UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

**Mudanças Climáticas no Brasil: Efeitos Sistêmicos sobre a Economia
Brasileira Provenientes de Alterações na Produtividade Agrícola.**

Aluno: Bruno Santos de Souza

São Paulo

2018

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

Prof. Dr. Adalberto Américo Fishmann
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade

Prof. Dr. Eduardo Amaral Haddad
Chefe do Departamento de Economia

Prof. Dr. Ariaster Baumgratz Chimeli
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Economia

BRUNO SANTOS DE SOUZA

**Mudanças Climáticas no Brasil: Efeitos Sistêmicos sobre a Economia
Brasileira Provenientes de Alterações na Produtividade Agrícola.**

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

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Amaral Haddad

Versão Corrigida

(versão original disponível na Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade)

São Paulo

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada por Rafael Mielli Rodrigues – CRB-8/7286

Seção de Processamento Técnico do SBD/FEA/USP

Souza, Bruno Santos de

Mudanças climáticas no Brasil: efeitos sistêmicos sobre a economia brasileira provenientes de alterações na produtividade agrícola / Bruno Santos de Souza. – São Paulo, 2018.

129 p

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2018.

Orientador: Eduardo Amaral Haddad.

1. Mudança climática 2. Economia regional 3. Agricultura 4. Vulnerabilidade I. Universidade de São Paulo. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. II. Título.

CDD – 363.73874

Para quem ler a totalidade do trabalho...

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos chapeiros da padaria Santa Cândida, dia após dia ao longo desses 26 meses têm me servido o sagrado pingado com pão na chapa. Agradeço ao Bigode, vendedor de balas da FEA, que por quase todas as manhãs dentro desse período tem me desejado o primeiro bom dia do meu dia. Agradeço aos funcionários e colaboradores da FEA que finalmente me ensinaram a importância de se desejar bom dia para os outros.

Agradeço à FIPE e CAPES, pelo auxílio financeiro fornecido ao longo desse tempo e em especial ao Instituto Escolhas que além de financiar no último ano de mestrado, forneceu apoio e visibilidade ao trabalho que procurei desenvolver. Agradeço também à Rede Clima e ao INCT de Mudanças Climáticas, pelo apoio e oportunidades de contato que disponibilizaram nesse período.

Agradeço aos amigos do NEREUS, por cada instante que ali passamos compartilhando conhecimento e histórias. Por cada seminário de segunda, cada conselho e cada risada forçada após ouvir os trocadilhos do professor Haddad. E agradeço ao professor Haddad, pela paciência, parceria e amizade (e broncas!) ao longo dessa jornada. “A importância de estar presente”, disse irei me lembrar para sempre.

Agradeço ao meus pais por possibilitar a obtenção do título de mestre e em especial minha mãe, que até hoje não entende que o mestrado é, em muitas vezes, mais trabalhoso que um emprego. Agradeço à minha namorada Lia, que me acompanha desde o início desse processo, e que tem me provido amor e paciência ao longo de cada instante do tempo (e que fez uma maravilhosa revisão do texto que vem adiante).

Agradeço aos meus amigos de fora do mestrado, que me idolatram e admiram na minha presença, mas que desdenham de minha decisão de ser mestre em minha ausência. Aos meus amigos do mestrado, que compartilharam de todo o sofrimento (cimento que une os tijolos humanos) eu agradeço em especial, por toda a parceria e paciência ao ouvir minhas histórias durante esses meses. Aos mais legais, em especial, por serem tão legais ao longo desse processo.

Agradeço ao Chico, meu finado gato que durante toda minha trajetória acadêmica esteve do meu lado, me desejando bom dia ao sair para ir estudar e impreterivelmente esperando na porta de casa até meu regresso.

E por fim, agradeço à cada professor que tive ao longo de minha vida, por ter me ensinado e estimulado a estudar para finalmente culminar na tentativa de obter o título de mestre. Agradeço à cada conselho, elogio e puxão de orelha. Agradeço a cada ensinamento e hoje entendo parte de todo o sofrimento que essa profissão carrega em nosso país. A todos e a cada um vocês, meu muito obrigado!

“You can, for example, never foretell what any one man will do, but you can say with precision what an average number will be up to. Individuals vary, but percentages remain constant. So say the statisticians.”

Sherlock Holmes.

The Sign of Four

RESUMO

Este trabalho mede o impacto econômico que as mudanças climáticas projetadas para as regiões brasileiras podem ter até o final do século. Em particular, estima o impacto direto que essa mudança no padrão climático terá sobre a produtividade das principais culturas agrícolas do país e o impacto indireto dessas mudanças na economia brasileira como um todo. Ademais, constrói um índice de vulnerabilidade que permite detectar quais são as regiões brasileiras mais vulneráveis em termos de mudanças climáticas para o período estudado. Por fim, utiliza metodologia proposta na literatura a fim de tratar da incerteza dos resultados de maneira explícita.

A análise é realizada com dados de soja, cana-de-açúcar, milho, feijão café e laranja entre 1994 e 2015. Essas culturas representam cerca de 82% área de cultivo agrícola do país. Além disso, o modelo inter-regional de EGC usa os dados mais recentes disponíveis em sua calibragem e capta a interdependência regional dos 27 Estados brasileiros. Por fim, o trabalho usa as projeções para o padrão regional de mudanças climáticas fornecido pelo *5º Assessment Report* do IPCC (AR5).

Os resultados apontam para um impacto econômico bastante heterogêneo entre as regiões brasileiras. Em termos diretos, as perdas agrícolas totais até o final do século variam de 9,7% a 55,6% do PIB brasileiro até o final do século. Sob o aspecto regional, os Estados que apresentam maiores perdas são São Paulo, Paraná e Minas Gerais em todos os cenários. Os impactos de 2ª ordem derivados dessas perdas de produtividade variam de R\$2,2 trilhões à R\$ 9,2 trilhões a depender dos cenários e se estão mais concentrados nos Estados da região Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas, Produtividade Agrícola, Economia Regional, Brasil.

ABSTRACT

This study measures the impact Brazil has to have until the end of the century. In particular, estimating the impact that does not refer to a climate model on the Brazilian economy as a whole. In addition, construct the index of vulnerability that could detect those that are the most vulnerable regions in terms of climatic changes for the studied period. Finally, in the critical analysis, in order to treat the uncertainty of the results explicitly.

The analysis is performed with data on soybean, sugarcane, corn, beans and orange between 1994 and 2015. The 6 countries represent 86% of the country's agricultural area. In addition, the CGE interregional model uses the most recent data on its calibration and capture in a regional interdependence of the 27 Brazilian states. Finally, the paper uses as projections for the regional pattern of change control by the IPCC's 5th Assessment Report (AR5).

The results point to a very heterogeneous economic impact among the Brazilian regions. In direct terms, as the successive exchange rates until the end of the year, they vary from 9.7% to 55.6% of Brazilian GDP by the end of the century. Under the regional aspect, the states of which are most important are São Paulo, Paraná and Minas Gerais in all scenarios. The second-highest ratings ranged from R \$ 2.2 trillion to R \$ 9.2 trillion from the scenarios and are more concentrated in the states of the South, Southeast and Midwest.

Keywords: Climate Changes, Agricultural Productivity, Regional Economics, Brazil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - PROJEÇÕES PARA MUDANÇA NA TEMPERATURA MÉDIA DO PLANETA AO LONGO DO SÉCULO XXI (IPCC, 2013).	32
FIGURA 2 - PROJEÇÕES CLIMÁTICAS REGIONALIZADAS (IPCC, 2013).	33
FIGURA 3 - RELAÇÕES DE CAUSALIDADE CAPTURADAS PELOS MODELOS DE EGC. ELABORAÇÃO PRÓPRIA.	37
FIGURA 4 - PRODUÇÃO DE SOJA NO BRASIL - MÉDIA DO VALOR PRODUZIDO ENTRE 2010 E 2015 (EM MIL REAIS DE 2000).	41
FIGURA 5 - IMPORTÂNCIA DA PRODUÇÃO DA SOJA NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS - PROPORÇÃO DA PRODUÇÃO DA SOJA NO TOTAL PRODUZIDO PELO SETOR AGRÍCOLA DOS MUNICÍPIOS (MÉDIA 2010-2015).	42
FIGURA 6 - PRODUÇÃO DE CANA NO BRASIL - MÉDIA DO VALOR PRODUZIDO ENTRE 2010 E 2015 (EM MIL REAIS DE 2000).	43
FIGURA 7 - IMPORTÂNCIA DA PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS - PROPORÇÃO DA PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO TOTAL PRODUZIDO PELO SETOR AGRÍCOLA DOS MUNICÍPIOS (MÉDIA 2010-2015).	44
FIGURA 8 - PRODUÇÃO DE MILHO NO BRASIL - MÉDIA DO VALOR PRODUZIDO ENTRE 2010 E 2015 (EM MIL REAIS DE 2000).	45
FIGURA 9 - IMPORTÂNCIA DA PRODUÇÃO DA MILHO NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS - PROPORÇÃO DA PRODUÇÃO DE MILHO NO TOTAL PRODUZIDO PELO SETOR AGRÍCOLA DOS MUNICÍPIOS (MÉDIA 2010-2015).	46
FIGURA 10 - PRODUÇÃO DE CAFÉ NO BRASIL - MÉDIA DO VALOR PRODUZIDO ENTRE 2010 E 2015 (EM MIL REAIS DE 2000).	47
FIGURA 11 - IMPORTÂNCIA DA PRODUÇÃO DA CAFÉ NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS - PROPORÇÃO DA PRODUÇÃO DE CAFÉ NO TOTAL PRODUZIDO PELO SETOR AGRÍCOLA DOS MUNICÍPIOS (MÉDIA 2010-2015).	48
FIGURA 12 - PRODUÇÃO DE FEIJÃO NO BRASIL - MÉDIA DO VALOR PRODUZIDO ENTRE 2010 E 2015 (EM MIL REAIS DE 2000).	49
FIGURA 13 - IMPORTÂNCIA DA PRODUÇÃO DA FEIJÃO NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS - PROPORÇÃO DA PRODUÇÃO DE FEIJÃO NO TOTAL PRODUZIDO PELO SETOR AGRÍCOLA DOS MUNICÍPIOS (MÉDIA 2010-2015).	50
FIGURA 14 - PRODUÇÃO DE LARANJA NO BRASIL - MÉDIA DO VALOR PRODUZIDO ENTRE 2010 E 2015 (EM MIL REAIS DE 2000).	51
FIGURA 15 - IMPORTÂNCIA DA PRODUÇÃO DE LARANJA NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS - PROPORÇÃO DA PRODUÇÃO DE LARANJA NO TOTAL PRODUZIDO PELO SETOR AGRÍCOLA DOS MUNICÍPIOS (MÉDIA 2010-2015).	52
FIGURA 16 - ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO INMET.	53
FIGURA 17 - PRECIPITAÇÃO ACUMULADA - MÉDIA ANUAL (1994 - 2015).	54
FIGURA 18 - TEMPERATURA COMPENSADA - MÉDIA ANUAL (1994 - 2015).	55
FIGURA 19 - ANOMALIA DE PRECIPITAÇÃO ANUAL (MÉDIA A CADA DUAS DÉCADAS) - RCP 2.6.	57
FIGURA 20 - ANOMALIA DE PRECIPITAÇÃO ANUAL (MÉDIA A CADA DUAS DÉCADAS) - RCP 8.5.	58
FIGURA 21 - ANOMALIA DE TEMPERATURA (MÉDIA A CADA DUAS DÉCADAS) - RCP 2.6.	59
FIGURA 22 - ANOMALIA DE TEMPERATURA (MÉDIA A CADA DUAS DÉCADAS) - RCP 8.5.	60
FIGURA 23 - PARTICIPAÇÃO DOS ESTADOS NO PIB BRASILEIRO - 2011.	61
FIGURA 24 - PARTICIPAÇÃO DOS ESTADOS NO PIB AGRÍCOLA BRASILEIRO - 2011.	62
FIGURA 25 - PARTICIPAÇÃO DO SETOR AGRÍCOLA NO PIB DOS ESTADOS - 2011.	63
FIGURA 26- TRAJETÓRIA DE VARIAÇÃO NA PRODUTIVIDADE DA CANA ATÉ O FINAL DO SÉCULO.	67
FIGURA 27 - TRAJETÓRIA DE VARIAÇÃO NA PRODUTIVIDADE DA SOJA ATÉ O FINAL DO SÉCULO.	68
FIGURA 28 - TRAJETÓRIA DE VARIAÇÃO NA PRODUTIVIDADE DO MILHO ATÉ O FINAL DO SÉCULO.	68
FIGURA 29 - TRAJETÓRIA DE VARIAÇÃO NA PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO ATÉ O FINAL DO SÉCULO.	68
FIGURA 30 - TRAJETÓRIA DE VARIAÇÃO NA PRODUTIVIDADE DO CAFÉ ATÉ O FINAL DO SÉCULO.	69
FIGURA 31 - TRAJETÓRIA DE VARIAÇÃO NA PRODUTIVIDADE DA LARANJA ATÉ O FINAL DO SÉCULO.	69
FIGURA 32 – CANAIS DE PROPAGAÇÃO DO CHOQUE NO B-MARIA	75
FIGURA 33 - EFEITO "BOLA DE NEVE" DAS INCERTEZAS ASSOCIADAS À METODOLOGIA UTILIZADA.	80
FIGURA 34 - REPRESENTAÇÃO DA MATRIZ B.	85
FIGURA 35 - DISTRIBUIÇÃO DE CHOQUES DE PRODUTIVIDADE SIMULADOS.	86
FIGURA 36 – DISTRIBUIÇÃO DOS IMPACTOS SIMULADOS SOBRE O PIB ESTADUAL.	87
FIGURA 37 – IMPACTO SIMULADO SOBRE O PIB NACIONAL E PRB DA REGIÃO NORTE.	88

FIGURA 38 - IMPACTO SIMULADO SOBRE O PIB NACIONAL E PRB DA REGIÃO NORDESTE.....	89
FIGURA 39 - IMPACTO SIMULADO SOBRE O PIB NACIONAL E PRB DA REGIÃO SUDESTE.	89
FIGURA 40 - IMPACTO SIMULADO SOBRE O PIB NACIONAL E PRB DA REGIÃO SUL.	90
FIGURA 41 - IMPACTO SIMULADO SOBRE O PIB NACIONAL E PRB DA REGIÃO CENTRO-OESTE.	91
FIGURA 42 - VALOR ÓTIMO DOS CHOQUES DE PRODUTIVIDADE SIMULADOS.....	91
FIGURA 43 - IMPACTO SOBRE O PIB ESTADUAL.	92

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - REPRESENTATIVIDADE DAS CULTURAS SELECIONADAS EM TERMOS DE VALOR PRODUZIDO (FONTE: IBGE).	40
TABELA 2 - REPRESENTATIVIDADE DAS CULTURAS SELECIONADAS EM TERMOS DE ÁREA PLANTADA (FONTE: IBGE).	40
TABELA 3 - IMPORTÂNCIA DA SOJA (EM TERMOS DE VALOR PRODUZIDO) NAS GRANDES REGIÕES (FONTE: IBGE).	41
TABELA 4 - IMPORTÂNCIA DA CANA-DE-AÇÚCAR (EM TERMOS DE VALOR PRODUZIDO) NAS GRANDES REGIÕES (FONTE: IBGE).	43
TABELA 5 - IMPORTÂNCIA DO MILHO (EM TERMOS DE VALOR PRODUZIDO) NAS GRANDES REGIÕES (FONTE: IBGE).	45
TABELA 6 - IMPORTÂNCIA DO CAFÉ (EM TERMOS DE VALOR PRODUZIDO) NAS GRANDES REGIÕES (FONTE: IBGE).	47
TABELA 7 - IMPORTÂNCIA DO FEIJÃO (EM TERMOS DE VALOR PRODUZIDO) NAS GRANDES REGIÕES (FONTE: IBGE).	49
TABELA 8 - IMPORTÂNCIA DE LARANJA (EM TERMOS DE VALOR PRODUZIDO) NAS GRANDES REGIÕES (FONTE: IBGE).	50
TABELA 9 - CRESCIMENTO MÉDIO DA PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS ANALISADAS (CALCULADO COM BASE NOS DADOS FORNECIDOS PELO IBGE).	67
TABELA 10 - ÍNDICE DE VULNERABILIDADE DIRETA.	71
TABELA 11 - CHOQUES EFETIVOS SOBRE CADA ESTADO.	74
TABELA 12 - IMPACTOS TOTAIS SOBRE ALGUNS AGREGADOS ECONÔMICOS (EM PONTOS PERCENTUAIS).	76
TABELA 13 - IMPACTOS TOTAIS SOBRE OS ESTADOS BRASILEIROS (EM PONTOS PERCENTUAIS).	77
TABELA 14 - ÍNDICES DE VULNERABILIDADE TOTAL (IVT).	78
TABELA 15 - COMPARAÇÃO DOS IMPACTOS SIMULADOS ATRAVÉS DO MODELO B-MARIA COM OS IMPACTOS RECONSTRUÍDOS A PARTIR DA EQUAÇÃO (8).	93

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	ECONOMIA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS: UM CONFLITO GERACIONAL.....	23
3	METODOLOGIA	29
3.1	MODELO ECONOMETRICO	29
3.2	PROJEÇÕES DE PLUVIOSIDADE E TEMPERATURA.....	31
3.3	MODELO DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL	34
4	DADOS.....	39
4.1	DADOS AGRÍCOLAS.....	39
4.2	DADOS CLIMÁTICOS.....	52
4.3	PROJEÇÕES CLIMÁTICAS.....	55
4.4	EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL.....	61
5	RESULTADOS	65
5.1	MODELO ECONOMETRICO	65
5.2	PROJEÇÕES DE IMPACTO.....	66
5.3	IMPACTOS DIRETOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	69
5.4	IMPACTOS ECONÔMICOS TOTAIS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	71
5.5	O EFEITO “BOLA DE NEVE” DE INCERTEZAS.....	79
6	CONCLUSÃO.....	95
	REFERÊNCIAS.....	97
	APÊNDICE	101

1 INTRODUÇÃO

"I've wasted time enough," said Lestrade rising. "I believe in hard work and not in sitting by the fire spinning fine theories."

Inspector Lestrade.

The Adventure of the Noble Bachelor

As mudanças climáticas projetadas para o futuro apresentam um sério desafio para a humanidade. Seus impactos mais intensos serão sentidos no futuro, embora as ações necessárias para mitigá-los de maneira significativa devam ser feitas na atualidade. Existe um crescente consenso acerca da ideia de que o aumento de emissões de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera terá um potencial de gerar distorções no padrão de precipitação e temperatura globais, gerando alto risco de perdas para o setor agrícola das regiões. A literatura que trata do tema, embora encontre evidências ambíguas acerca do impacto que as mudanças no clima poderão ter sobre a produtividade agrícola mundial, concorda que seus riscos devem ser levados em conta para a melhor formulação de políticas de adaptação e mitigação ao redor do mundo.

Com isso em mente, este trabalho estuda o impacto econômico das mudanças climáticas através de alterações na produtividade agrícola brasileira. O Brasil é um país de grande preponderância na agricultura mundial, desempenhando papel fundamental no mercado internacional de *commodities* agrícolas. Além disso, é um país de cuja população depende fortemente da produção agrícola, de modo que os impactos econômicos de potenciais alterações climáticas podem ter profundos desdobramentos sobre a economia e bem-estar do Brasil e do mundo.

O país possui esquema bastante distinto tanto em relação à sua produção agrícola quanto ao seu padrão microclimático entre as regiões. Essa heterogeneidade, proveniente em boa parte das dimensões continentais do Brasil, permite levantar algumas questões importantes acerca da vulnerabilidade das regiões brasileiras em relação às mudanças climáticas: haveria alguma região mais vulnerável aos impactos das mudanças climáticas no seu setor agrícola? Os efeitos indiretos provenientes dessas alterações de produtividade da agricultura teriam potencial de alterar esse padrão de vulnerabilidade? Esses resultados são sensíveis a diferentes cenários de projeção climática considerados? Ainda, a incerteza proveniente da não acurácia das projeções de alteração climática poderia alterar os resultados de maneira qualitativa?

Esse trabalho se propõe a tratar dessas questões quantificando os impactos econômicos diretos, indiretos e totais das mudanças climáticas no setor agrícola brasileiro e analisando a vulnerabilidade econômica de suas regiões em relação às potenciais alterações climáticas no país. Tais mudanças no clima são calculadas a partir dos dados mais recentes do 5º *Assessment Report* do IPCC (AR5) nos dois cenários mais extremos considerados pela entidade: um cenário de mitigação intensa (RCP 2.6) e um cenário de emissões com trajetória crescente até o final do século (RCP 8.5).

