03
13 MetroBelem	-7,86	-7,11	-17,67	-16,05	-1,91	-1,89	-7,66	-7,00
14 NordestePA	-12,93	-11,52	-42,77	-38,30	-4,10	-4,24	-12,75	-11,42
15 SudoestePA	0,81	0,63	2,30	2,20	-0,76	-1,21	1,04	0,77
16 SudestePA	-1,18	-1,04	-2,50	-2,38	-0,92	-1,00	-0,96	-0,90
17 NorteAP	-0,66	-1,02	-1,52	-2,90	-0,88	-1,16	-0,43	-0,88
18 SulAP	-1,26	-1,29	-3,40	-3,54	-1,09	-1,30	-1,04	-1,16
19 OcidentalTO	-0,15	-0,88	2,58	-1,93	-0,73	-1,17	0,08	-0,75
20 OrientalTO	-0,86	-1,01	-1,04	-1,87	-0,58	-1,02	-0,64	-0,87
21 NorteMA	-0,70	-0,48	-1,25	-0,90	-1,02	-1,09	-0,48	-0,34
22 OesteMA	-1,67	-1,12	-4,36	-3,20	-1,48	-1,57	-1,45	-0,99
23 CentroMA	-0,59	-0,36	-1,70	-0,81	-0,92	-0,96	-0,37	-0,23
24 LesteMA	-0,59	-0,29	-2,12	-0,75	-0,86	-0,86	-0,36	-0,15
25 SulMA	-8,04	-5,87	-12,07	-8,92	-1,28	-1,10	-7,85	-5,75
26 NorteMT	7,36	5,74	18,31	13,92	-0,27	-0,46	7,61	5,89
27 NordesteMT	3,61	3,31	10,25	9,35	-0,24	-0,46	3,85	3,46
28 SudoesteMT	1,58	0,95	3,03	1,87	-0,31	-0,51	1,81	1,09
29 CentroSulMT	0,38	0,50	0,36	0,94	-0,25	-0,46	0,61	0,63
30 SudesteMT	-8,91	-5,87	-21,76	-13,24	-0,45	-0,64	-8,71	-5,75

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados das simulações do modelo REGIA.

Tabela 22 - Produção agrícola setorial por mesorregião da Amazônia Legal no período 2021-2080 - Variação % acumulada (RCP 8.5)

Nº	Mesorregião	C1	C2	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
1	Madeira-Guaporé	4,2	20,0	-	-	4,5	2,4	-	-	22,9	-3,9
2	Leste Rondoniense	-25,0	-0,2	-	17,6	4,1	-4,4	-	-	3,5	0,2
3	Vale do Juruá	2,5	12,0	-	-	2,4	2,8	-4,8	-	21,7	-
4	Vale do Acre	-13,8	7,8	-	-	0,7	0,4	-	-	5,7	-5,2
5	Norte Amazonense	-	-	-	-	4,1	3,8	-	-	25,4	-
6	Sudoeste Amazonense	3,5	15,9	-	-	4,0	4,0	-	-	25,3	-6,3
7	Centro Amazonense	-	-	-12,3	-	2,8	2,7	-	-	23,1	-
8	Sul Amazonense	15,1	23,8	-16,7	-	3,8	4,2	-2,2	-	24,8	-4,6
9	Norte de Roraima	35,8	6,9	-	-2,9	-7,6	1,4	-	-	12,4	-
10	Sul de Roraima	25,5	23,4	-	-	-1,3	3,9	-	-	25,5	-
11	Baixo Amazonas	-5,7	2,4	-	-8,8	1,6	0,6	-	-	1,9	-2,9
12	Marajó	-	-	-	-	-7,2	-0,6	-	-	21,8	-
13	Metropolitana de Belém	-	-	-	-	-46,1	-33,1	-	-	20,8	-
14	Nordeste Paraense	-	-	-	-	-35,1	-21,2	-	-	9,4	-
15	Sudoeste Paraense	16,6	6,2	-	-	2,5	3,6	-	-	19,7	-4,7
16	Sudeste Paraense	2,5	-25,4	10,9	-20,4	-0,7	-5,0	-	-	6,7	-
17	Norte do Amapá	-	-	-	-	-13,8	-3,8	-	-	26,6	-
18	Sul do Amapá	-	-	-	-	-10,9	-1,5	-	-	11,3	-
19	Ocidental do Tocantins	-22,7	-	-	-14,9	3,8	-11,0	-	-	-22,5	-
20	Oriental do Tocantins	7,0	-35,4	47,2	-16,7	8,5	-13,6	-	22,4	-40,3	-
21	Norte Maranhense	26,7	-27,2	-	-	1,8	0,8	-	-	13,8	-
22	Oeste Maranhense	30,0	-29,1	-	-	-10,1	-3,2	-	-	-2,5	-
23	Centro Maranhense	21,8	-19,7	-8,2	-	-0,6	-0,8	-	-	1,3	-
24	Leste Maranhense	22,5	-19,5	-12,3	-32,2	1,0	1,8	-	-	-5,3	-
25	Sul Maranhense	5,2	-36,7	10,2	-34,5	-7,7	-9,5	-	-39,3	-	-
26	Norte Mato-grossense	-21,3	8,0	-	11,3	7,7	1,1	-	15,9	-	-0,4
27	Nordeste Mato-grossense	-25,0	-	-	6,8	5,2	-3,0	-	15,6	22,5	-
28	Sudoeste Mato-grossense	-46,1	30,3	33,7	18,9	15,2	-7,2	-	-18,7	-36,4	7,8
29	Centro-Sul Mato-grossense	-57,3	41,0	-	45,0	25,2	-16,7	-	22,5	-55,0	-
30	Sudeste Mato-grossense	-	-22,2	-	-1,5	16,5	-21,8	-	-21,8	-	-