Para tal, utilizamos um painel de efeitos-fixos municipal que visa estimar a relação entre alterações climáticas e produtividade de seis das principais culturas agrícolas do país: cana-de-açúcar, soja, milho, feijão, café e laranja. Ademais, o trabalho lança mão do arcabouço fornecido pelos modelos de Equilíbrio Geral Computável (EGC), que permite integrar modelos físicos e econômicos com o intuito de avaliar os impactos de segunda ordem dessas alterações climáticas sobre o sistema econômico brasileiro. Ainda, utilizamos metodologia explícita a fim de comparar as incertezas decorrentes das técnicas empregadas, possibilitando a análise da robustez e da consistência dos resultados ao longo das regiões do Brasil.

Os resultados apontam para uma vasta heterogeneidade regional dos efeitos das mudanças climáticas para a economia brasileira em ambos os cenários analisados. Essa heterogeneidade é decorrente tanto da distinta composição da agricultura das regiões brasileiras quanto da magnitude dos impactos calculados a partir das projeções de mudanças climáticas do IPCC. As estimativas apontam para perdas econômicas da ordem de 9,7% do PIB brasileiro de 2017 sob o RCP 2.6 e de 55,6% sob o RCP 8.5. Igualmente, a relação entre os impactos diretos e indiretos também se altera a depender do cenário considerado: os resultados indicam que R\$1,00 de perda de produção agrícola ocasionada pelas alterações climáticas no Brasil implicam em perdas adicionais de R\$3,41 sob o RCP 2.6 e R\$ 2.50 sob o RCP 8.5. Com isso, pretendemos contribuir para o debate ao quantificar esses impactos diretos e indiretos. Ainda, o trabalho se diferencia ao utilizar as projeções climáticas, dados agrícolas e climatológicos mais recentes para gerar suas estimativas. Além disso, procura inovar na granularidade espacial e temporal das projeções climáticas e tratar das incertezas dessas projeções de maneira explícita.

O trabalho se divide em outras cinco seções além dessa introdução. A próxima seção trata da literatura que utiliza métodos econômicos aplicados para a mensuração dos impactos das mudanças climáticas, salientando os inúmeros dilemas e problemas que podem surgir nesse processo. A Seção 3 discorre acerca da metodologia utilizada, enfatizando a integração

do modelo físico com o modelo de EGC utilizados. A quarta Seção faz uma profunda análise dos dados agrícolas, econômicos e climáticos utilizados, além de justificar a escolha e construção dos cenários utilizados para a análise do trabalho. A Seção 5 mostra os resultados, apresentando os impactos diretos, indiretos e totais das mudanças climáticas para a economia brasileira, e lançando mão de uma metodologia conhecida na literatura para lidar com a incerteza dos resultados de maneira explícita. A sexta e última seção conclui o texto, resumizando os principais resultados do trabalho.

2 ECONOMIA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS: UM CONFLITO GERACIONAL

“You know my methods. Apply them.”

Sherlock Holmes

The Sign of the Four

A ciência econômica tem muito a discorrer acerca do impacto das mudanças climáticas para a economia e bem-estar mundial. Mensurar e avaliar os riscos associados essas mudanças no clima se faz fundamental para o desenho de políticas e mecanismos de mitigação de impacto para as diversas nações do planeta (STERN, 2006). O impacto das mudanças no sistema climático mundial tem potencial de afetar as mais diversas dimensões da vida humana ao longo do tempo: produção de alimentos, saúde, acesso à água, recursos naturais, entre outros. Nesse sentido, a quantificação dos efeitos dessas mudanças para a economia do planeta não é fácil de mensurar.

Stern (2006) coleta uma série de resultados de modelos econômicos e argumenta que, caso nenhuma mudança no sentido de se reduzir o padrão de emissões humanas seja feita até meados desse século, o custo dos impactos e riscos que as mudanças no clima irão incorrer sobre a economia do globo pode ser equivalente a perda de 5% a 20% do PIB mundial anualmente. Argumenta também que, ao contrário do que se espera, o custo de se agir na direção da diminuição das emissões de GEE gira em torno de 1% do PIB mundial por ano.

No sentido econômico, as mudanças climáticas podem ser consideradas uma das maiores e mais abrangentes falhas de mercado existentes na história. Mais especificamente, a atmosfera terrestre pode ser considerada um bem público, enquanto que a emissão de GEE, uma externalidade: o bem-estar de determinado indivíduo é uma função de seu consumo e da qualidade da atmosfera. Logo, aqueles que produzem GEE estão gerando um custo de bem-estar para toda a população hoje e em todos os momentos do futuro (mesmo embora eles não enfrentem os impactos de suas ações de maneira direta e imediata).

Assim, uma alteração na qualidade da atmosfera altera o bem-estar de todos os indivíduos do globo, mas não de maneira homogênea: determinados setores, populações e regiões podem se beneficiar com as mudanças climáticas, enquanto outros podem sofrer severas perdas. O próprio padrão de emissões não se distribui homogêneamente ao redor do globo (TOTH et al., 2001). Países com altas taxas de emissão possuem poucos incentivos a diminuí-las uma vez

que, ironicamente, são estes que possuem a menor vulnerabilidade¹ aos efeitos das mudanças climáticas. Ademais, nações que evitam desenvolver políticas de mitigação têm o clássico incentivo do *free-riding*, ou seja, se beneficiar dos potenciais impactos positivos das ações de outros países (HALSNAES et al., 2007). Toda essa desigualdade na distribuição dos custos e benefícios de ações mitigatórias tornam um acordo de redução de emissões internacionais improvável.

Outro aspecto bastante discutido na literatura diz respeito às transferências intergeracionais de bem-estar. Em outras palavras, as ações de mitigação de impacto antropogênico no clima mundial podem ser consideradas como uma transferência de bem-estar das gerações correntes para as gerações futuras (TOTH et al., 2001). A magnitude da mitigação na atualidade tem o potencial de determinar a quantidade de recursos naturais (água, áreas cultiváveis, etc.) que as gerações futuras tem à disposição para consumir. Contudo, ao longo das gerações, os custos e benefícios das ações de mitigação não são igualmente distribuídos: as gerações futuras se beneficiam sem incorrer em custos enquanto as gerações correntes incorrem no custo sem enxergar benefícios.

Ainda, outro fator de relevância para a avaliação dos impactos econômicos das mudanças climáticas envolve a comparação de suas consequências em diferentes pontos do tempo. Para tal, os economistas geralmente usam taxas de desconto para poder comparar os efeitos econômicos ao longo dos anos. Isso permite equiparar as trajetórias de impacto ao longo do tempo por meio do cálculo do valor presente. Logo, a magnitude dessa taxa de desconto é fundamental para determinar a relevância dos efeitos econômicos das alterações climáticas futuras. A escolha da taxa de desconto possui efeitos consideráveis para a avaliação dos custos econômicos das mudanças climáticas (HALSNAES et al., 2007). Uma vez que a magnitude das alterações climáticas tende a ser crescente ao longo do tempo (IPCC, 2013), quanto maiores forem as taxas de desconto consideradas, menores serão os impactos econômicos das mudanças no clima em valor presente.

Nesse contexto, as ações de mitigação podem ser vistas como um investimento que irá exigir taxas de desconto positivas ao longo do tempo. Ademais, o retorno de tal investimento

¹ Vulnerabilidade deve ser entendida como a confluência de duas dimensões distintas: o alto risco de sofrer com os impactos negativos das mudanças climáticas e a pouca capacidade de adaptabilidade para tais mudanças. Logo, regiões mais pobres terão menor capacidade de adaptação em função de suas restrições econômicas. Não obstante, são os países tropicais aqueles que potencialmente sofrerão mais com as alterações do clima projetadas até o final do século e, como já é bem sabido, a maior parte dos países subdesenvolvidos se encontram justamente entre os trópicos.

pode ser utilizado para decidir o quanto pode ser gasto para a mitigação. Essas taxas podem ser descritas como prescritivas ou descritivas. A visão descritiva se baseia nas taxas de desconto observadas no comportamento dos indivíduos ao tomarem suas decisões cotidianas (IPCC, 2007). Willian Nordhaus, seu principal defensor, argumenta que a abordagem descritiva assume que o investimento para desacelerar as mudanças climáticas compete com o investimento em outros setores.

A visão prescritiva escolhe a taxa de desconto se baseando naquilo que se considera como o mais compatível para os interesses das gerações futuras. Essa visão é defendida por Nicholas Stern, que considera que qualquer taxa de desconto positiva é antiética para as gerações futuras (WEYANT, 2017). Ackerman (2007) argumenta que essa abordagem define a taxa de desconto intertemporal como aquela que conduz a um cenário no qual a geração presente e as gerações futuras possuem recursos e oportunidades equânimes. Uma taxa igual a zero indicaria que todas as gerações são tratadas com a mesma importância. Segundo Stern a geração presente, que é a que tem poder de decisão para desenhar políticas de mitigação de mudanças climáticas, tem a obrigação moral de tratar as gerações futuras com igualdade. Ele advoga por uma taxa de desconto mais baixa, que obriga a geração presente a investir para as gerações futuras a fim de reduzir os riscos das mudanças climáticas.

Um outro pilar que cerca a discussão da temática diz respeito à influência destas sobre a produtividade agrícola e produção de alimentos. A agricultura é um dos setores econômicos mais vulneráveis às mudanças no clima uma vez que pode vir a ser sensivelmente afetada por flutuações de temperatura e pluviosidade. Não obstante, os efeitos diretos do clima sobre a agricultura brasileira são relacionados essencialmente às geadas, secas, chuvas severas, inundações e outras perdas devido a eventos climáticos extremos de curta duração.

Ainda, é importante salientar que embora alterações climáticas de longo prazo possuam o potencial de modificar os padrões de uso do solo e irrigação agrícola, mudanças de curto prazo afetam diretamente a produtividade agrícola e bem-estar dos produtores. A crescente inquietude acerca do fenômeno das mudanças climáticas nos anos recentes acabou por gerar um aumento significativo de estudos que tentam quantificar o impacto que estas podem vir a causar na economia mundial. Desde a década de 1960, trabalhos visando estimar o efeito da pluviosidade e temperatura sobre a produtividade agrícola vêm sendo desenvolvidos. Oury (1965) sugere uma relação positiva entre produtividade agrícola e precipitação e negativa entre produtividade e temperatura. Além disso, é um dos primeiros a propor um índice de aridez e o potencial efeito que este tem sobre a produtividade do milho nos Estados Unidos.

Contudo, um largo conjunto de estudos recentes tem levado a literatura à uma série de inconclusões sobre os efeitos que as mudanças no clima podem vir a ter sobre a agricultura dos países. Lobbel e Asner (2003) estimam que o aumento de 1°C na temperatura média da temporada de plantio norte americana pode vir a gerar uma queda de cerca de 17% na produtividade de milho e soja no país.

Deschênes e Greenstone (2007) encontram que o efeito da temperatura sobre o crescimento e desenvolvimento da soja é consistentemente negativo e não linear nos EUA. Não obstante, estimam que as mudanças climáticas projetadas para os EUA terão o potencial de aumentar os lucros anuais com a atividade agrícola em cerca de 4%. Kucharik e Serbin (2008) indicam que o aumento de 1°C na temperatura durante os meses de verão tem o potencial de diminuir a produtividade da soja e do milho em 16% e 13%, respectivamente. Todavia, embora boa parte dos estudos empíricos sobre o tema concordem que as alterações climáticas irão gerar efeitos maléficos sobre a agricultura mundial, alguns apontam para a direção contrária. McCarl (2008) estima um painel de efeitos fixos no nível estadual para os Estados Unidos e encontra que maiores temperaturas têm efeito positivo e estatisticamente significativo sobre a produtividade da soja, e nenhum efeito significativo sobre outras culturas. Lobbel et. al. (2008), utilizando dados agregados para várias regiões do mundo entre 1961 e 2002, encontram que a alteração na produtividade agrícola pode variar de -21% a +8,7% a depender da cultura e da região estudada.

No que tange o efeito da pluviosidade sobre a produtividade agrícola, os estudos também são controversos. McCarl (2008) estima que o aumento nas precipitações projetadas para os EUA pode ter efeito negativo sobre a produtividade do trigo, enquanto pode ser benéfico para a produção de algodão e insignificante sobre a produtividade do milho, sorgo e soja. Deschênes e Greenstone (2007) e Kucharik e Serbin (2008) sugerem que o mesmo aumento projetado para as regiões norte americanas tenderá a ter impacto positivo sobre a produção de milho e soja. Schlenker e Roberts (2009) estimam que o aquecimento global pode reduzir a produtividade agrícola em torno de 30% a 82%, dependendo da velocidade que o processo de aquecimento do planeta terá até o final do século. Nesse sentido, as projeções climáticas para a velocidade desse fenômeno também são diversas. Tais projeções são baseadas em uma série de modelos biofísicos que tentam representar a atmosfera terrestre através de um sistema de equações bastante vasto. Uma descrição mais detalhada dessas projeções é feita na seção 4.3.

No contexto brasileiro, o relatório “The Economics of Climate Change in Brazil: Costs and Opportunities” conduz uma profunda análise da questão das mudanças climáticas no país. Utilizando as projeções do AR4 do IPCC, o trabalho estima que as perdas econômicas devido às mudanças climáticas podem variar a 0,5% e 2,3% do PIB nacional a depender do cenário considerado. Trazendo essas perdas ao valor presente sob a taxa de desconto de 1% ao ano, estariam em torno de R\$ 719 bilhões e R\$ 3,6 trilhões .

Haddad, Porsse e Pereda (2013) estimam também os efeitos indiretos provenientes de variações climáticas sobre a economia brasileira. Ao integrar um modelo físico com um modelo de EGC inter-regional, eles avaliam o impacto econômico de anomalias climáticas observadas em 2005 no Brasil. Seus resultados indicam que a perda de R\$ 1,00 na produção agrícola causada por alterações climáticas em 2005 teria o potencial de causar perdas de R\$ 3,25 em toda economia brasileira. Os autores argumentam que as ligações entre setores e regiões são os principais canais de propagação dos efeitos maléficos da perda de produtividade agrícola brasileira.

Assunção e Chein (2016), utilizando dados da pesquisa de Produção Agrícola Municipal (PAM) e do censo demográfico de 2000, estimam que o aquecimento global sob os atuais padrões de tecnologia e uso do solo tem o potencial de diminuir a produtividade agrícola brasileira aproximadamente em 18%, em média. Quando analisam essas variações nos municípios, encontram valores que variam de -40% à +15%.

3 METODOLOGIA

“I’m afraid that I rather give myself way when I explain”, said he. “Results without causes are much more impressive”.

Sherlock Holmes.

The Stock-Broker’s Clerk

A metodologia que será empregada nesse trabalho tem como cerne os modelos de EGC, que é uma classe de modelos econômicos que procuram representar determinada economia em seus mais diversos setores e regiões. Com um modelo calibrado para o Brasil em 2011, se objetiva mapear os efeitos econômicos totais (diretos e indiretos) que as mudanças climáticas poderão ter sobre as regiões brasileiras através de alterações de produtividade das principais culturas agrícolas do país. Para tal, é necessária a geração de um choque de produtividade na estrutura teórica desse modelo cuja magnitude é calculada a partir de um conjunto de estimativas econométricas que relacionam clima com produtividade agrícola. Com posse dessas estimativas, será possível utilizar as projeções climáticas fornecidas pelo IPCC até o ano de 2100 para estimar os choques futuros de produtividade agrícola na economia brasileira.

Em essência, o que se pretende fazer é estimar os impactos que temperatura e precipitação têm sobre a produtividade agrícola e multiplicá-los pelas projeções de alterações climáticas com o intuito de projetar a produtividade da agricultura nas diversas regiões do Brasil. Com tal alteração na produtividade computada, será possível utilizar o modelo de EGC calibrado para o Brasil em 2011 e, assim, computar os diretos e indiretos provenientes dessas alterações na produtividade da agricultura brasileira. Ainda, para tornar os impactos comparáveis ao longo do tempo, uma abordagem de taxa de desconto intertemporal tem que ser empregada no cômputo dos efeitos desejados.

Assim, essa seção se divide em 4 partes que dizem respeito, respectivamente, ao modelo econométrico utilizado, às premissas que norteiam a construção das projeções climáticas aplicadas, à descrição do modelo de EGC que será empregado e ao tratamento do efeito intertemporal que a quantificação dos impactos econômicos das mudanças climáticas carece para uma análise consistente.

3.1 MODELO ECONOMÉTRICO

A produtividade é um dos principais canais de influência que determinada alteração climática tem sobre o setor agrícola. Dessa forma, entender a relação que a produtividade tem

com potenciais variações de pluviosidade e temperatura é o primeiro passo metodológico necessário para a elaboração deste trabalho. Para tal, a ideia é examinar como as mudanças projetadas nas variáveis climáticas podem afetar a produtividade média das mais diversas culturas agrícolas do Brasil. A estratégia empírica utilizada para tal estimação precisa, inicialmente, definir uma especificação teórica que relacione a produtividade y^h de determinada cultura h no município i do Estado s em algum período t com o clima, preços e tecnologia disponíveis naquele período, conforme a Equação (1):

$$y_{it}^h = f(\text{clima}_{\{it\}}, \text{preços}_{\{st-1\}}, \text{tecnologia}_{\{st\}}) \quad (1)$$

Assim, a metodologia econométrica utilizada se inicia por meio da construção de um painel municipal, elaborado através de dados fornecidos pela PAM, para estimar o efeito do isso, os parâmetros de interesse serão clima sobre a produtividade agrícola condicional a efeitos fixos de município e Estado. Com identificados através de variações climáticas específicas em dado período em relação à média histórica nos municípios, após se controlar por choques comuns para todas as cidades dentro de um Estado. Em suma, a seguinte equação será estimada:

$$y_{it}^h = \alpha_i + \gamma_{st} + \sum_c \theta_c f_c(W_{cit}) + X'_{it}\beta + \epsilon_{it} \quad (2)$$

Tal especificação permite controlar por um efeito fixo de município, α_i ; um efeito fixo de Estado por ano, γ_{st} ; um vetor de variáveis de controle específicas dos municípios², X'_{it} ; e um vetor de variáveis climáticas, W_{cit} ; construído a partir de desvios percentuais de temperatura média e pluviosidade acumulada em todos os meses do ano nos municípios brasileiros em relação à suas respectivas médias históricas. Não obstante, termos quadráticos são incluídos a fim de capturar a não linearidade desses efeitos. Dessa forma, o parâmetro de interesse será θ_c , que medirá o impacto que determinada variável climática c tem sobre a produtividade de alguma cultura h .

Com as estimativas obtidas, cada coeficiente da Equação (2) é multiplicado pela sua respectiva projeção de anomalia climática (descrita na próxima seção). Tal cálculo irá gerar, *ceteris paribus*, uma projeção de alteração de produtividade da cultura h para cada município analisado de 2020 até 2100. Essa previsão será fundamental para a construção dos choques de produtividade agrícola utilizados no modelo de EGC.

² As variáveis de controle utilizadas são descritas na Tabela C1, no apêndice.

3.2 PROJEÇÕES DE PLUVIOSIDADE E TEMPERATURA

Uma série de institutos desenvolvem e estimam seus diferentes modelos climáticos que visam reproduzir e projetar o sistema climático mundial de maneira confiável. Cada modelo utiliza diferentes cenários para fazer suas projeções e cada cenário, por sua vez, é baseado em diferentes premissas acerca das trajetórias de emissão de gases, aerossóis, desmatamento, correntes marítimas e ações de mitigação da humanidade que conduzem, assim, à diferentes resultados e previsões. Esses se baseiam em princípios físicos, e na atualidade já conseguem reproduzir muitos aspectos importantes do clima observado (IPCC, 2013). Com isso, a comunidade científica argumenta que há larga confiança acerca da aptidão destes para a quantificação das projeções climáticas para o futuro.

Em essência, os modelos climáticos empregam uma técnica chamada *ensembling*, que tenta capturar uma vasta gama de cenários climáticos. Assim, um *ensemble* consiste em um conjunto de estimativas de um mesmo modelo climático (utilizando as mesmas premissas físicas), mas alterando ligeiramente as condições iniciais do sistema. Essas diferenças nas condições iniciais geram resultados diferentes em cada simulação em função da alta não linearidade do sistema de equações representado em sua estrutura. Cada conjunto de estimativas de um modelo individual é chamado de *ensemble member* e, em geral, a comunidade científica utiliza a média das estimativas de uma série de *ensemble members* para fazer suas projeções. Ao comparar as variações de resultados entre os *ensemble members* é possível se gerar uma estimativa do grau de incerteza associado às projeções de cada modelo. Utilizar a média de todos esses membros dá uma medida de expectativa da comunidade científica acerca das projeções (IPCC, 2007).

A Figura 1 apresenta as projeções para mudança na temperatura média do planeta feitas pelo AR5 do IPCC que salienta que o clima futuro dependerá do aquecimento causado tanto pelas emissões do passado, quanto às emissões antropogênicas e variações climáticas naturais que ocorrerão no futuro. Essas emissões são, em sua maior parte, dependentes do crescimento populacional e econômico, padrão de consumo mundial, uso do solo, consumo de energia, tecnologia e políticas climáticas.

Figura 1 - Projeções para mudança na temperatura média do planeta ao longo do século XXI (IPCC, 2013).

Dessa forma, o IPCC gera os chamados *Representative Concentration Pathways* (RCPs), que são utilizados para criar as projeções de emissões futuras. Estas são utilizadas como *inputs* para se realizar as simulações dos modelos climáticos que criam as projeções climáticas para o futuro. Esses RCPs são divididos em 4 cenários: um cenário de mitigação rigoroso (RCP 2.6), dois cenários intermediários (RCP 4.5 e RCP 6.0) e um cenário com emissões GEE bastante elevadas (RCP 8.5). Os cenários são nomeados a partir do nível projetado para a diferença entre a radiação solar absorvida pelo planeta e a radiação que é refletida de volta para o espaço relativo ao nível pré-industrial da mesma medida. Essa diferença é conhecida como força radiativa e é definida como um índice da magnitude que a radiação solar tem como potencial mecanismo de mudança climática. Assim, por exemplo, o cenário RCP 4.5 considera que a força radiativa até o final do século será 4.5 vezes maior que o seu nível pré-industrial.

A Figura 2 mostra a representação global das projeções de pluviosidade e temperatura média construídas pelo IPCC sob os cenários RCP 2.6 e RCP 8.5. Os resultados indicam que, ao menos no Brasil, a temperatura média irá aumentar entre 1°C e 1,5°C no cenário mais otimista e em mais de 4°C no cenário pessimista. Em termos de pluviosidade, as estimativas projetam queda de pelo menos 10% na chuva anual acumulada no cenário otimista, e uma diferença regional acentuada no cenário pessimista: na região amazônica uma queda de 10 a 20% e na região sul um aumento de mesma magnitude.

Figura 2 - Projeções Climáticas Regionalizadas (IPCC, 2013).

Ademais, a literatura sobre o tema possui certo consenso acerca de alguns fatos estilizados sobre as mudanças climáticas projetadas até o final do século (IPCC, 2013):

- A temperatura média do planeta está aumentando. Desde 1900, as estimativas indicam que a média de temperatura do globo aumentou em $0,8^{\circ}\text{C}$, com boa parte desse aumento ocorrendo a partir dos anos de 1970. Ademais, as projeções climáticas indicam que temperatura média de praticamente todas as regiões do planeta irá aumentar até 2100.
- A baixa atmosfera terrestre está se tornando cada vez mais quente e úmida como consequência da maior concentração de GEE. Isso gera maior potencial de se acumular energia atmosférica para tempestades e eventos climáticos extremos (furações, tornados, chuvas torrenciais, secas prolongadas). A ocorrência de tais eventos será cada vez mais frequente e volátil.
- Mesmo se a emissão de GEE fossem interrompidas imediatamente, a temperatura média do planeta não iria retornar para o nível pré-industrial.

3.3 MODELO DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL

Com as projeções estabelecidas é possível lançar mão do arcabouço fornecido pelos modelos de EGC de modo a capturar seu efeito para o sistema econômico como um todo. Essa classe de modelos tem atraído considerável atenção nos anos recentes não apenas nos círculos acadêmicos, mas também entre os debates de formulação de política.

Por “equilíbrio-geral” deve-se entender o referencial analítico que enxerga a economia como um sistema completo e interdependente cujas componentes (setores, famílias, governo, investidores, importadores e exportadores) interagem entre si. Esses modelos consideram que os choques econômicos em determinado setor não afetam somente esse, mas acabam por gerar um efeito em cadeia que cria repercussões através do sistema. Por “computável” se entende que o foco principal desses modelos é o de prover resultados que possibilitem a análise quantitativa de problemas de política e economia ao longo dos países, setores ou regiões.

Para isso, esse arcabouço carece de dados que estão contidos nas informações das matrizes de insumo-produto da economia brasileira ao longo dos anos. Essas matrizes são construídas com base nos dados divulgados através das contas nacionais do IBGE. Considerando que uma das principais contribuições dessa metodologia é a de permitir a definição das partes de um sistema econômico (setores, regiões, famílias, governos, etc.) como componentes de um sistema interdependente.

Essa classe de modelos permite, também, que se analise os efeitos de política e choques de determinado setor e região para os outros setores e regiões do Brasil. O recorte utilizado neste estudo divide a economia brasileira em 27 regiões que produzem, consomem e comercializam bens produzidos por 68 setores. Dentre esses bens, analisamos o efeito das mudanças climáticas sobre a produtividade de 6 das principais culturas agrícolas do país: cana-de-açúcar, soja, milho, feijão, café e laranja. Esse efeito pode ser analisado de maneira isolada, ou seja, considerando apenas uma *commodity* agrícola, ou de maneira global, ao se considerar o efeito das mudanças climáticas sobre a produtividade de todos os bens agrícolas ao mesmo tempo.

Destarte, cada região possui um consumidor e um investidor representativo, além de estruturas de governo estadual e federal. Todas as regiões podem comercializar entre si, além de poder importar e exportar sua produção para um setor externo (sob determinada taxa de câmbio). A abrangência dessa classe de modelos permite capturar o efeito da alteração na

produtividade agrícola sobre uma série de variáveis econômicas. Destacam-se: produção, preços, bem-estar, emprego, salários, consumo das famílias e do governo, volume de importação e exportação, entre outros. Vale salientar que o efeito sobre essas variáveis pode ser analisado tanto sob a ótica nacional, quanto sob o ponto de vista regional, sendo possível observar, por exemplo, o efeito de uma alteração da produtividade do cultivo de cana-de-açúcar no Mato Grosso do Sul sobre o nível de salários na Paraíba.

No que tange a produção, cada setor é capaz de produzir determinado bem utilizando uma especificação de bem composto que considera que cada bem é fabricado ao utilizar uma combinação fixa de fatores primários e bens intermediários. Os fatores utilizados são combinados por meio de uma função de elasticidade substituição constante para formar o composto de bens primários. Os insumos intermediários, que podem ter origem doméstica e estrangeira, se combinam também com uma função de elasticidade substituição constante para formar o composto de insumos intermediários. Por fim, insumos intermediários e fatores primários se combinam através de uma função Leontief para gerar a produção das firmas.

O modelo utilizado se baseia na estrutura proposta por Haddad (1999). A construção da base de dados necessária para sua calibragem é feita através da abordagem *top-down*, que utiliza resultados nacionais para criar um sistema inter-regional de insumo-produto capaz gerar uma fotografia da economia brasileira em determinado instante do tempo³. O modelo em questão foi calibrado para o ano de 2011 e os dados utilizados para sua construção são provenientes do sistema de contas nacionais do IBGE, obtidos a partir de um sistema de matrizes inter-regionais de insumo-produto. Dada a interdependência econômica capturada pela estrutura funcional do modelo, é possível desagregar os impactos econômicos diretos (originados pelas perdas de produtividade na agricultura dos Estados) e indiretos (oriundos das perdas supracitadas) provenientes dessas alterações na produtividade do setor agrícola brasileiro e desagregá-los através dos setores e regiões do Brasil.

Uma potencial diminuição na produtividade agrícola em determinada região brasileira terá, do ponto de vista dos setores produtivos, o efeito inicial de aumentar o preço dos bens agrícolas e, por conseguinte, diminuir a renda regional das famílias, firmas e investidores. As famílias ficarão com menor possibilidade de consumo devido ao aumento de preços, as firmas do setor agrícola se tornarão menos competitivas em função da queda de sua produtividade e os investidores irão observar retornos potenciais menores. Isso tenderá a diminuir a demanda

³ Para mais detalhes, ver Haddad, Gonçalves Júnior e Nascimento (2017).

geral por bens produzidos na região em questão, obrigando as firmas dessa localidade a diminuir sua produção. Tais firmas irão reduzir sua demanda por bens intermediários e fatores produtivos, causando uma pressão de diminuição geral no nível de preços da região.

Além disso, a queda da produtividade agrícola de uma região acaba por, *ceteris paribus*, aumentar a produtividade relativa da agricultura das outras regiões. Isso faz com que a produção agrícola da região afetada migre para outras partes do país, gerando um aumento no nível de atividade dos outros Estados e aumentando a disponibilidade de fatores de produção dentro da localidade afetada. O excesso de oferta de fatores nessa região tenderá a causar uma diminuição de sua remuneração e consequente queda em seu nível de preços. O efeito líquido sobre o nível de preços é desconhecido, e pode ser mensurado após realizadas as simulações necessárias sobre os horizontes de curto e longo prazo. Com isso, é possível quantificar o efeito que as mudanças climáticas projetadas para os próximos anos podem vir a ter sobre a produtividade agrícola e, a partir dessas mudanças de produtividade, analisar seu efeito potencial sobre a economia dos diferentes setores e Estados do Brasil.

Uma das principais discussões acerca da estimação do impacto econômico das mudanças climáticas diz respeito à intertemporalidade desse fenômeno. Tipicamente, na aplicação da teoria econômica para avaliação de impactos ao longo do tempo, um incremento de consumo futuro é considerado menos valioso que o consumo presente por duas razões: primeiro, se o consumo cresce, as pessoas tendem a estar em um estado melhor no futuro em relação a hoje, ao passo que uma unidade incremental de consumo no futuro naturalmente vale menos. Além disso, a preferência pura pelo tempo (fenômeno que sugere que pessoas preferem consumo que aumenta bem-estar o mais rápido possível) é válida. Tal princípio presume que, em alguma medida, a noção de que as chances de se estar vivo para gozar de consumo no futuro é menor do que a chance de se estar vivo para gozar do consumo hoje. Outros chamam isso de taxa de impaciência (REISMAN, 1996). A alternativa mais usual para representar esse fenômeno é o uso de taxas de desconto intertemporal que, caso positivas, tornam o consumo presente mais valioso que o consumo futuro.

Figura 3 - Relações de causalidade capturadas pelos modelos de EGC. Elaboração própria.

4 DADOS

“It is a capital mistake to theorize before one has data. Insensibly one begins to twist facts to suit theories, instead of theories to suit facts.”

Sherlock Holmes

A Scandal in Bohemia

Para implementar a estratégia descrita na seção anterior, foram coletados os dados disponíveis mais recentes no que diz respeito à produção agrícola, temperatura, precipitação, além das mais recentes projeções climáticas disponíveis no AR5 do IPCC. Ademais, uma descrição da estrutura produtiva capturada através do sistema regional de insumo-produto utilizado pelo modelo de EGC será realizada. A descrição desses dados é pormenorizada neste capítulo.

4.1 DADOS AGRÍCOLAS

Os dados sobre produção, valor produzido, rendimento médio, área plantada, proporção da produção total e proporção da área plantada total são fornecidos através PAM para todas as culturas agrícolas do Brasil. Os dados foram colhidos entre os anos de 1994 e 2015 para todos os municípios brasileiros. Foram escolhidas 6 das principais culturas agrícolas do Brasil: soja, cana-de-açúcar, milho, café, feijão e laranja.

O critério utilizado para a escolha dessas culturas procurou abranger diversas dimensões da produção agrícola nacional: culturas mais representativas em termos de valor produzido (soja e cana-de-açúcar); culturas mais representativas no PIB agrícola dos municípios da maior parte das regiões (milho e feijão) e culturas nas quais o Brasil possui posição preponderante na produção mundial (café e laranja). Além disso, buscou-se mesclar a análise de culturas de cultivo temporário (soja, cana-de-açúcar, milho e feijão) e de cultivo permanente (café e laranja). As Tabelas 1 e 2 mostram a representatividade dessas culturas em termos de valor produzido e área plantada para os anos de 2010 a 2015.

Tabela 1 - Representatividade das Culturas Seleccionadas em Termos de Valor Produzido (Fonte: IBGE).

Ano	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Média
Soja	24,21%	25,77%	24,74%	29,65%	33,58%	34,15%	28,68%
Cana	18,36%	20,06%	19,83%	18,47%	16,76%	16,49%	18,33%
Milho	9,85%	11,37%	13,15%	11,50%	10,35%	11,25%	11,24%
Feijão	3,21%	2,63%	3,05%	2,99%	2,06%	2,28%	2,70%
Café	7,51%	8,30%	8,19%	5,51%	6,24%	6,00%	6,96%
Laranja	3,99%	3,35%	2,25%	2,05%	2,20%	2,15%	2,67%
TOTAL	67,13%	71,49%	71,22%	70,18%	71,19%	72,32%	70,59%

Dentre essas, a soja se destaca tanto em termos de valor produzido (quase 30% do total produzido pela agricultura brasileira entre 2010 e 2015) e área plantada (38% do total das terras cultiváveis do Brasil no período). Em seguida vem a cana-de-açúcar (18,3% do valor produzido e 13,8% da área plantada), milho (11,2% do total da agricultura e 20,8% da área plantada). Café, feijão e laranja representaram, em média, 12,3% do PIB agrícola brasileiro e 8,8% do total da área plantada no país. Juntas, essas culturas foram responsáveis por 70,6% do total do valor produzido e 81,36% da área plantada pelo setor agrícola do Brasil entre 2010 e 2015.

Tabela 2 - Representatividade das Culturas Seleccionadas em Termos de Área Plantada (Fonte: IBGE).

Ano	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Média
Soja	35,70%	35,26%	36,26%	38,58%	39,76%	41,93%	37,92%
Cana	14,02%	14,11%	14,09%	14,11%	13,71%	13,25%	13,88%
Milho	19,83%	19,96%	21,77%	21,69%	20,78%	20,63%	20,78%
Feijão	5,59%	5,73%	4,60%	4,20%	4,46%	4,07%	4,78%
Café	3,31%	3,15%	3,07%	2,89%	2,63%	2,59%	2,94%
Laranja	1,30%	1,20%	1,10%	0,99%	0,90%	0,89%	1,07%
TOTAL	79,75%	79,42%	80,90%	82,47%	82,25%	83,36%	81,36%

Para evitar eventuais distorções, todos os dados descritos em diante serão apresentados a partir de médias municipais construídas entre os anos de 2010 e 2015. A Tabela A1 no apêndice também mostra a representatividade de cada cultura agregada por Estado⁴.

A soja é a principal *commodity* agrícola do Brasil atingindo valor de produzido de quase R\$17 bilhões em 2015. A produção da cultura em termos de valor se concentra sobretudo na região Centro-Oeste, responsável por quase 45% do total produzido no país. Logo em seguida, vem a região Sul, responsável por cerca de 37%.

⁴ Isso será importante, uma vez que o modelo de equilíbrio geral computável utilizado estará na base estadual, de modo que agregar os dados municipais para os Estados se fará necessário adiante.

Tabela 3 - Importância da Soja (em termos de valor produzido) nas Grandes Regiões (Fonte: IBGE).

Região/Ano	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Média
Norte	2,68%	2,73%	3,82%	3,27%	3,92%	4,02%	3,41%
Nordeste	8,10%	8,38%	9,59%	6,38%	7,42%	8,89%	8,13%
Sudeste	7,03%	6,05%	7,80%	6,70%	6,12%	6,53%	6,70%
Sul	39,38%	39,60%	29,89%	40,06%	37,10%	37,67%	37,28%
Centro-Oeste	42,80%	43,25%	48,90%	43,58%	45,44%	42,89%	44,48%

Ao se observar o espriamento da cultura ao longo dos municípios brasileiros (Figura 4) é possível notar a maior parte da produção se concentra nos Estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Bahia, Paraná e Rio Grande do Sul.

Figura 4 - Produção de Soja no Brasil - Média do Valor Produzido entre 2010 e 2015 (em mil reais de 2000).

Quando se trata da importância da cultura em termos do PIB agrícola dos municípios (Figura 5), é possível observar o aumento de sua importância para os municípios da região Sul e Nordeste. A explicação para esse fato é direta: uma vez que os municípios do Centro-Oeste possuem, em média, área maior que os da região Sul, o valor da produção destes tende a ser maior que o daqueles. A análise da importância da cultura no total produzido pelo setor agrícola municipal indica a ascensão de seu peso para as cidades do Sul do Brasil (menores por construção) é evidenciada. Logo, é possível concluir que olhar somente para o valor produzido dos municípios pode conduzir a algum nível de viés regional.

Figura 5 - Importância da Produção da Soja nos Municípios Brasileiros - Proporção da Produção da Soja no Total Produzido pelo Setor Agrícola dos Municípios (média 2010-2015).

A máxima produtividade da cultura ocorre quando a precipitação acumulada ao longo de todo seu ciclo produtivo se encontra entre 450mm a 800mm e temperatura média durante o dia em torno de 30°C (EMBRAPA, 2005). O crescimento vegetativo da cultura é quase nulo quando a temperatura média durante o dia é menor que 10°C e a taxa de crescimento é altamente prejudicada sob temperaturas superiores a 40°C. Tais condições são agravadas sob a ocorrência de déficits hídricos. Desse modo, a cultura possui diferentes períodos de plantio e colheita ao longo das regiões brasileiras. Nas regiões Centro-Oeste e Nordeste, o período de plantação vai de outubro a janeiro e nas regiões Sul e Sudeste, de setembro a janeiro. A época de colheita vai de janeiro a maio no Sul, Sudeste e Centro-Oeste e de fevereiro a maio no Nordeste⁵.

A cana-de-açúcar é considerada uma cultura de plantio semi-temporário, uma vez que após o plantio ela é cortada várias vezes antes de ser replantada. Seu ciclo produtivo é de, em média, seis anos (ou cinco cortes). O Brasil é atualmente o principal produtor mundial de cana-de-açúcar, sendo responsável por cerca de 30% do total da área destinada ao cultivo do produto ao redor do mundo (FAO, 2008). A maior parte da produção canavieira do Brasil se

⁵ A Figura J1 no apêndice sumariza os períodos de plantio e colheita de cada cultura analisada ao longo das regiões brasileiras.

concentra na região sudeste, responsável por cerca de 64% da produção nacional. Em seguida vem o Centro-Oeste e o Nordeste, responsáveis por 16,76% e 11,8%, respectivamente.

Tabela 4 - Importância da Cana-de-Açúcar (em termos de valor produzido) nas Grandes Regiões (Fonte: IBGE).

Região/Ano	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Média
Norte	0,66%	0,90%	0,87%	1,20%	1,10%	0,81%	0,92%
Nordeste	14,27%	12,54%	10,64%	10,30%	12,90%	10,20%	11,81%
Sudeste	65,26%	66,12%	66,37%	63,86%	61,17%	61,99%	64,13%
Sul	6,88%	5,97%	6,45%	6,32%	6,35%	6,31%	6,38%
Centro-Oeste	12,92%	14,48%	15,67%	18,32%	18,48%	20,70%	16,76%

A Figura 6 mostra que a maior parte da produção de cana se concentra no oeste paulista e Mato Grosso do Sul. Todavia, ao se observar a dependência dos municípios em relação à produção da *commodity*, tem-se que essa se espalha para boa parte dos municípios do Sudeste e Nordeste do Brasil. A Figura 7 mostra que a importância relativa da cana no setor agrícola chega a ser maior que 80% em grande parte dos municípios da zona da mata nordestina.

Figura 6 - Produção de Cana no Brasil - Média do Valor Produzido entre 2010 e 2015 (em mil reais de 2000).

A cultura carece de condições climáticas específicas para seu desenvolvimento. A temperatura ideal para o brotamento dos toletes da cana varia de 32°C a 38°C. As condições

ideais de temperatura durante o dia devem variar de 22°C a 30°C durante o período de crescimento da planta. Temperaturas médias abaixo de 20° tendem a prejudicar seu desenvolvimento. Dessa forma, a cultura apresenta dois regimes de plantio e colheita distintos nas regiões brasileiras: plantio de outubro a março (dezembro) no Sudeste (Centro-Oeste) e de novembro a janeiro no Nordeste. Colheita de abril a setembro (dezembro) no Sudeste (Centro-Oeste) e setembro a abril no Nordeste.