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da simulação do modelo REGIA. Nota: C1 = arroz em casca; C2 = Milho em grão; C4 = cana de açúcar; C5 = soja em grão; C6 = outros da lavoura; C7 = mandioca; C8 = fumo em folha; C9 = algodão herbáceo; C10 = frutas cítricas; e C11 = café em grão.

Tabela 23 - Produção agrícola setorial por mesorregião da Amazônia Legal no período 2021-2080 - Variação % acumulada (RCP 4.5)

Nº	Mesorregião	C1	C2	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
1	Madeira-Guaporé	7,5	10,9	-	-	5,8	1,3	-	-	10,9	-0,9
2	Leste Rondoniense	-10,7	-9,2	-	10,1	4,9	-3,2	-	-	7,5	-1,7
3	Vale do Juruá	5,2	4,7	-	-	4,6	1,4	-3,4	-	10,2	-
4	Vale do Acre	-0,2	0,5	-	-	3,4	0,3	-	-	4,2	-3,2
5	Norte Amazonense	-	-	-	-	5,7	2,0	-	-	10,0	-
6	Sudoeste Amazonense	2,5	8,8	-	-	5,5	2,2	-	-	11,4	-2,2
7	Centro Amazonense	-	-	-9,9	-	4,9	1,6	-	-	10,3	-
8	Sul Amazonense	9,4	17,0	-15,3	-	5,6	2,4	-1,7	-	10,6	-0,7
9	Norte de Roraima	30,3	-5,1	-	-3,1	-6,5	0,4	-	-	3,8	-
10	Sul de Roraima	21,5	11,8	-	-	0,0	2,3	-	-	10,8	-
11	Baixo Amazonas	0,3	0,7	-	-4,6	0,8	0,5	-	-	0,5	0,3
12	Marajó	-	-	-	-	-5,3	-1,7	-	-	9,2	-
13	Metropolitana de Belém	-	-	-	-	-43,1	-27,9	-	-	22,4	-
14	Nordeste Paraense	-	-	-	-	-32,9	-16,6	-	-	11,0	-
15	Sudoeste Paraense	12,0	2,7	-	-	3,5	2,1	-	-	8,3	-1,4
16	Sudeste Paraense	4,8	-20,3	2,7	-13,9	-1,6	-3,7	-	-	6,7	-
17	Norte do Amapá	-	-	-	-	-11,7	-4,9	-	-	11,6	-
18	Sul do Amapá	-	-	-	-	-9,3	-2,6	-	-	2,7	-
19	Ocidental do Tocantins	-15,2	-	-	-11,5	-1,6	-8,0	-	-	-12,2	-
20	Oriental do Tocantins	10,3	-29,3	50,7	-15,2	2,9	-7,2	-	14,4	-21,8	-
21	Norte Maranhense	15,3	-10,7	-	-	3,3	1,8	-	-	5,3	-
22	Oeste Maranhense	17,4	-12,7	-	-	-8,7	0,3	-	-	-1,3	-
23	Centro Maranhense	9,9	-8,8	-10,1	-	1,2	-0,4	-	-	2,1	-
24	Leste Maranhense	8,9	1,2	-11,9	-19,3	3,2	3,9	-	-	1,3	-
25	Sul Maranhense	-1,8	-24,7	9,8	-27,6	-6,3	-5,7	-	-23,8	-15,9	-
26	Norte Mato-grossense	-10,9	1,7	-	8,0	7,1	0,9	-	13,0	-	0,7
27	Nordeste Mato-grossense	-15,3	-	-	4,9	4,3	-1,9	-	13,6	-	-
28	Sudoeste Mato-grossense	-31,9	3,7	18,7	7,6	15,8	-5,7	-	-19,0	-32,2	12,6
29	Centro-Sul Mato-grossense	-43,5	7,6	52,7	20,4	24,9	-12,1	-	14,3	-49,1	-
30	Sudeste Mato-grossense	-	-28,6	-	-8,1	11,0	-15,6	-	-14,0	-	-

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da simulação do modelo REGIA. Nota: C1 = arroz em casca; C2 = Milho em grão; C4 = cana de açúcar; C5 = soja em grão; C6 = outros da lavoura; C7 = mandioca; C8 = fumo em folha; C9 = algodão herbáceo; C10 = frutas cítricas; e C11 = café em grão.