Figura 7 - Importância da Produção da Cana-de-Açúcar nos Municípios Brasileiros - Proporção da Produção da Cana-de-Açúcar no Total Produzido pelo Setor Agrícola dos Municípios (média 2010-2015).

O Ministério da Agricultura dos Estados Unidos estima que em 2017 o Brasil foi o 3º maior produtor de milho no mundo (atrás dos EUA e China) produzindo cerca de 95 mil toneladas do grão. O milho é, dentre as culturas estudadas, aquele que apresenta maior espraio regional em termos produtivos. As regiões Sul e Centro-Oeste são responsáveis, cada uma, por cerca de um terço do total produzido no Brasil entre 2010 e 2015. O Sudeste fica com cerca de 19% desse total (Tabela 5). A Figura 8 mostra o espraio geográfico do milho em termos de valor produzido.

Tabela 5 - Importância do Milho (em termos de valor produzido) nas Grandes Regiões (Fonte: IBGE).

Região/Ano	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Média
Norte	3,49%	2,96%	2,86%	2,72%	3,10%	3,62%	3,13%
Nordeste	10,01%	10,61%	6,99%	8,23%	10,94%	8,73%	9,25%
Sudeste	23,44%	19,56%	18,32%	18,10%	17,69%	16,52%	18,94%
Sul	40,32%	38,09%	34,50%	35,87%	34,06%	30,04%	35,48%
Centro-Oeste	22,73%	28,78%	37,33%	35,08%	34,20%	41,08%	33,20%

Contudo, a análise da importância do milho para o setor agrícola dos municípios (Figura 9) permite observar um espalhamento da cultura ao longo das cinco grandes regiões brasileiras.

Figura 8 - Produção de Milho no Brasil - Média do Valor Produzido entre 2010 e 2015 (em mil reais de 2000).

O milho, nativa da América Central e cultivada desde as civilizações pré-colombianas, é geralmente plantada durante o período chuvoso. Assim como a cana-de-açúcar, é considerada cultura de sequeiro uma vez que carecem apenas de água oriunda da chuva, ao passo que a determinação precisa do período de estiagem é fundamental para o seu bom cultivo ao longo do tempo. A produtividade máxima da cultura ocorre com consumo de água médio de cerca de 500mm e 800mm durante o período de cultivo e carece de consumo mínimo de 350mm para se desenvolver sem necessidade de irrigação

Em termos de temperatura, o ideal é que a média durante o dia varie entre 25°C e 30°C sendo que temperaturas médias inferiores a 10°C e superiores a 40°C causam retardo considerável na germinação. Com a grande diversidade do sistema climático das regiões brasileiras, o milho é cultivado em diferentes períodos no país: costuma ser plantada entre agosto e dezembro nas regiões Sul e Norte do país e entre outubro e dezembro nas regiões Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste. O período de colheita também varia, indo de dezembro a junho no Sul, janeiro a junho no Norte e de fevereiro a junho no Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste (EMBRAPA, 1987).

Figura 9 - Importância da Produção de Milho nos Municípios Brasileiros - Proporção da Produção de Milho no Total Produzido pelo Setor Agrícola dos Municípios (média 2010-2015).

Segundo da Organização Internacional do Café (OIC), o país foi responsável por pouco menos de um terço da produção mundial em 2017. Entre 2010 e 2015, o café foi responsável por cerca 4,7% do valor produzido pela agricultura nacional.

A produção se dá, sobretudo, na região sudeste do Brasil, responsável por cerca de 88% de toda a produção nacional. A maior parte de sua produção se concentra nos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro (Figura 10) e a análise da importância da cultura no PIB agrícola dos municípios (Figura 11) reafirma esse fato.

Tabela 6 - Importância do Café (em termos de valor produzido) nas Grandes Regiões (Fonte: IBGE).

Região/Ano	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Média
Norte	3,16%	1,91%	1,99%	2,11%	1,94%	1,91%	2,17%
Nordeste	5,00%	5,30%	4,23%	5,48%	5,94%	6,93%	5,48%
Sudeste	85,95%	87,35%	89,34%	88,19%	90,06%	87,24%	88,02%
Sul	4,94%	4,76%	3,63%	3,32%	1,36%	3,14%	3,53%
Centro-Oeste	0,95%	0,68%	0,81%	0,90%	0,70%	0,77%	0,80%

Figura 10 - Produção de Café no Brasil - Média do Valor Produzido entre 2010 e 2015 (em mil reais de 2000).

Por se tratar de uma cultura de cultivo permanente, seu tempo de plantio é bastante variante, mas se estima que após o plantio é necessário entre dois e três anos para a planta começar a gerar grãos. O cafeeiro possui ciclo de produção bianual: em um ano produz bastante e no ano seguinte gera menor quantidade de grãos.

No Brasil são cultivadas duas espécies: arábica e robusta. A primeira carece de temperatura ideal média entre 19°C e 22°C durante o período de germinação. Essa espécie é, porém, bastante sensível às geadas tendo inibição de crescimento para temperaturas menores que 10°C. O café arábica é também uma planta mais suscetível a proliferação de pragas e risco de infecções com temperaturas médias superiores aos 22°C. O café robusta, por sua vez, é mais resistente às temperaturas altas e infestações. É bem adaptada em regiões com

temperatura média entre 22°C e 26°C. Ambas as espécies reagem bem a períodos de estiagem não superiores a 3 meses e a planta é melhor adaptada para regiões que possuam regime de chuvas anuais uniformes que acumulem entre 1500mm e 1900mm de precipitação por ano. Chuvas irregulares podem deformar a floração do cafeeiro, causando maturação desigual em seus frutos. Seu período de colheita vai de maio a agosto na região Sudeste, e de maio a novembro na região Sul (RICCI, 2002).

Figura 11 - Importância da Produção da Café nos Municípios Brasileiros - Proporção da Produção de Café no Total Produzido pelo Setor Agrícola dos Municípios (média 2010-2015).

O feijão é considerado a principal cultura de subsistência do Brasil. Por esse motivo, é a cultura com produção mais homogênea ao longo das regiões brasileiras: a região Sul lidera com 29,6% do total da produção nacional, seguida pelo Sudeste (28,2%), Centro-Oeste (19,7%), Nordeste (19%) e Norte (3,4%). A Figura 12 apresenta sua importância geográfica em termos de valor produzindo, indicando alta concentração de produção nos Estados do Paraná, Goiás e Mato Grosso.

Tabela 7 - Importância do Feijão (em termos de valor produzido) nas Grandes Regiões (Fonte: IBGE).

Região/Ano	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Média
Norte	3,86%	4,02%	3,97%	3,03%	3,26%	2,19%	3,39%
Nordeste	23,10%	27,28%	10,91%	14,46%	19,89%	18,59%	19,04%
Sudeste	28,22%	26,30%	34,70%	30,27%	22,56%	27,49%	28,26%
Sul	25,97%	25,00%	28,01%	32,27%	35,54%	30,91%	29,62%
Centro-Oeste	18,85%	17,39%	22,40%	19,97%	18,75%	20,81%	19,70%

Figura 12 - Produção de Feijão no Brasil - Média do Valor Produzido entre 2010 e 2015 (em mil reais de 2000).

Quando se analisa, porém, a representatividade da cultura para o PIB agrícola dos municípios (Figura 13) sua importância ascende para as cidades do sertão nordestino, muitas com mais de 60% de sua produção agrícola proveniente da cultura. A planta carece de temperatura média durante o dia variando de 18°C a 24°C e durante a noite de 15°C a 21°C. Sob temperaturas superiores a 35°C, praticamente não há crescimento de suas vagens. Durante seu ciclo produtivo, a cultura precisa de cerca de 300mm a 400mm de chuvas bem distribuídas ao longo de seu período de germinação. Na região Sul o período de plantio vai de agosto a dezembro e o de colheita de outubro a março. Nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste seu período de plantio varia de outubro a dezembro e a colheita vai de janeiro a abril (EMBRAPA, 1994).

Figura 13 - Importância da Produção da Feijão nos Municípios Brasileiros - Proporção da Produção de Feijão no Total Produzido pelo Setor Agrícola dos Municípios (média 2010-2015).

A laranja é a cultura permanente na qual o Brasil possui maior representatividade no cenário mundial. O Departamento de Agricultura dos EUA estima que em 2016 o país tenha produzido cerca de 19,2 mil toneladas da fruta, mais que o triplo da China (segunda colocada, com 6,2 mil toneladas). Por se tratar de uma espécie de cultivo permanente, sua produção tende a ser mais concentrada regionalmente. O Sudeste foi responsável por mais de 3/4 de toda a produção nacional entre 2010 e 2015. Sua produção se concentra no Estado de São Paulo e no oeste mineiro.

Tabela 8 - Importância de Laranja (em termos de valor produzido) nas Grandes Regiões (Fonte: IBGE).

Região/Ano	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Média
Norte	1,73%	2,24%	4,12%	4,65%	4,18%	5,46%	3,73%
Nordeste	8,89%	7,80%	10,88%	11,46%	9,81%	9,77%	9,77%
Sudeste	81,68%	81,71%	72,97%	71,15%	74,89%	73,33%	75,95%
Sul	6,65%	7,27%	10,69%	11,37%	9,76%	10,06%	9,30%
Centro-Oeste	1,05%	0,97%	1,35%	1,38%	1,36%	1,39%	1,25%

Figura 14 - Produção de Laranja no Brasil - Média do Valor Produzido entre 2010 e 2015 (em mil reais de 2000).

A análise da importância da cultura para o PIB agrícola municipal (Figura 15), porém, é mais surpreendente: a laranja é responsável por ao menos 20% da produção agrícola de boa parte dos municípios do centro-sul brasileiro, chegando a ter importância até em cidades do Nordeste. A laranja é uma fruta do gênero *citrus*, que carece de pluviosidade anual média entre 1800mm e 2400mm, com um mínimo de 1200mm por ano. Eventuais déficits nesses valores podem ser sanados por meio de água de irrigação. Seu período de colheita varia substancialmente em função da vasta gama de variedades cultivadas Brasil.

Figura 15 - Importância da Produção de Laranja nos Municípios Brasileiros - Proporção da Produção de Laranja no Total Produzido pelo Setor Agrícola dos Municípios (média 2010-2015).

4.2 DADOS CLIMÁTICOS

Os dados climáticos utilizados são provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) que fornece dados climáticos históricos provenientes de suas 265 estações espalhadas pelo Brasil. Para este trabalho, serão utilizadas observações mensais (de precipitação acumulada e temperatura média compensada⁶) coletadas entre janeiro de 1994 a dezembro de 2015. Os dados são interpolados espacialmente⁷ de modo a se criar medidas municipalizadas de precipitação e temperatura médias ao longo de todos os meses entre do período em questão. Essa interpolação tem por objetivo criar um painel anual com informações climáticas de cada um dos 5563 municípios brasileiros ao longo desses anos. O método de interpolação, embora longe do ideal, é uma forma de se tentar extrair o máximo das informações agrícolas (fornecidas em base municipal) descritas na sessão anterior.

⁶ Segundo o INMET, a temperatura compensada média de uma estação meteorológica é aquela que, dentro do período de um dia, calcula uma média ponderada das temperaturas máxima (peso 1), mínima (peso 1), do meio-dia (peso 1) e da meia-noite (peso 2) dentro do período de 24 horas.

⁷ A interpolação espacial dos dados climáticos foi realizada através do software Matlab®. Para tal, se utilizou uma matriz de distâncias inversas construída através da coordenada geográfica de cada estação do INMET e do centroide de cada município brasileiro. Essa matriz foi usada para construir uma média espacial ponderada do nível de precipitação acumulada e média de temperatura para todos os meses entre janeiro de 1994 e dezembro de 2015.

Figura 16 - Estações Meteorológicas do INMET.

A Figura 16 mostra a distribuição espacial de todas as estações meteorológicas que possuíam dados disponíveis no período analisado. Com exceção do Estado de Rondônia (único Estado que não possui nenhuma estação meteorológica), todas as unidades da federação são cobertas por pelo menos 3 estações meteorológicas bem espalhadas ao longo de seus territórios.

Por esse motivo, Rondônia foi retirada de todas as análises econométricas. Essa decisão se baseia na ausência de informações climáticas históricas para a região e pelo fato de Rondônia ter sido responsável por apenas 0,78% de toda a produção agrícola nacional entre 2010 e 2015, demonstrando a baixa representatividade do Estado para a agricultura brasileira.

A Figura 17 mostra o padrão de precipitação anual médio do Brasil entre 1994 e 2015. Sua análise mostra os diferentes padrões microclimáticos vigentes no Brasil: bastante úmido nas regiões Sul e Norte, bastante seco no semiárido nordestino e intermediário no restante do centro-sul brasileiro. As Figuras B1 e B2 (no apêndice) o apresentam o comportamento médio da precipitação nas regiões brasileiras, mas dessa vez considerando as médias mensais. O

padrão ali descrito é típico de regiões de clima tropical: verões bastante úmidos e invernos secos, com primaveras e outonos intermediários nesse sentido.

Figura 17 - Precipitação Acumulada - Média Anual (1994 - 2015).

A Figura 18 mostra os diferenciais de temperatura compensada média ao longo do Brasil. Sua análise é direta: o centro-norte do Brasil com temperaturas médias elevadas (mais de 26°C em média ao longo do ano), o Sul com temperaturas subtropicais (menos de 19°C em média ao longo do ano), e o Sudeste com temperaturas mais amenas (entre 20°C e 23°C ao longo do ano). Ainda, as Figuras B3 e B4 no apêndice apresentam o comportamento sazonal da temperatura média compensada nos municípios brasileiros ao longo dos meses. Novamente, sua análise é de acordo com o esperado: temperaturas médias elevadas em todo o Brasil nos meses de verão e mais frias nos meses de inverno.

Figura 18 - Temperatura Compensada - Média Anual (1994 - 2015).

4.3 PROJEÇÕES CLIMÁTICAS

Conforme descrito na seção 3.2, os modelos climáticos utilizados para gerar os impactos das mudanças climáticas na produtividade agrícola dos municípios brasileiros se baseiam no AR5 do IPCC. Mais especificamente, foram utilizados os dados fornecidos pelo modelo climático do *National Center for Atmospheric Research* (NCAR), que fornece projeções mensais para inúmeros parâmetros atmosféricos e climáticos para as diversas regiões do globo. Os dados coletados dizem respeito aos *outputs* do mais recente modelo desenvolvido pelo NCAR (CCSM-4) e estão na escala global⁸.

No campo das mudanças climáticas, os cenários de emissão são utilizados para explorar uma série de incertezas em fatores como crescimento e desenvolvimento econômico, população e criação de novas tecnologias. A utilização de cenários é hábito corriqueiro para que planejadores e tomadores de decisão analisem situações que possuem resultados incertos. Projeções e cenários de condições sociais e ambientais futuras podem abranger diferentes

⁸ Os dados fornecidos pelo NCAR na escala global utilizam a quadratura gaussiana para gerar suas estimativas e fornecem dados para pontos igualmente espaçados por 1,25° de longitude e 0,94° de latitude. Em média isso corresponde a uma resolução de 105km. Para transformar essas projeções em escala global para a escala municipal, foi utilizado o mesmo método de interpolação espacial descrito na seção anterior.

estados da natureza no planeta. Por exemplo, estados nos quais o mundo está mais pobre e situações nas quais está mais rico. A finalidade de se utilizar cenários não é prever o futuro, mas explorar as implicações científicas e socioeconômicas sob diferentes situações futuras plausíveis. Ao elaborar o AR5, os cientistas desenvolveram um novo arcabouço para a criação e utilização dos cenários no contexto das mudanças climáticas.

Para este trabalho, foram coletadas as projeções de temperatura e precipitação mensais de janeiro de 2020 a dezembro de 2100. Ademais, os cenários RCP 2.6 e RCP 8.5 são utilizados para fazer as análises do trabalho⁹. Vale lembrar que o primeiro é um cenário construído sob a premissa de que a concentração de GEE na atmosfera terrestre irá atingir seu pico no meio do século e, a partir daí, começar a declinar. É chamado de cenário de baixas emissões e foi desenvolvido pelo *PBL Environmental Assessment Agency* da Holanda, considerando que metas ambiciosas de emissão de GEE serão postas em prática ao longo do tempo. Suas principais premissas são:

- Diminuição no uso de petróleo.
- População de 9 bilhões de habitantes em torno de 2100.
- Um crescimento considerável do uso de energia gerada a partir da biomassa.
- Redução das emissões da ordem de 40%.
- As emissões de CO₂ atuais permanecem constantes no nível atual até 2020 e começam a declinar a partir daí, se tornam negativas a partir de 2100.
- A concentração de CO₂ na atmosfera atinge seu pico em 2050, apresentando leve declínio até 2100.

O RCP 8.5, por sua vez, supõe que a concentração desses gases aumenta continuamente ao longo do século. É chamado de cenário de altas emissões e é consistente com um futuro no qual nenhuma política de redução de emissões é posta em voga no mundo. Foi desenvolvido pelo *Institute of Applied Analysis* da Áustria e tem como premissas:

- Emissões de CO₂ três vezes maiores que os níveis atuais até 2100.
- Rápido crescimento das emissões de metano.
- Um aumento crescente do uso da terra para agricultura conduzido por forte crescimento populacional.

⁹ A escolha desses dois cenários visa gerar análises sob as projeções mais otimistas (RCP 2.6) e pessimistas (RCP 8.5) possíveis. Assim, é razoável assumir que qualquer cenário intermediário (RCP's 4.5 e 6.0) está abarcado entre as estimativas obtidas nos cenários mais drásticos.

- População mundial de 12 bilhões de pessoas até 2100.
- Uma baixa taxa de crescimento da tecnologia.
- Uma alta resiliência do uso de combustíveis fósseis.
- Nenhuma implementação de políticas de mitigação.

Por esse motivo, cada um dos cenários conduz a trajetórias de temperatura e precipitação distintas ao longo do século (inclusive entre as regiões brasileiras). Os dados utilizados dizem respeito à média dos 9 *ensemble members* do modelo em questão.

Figura 19 - Anomalia de Precipitação Anual (média a cada duas décadas) - RCP 2.6.

A Figura 19 apresenta as projeções médias de anomalias¹⁰ de precipitação anual nas regiões brasileiras sob o RCP 2.6. Por se tratar de um cenário mais conservador, seus resultados são mais discretos e homogêneos ao longo do tempo. Em essência, se destacam a tendência de diminuição de precipitação no meio-norte brasileiro (na ordem dos 10%) e aumento discreto no extremo sul do país (cerca de 5%).

Figura 20 - Anomalia de Precipitação Anual (média a cada duas décadas) – RCP 8.5.

O RCP 8.5, por sua vez, é muito mais drástico. A Figura 20 mostra as projeções até o final do século. Sua análise permite inferir que, além de mais intensas, as anomalias de

¹⁰ Anomalia climática é descrita na literatura como a diferença percentual entre o valor que determinada variável climática assume sob determinado cenário e uma média histórica dessa mesma variável. Para este trabalho, todas as anomalias de temperatura e precipitação são calculadas tendo como base as médias do período 1960-2000

precipitação previstas são muito mais voláteis no tempo. Nas décadas de 2020-2040, a queda mediana de precipitação no Brasil é da ordem dos 5%, enquanto que no final do século tal queda é três vezes maior. Não obstante, o cenário prevê agravamento do processo de seca no semiárido nordestino, tendo diminuição de sua pluviosidade média de até 35%. O Sul do país enfrentará regimes de chuva mais intensos, chegando a observar aumento médio de pluviosidade da ordem dos 15% no final do século.

Figura 21 - Anomalia de Temperatura (média a cada duas décadas) - RCP 2.6.

Em termos de temperatura, o que se prevê é aquecimento ao longo do século, mas com magnitudes e velocidades diferentes a depender do cenário analisado. A Figura 21 denota as projeções de anomalia de temperatura média anual ao longo do século sob o RCP 2.6. Esse

cenário prevê aumento mediano de 4% (cerca de 0,9°C) até o final do século, sendo o Sul do país a região mais afetada nesse sentido. A imagem também denota um fato curioso desse cenário: a reversão do processo de aquecimento nos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul entre as décadas de 2040 e 2100. Sob o RCP 8.5, porém, as mudanças são mais intensas (Figura 22). Enquanto no início do século o aquecimento mediano projetado seja da ordem dos 5% (1°C), no final do século tal aumento é de cerca de 17% (ou 3,8°C), chegando aos 25% nos municípios da região Sul.

Figura 22 - Anomalia de Temperatura (média a cada duas décadas) - RCP 8.5.

4.4 EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL

O B-MARIA 27 é um modelo de EGC calibrado para a economia brasileira no ano de 2011. Sua estrutura funcional captura as relações de interdependência dos setores e regiões do Brasil e pode ser entendido como uma fotografia da economia brasileira nesse ano. O modelo é estruturalmente dividido em 27 regiões e 68 setores. A construção de sua base de dados lança mão da abordagem *top-down* que utiliza resultados agregados nacionais para desagregar as informações na dimensão regional¹¹. As figuras a seguir apresentam alguns dados relevantes para a análise, representando a estrutura produtiva brasileira em 2011, ano no qual o modelo está calibrado.

A Figura 23 apresenta a proporção do Produto Regional Bruto (PRB) dos Estados brasileiros em relação ao PIB brasileiro no ano de 2011. A imagem demonstra a vasta heterogeneidade regional na estrutura produtiva do Brasil, além da preponderância do eixo Sul-Sudeste na economia do Brasil. Nesse sentido, São Paulo representou cerca de 35% da produção nacional no ano de 2011, enquanto que o Acre foi responsável por apenas 0,16%.

Figura 23 - Participação dos Estados no PIB Brasileiro - 2011.

¹¹ Para mais detalhes, ver Haddad, Gonçalves Júnior e Nascimento (2017).

A Figura 24, por sua vez, mostra a importância relativa de cada Estado brasileiro na formação do PIB do setor agrícola do Brasil. Aqui se observa uma heterogeneidade regional na estrutura produtiva do país, mas com padrão semelhante na concentração entre as regiões brasileiras, com aumento da importância da região Centro-Oeste. Novamente, São Paulo se destaca, sendo responsável por cerca de 16% da produção agrícola nacional em 2011, seguido por Minas Gerais, Paraná e Mato Grosso, responsáveis por 12,5%, 11,6% e 11,1% respectivamente. Na outra ponta, os Estados com menor importância relativa na produção agrícola nacional são Rondônia, Acre, Roraima e Amapá, responsáveis por 0,35%, 0,24%, 0,05% e 0,04%, respectivamente.

Figura 24 - Participação dos Estados no PIB Agrícola Brasileiro - 2011.

Por fim, a Figura 25 mostra a importância relativa do setor agrícola no PIB dos Estados. Nesse sentido, o Estado do Mato Grosso é o que mais depende da agricultura na sua estrutura produtiva (quase 18% da produção mato-grossense em 2011 foi oriunda da agricultura), seguido por Alagoas (9,44%), Mato Grosso do Sul (8,95%) e Tocantins (6,5%). Na outra direção, Rio de Janeiro, Distrito Federal, Amapá e Roraima são os Estados que menos dependem da agricultura para a composição de seu PIB em 2011 (com 0,18%, 0,36%, 0,63% e 1,14%, respectivamente). Vale ressaltar que essa dependência produtiva da agricultura terá grande relação com a análise de vulnerabilidade dos estados realizada adiante.

Figura 25 - Participação do Setor Agrícola no PIB dos Estados - 2011.

5 RESULTADOS

“Their cumulative effect is certainly considerable, and yet each one of them is quite possible in itself.”

Sherlock Holmes and Dr. Watson.

The Adventure of Abbey Grange

Este capítulo se divide em cinco partes. A primeira apresenta as estimativas do modelo econométrico descrito na seção 3.1. A segunda utiliza esses resultados para gerar as projeções de impacto na produtividade das culturas agrícolas estudadas. A terceira subseção apresenta as projeções de impacto direto das mudanças climáticas sobre o setor agrícola dos Estados brasileiros. A quarta descreve os impactos totais provenientes das simulações do modelo EGC e a última subseção utiliza uma metodologia descrita na literatura para tratar do problema da incerteza de maneira explícita.

5.1 MODELO ECONOMETRICO

Agora a Equação (2) é utilizada utilizando as anomalias climáticas para os municípios brasileiros como variável explicativa dos diferenciais de produtividade das culturas estudadas. O vetor W_{cit} contém as variáveis disponíveis relacionadas às condições climáticas municipais: anomalia de temperatura média compensada e anomalia de precipitação acumulada no mês. Para cada ano considerado (1994 a 2015) foram utilizadas anomalias mensais (janeiro a dezembro) como variáveis de controle. Seguindo Mendelsohn et. al. (1994), a especificação quadrática foi utilizada para as variáveis de anomalia a fim de se capturar eventuais não linearidades na relação entre clima e produtividade.

Dessa forma, foi construído um painel municipal de 21 anos para cada uma das seis culturas estudadas. A Equação (2) foi, assim, estimada seis vezes considerando uma série de especificações. Para fins desse estudo, a especificação final utilizada segue Deschênes e Greenstone (2007), que utilizam um painel de efeitos fixos municipais para suas estimativas. Com isso, foram utilizados efeitos fixos de município a fim de capturar todos os fatores não observáveis específicos de cada município que não variam ao longo do tempo. Outra possibilidade seria a de se incluir um efeito fixo temporal que controla todos os diferenciais anuais de produtividade que são comuns a todos os municípios. Contudo, na especificação final, se utilizou efeitos-fixos de estado-ano ao invés de efeitos fixos de ano visando controlar por diferenciais anuais de produtividade que são comuns a todos os municípios dentro de um mesmo Estado. Assim, além de controlar por um fator não observável importante na

determinação da produtividade agrícola municipal (os preços), esse efeito-fixo auxilia na identificação do parâmetro de interesse θ por meio de anomalias climáticas observadas nos municípios ao longo do tempo, após controlar por choques comuns a todos os municípios dentro de um Estado¹². Também foram utilizadas variáveis de controle (descritas na tabela C1 no apêndice), e todas as estimações utilizaram *clusters* em nível estadual além de serem ponderadas pela raiz quadrada da área plantada em cada cultura¹³. Os resultados para cada cultura estudada são apresentados nas tabelas D1 a D2 no apêndice.

5.2 PROJEÇÕES DE IMPACTO

Com as estimativas obtidas, é possível combiná-las com as projeções descritas na seção 4.3 para gerar as previsões de impacto na produtividade das culturas analisadas. As figuras 26 a 31 apresentam as trajetórias de variação da produtividade de cada uma das culturas estudadas entre 2020 e 2100 para os dois cenários analisados¹⁴. Essas taxas são corrigidas pela possibilidade de crescimento da produtividade através de progresso técnico específico a cada cultura, associado à possibilidade de adaptação desta a eventuais alterações climáticas regionais. Para tal, admitimos que cada cultura possui uma taxa anual de progresso técnico específico acumulada ao longo do tempo. Essa taxa é estimada através da média do crescimento do rendimento médio da produção de cada uma das culturas no Brasil em diversos períodos. A Tabela 9 apresenta essas médias para uma série de períodos a partir dos dados fornecidos pela PAM¹⁵.

A análise dos impactos sobre as culturas reflete, em boa medida, o comportamento dos cenários climáticos considerados e descritos na seção 4.3: apresentam trajetórias parecidas até o meio do século, mas se descolam a partir de 2050 com significativa perda de produtividade sob o cenário RCP 8.5 e uma trajetória quase constante no RCP 2.6. Dessa forma, todas as culturas poderão apresentar trajetórias distintas a depender do cenário considerado. Sob o

¹² Deschênes e Greenstone (2007) argumentam que essa variação é ortogonal aos determinantes não observáveis da produtividade agrícola, provendo uma solução potencial para amenizar o problema do viés de variável omitida.

¹³ Novamente, Deschênes e Greenstone (2007) argumentam que existem dois principais motivos para se utilizar pesos nesse contexto: a primeira é que as estimativas de produção e valor produzido tendem a ser mais precisas em relação a cidades que possuem pequena operação da cultura em questão. Além disso, tais pesos corrigem pela heterocedasticidade associada a diferenças de precisão em tais medidas. Segundo, a média ponderada da variável dependente é igual ao valor médio dessa variável no nível nacional.

¹⁴ Aqui vale uma ressalva: todas as projeções médias para o Brasil são construídas a partir de uma média ponderada entre todos os municípios do país. O peso de cada município é calculado a partir da importância relativa deste em relação ao total produzido nacionalmente (novamente, entre 2010 e 2015), seguindo Deschênes e Greenstone (2007).

¹⁵ Nada garante, porém, que essa tendência passada vá se concretizar no futuro.

RCP 2.6 as taxas de variação na produtividade anual são estatisticamente insignificantes em todas as culturas.

Tabela 9 - Crescimento Médio da Produtividade das Culturas Analisadas (Calculado com base nos dados fornecidos pelo IBGE).

Cultura/Período	1974-2016	1990-2016	2000 - 2016	2011-2016
Cana	1,20%	0,75%	0,62%	0,41%
Soja	2,37%	1,94%	1,67%	0,15%
Milho	3,21%	3,46%	3,43%	0,54%
Feijão	2,11%	3,27%	2,52%	1,69%
Café	3,94%	2,98%	1,55%	2,29%
Laranja	0,20%	1,09%	1,71%	1,95%

Contudo, sob o RCP 8.5, o agravamento das perdas produtivas fica evidenciado em todas as culturas estudadas. Os grãos feijão, milho e soja apresentam perdas anuais menos expressivas, culminando em uma queda de produção anual aproximadamente de 16%, 22% e 30% no final do século, respectivamente. Cana, laranja e café, por sua vez, apresentam trajetórias de perda mais acentuadas na casa de 33%, 34% e 50%, respectivamente, até o final do século. Para as Figuras 26 a 31, foi considerado que entre 2020 e 2100 cada uma das culturas estudadas irão apresentar taxa de progresso técnico anual referente aos valores do período 2011-2016¹⁶.

Figura 26- Trajetória de Variação na Produtividade da Cana até o Final do Século.

¹⁶ Para os cálculos de impacto descritos adiante, se considerou as trajetórias com progresso técnico. As figuras E1 a E6 no apêndice apresentam as trajetórias de produtividade normalizadas com e sem progresso técnico para a comparação.

Figura 27 - Trajetória de Variação na Produtividade da Soja até o Final do Século.

Figura 28 - Trajetória de Variação na Produtividade do Milho até o Final do Século.

Figura 29 - Trajetória de Variação na Produtividade do Feijão até o Final do Século.

Figura 30 - Trajetória de Variação na Produtividade do Café até o Final do Século.

Figura 31 - Trajetória de Variação na Produtividade da Laranja até o Final do Século.

5.3 IMPACTOS DIRETOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Essa seção apresenta as estimativas dos impactos econômicos diretos das mudanças climáticas projetadas até o final do século. As Tabelas F1 a F3¹⁷ no apêndice mostram os impactos das mudanças climáticas convertidos para valores de 2018. Seus impactos médios totais correspondem a perdas de 646,9 bilhões de reais em valores atuais (cerca de 9,7% do PIB brasileiro 2017) sob o RCP 2.6 e 3,7 trilhões de reais (cerca de 55,6% do PIB brasileiro de 2017) sob o RCP 8.5.

As perdas mais expressivas se concentram sobre a produção nacional de cana-de-açúcar (R\$ 163,46 bilhões), feijão (R\$ 154,2 bilhões) e milho (R\$ 148,8 bilhões) sob o RCP 2.6. Sob

¹⁷Segundo Margulis e Dubeux et. al (2011), as taxas de desconto de 0,1%, 1% e 3% sob os cenários RCP 2.6 e 8.5 com progresso técnico específico. Para os cálculos apresentados, foi considerada a taxa média de 1,36% ao ano. Todos os valores descritos estão em R\$ de 2018.

o RCP 8.5 se destacam as perdas do milho (R\$ 1,01 trilhão), cana-de-açúcar (R\$ 975,6 bilhões) e soja (R\$ 840,8 bilhões). Como base de comparação, a PAM de 2016 apresenta que o valor da produção agrícola total no Brasil foi de R\$ 317,5 bilhões naquele ano. Considerando apenas as culturas estudadas, esse valor foi de R\$ 233,65 bilhões. Isso implica dizer que as perdas diretas devido às mudanças climáticas referentes às seis culturas estudadas nesse trabalho equivalem, em valor presente, a perdas acumuladas de cerca de 277% da produção agrícola nacional sob o RCP 2.6. Sob o RCP 8.5, essas perdas representam mais de 1500% da produção agrícola atual, ou seja, nos próximos 80 anos as perdas agrícolas acumuladas equivalem a cerca de 16 anos de produção agrícola sob o cenário mais drástico.

Sob o aspecto regional, os Estados que enfrentam perdas mais expressivas são São Paulo, Minas Gerais e Paraná, responsáveis por 20,8%, 16,4% e 13,7% das perdas no RCP 2.6, respectivamente. Sob o RCP 8.5, a representatividade de São Paulo no total das perdas salta para 27,8%, enquanto Paraná e Minas Gerais ficam com 14,1% e 13,4% das perdas, respectivamente. Todavia, para avaliar a vulnerabilidade de cada Estado em relação a esses impactos, foi construído um índice de vulnerabilidade (IV_s^{direta}) que considera a importância de seu impacto direto frente à sua importância em relação ao PIB nacional:

$$IV_s^{direta} = \frac{\frac{ID_s}{\sum_{s=1}^{27} ID_s}}{\frac{PIB_s}{\sum_{s=1}^{27} PIB_s}} \quad (3)$$

Em que ID_s representa o impacto direto calculado com base no valor médio estadual descrito entre as tabelas F1 e F3 e PIB_s o valor do PIB do mesmo Estado. Em uma economia sem diferenciais regionais de nenhuma ordem, é esperado que esse índice seja igual para todas as regiões. Todavia, a Tabela 10 mostra que, ao menos em termos de vulnerabilidade, a economia brasileira é bastante heterogênea. A importância do impacto direto frente à importância no PIB nacional chega a ser mais de 5 vezes maior nos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul em ambos os cenários. Por outro lado, essa importância chega a ser mais de 95% menor em Estados cuja a importância do setor agrícola é baixa (Amazonas, Amapá e Rio de Janeiro, por exemplo). Em termos regionais, a região que apresenta maior vulnerabilidade média é a Centro-Oeste, com índice de vulnerabilidade direta 4,5 vezes maior que o resto do país sob o RCP 2.5 e 3,67 vezes maior sob o RCP 8.5. Contudo, para avaliar o impacto total que essas perdas diretas vão gerar na economia brasileira, a próxima seção lança mão do arcabouço fornecido pelos modelos de EGC

Tabela 10 - Índice de Vulnerabilidade Direta.

Estado	Peso da Agricultura	RCP 2.6			RCP 8.5		
		Impacto Direto (bilhões)	(%)	IV	Impacto Direto (bilhões)	(%)	IV
AC	10,77%	-R\$ 547,68	0,08%	0,51	-R\$ 1.676,36	0,05%	0,27
AL	10,61%	-R\$ 10.444,45	1,61%	2,49	-R\$ 62.062,18	1,68%	2,59
AM	7,38%	-R\$ 560,18	0,09%	0,05	-R\$ 2.566,09	0,07%	0,04
AP	2,33%	-R\$ 19,62	0,00%	0,02	-R\$ 86,89	0,00%	0,01
BA	7,94%	-R\$ 34.676,39	5,36%	1,26	-R\$ 125.092,32	3,38%	0,80
CE	5,21%	-R\$ 2.459,11	0,38%	0,21	-R\$ 9.715,69	0,26%	0,15
DF	0,41%	-R\$ 2.077,28	0,32%	0,11	-R\$ 9.003,35	0,24%	0,08
ES	3,44%	-R\$ 12.707,10	1,96%	0,93	-R\$ 54.803,18	1,48%	0,70
GO	11,18%	-R\$ 54.543,62	8,43%	3,04	-R\$ 300.807,12	8,13%	2,93
MA	10,80%	-R\$ 10.817,86	1,67%	1,61	-R\$ 50.791,66	1,37%	1,32
MG	6,00%	-R\$ 106.234,15	16,42%	1,75	-R\$ 497.150,60	13,43%	1,43
MS	17,73%	-R\$ 39.982,19	6,18%	4,90	-R\$ 242.947,97	6,57%	5,20
MT	22,22%	-R\$ 67.005,71	10,36%	5,94	-R\$ 370.312,12	10,01%	5,74
PA	11,53%	-R\$ 4.217,54	0,65%	0,33	-R\$ 16.595,78	0,45%	0,23
PB	4,34%	-R\$ 3.460,16	0,53%	0,75	-R\$ 15.416,83	0,42%	0,59
PE	3,74%	-R\$ 7.624,18	1,18%	0,53	-R\$ 36.334,25	0,98%	0,44
PI	7,56%	-R\$ 5.489,76	0,85%	1,70	-R\$ 23.420,33	0,63%	1,27
PR	9,50%	-R\$ 88.717,29	13,71%	2,11	-R\$ 523.188,61	14,14%	2,18
RJ	4,90%	-R\$ 767,49	0,12%	0,01	-R\$ 6.083,95	0,16%	0,02
RN	3,29%	-R\$ 1.550,68	0,24%	0,28	-R\$ 7.303,95	0,20%	0,23
RO	12,18%	-R\$ 3.296,80	0,51%	0,88	-R\$ 17.789,65	0,48%	0,83
RR	4,22%	-R\$ 126,26	0,02%	0,15	-R\$ 508,12	0,01%	0,11
RS	8,75%	-R\$ 30.140,97	4,66%	0,70	-R\$ 177.283,02	4,79%	0,72
SC	6,08%	-R\$ 15.101,05	2,33%	0,60	-R\$ 74.944,40	2,03%	0,52
SE	5,25%	-R\$ 3.098,73	0,48%	0,82	-R\$ 11.912,87	0,32%	0,55
SP	1,81%	-R\$ 134.700,89	20,82%	0,61	-R\$ 1.031.657,32	27,88%	0,82
TO	12,92%	-R\$ 6.526,44	1,01%	2,74	-R\$ 31.189,24	0,84%	2,29

5.4 IMPACTOS ECONÔMICOS TOTAIS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Esta seção apresenta os resultados referentes aos impactos econômicos totais do efeito das alterações climáticas sobre a produtividade das culturas estudadas. Para tal, utiliza o modelo de EGC descrito na Seção 3.3. Aqui, novamente, a estratégia de simulação que considera os dois cenários climáticos estudados foi utilizada.

Dessa forma, para se construir os choques de produtividade necessários para o modelo, foram consideradas as trajetórias de impacto descritas na Seção 5.2. Para tal, o choque de produtividade utilizado foi calculado a partir da diferença entre o nível de produtividade atual¹⁸ de cada cultura e seu nível de produtividade projetado em 2100 para cada cenário. Assim, a diferença percentual na produtividade da cultura h , na cidade i , entre a atualidade e o final do século será dada por:

¹⁸ Todas as estimativas consideram como nível atual de produtividade atual a produtividade média de cada município brasileiro entre 2011 e 2015. Uma vez que as projeções utilizadas se iniciam em 2020, a média 2011-2015 foi considerada como nível inicial de produtividade em 2020.

$$\Delta prod_i^h = \frac{\widehat{prod_{i,2100}^h} - prod_{i,atual}^h}{prod_{i,atual}^h} (4)$$

Em que $prod_{i,atual}^h$ representa o nível de produtividade da cultura h , na cidade i na atualidade e $\widehat{prod_{i,2100}^h}$ o nível de produtividade projetado ao final do século. Todavia, dado que o modelo B-MARIA é construído no nível de desagregação estadual, é necessário agregar os dados municipais de maneira apropriada. Assim, para cada município dentro de determinado Estado S :

$$\Delta prod_S^h = \sum_{i \in S} w_i^h * \Delta prod_i^h (5)$$

Onde w_i^h representa o peso do município no total que o Estado produz da cultura em questão. Por fim, dado que a desagregação setorial do modelo considera apenas um grande setor de agricultura (sem desagregação de produto), é necessário considerar o peso de cada cultura dentro do total produzido pela agricultura de cada Estado :

$$choque_S^h = p_S^h * \Delta prod_S^h (6)$$

Em que $choque_S^h$ é o choque de produtividade referente à cultura em foco e p_S^h é a importância desta dentro do Estado (conforme descrito na Tabela A1). Por fim, considere $H = \{Cana, Soja, Milho, Feijão, Café, Laranja\}$. O choque de produtividade estadual que será introduzido na estrutura do B-MARIA será dado por:

$$choque_final_S = \sum_{h \in H} choque_S^h (7)$$

A Tabela G1 no apêndice apresenta esses choques por Estado, cultura e cenário. Sua análise permite entender três dimensões distintas: primeiro, o impacto da relação entre a alteração projetada no clima e a produtividade de cada cultura estudada. Segundo, qual a importância desse impacto para o setor agrícola de cada Estado. Por fim, em que medida os cenários se diferenciam nas duas dimensões anteriores.

A cana-de-açúcar sob o RCP 2.6 apresenta vasta heterogeneidade nos seus choques. Alagoas e São Paulo são os principais Estados afetados, com perdas de 54,9% e 43,3%, respectivamente. Essa magnitude é, em boa medida, influenciada pela importância da cultura dentro do setor agrícola de cada Estado (90% no caso de Alagoas e 60,8% em São Paulo). Sob

RCP 8.5 o padrão regional é o mesmo, havendo apenas uma alteração na magnitude dos choques.

A soja, por sua vez, é a cultura que apresenta maior diferença entre os cenários. A cultura apresenta situação de ganho de produtividade sob o RCP 2.6 e perda sob o RCP 8.5. No primeiro caso, esse ganho é capitaneado pela taxa de progresso técnico associada à adaptação da cultura ao longo do tempo utilizada para a cultura em confluência com um baixo impacto das alterações no clima projetadas sob esse cenário. No segundo caso, porém, as alterações climáticas mais acentuadas conduzem a perdas de produtividade mais expressivas.

Os grãos milho, feijão e café, por se tratarem de culturas menos representativas dentro dos Estados, possuem magnitude de choques menos expressivas em ambos os cenários. Destacam-se as grandes perdas cafeeiras em Minas Gerais (choque de 29,9% no RCP 2.6 e 28,6% no RCP 8.5). A laranja é a cultura com menor impacto em ambos os cenários muito em função de sua pouca importância dentro do setor agrícola de todos os Estados.

Contudo, para que esses choques possam ser introduzidos na estrutura de simulação do B-MARIA, foi necessário distribuí-los de maneira homogênea ao longo de tempo. Essa transformação é necessária para que estes possam ser simulados sob o fechamento de longo prazo do modelo. Para tal, é necessário supor que os impactos acumulados ao longo do século se distribuem de maneira homogênea no período analisado (de 2020 a 2080). Em outras palavras, para construir os choques de produtividade necessários para avaliar os impactos econômicos totais das mudanças climáticas sobre a economia brasileira, é necessário se subdividir os 80 anos analisados em 16 quinquênios através da seguinte fórmula:

$$choque_efetivo_s = (1 + choque_final_s)^{1/16} - 1 \quad (8)$$

Assim, a Tabela 11 apresenta os choques efetivos sobre cada Estado que serão introduzidos na estrutura do modelo B-MARIA a fim de se avaliar os impactos totais das mudanças climáticas sobre a economia brasileira. Sua análise é bastante clara: em média, os impactos sob o RCP 8.5 são muito mais intensos que no RCP 2.6, indicando que a intensidade do primeiro é bem maior que a do segundo tanto do ponto de vista físico quanto do ponto de vista econômico.

Tabela 11 - Choques Efetivos Sobre Cada Estado.

Estado	RCP 2.6	RCP 8.5	Diferença
AC	-0,006%	-0,103%	-0,098%
AL	-5,029%	-4,504%	0,525%
AM	-0,392%	-0,632%	-0,240%
AP	0,228%	-0,589%	-0,817%
BA	-0,493%	-2,344%	-1,851%
CE	-2,151%	-2,954%	-0,804%
DF	-0,629%	-4,996%	-4,367%
ES	-0,425%	-0,398%	0,026%
GO	1,164%	-7,761%	-8,925%
MA	-0,029%	-5,082%	-5,053%
MG	-3,190%	-6,700%	-3,510%
MS	-1,264%	-11,606%	-10,342%
MT	0,257%	-8,650%	-8,907%
PA	-0,137%	-1,310%	-1,174%
PB	-2,044%	-2,124%	-0,080%
PE	-2,403%	-2,233%	0,170%
PI	-0,138%	-7,787%	-7,649%
PR	-0,023%	-8,878%	-8,855%
RJ	-0,445%	-1,085%	-0,640%
RN	-1,096%	-1,149%	-0,052%
RO	-2,020%	-4,797%	-2,777%
RR	-0,427%	-0,687%	-0,260%
RS	0,409%	-4,283%	-4,691%
SC	0,003%	-3,533%	-3,536%
SE	-3,649%	-4,847%	-1,198%
SP	-4,530%	-6,546%	-2,017%
TO	-0,859%	-7,023%	-6,164%

O RCP 2.6 se destaca pelo comportamento mais estável das variações de produtividade agrícola entre os estados. Alagoas, São Paulo e Sergipe são os estados que são mais prejudicados nesse contexto, apresentando quedas médias de 5,02%, 4,53% e 3,65%, respectivamente. Alguns estados, porém, apresentam potencial de crescimento em sua produtividade agrícola média sob esse cenário, sendo Goiás (com aumento médio de 1,164%), Rio Grande do Sul (0,41%) e Mato Grosso (0,22%) os principais beneficiados.

Sob o RCP 8.5, porém, os resultados são mais drásticos: nenhum estado apresenta ganho médio de produtividade e a magnitude das perdas é bem maior em relação ao cenário de baixas emissões. Nesse contexto, os Estados da região Centro-Oeste emergem como os principais afetados, com perdas de produtividade agrícola da ordem de 11,6% no Mato Grosso do Sul, 8,5% no Mato Grosso e 7,76% em Goiás. Na outra ponta desses efeitos estão Acre (perdas de 0,1%), Espírito Santo (-0,4%) e Amapá (-0,59%).

A análise da diferença na magnitude dos choques entre os cenários indica que apenas Alagoas, Pernambuco e Espírito Santo apresentam perdas produtivas mais intensas sob o RCP 2.6 em relação ao RCP 8.5. Todos os outros estados brasileiros possuem perdas mais intensas sob o cenário pessimista com destaque, novamente, para a região Centro-Oeste com diferenças médias de aproximadamente -9,4% entre os cenários.

Para conduzir as simulações no modelo B-MARIA, será utilizado o fechamento de longo prazo, que pressupõe que o nível de salário real, PIB regional e investimento em capital são endógenos enquanto que o nível de emprego e tecnologia são exógenos. Os choques de produtividade descritos na Tabela 11 serão implementados na estrutura do modelo através do parâmetro *alprim*, que diz respeito ao termo de aumento tecnológico dos fatores primários. Em outras palavras, a introdução dos choques de produtividade na estrutura funcional do modelo tem como pressuposto que os fatores primários do setor agrícola de cada uma das regiões brasileiras irão perder eficiência seguindo a mesma magnitude descrita na tabela 11.

Figura 32 – Canais de Propagação do Choque no B-MARIA

A Figura 32 apresenta os principais canais de propagação de um choque de produtividade na estrutura do modelo. Finalmente, a Tabela 12 mostra os impactos econômicos totais provenientes dos choques de produtividade agrícola supracitados para cada um dos cenários¹⁹. Conforme esperado, os impactos mais dramáticos se encontram sob o RCP 8.5.

¹⁹ Essas estimativas estão na base quinquenal conforme descrito acima.

Tabela 12 - Impactos Totais sobre alguns Agregados Econômicos (em pontos percentuais).

Cenário	RCP 2.6	RCP 8.5	Diferença
Consumo Real das Famílias	-0,121	-0,536	-0,415
Investimento Nacional	-0,164	-0,770	-0,606
Salário Nominal aos Trabalhadores	-0,220	-0,996	-0,776
Nível de Emprego Nacional	-0,001	-0,011	-0,011
Variação Equivalente Relativa	-0,435	-1,829	-1,394
PIB Nominal	-0,184	-0,859	-0,675
PIB Real	-0,055	-0,268	-0,213
Volume de Exportações	-0,025	-0,270	-0,245
Volume de Importações	-0,167	-0,800	-0,632
Termos de Troca	0,012	0,135	0,123

Em termos de consumo real das famílias e investimento agregados, a variação quinquenal acumulada é de, respectivamente, de -0,12% e -0,16% sob o RCP 2.6 e de -0,53% e -0,77% sob o RCP 8.5. Em ambos os agregados, o impacto sob o segundo cenário é aproximadamente 4,5 vezes maior que sob o primeiro. O nível de salário nominal dos trabalhadores acumula queda de -0,22% e -0,99% sob os RCP 2.6 e 8.5, respectivamente.

O bem-estar, medido através da variação equivalente da renda²⁰, tem queda de 0,43% e 1,82%, respectivamente. Dentre todos os agregados analisados, esse é o que apresenta maior divergência entre os cenários. Em termos de produção, os resultados apontam para perdas médias reais de 0,055% a cada cinco anos (0,87% do PIB até o final do século) sob o RCP 2.6 e 0,26% (4,11% do PIB até o final do século) sob o RCP 8.5. Por fim, a queda das importações é cerca de 6,7 vezes maior que a queda das exportações sob o RCP 2.6 e 3 vezes maior sob o RCP 8.5.

A Tabela 13 apresenta os impactos totais correspondentes (em termos percentuais) por Estado para consumo e PIB regional. Em termos de consumo das famílias, sob o RCP 2.6, Alagoas impera com os maiores efeitos, acumulando perdas quinquenais médias de 0,3% e 0,5% para consumo e PIB, respectivamente. Sob o RCP 8.5, por fim, as perdas são mais espalhadas geograficamente em termos de PIB, se destacando as taxas de perda da ordem de 1,29% no Mato Grosso e 1,21% em Alagoas.

²⁰ Mas-Collel, Whinston e Green (1995) utilizam a variação equivalente da renda como uma medida de bem-estar econômico definida como a variação de renda necessária antes de determinado choque para que um consumidor representativo atinja o mesmo nível de utilidade após o choque. Assim, uma variação equivalente negativa indica que o indivíduo está perdendo bem-estar na medida que este tem que ficar relativamente mais pobre antes da introdução do choque para possuir mesmo nível de utilidade após o choque.

Tabela 13 - Impactos Totais sobre os Estados Brasileiros (em pontos percentuais).

Estado	Consumo Real das Famílias		PIB Real dos Estados	
	RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 8.5
AC	-0,077	-0,365	0,035	0,096
AL	-0,305	-0,373	-0,500	-0,038
AM	-0,071	-0,299	0,009	0,062
AP	-0,098	-0,444	-0,006	-0,063
BA	-0,085	-0,370	0,023	0,032
CE	-0,158	-0,532	-0,139	-0,227
DF	-0,101	-0,475	-0,017	-0,135
ES	-0,067	-0,258	0,036	0,215
GO	-0,063	-0,555	0,127	-0,474
MA	-0,063	-0,399	0,059	-0,231
MG	-0,137	-0,444	-0,157	-0,253
MS	-0,098	-0,502	-0,040	-0,767
MT	-0,006	-0,322	0,218	-0,641
PA	-0,009	-0,070	0,127	0,465
PB	-0,146	-0,519	-0,104	-0,196
PE	-0,179	-0,548	-0,139	-0,209
PI	-0,080	-0,480	0,043	-0,378
PR	-0,120	-0,635	0,008	-0,640
RJ	-0,128	-0,522	-0,040	-0,149
RN	-0,142	-0,599	-0,064	-0,136
RO	-0,140	-0,605	-0,090	-0,328
RR	-0,093	-0,413	-0,006	-0,035
RS	-0,072	-0,502	0,063	-0,243
SC	-0,111	-0,582	-0,019	-0,282
SE	-0,172	-0,537	-0,195	-0,279
SP	-0,145	-0,638	-0,117	-0,355
TO	-0,101	-0,519	-0,038	-0,474
BRASIL	-0,121	-0,536	-0,055	-0,268

A Tabela 14 apresenta o índice de vulnerabilidade total (análogo aquele descrito na seção anterior) para os Estados brasileiros. Esse índice, que mede a relação entre o peso do impacto direto dos Estados em relação ao peso do Estado em termos do PIB nacional, denota a maior vulnerabilidade da região Centro-Oeste, que apresenta maior média do índice de vulnerabilidade total (3,5 em ambos os cenários), seguida pela região Sul (1,11 sob o RCP 2.6 e 1,15 sob o RCP 8.5), Nordeste (1,08 e 0,89, respectivamente), Sudeste (0,83 e 0,75, respectivamente) e Norte (0,21 e 0,18).

Tabela 14 - Índices de Vulnerabilidade Total (IVT).

Estado	Peso da Agricultura	RCP 2.6			RCP 8.5		
		Impacto Total (bilhões)	(%)	IVT	Impacto Total (bilhões)	(%)	IVT
AC	10,77%	-R\$ 210,97	0,08%	0,49	-R\$ 782,45	0,05%	0,31
AL	10,61%	-R\$ 4.346,27	1,68%	2,59	-R\$ 24.978,73	1,63%	2,52
AM	7,38%	-R\$ 207,57	0,08%	0,04	-R\$ 2.214,33	0,14%	0,08
AP	2,33%	-R\$ 8,48	0,00%	0,02	-R\$ 153,49	0,01%	0,06
BA	7,94%	-R\$ 13.555,73	5,25%	1,24	-R\$ 52.346,52	3,42%	0,80
CE	5,21%	-R\$ 1.152,09	0,45%	0,25	-R\$ 5.234,82	0,34%	0,19
DF	0,41%	-R\$ 853,25	0,33%	0,11	-R\$ 5.561,55	0,36%	0,12
ES	3,44%	-R\$ 4.938,52	1,91%	0,91	-R\$ 22.843,78	1,49%	0,71
GO	11,18%	-R\$ 21.176,08	8,20%	2,96	-R\$ 120.585,90	7,88%	2,84
MA	10,80%	-R\$ 4.206,07	1,63%	1,57	-R\$ 20.693,77	1,35%	1,30
MG	6,00%	-R\$ 42.847,38	16,58%	1,77	-R\$ 202.092,84	13,20%	1,41
MS	17,73%	-R\$ 15.752,29	6,10%	4,83	-R\$ 96.576,50	6,31%	5,00
MT	22,22%	-R\$ 26.053,82	10,08%	5,78	-R\$ 147.223,84	9,62%	5,51
PA	11,53%	-R\$ 1.472,21	0,57%	0,29	-R\$ 7.633,73	0,50%	0,25
PB	4,34%	-R\$ 1.414,75	0,55%	0,77	-R\$ 6.594,04	0,43%	0,61
PE	3,74%	-R\$ 3.226,66	1,25%	0,56	-R\$ 16.023,17	1,05%	0,47
PI	7,56%	-R\$ 2.141,87	0,83%	1,66	-R\$ 9.605,28	0,63%	1,26
PR	9,50%	-R\$ 34.829,31	13,48%	2,08	-R\$ 211.117,83	13,79%	2,12
RJ	4,90%	-R\$ 626,68	0,24%	0,02	-R\$ 10.112,22	0,66%	0,06
RN	3,29%	-R\$ 649,67	0,25%	0,30	-R\$ 3.616,90	0,24%	0,28
RO	12,18%	-R\$ 1.334,32	0,52%	0,89	-R\$ 7.447,15	0,49%	0,84
RR	4,22%	-R\$ 50,19	0,02%	0,15	-R\$ 289,49	0,02%	0,15
RS	8,75%	-R\$ 11.538,21	4,47%	0,67	-R\$ 74.829,46	4,89%	0,74
SC	6,08%	-R\$ 5.989,17	2,32%	0,60	-R\$ 32.458,80	2,12%	0,54
SE	5,25%	-R\$ 1.302,45	0,50%	0,87	-R\$ 5.146,18	0,34%	0,58
SP	1,81%	-R\$ 55.904,30	21,64%	0,64	-R\$ 432.356,43	28,24%	0,83
TO	12,92%	-R\$ 2.575,65	1,00%	2,71	-R\$ 12.547,67	0,82%	2,23

Finalmente, a Tabela H1 no apêndice apresenta os impactos diretos, indiretos²¹ e totais das mudanças climáticas sobre os Estados brasileiros convertidos para valores de 2018. Sob o RCP 2.6, os impactos negativos totais sob a economia brasileira provenientes das alterações climáticas somam R\$ 2,85 trilhões enquanto que sob o RCP 8.5 esses impactos somam perdas de quase R\$ 13 trilhões.

No cenário mais otimista, os Estados ganhadores (Acre, Amazonas, Bahia, Espírito Santo, Goiás, Maranhão, Pará, Piauí, Paraná e Rio Grande do Sul) somam ganhos acumulados da ordem de R\$ 1,02 trilhão enquanto que os Estados restantes (perdedores) somam perdas

²¹ Os impactos indiretos são obtidos através da diferença entre os impactos totais e os impactos diretos dentro dos estados.

econômicas de aproximadamente R\$ 3,88 trilhões. Sob o RCP 8.5, o conjunto de Estados ganhadores se reduz (se limitando ao Acre, Amazonas, Bahia, Espírito Santo e Pará) R\$ 0,98 trilhão. O conjunto de Estados perdedores totaliza perdas de quase R\$ 14 trilhões, indicando uma maior heterogeneidade de efeitos entre ganhadores e perdedores sob o RCP 8.5

Dessa forma, se pode concluir que a relação dos impactos econômicos diretos e indiretos no nível nacional se altera consideravelmente entre os cenários: os resultados indicam que para cada R\$1,00 de perda de produção agrícola nacional causada pelas alterações climáticas projetadas até o final do século, implicam em perdas adicionais de R\$3,41 sob o RCP 2.6. Sob o RCP 8.5 essa relação é cerca de 27% menor, ao passo que para cada R\$1,00 de perda agrícola haverá uma perda adicional da ordem de R\$2,50. Isso não significa, porém, que os impactos indiretos sob o RCP 8.5 são menores: na verdade, eles são cerca de 320% mais intensos em relação ao cenário otimista. Todavia, todos os impactos supracitados carregam uma série de incertezas inerentes à metodologia utilizada. Assim, a próxima seção utiliza metodologia proposta por Haddad e Garber (2012) para lidar com o grau de incerteza acerca dos choques de produtividade estadual de maneira explícita.

5.5 O EFEITO “BOLA DE NEVE” DE INCERTEZAS

Stern (2006) argumenta que a ciência das mudanças climáticas lida com uma série de incertezas. Não se pode afirmar quando e onde determinado impacto irá ocorrer. Dessa forma, uma série de incertezas emergem, dificultando a quantificação precisa dos impactos econômicos das mudanças climáticas. A Figura 33 esquematiza algumas dessas incertezas associadas a cada etapa da metodologia utilizada neste trabalho. O modelo econométrico utilizado integra duas fontes de incerteza na construção de sua base de dados. A primeira delas diz respeito à confiabilidade dos dados agrícolas, descrita na seção 4.1. A segunda é relacionada à incerteza relativa às informações cedidas pelas estações do INMET (seção 4.2) e à eventuais atritos e erros de medida na sua construção e interpolação. A confluência desses dois fatores ainda é somada à incerteza referente ao modelo econométrico em si, que produz estimativas não necessariamente exatas (Tabelas D1 a D12).

Figura 33 - Efeito "Bola de Neve" das Incertezas Associadas à Metodologia Utilizada.

Ademais, as próprias projeções climáticas geradas pelos modelos do IPCC possuem seu grau de incerteza, conforme descrito na seção 4.3. Stern (2006) argumenta que tais modelos refletem uma cascata de incertezas inerentes aos cenários considerados: incertezas no âmbito político, no nível de emissões, nas ações de mitigação em nível global, no crescimento populacional, no progresso tecnológico, entre outras. Desse modo, um largo conjunto de parâmetros dos modelos climáticos faz com que as projeções climáticas possuam um determinado nível de incerteza intrínseca.

Em seguida, vem as incertezas relacionadas às projeções de impacto direto descritas na seção 5.3. Estas envolvem, de início, incertezas referentes ao desconto intertemporal utilizado para avaliá-los, sem falar nas hipóteses de preços constantes e manutenção do padrão da estrutura produtiva do setor agrícola ao longo do século, implícitos na metodologia utilizada.

No que tange a construção dos choques de produtividade do modelo de EGC, descritos na seção 5.4, as incertezas dizem respeito tanto às trajetórias de produtividade projetadas em ambos os cenários, quanto às taxas de progresso técnico específico de cada cultura.

Por fim, a análise dos impactos econômicos totais das mudanças climáticas além de acumular todas as incertezas supracitadas, envolve uma série de hipóteses acerca da estrutura produtiva regional e setorial da economia brasileira, além dos pressupostos provenientes da estrutura analítica e funcional dos modelos de EGC.

A confluência de todas essas incertezas gera um efeito “bola de neve” bem documentado na ciência dos impactos econômicos das mudanças climáticas (STERN, 2006). Para tentar lidar com tal efeito, iremos utilizar metodologia que trata esse processo de maneira explícita se baseando no arcabouço proposto por Garber e Haddad (2012). Para implementar esse método, exploramos as potenciais ligações de um modelo físico com a estrutura funcional do modelo de EGC.

Para o caso em questão, a ideia é a de conduzir simulações que reproduzem comportamento de determinado conjunto de variáveis endógenas do B-MARIA. Assim, basta replicar a informação que se deseja dentro do conjunto de variáveis exógenas do modelo, e simular seus choques de modo a atingir a melhor combinação de efeitos para suas variáveis endógenas.

Em outras palavras, iremos considerar o fechamento de longo prazo descrito na seção anterior, utilizar os resultados descritos na seção 5.4²² e colocá-los como *target* para o modelo de EGC replicar. Para tal, a ideia é calibrar os choques de produtividade exógenos na estrutura do B-MARIA que irão gerar endogenamente os resultados do *target* supracitados.

Segundo Garber e Haddad (2012), o modelo de EGC em questão se inclui na classe de modelos conhecidos como modelos de Johansen, que obtém suas soluções através da

²² No caso em questão, a variável endógena que será utilizada como target será o PIB real dos Estados.

resolução de um sistema de equações linearizadas²³. Assim, considere determinado sistema de equações do B-MARIA:

$$F(V) = 0 \quad (9)$$

Onde V representa um vetor de equilíbrio de dimensão n (número de variáveis) e F é um vetor função de ordem m (número de equações), que se assume ser diferenciável. Para efeitos de solução, é necessário supor que $n > m$, ao passo que $n - m$ variáveis devem ser consideradas exógenas. Ademais, temos que assumir que o modelo possui solução conhecida, isto é, $\exists V = V^*$ tal que $F(V^*) = 0$.

Assim, o *approach* de Johansen consiste em utilizar uma versão linearizada de (9), que pode ser representada como:

$$A(V)v = 0 \quad (10)$$

Onde $A(V)$ é uma matriz de ordem $m \times n$ que contém as derivadas parciais de $F(V)$ e v representa as mudanças percentuais no vetor V . O próximo passo para obter tais mudanças percentuais consiste em avaliar $A(\cdot)$ em um vetor de equilíbrio inicial V^I e então resolver (10). Para tal, é necessário particionar $A(\cdot)$ e o vetor v em duas partes, separando as variáveis endógenas e exógenas do fechamento do modelo. Chame de α o índice para as variáveis endógenas e β o índice para as exógenas. Temos, assim:

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

Rearranjando:

$$v_\alpha = -A(V^I)^{-1}A_\beta(V^I)v_\beta$$

Tome $-A(V^I)^{-1}A_\beta(V^I) = B(V^I)$ de modo que:

$$v_\alpha = B(V^I)v_\beta \quad (11)$$

Onde v_α é um vetor $m \times 1$ que contém as variações percentuais esperadas nas variáveis endógenas decorridas dos choques exógenos contidos no vetor v_β . Agora considere (11) representada da seguinte maneira:

²³ Para mais detalhes, ver Dixon e Parmenter (1996).

$$\begin{bmatrix} v_{\alpha 1} \\ \dots \\ v_{\alpha m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & \dots & B_{1(n-m)} \\ \dots & \dots & \dots \\ B_{m1} & \dots & B_{m(n-m)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{\beta 1} \\ \dots \\ v_{\beta m} \end{bmatrix}$$

Que pode ser rearranjada tal que:

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

A equação (11') permite enxergar diretamente duas propriedades que serão empregadas. A primeira é que ao considerar um choque em determinada variável exógena q ($v_{\beta q}$), o efeito sobre o vetor de variáveis endógenas v_{α} será proporcional ao vetor que multiplica essa variável em (11'). Ademais, ao se avaliar o efeito de um choque multidimensional (como no caso em questão, em que avaliaremos choques sobre os 27 Estados da federação), o impacto total sobre v_{α} pode ser computado como a soma dos efeitos dos choques nas variáveis endógenas separadas.

Suponha, em seguida, que um subconjunto de dimensão k de elementos de v_{α} é selecionado como *target*. Assim, construímos o vetor $t_{(k \times 1)}$ que contém todos esses *targets*. Assuma, ainda, que se identifica um subconjunto de ordem j do vetor v_{β} que contém variáveis exógenas consideradas relevantes para influenciar as variáveis em $t_{(k \times 1)}$. Agora, basta reescrever (11') zerando todos os elementos de v_{α} que não estão contidos em $t_{(k \times 1)}$ e todos os elementos de v_{β} que não estão no subconjunto de dimensão j supracitado. Chame de $\widehat{v}_{\alpha}$ o vetor de variáveis endógenas consideradas para a análise e $\widehat{v}_{\beta}$ o vetor de exógenas consideradas como importantes para determiná-las. Usando a mesma notação de (11):

$$\widehat{v}_{\alpha} = \widehat{B} \widehat{v}_{\beta} \quad (12)$$

Ou, ainda:

$$\begin{bmatrix} \widehat{v}_{\alpha 1} \\ \dots \\ \widehat{v}_{\alpha k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \widehat{B}_{11} \\ \dots \\ \widehat{B}_{k1} \end{bmatrix} \widehat{v}_{\beta 1} + \begin{bmatrix} \widehat{B}_{12} \\ \dots \\ \widehat{B}_{k2} \end{bmatrix} \widehat{v}_{\beta 2} + \dots + \begin{bmatrix} \widehat{B}_{1j} \\ \dots \\ \widehat{B}_{kj} \end{bmatrix} \widehat{v}_{\beta j}$$

É possível notar que $\widehat{v}_{\alpha}$ dependerá da escolha de valores para as variáveis exógenas contidas em $\widehat{v}_{\beta}$. Dessa forma, dados os valores de um *target* t a melhor escolha para $\widehat{v}_{\beta}$ será aquela que resolve:

$$\min_{\widehat{v}_\beta} \frac{(\widehat{v}_\alpha - t)^2}{t^2} \quad (13)$$

Traduzindo, a melhor escolha para os choques exógenos $\widehat{v}_\beta$ será aquela que minimiza a distância percentual quadrática dos valores das variáveis endógenas selecionadas com o *target* selecionado. Por fim, a solução da equação (13), $\widehat{v}_\beta^*$, irá gerar a um vetor de variáveis endógenas correspondente, $\widehat{v}_\alpha^*$.

Para aplicar essa metodologia no contexto do presente trabalho, é necessário estabelecer um ou mais canais de transmissão na estrutura funcional do modelo de EGC de modo a capturar o impacto de interesse proveniente dos choques de produtividade agrícola. Iremos utilizar como *target* os resultados sobre o PIB regional proveniente das simulações descritas na seção anterior. Em outras palavras, o vetor de *target* irá conter as variações no PIB real dos Estados construídas a partir das estimativas obtidas com os choques descritos na Tabela 11 para cada um dos cenários estudados.

Os choques contidos em $\widehat{v}_\beta$ dirão respeito aos 27 choques de produtividade no setor agrícola dos Estados brasileiros, conforme descrito na seção anterior. Assim, a Equação (12) irá representar um vetor de 27 linhas (uma para cada Estado) como a multiplicação de uma matriz de ordem 27 (os efeitos cruzados da variação da produtividade de cada Estado sobre o PIB destes) e um vetor de 27 linhas (os choques de produtividade agrícola).

Para implementar o método, porém, é necessária uma estimativa para a matriz B. Para obtê-la, basta realizar uma simulação do impacto de um choque unitário de produtividade agrícola conjunto nos 27 Estados e capturar as elasticidades cruzadas correspondentes destes sobre o PIB regional das unidades federativas do Brasil. A estimativa dessa matriz se encontra representada na Figura 34 onde cada célula indica o efeito que uma alteração de produtividade agrícola de um estado contido na coluna terá sobre o PIB real de um estado contido na linha. As cores frias indicam uma relação positiva entre a produtividade agrícola de um estado no PIB real do outro e cores quentes indicam uma relação negativa.

Assim, dada a incerteza intrínseca na magnitude dos choques de produtividade agrícola dos Estados, o método pode ser aplicado de modo a integrar os resultados descritos entre as seções 5.1 e 5.4 com a estrutura do modelo B-MARIA e, dessa forma, tratar a incerteza de maneira explícita na construção dos choques de produtividade agrícola estadual.

Dessa forma, os impactos sobre o PIB estadual derivados a partir dos resultados das simulações descritas na seção anterior serão utilizados como *target*. As estimativas construídas a partir do modelo econométrico descrito na seção 3.1 são utilizadas como ponto de partida para as simulações dos choques exógenos ($\widehat{v}_\beta$). Para este trabalho, foram realizadas 10 mil simulações de choque de produtividade ($\widehat{v}_\beta$) a fim de avaliar aquela que minimiza (13). Cada simulação foi construída a partir de um sorteio aleatório para o choque de produtividade estadual proveniente de uma distribuição gaussiana com média igual ao choque descrito na Tabela 11 e variância calculada a partir das estimativas econométricas combinadas com as projeções climáticas descritas anteriormente.

Figura 34 - Representação da Matriz B.

A Figura 35 mostra a distribuição dessas simulações para cada Estado brasileiro. Sua análise permite comparar tanto a magnitude quanto a diferença dos choques de produtividade agrícola entre os cenários. A comparação das médias das distribuições de choques de produtividade agrícola permite verificar que estas possuem médias menores sob o RCP 8.5, de acordo com o que se espera nesse cenário. Ao comparar a dispersão dessas distribuições, porém, é possível observar uma maior heterogeneidade entre os Estados. Grosso modo, os

Estados do Nordeste possuem menor variabilidade de choques sob o RCP 8.5 enquanto que os Estados das outras regiões possuem dispersão maior sob o cenário mais pessimista.

A Figura 36, por sua vez, mostra os efeitos sobre o PIB real dos Estados ($\widehat{v}_\alpha$) correspondentes à cada simulação de choque de produtividade agrícola estadual. Essa distribuição de efeitos deve ser entendida como a possível resposta que a produção dos Estados pode ter à choques de produtividade agrícola incertos.

Figura 35 - Distribuição de Choques de Produtividade Simulados.

Aqui, a análise fica mais complexa, havendo casos em que a distribuição de impactos sobre o PIB dos Estados possui média menos pior sob o RCP 8.5 em relação ao RCP 2.6. Todavia, o comportamento acerca da dispersão desses choques possui o mesmo

comportamento que os descritos na imagem anterior. Entretanto, a análise permite observar a consistência dos resultados com aqueles descritos na Tabela 13, mantendo o mesmo ranqueamento de efeitos entre os Estados em ambos os cenários.

Figura 36 – Distribuição dos Impactos Simulados sobre o PIB Estadual.

As figuras 37 a 41 mostram a relação dos impactos simulados sobre o PRB das cinco grandes regiões brasileiras ($\widehat{v\alpha}$) em relação aos impactos simulados para o PIB nacional. A linha em cinza representa o conjunto de pontos nos quais essa variação simulada é a mesma nas regiões e no país. A análise dessas imagens permite inferir que o efeito das mudanças climáticas sobre o PIB das regiões, além de bastante heterogêneo regionalmente, varia substancialmente a depender do cenário analisado.

Figura 37 – Impacto Simulado sobre o PIB Nacional e PRB da Região Norte.

São as três dimensões possíveis de serem analisadas através das imagens: a relação entre o PIB regional e nacional de maneira isolada, a mesma relação entre os cenários climáticos estudados, e a dispersão desses impactos simulados. Sob o RCP 2.6, a associação entre os impactos regionais com os impactos nacionais demonstra uma relação mais homogênea entre as regiões: Nordeste e Sudeste apresentam perdas médias quinquenais modestas (mas maiores que à média nacional) da ordem de 0,15% enquanto que Norte, Sul e Centro-Oeste apresentam ganhos de produção médios da ordem de 0,025%, 0,03% e 0,10%, respectivamente (melhores em relação à média nacional). Sob o RCP 8.5, porém, o efeito é mais complexo: a região Norte chega a apresentar ganhos de produção, mas pouco expressivos frente à sua pouca importância na formação do PIB nacional (Figura 23).

Figura 38 - Impacto Simulado sobre o PIB Nacional e PRB da Região Nordeste.

Figura 39 - Impacto Simulado sobre o PIB Nacional e PRB da Região Sudeste.

A região Nordeste (Figura 38), por sua vez, embora apresente desempenho melhor que a média nacional (está acima da linha cinza de 45°), apresenta perdas médias da ordem de 0,2%. A Figura 39 apresenta essa relação para a região Sudeste e demonstra que a relação de

impactos da região em relação ao Brasil se inverte a depender dos cenários: embora sob o RCP 2.6 a região esteja melhor em relação à média nacional, sob o RCP 8.5 o sudeste fica em pior situação, apresentando impactos simulados médios da ordem de 0,45%. A região Sul também acaba por apresentar padrão semelhante ao do Sudeste no que tange a relação entre cenários com dispersão simulada ligeiramente maior.

Figura 40 - Impacto Simulado sobre o PIB Nacional e PRB da Região Sul.

Finalmente, a região Centro-Oeste é a que apresenta maior dispersão dos resultados em ambos os cenários. Ademais, é a que mostra perdas mais expressivas em termos de PRB sob o RCP 8.5 (cerca de 0,6%, em média), muito em função da sua alta dependência do setor agrícola na sua produção (Figura 25).

Em resumo, a análise das figuras acima passa uma mensagem bastante clara: a perda relativa das regiões Nordeste e Sudeste frente ao resto do país sob o RCP 2.6 e o ganho relativo das regiões Norte e Nordeste sob o RCP 8.5. Duas possíveis conjecturas para explicar esse comportamento dizem respeito à intensidade das mudanças climáticas nos diferentes cenários e a estrutura de integração econômica entre as regiões: os impactos climáticos indiretos sob o RCP 8.5 (muito mais intensos em relação ao cenário otimista) são amplificados em função da maior integração econômica do centro-sul do Brasil, fazendo com que as regiões perdedoras sejam justamente as mais integradas economicamente.

Figura 41 - Impacto Simulado sobre o PIB Nacional e PRB da Região Centro-Oeste.

Finalmente, as Figuras 42 e 43 mostram os choques simulados ótimos ($\widehat{v}_\beta^*$), calculados a partir do critério descrito na Equação (13), e os impactos sobre o PIB dos Estados correspondentes ($\widehat{v}_\alpha^*$), respectivamente. Aqui novamente se tem aquilo que é esperado sob cada um dos cenários: tanto os choques de produtividade agrícola quanto seus respectivos efeitos sobre a variação do PIB dos Estados tendem a ter resultados mais negativos sob o RCP 8.5 em relação ao RCP 2.6.

Figura 42 - Valor ótimo dos Choques de Produtividade Simulados.

Figura 43 - Impacto sobre o PIB Estadual.

Se, ao invés de utilizar a Equação (12) para gerar as estimativas para $\widehat{v}_\alpha^*$, utilizarmos $\widehat{v}_\beta^*$ como choques de produtividade para rodar uma simulação do B-MARIA, obtemos os resultados apresentados na Tabela 15, referentes à variação do PIB estadual ($\widehat{v}_\alpha^{B-MARIA}$). Sua análise demonstra a manutenção no ordenamento dos impactos sob o PIB estadual em cada um dos cenários (denotada através do ordenamento das cores: frias para aumento no PIB, quentes para diminuição), além da boa aptidão da metodologia supracitada em replicar os resultados simulados através do modelo B-MARIA.

Ainda, a fim de conduzir uma análise de sensibilidade dos resultados encontrados nas Figuras 42 e 43, o procedimento de simulação supracitado foi repetido 1000 vezes. Dessa vez 1000 conjuntos de *targets* foram simulados e, para cada um deles, calculados os valores de ($\widehat{v}_\beta^*$) e ($\widehat{v}_\alpha^*$) para os Estados analisados. A distribuição desses resultados se encontra nas Figuras I1 e I2 no apêndice.

Tabela 15 - Comparação dos Impactos Simulados através do Modelo B-MARIA com os Impactos Reconstruídos a partir da Equação (8).

Estado	RCP 2.6		RCP 8.5	
	$\widehat{v}_{\alpha}^{B-MARIA}$	$\widehat{v}_{\alpha}^*$	$\widehat{v}_{\alpha}^{B-MARIA}$	$\widehat{v}_{\alpha}^*$
RO	-0.0466	-0.0478	-0.4042	-0.4046
AC	0.0935	0.0928	0.1016	0.0987
AM	0.0122	0.0128	0.0504	0.0533
RR	-0.0072	-0.0076	-0.0505	-0.0561
PA	0.1565	0.1592	0.6555	0.6470
AP	-0.0131	-0.0136	-0.0739	-0.0745
TO	0.0164	0.0163	-0.4954	-0.4980
MA	0.0624	0.0632	-0.1849	-0.1869
PI	0.0678	0.0678	-0.3385	-0.3371
CE	-0.1490	-0.1499	-0.2569	-0.2645
RN	-0.0641	-0.0653	-0.2912	-0.2687
PB	-0.0958	-0.0964	-0.2646	-0.2786
PE	-0.1375	-0.1386	-0.3514	-0.3628
AL	-0.4703	-0.4708	-0.9790	-0.9884
SE	-0.1195	-0.1205	-0.3262	-0.3327
BA	0.0055	0.0061	0.0532	0.0490
MG	-0.3272	-0.3322	-0.3916	-0.3923
ES	0.0903	0.0907	0.2992	0.3003
RJ	-0.0406	-0.0419	-0.1969	-0.1973
SP	-0.1148	-0.1162	-0.4649	-0.4623
PR	-0.0188	-0.0186	-0.6862	-0.6845
SC	0.0020	0.0009	-0.3106	-0.3071
RS	0.0731	0.0728	-0.2370	-0.2334
MS	0.0426	0.0440	-0.9543	-0.9293
MT	0.3281	0.3299	-0.6432	-0.6274
GO	0.2783	0.2734	-0.5761	-0.5646
DF	-0.0132	-0.0143	-0.1699	-0.1699

6 CONCLUSÃO

“Education never ends Watson. It is a series of lessons with the greatest for the last.”

Sherlock Holmes

The Red Circle

Neste trabalho, nos propusemos a estimar os impactos que as mudanças climáticas projetadas até o final do século podem acarretar sobre a economia brasileira. Mais especificamente, analisamos os impactos econômicos diretos, indiretos e totais dessas alterações no clima sobre a economia nacional. Ademais, analisamos a vulnerabilidade e os diferenciais regionais frente a tais mudanças no clima, além de tratar das incertezas dos resultados de maneira explícita. Para tal, o trabalho buscou se diferenciar através da utilização das projeções climáticas, dados climatológicos e agrícolas mais recentes em sua modelagem. Ademais, procurou inovar na granularidade temporal e espacial das estimativas, além de utilizar metodologia para analisar as incertezas dos resultados.

Utilizando os cenários mais e menos otimistas criados pelo IPCC (RCP 2.6 e 8.5, respectivamente), as estimativas apontam para uma vasta heterogeneidade regional de impactos para a economia brasileira através de alterações na produtividade das principais culturas agrícolas do país. As estimativas indicam que as perdas econômicas totais equivalem a uma retração no nível do PIB nacional da ordem de 0,68% ao ano sob o RCP 2.6 e de 3,37% ao ano sob o RCP 8.5 até o final do século.

Em termos absolutos, os impactos diretos mais expressivos se concentram nos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Paraná (responsáveis por cerca de 50% da totalidade de perdas agrícolas diretas) sob o RCP 2.6. Sob o RCP 8.5, os mesmos estados imperam como os maiores perdedores (responsáveis por 55% da totalidade das perdas diretas). As perdas indiretas absolutas são diretamente proporcionais à importância relativa dos Estados na economia brasileira: São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais são os que acumulam as maiores perdas indiretas absolutas sob o RCP 2.6, sendo que sob o RCP 8.5 o Estado do Paraná ganha importância, sendo responsável por 14% do total das perdas indiretas projetadas para a economia brasileira até o final do século. Em termos relativos, porém, os Estados que mais perdem são os do Centro-Oeste. Os índices de vulnerabilidade direta indicam que Mato-Grosso e Mato-Grosso do Sul possuem vulnerabilidade cerca de três vezes maior que a média nacional em ambos os cenários.

A análise de incerteza dos resultados indica que o efeito total de longo prazo não é significativo sob o RCP 2.6 e bastante variante entre as regiões sob o RCP 8.5: a produção da região norte apresenta ligeira crescimento médio da ordem 0,03% ao ano enquanto que as outras regiões apresentam quedas em seu produto. Nordeste tem queda média anual de 0,05% do seu PIB, Sudeste com 0,08%, Sul com 0,09% e Centro-Oeste com queda média de 0,12% ao ano.

Os resultados absolutos estão dentro do intervalo descrito por Margulis et. al. (2011) e as estimativas relativas, embora não totalmente comparáveis em função de diferenças metodológicas, são qualitativamente análogas àquelas descritas por Assunção e Chein (2016). Não obstante, a proporção da magnitude entre os impactos econômicos diretos e indiretos são bastante próximas às descritas por Haddad, Porsse e Pereda (2013). Ainda existe espaço para aprimoramento e refinamento dos métodos e dados utilizados. A impossibilidade da metodologia para lidar com a potencial alteração da estrutura produtiva brasileira em resposta às mudanças climáticas observadas concomitante a pouca disponibilidade de dados climáticos e agrícolas são os principais pontos para aprimoramento futuro. Todavia, acreditamos que os resultados acima descritos possam contribuir para uma discussão mais ampla e detalhada acerca da mensuração dos impactos econômicos diretos e indiretos das mudanças climáticas para as regiões brasileiras.

REFERÊNCIAS

1. **Ackerman**, F. (2007). "Debating Climate Economics: The Stern Review vs. Its Critics". Global Development and Environment Institute, Manuscript, July.
2. **Arrow**, K. J., **Cline**, W. R., **Maler**, K. G., **Munasinghe**, M., **Squitieri**, R., & **Stiglitz**, J. E. (1996). "Intertemporal equity, discounting, and economic efficiency" (pp. 125-44). Cambridge, UK, New York and Melbourne: Cambridge University Press.
3. **Diamond**, J. (1997). "Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies". W.W. Norton & Company.
4. **Dixon**, Peter B.; **Parmenter**, Brian R.; **Powell**, Alan A.; **Wilcoxon**, Peter J. (1992). "Notes and Problems in Applied General Equilibrium Economics." In: Advanced Textbooks in Economics (volume 32). Elsevier Science B. V, Amsterdam – Lausanne – New York – Oxford – Shannon – Tokyo – Singapore.
5. **Dixon**, P. D., **Parmenter**, B. R. (1996). "Computable General Equilibrium Modeling for Policy Analysis and Forecasting". In: H. M. Amman, D. A. Kendrick e J. Rust (Eds.), Handbook of Computational Economics, 1: 3-85, Amsterdam, Elsevier.
6. **Deschenes**, O., M. **Greenstone** (2007). "The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather." American Economic Review 97(1).354–85.
7. **Duby**, G.: "La formation des campagnes françaises des origines à 1340". In: Histoire de la France rurale. tomo I, Paris: Editions du Seuil, col. "Univers historique", 1975.
8. **Embrapa** (1987): "Recomendações técnicas para o cultivo do milho.", 3º ed. Sete Lagoas.
9. **Embrapa** (1994): "Feijão – Cultivo – Recomendação Técnica", Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, Brasília.
10. **Embrapa** (2005): "Manual de segurança e qualidade para a cultura da soja." – Brasília, DF: Embrapa Transferência de Tecnologia.
11. **Guilhoto**, J.J.M., U.A. **Sesso Filho** (2005). "Estimação da Matriz Insumo-Produto Utilizando Dados Preliminares das Contas Nacionais: Aplicação e Análise de Indicadores Econômicos para o Brasil em 2005". *Economia & Tecnologia*. UFPR/TECPAR. Ano 6, Vol. 23, Out./Dez.
12. **Guilhoto**, J.J.M., C.R. **Azzoni**, S.M. **Ichihara**, D.K. **Kadota**, E.A. **Haddad** (2010). "Matriz de Insumo-Produto do Nordeste e Estados: Metodologia e Resultados". Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil.
13. **Haddad**, E. A. (1999). "Regional Inequality and Structural Chances: Lessons from the Brazilian Experience". Ashgate, Aldershot.
14. **Haddad**, E. A. (2009). "Interregional Computable General Equilibrium Models In: Sonis M, Hewings GJD (Eds.)". Tool Kits in Regional Science: Theory, Models and Estimation, Springer, Berlin.
15. **Haddad**, E. A; **Azzoni** CR (2012). "Climate change and the future of regions," Chapters, in: Networks, Space and Competitiveness, chapter 6, pages 137-148 Edward Elgar Publishing.
16. **Haddad**, E. A; **Porsse**, A.A., **Pereda**, P.C. (2013). "Regional Economic Impacts of Climate Anomalies in Brazil". Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos. Vol. 07, n. 2, pp. 19-33.
17. **Haddad**, E. A. (2014a). "Spatial Perspectives of Increasing Freeness of Trade in Lebanon". Annals of Regional Science.
18. **Haddad**, E. A. (2014b). "Trade and Interdependence in Lebanon: An Interregional Input-Output Perspective". Journal of Development and Economic Policies.
19. **Haddad**, E. A., et al. (2014c). "Climate change in Lebanon: Higher-order regional impacts from agriculture". Region 1.1: 9-24.

20. **Haddad**, E. A.; Gonçalves Jr.; C. A., Nascimento, T. O (2017). “Matriz Interestadual de Insumo-Produto para o Brasil: Uma Aplicação do Método IIOAS.” *Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos (RBERU)*, Vol. 11, n. 4, pp. 424-446.
21. **Haddad**, E. A., **Garber**, G.; “Target Fitting and Robustness Analysis in CGE Models”, in discussion texts of NEREUS.
22. **Halsnæs**, K.; et al. (2007). "Framing issues". In B. Metz; et al. *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, N.Y., U.S.A. Retrieved 2009-05-20.
23. **Huang**, Haixiao, **Madhu** Khanna (2010). "An econometric analysis of US crop yield and cropland acreage: implications for the impact of climate change". AAEA annual meeting, Denver, Colorado.
24. **IPCC** (2013). “Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change” [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.
25. **Johansen**, L. (1960). “A Multisectoral Study of Economic Growth”. North-Holland, Amsterdam (second edition 1974).
26. **Jorgenson**, Dale W.; **Griliches**, Z. (1967). “The explanation of Productivity Change”. *Review of Economic Studies*, 34, no 99 (July). 249-280.
27. **Kucharik**, C.J., S.P. **Serbin** (2008). “Impacts of Recent Climate Change on Wisconsin Corn and Soybean Yield Trends.” *Environmental Research Letters* 3 (3). 034003.
28. **Lobell**, D.B., G.P. **Asner** (2003). “Climate and Management Contributions to Recent Trends in U.S. Agricultural Yields.” *Science* 299: 1032.
29. **Lobell**, D.B., M.B. **Burke**, C. **Tebaldi**, M.D. **Mastrandrea**, W.P. **Falcon**, and R.L. **Naylor** (2008). “Prioritizing Climate Change Adaptation Needs for Food Security in 2030.” *Science* 319: 607-610.
30. **Mas-Colell**, A., **Whinston**, M and **Green**, J. (1995): “Microeconomic Theory”, Oxford University Press, New York.
31. **McCarl**, B.A., X. **Villavicencio**, and X. **Wu**. (2008). “Climate Change and Future Analysis: Is Stationary Dying?” *American Journal of Agricultural Economics* 90(5). 1241-1247.
32. **Nordhaus**, W. D. (2007). “A review of the Stern review on the economics of climate change”. *Journal of economic literature*, 45(3), 686-702.
33. **Oury**, B. (1965). “Allowing for Weather in Crop Production Model Building”. *Journal of Farm Economics* 47 (2). 270-283.
34. **Ricci**, Marta dos Santos Freire. (2002): “Cultivo orgânico do café: recomendações técnicas.”. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.
35. **Schlenker**, W., M.J. **Roberts** (2009). “Nonlinear Temperature Effects Indicate Severe Damages to U.S. Crop Yields under Climate Change.”
36. **Solow**, R. (1957). “Technical Change and the Aggregate Production Function”, *The Review of Economics and Statistics*, No. 03 (Aug., 1957), pp. 312-320, The MIT Press.
37. **Stern**, N (2006). “Stern Review Report on The Economics of Climate Change.”.
38. **Stocker**, T. F., **Qin**, D., **Plattner**, G. K., **Tignor**, M., **Allen**, S. K., **Boschung**, J., ... & **Midgley**, P. M. (2013). “Climate change 2013: the physical science basis. Intergovernmental panel on climate change, working group I contribution to the IPCC fifth assessment report (AR5)”. New York, 2013.

39. “The Economics of Climate Change in Brazil: Costs and Opportunities” / technical coordinators Sergio **Margulis** and **Carolina** Dubeux; general coordinator Jacques Marcovitch – São Paulo: FEA/USP, 2011.
40. **Toth**, F.L.; et al. (2001). "Decision-making Frameworks". In B. Metz; et al. Climate Change 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, N.Y., U.S.A. Retrieved 2010-01-10.
41. **Weyant**, J. (2017) .” Some Contributions of Integrated Assessment Models of Global Climate Change”. Review of Environmental Economics and Policy 11:1, 115-137
42. **Zohary**, D., **Hopf**, M.: Domestication of Plants in the Old World, 2a ed. (Oxford University Press, Oxford, 1993.

APÊNDICE

Apêndice A - Dados Agrícolas

Tabela A1 - Representatividade de Cada Cultura Dentro da Agricultura Estadual (em pontos percentuais).

Estado	Soja	Cana	Milho	Feijão	Café	Laranja
Acre	0,05	2,77	10,28	2,82	1,12	0,77
Alagoas	0,00	90,03	0,82	1,36	0,00	0,66
Amapá	0,00	0,98	1,11	0,84	0,00	7,57
Amazonas	0,03	6,70	2,15	0,95	0,55	6,20
Bahia	18,54	3,52	6,28	2,55	6,52	2,54
Ceará	0,00	4,61	20,25	19,14	0,51	0,33
Distrito Federal	25,09	0,90	21,64	12,75	1,09	0,56
Espírito Santo	0,00	5,75	1,07	0,51	69,51	0,28
Goiás	38,06	21,98	15,52	3,63	0,53	0,38
Maranhão	35,95	10,10	11,59	2,90	0,00	0,12
Mato Grosso	61,58	3,84	13,46	1,44	0,12	0,02
Mato Grosso do Sul	45,85	26,36	18,17	0,48	0,11	0,09
Minas Gerais	8,64	18,19	11,87	4,00	40,05	1,78
Pará	6,52	1,48	8,36	1,85	1,14	1,84
Paraíba	0,00	38,41	3,06	6,83	0,00	0,24
Paraná	44,43	8,86	19,27	3,98	3,18	0,96
Pernambuco	0,00	46,04	2,13	6,56	0,29	0,06
Piauí	45,54	3,07	19,31	7,64	0,00	0,09
Rio de Janeiro	0,00	18,68	0,89	0,65	7,77	3,70
Rio Grande do Norte	0,00	24,17	2,87	5,18	0,00	0,09
Rio Grande do Sul	37,77	0,59	10,87	0,72	0,00	1,04
Rondônia	23,65	4,63	9,83	3,71	18,65	0,13
Roraima	4,14	0,28	4,23	2,18	0,00	0,52
Santa Catarina	17,16	0,96	24,05	2,73	0,00	0,33
São Paulo	2,61	60,82	3,90	0,96	3,24	14,11
Sergipe	0,00	22,02	22,82	2,32	0,00	16,28
Tocantins	49,08	9,24	9,43	3,90	0,00	0,05

Apêndice B - Padrão Sazonal de Temperatura e Pluviosidade das Regiões Brasileiras

Figura B1 - Padrão de Pluviosidade no Brasil (calculado a partir da média 1994-2015) - Primeiro Semestre.

Figura B2 - Padrão de Pluviosidade no Brasil (calculado a partir da média 1994-2015) – Segundo Semestre.

Figura B3 - Padrão de Temperatura no Brasil (calculado a partir da média 1994-2015) - Primeiro Semestre.

Figura B4 - Padrão de Temperatura no Brasil (calculado a partir da média 1994-2015) - Segundo Semestre.

Apêndice C - Variáveis de Controle

Tabela C1 - Variáveis de Controle Utilizadas.

Variável	Fonte
Anomalia de Chuva	INMET
Anomalia de Chuva ²	INMET
Anomalia de Temperatura	INMET
Anomalia de Temperatura ²	INMET
Produção (em toneladas) da cultura X	PAM (IBGE)
Produção (em R\$ de 2000) da cultura X	PAM (IBGE)
Proporção da cultura X no total produzido (em R\$) pelo município	PAM (IBGE)
Área destinada ao plantio da cultura X	PAM (IBGE)
Proporção da área destinada ao plantio da cultura X em relação à toda área plantada do município	PAM (IBGE)
Área destinada à colheita da cultura X	PAM (IBGE)
Proporção da área destinada à colheita da cultura X em relação à toda área colhida do município	PAM (IBGE)

Nota: "X" representa cada uma das 6 culturas analisadas. Assim, o modelo de dada cultura utilizou informações referentes à produção, área plantada, área colhida e valor produzido das outras 5 culturas como variáveis de controle. Por exemplo, a equação que modela o comportamento da produtividade média da Cana-de-açúcar utilizou as variáveis de anomalia climática descritas acima mais as variáveis de produção agrícola de soja, milho, feijão café e laranja.

Apêndice D - Resultados Econométricos

Tabela D1 - Resultados Econométricos - Variáveis de Precipitação - Cana-de-Açúcar.

Variáveis	(1) lprod_cana	(2) lprod_cana	(3) lprod_cana	(4) lprod_cana
DESVIO_CHUVA_JAN	0.0900*** (0.0242)	0.00216 (0.00963)	-0.00476 (0.0139)	0.000202 (0.0118)
DESVIO_CHUVA_JAN2	-0.0419*** (0.0121)	-0.00320 (0.00280)	-0.00390 (0.00346)	-0.00223 (0.00403)
DESVIO_CHUVA_FEV	0.0993*** (0.0251)	0.0172 (0.0142)	0.00827 (0.0130)	-0.00595 (0.0121)
DESVIO_CHUVA_FEV2	-0.111*** (0.0190)	0.0181 (0.0110)	0.0108 (0.00989)	0.0150 (0.00984)
DESVIO_CHUVA_MAR	0.0443 (0.0323)	0.0184 (0.0115)	0.00484 (0.00754)	0.00438 (0.00738)
DESVIO_CHUVA_MAR2	-0.0263 (0.0293)	0.00229 (0.00634)	-0.0119 (0.00835)	-0.00519 (0.00841)
DESVIO_CHUVA_ABR	0.0702*** (0.0185)	-0.00718 (0.0190)	0.00921 (0.00626)	0.00110 (0.00560)
DESVIO_CHUVA_ABR2	-0.0832*** (0.0170)	0.00820 (0.0132)	-0.00292 (0.00532)	0.00438 (0.00388)
DESVIO_CHUVA_MAI	-0.0328** (0.0123)	0.0101 (0.00752)	0.00175 (0.0105)	-0.000132 (0.00596)
DESVIO_CHUVA_MAI2	0.0285** (0.0125)	0.00511 (0.00628)	0.00567 (0.00616)	0.00126 (0.00354)
DESVIO_CHUVA_JUN	-0.0371*** (0.0114)	-0.00533 (0.00621)	0.00375 (0.00672)	0.000319 (0.00486)
DESVIO_CHUVA_JUN2	0.0148** (0.00588)	0.000666 (0.00183)	0.000412 (0.000762)	0.00134 (0.000926)
DESVIO_CHUVA_JUL	-0.00435 (0.0125)	-0.00585 (0.00671)	0.00659** (0.00306)	0.00258 (0.00202)
DESVIO_CHUVA_JUL2	0.00968** (0.00385)	0.00266** (0.00117)	5.02e-05 (0.000880)	-0.000617 (0.000402)
DESVIO_CHUVA_AGO	-0.0441*** (0.00968)	-0.0137 (0.0135)	0.00439 (0.00586)	0.00377 (0.00563)
DESVIO_CHUVA_AGO2	0.0194*** (0.00586)	0.00129 (0.00309)	-0.000786 (0.00152)	-0.000683 (0.00100)
DESVIO_CHUVA_SET	0.00347 (0.0125)	0.00784 (0.00632)	0.00907 (0.00699)	0.00522 (0.00740)
DESVIO_CHUVA_SET2	-0.0135 (0.00836)	0.00104 (0.00217)	0.000207 (0.00265)	0.00275 (0.00262)
DESVIO_CHUVA_OUT	0.0293 (0.0206)	0.0201 (0.0223)	0.00745 (0.0115)	0.00274 (0.00600)
DESVIO_CHUVA_OUT2	-0.0148 (0.0126)	-0.00575 (0.00394)	-0.00427* (0.00239)	-0.00194 (0.00131)
DESVIO_CHUVA_NOV	0.0339* (0.0176)	-0.00948 (0.0146)	-0.0177 (0.0180)	-0.0149 (0.0153)
DESVIO_CHUVA_NOV2	-0.0703** (0.0311)	-0.00398 (0.00628)	0.00817 (0.00484)	0.000154 (0.00543)
DESVIO_CHUVA_DEZ	0.0472** (0.0183)	-0.0136 (0.0129)	0.00474 (0.0143)	-0.00605 (0.0125)
DESVIO_CHUVA_DEZ2	-0.161* (0.0927)	0.0199 (0.0190)	0.0170* (0.00871)	0.0194** (0.00919)
Constant	4.279*** (0.0609)	4.217*** (0.0295)	4.090*** (0.0254)	3.967*** (0.0445)
Tamanho da Amostra	75,239	75,239	75,239	75,239
R ²	0.219	0.763	0.797	0.858
Efeito Fixo de Cidade	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo de Ano	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo Estado - Ano	Não	Não	Sim	Sim
Controles	Não	Não	Não	Sim

Erros Padrão Robustos em Parênteses.

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

Tabela D2 - Resultados Econométricos - Variáveis de Temperatura - Cana-de-Açúcar.

Variáveis	(1) lprod_cana	(2) lprod_cana	(3) lprod_cana	(4) lprod_cana
DESVIO_COMP_JAN	-1.232*** (0.218)	-0.575*** (0.180)	-0.365 (0.249)	-0.317 (0.195)
DESVIO_COMP_JAN2	20.99*** (5.485)	2.155 (2.361)	2.928 (2.493)	-1.369 (1.849)
DESVIO_COMP_FEV	0.891* (0.458)	0.215 (0.234)	0.345 (0.251)	0.0179 (0.167)
DESVIO_COMP_FEV2	-22.95*** (5.778)	-1.152 (2.557)	4.655** (1.674)	1.861 (1.860)
DESVIO_COMP_MAR	0.272 (0.341)	0.485* (0.237)	-0.0922 (0.210)	0.0839 (0.239)
DESVIO_COMP_MAR2	-21.02*** (5.934)	-8.245** (3.383)	-10.24** (4.190)	-9.697** (3.761)
DESVIO_COMP_ABR	1.043*** (0.355)	0.263 (0.162)	0.229 (0.149)	0.207 (0.125)
DESVIO_COMP_ABR2	5.604 (4.079)	1.464 (1.773)	1.997 (2.029)	1.265 (1.661)
DESVIO_COMP_MAI	-0.195 (0.176)	0.126 (0.157)	-0.104 (0.178)	-0.0204 (0.119)
DESVIO_COMP_MAI2	-3.301 (5.550)	-0.622 (1.831)	-2.672 (1.589)	-2.283 (1.455)
DESVIO_COMP_JUN	-0.0813 (0.131)	-0.360*** (0.125)	0.205 (0.134)	0.0809 (0.119)
DESVIO_COMP_JUN2	6.518 (5.580)	-0.151 (1.216)	-1.063 (0.927)	-1.901*** (0.625)
DESVIO_COMP_JUL	0.461*** (0.145)	0.318*** (0.103)	0.128** (0.0498)	0.116 (0.106)
DESVIO_COMP_JUL2	-3.325 (2.614)	0.584 (0.601)	0.354 (0.671)	0.812 (0.809)
DESVIO_COMP_AGO	-0.371* (0.201)	0.0592 (0.123)	0.185 (0.158)	-0.00149 (0.178)
DESVIO_COMP_AGO2	-5.533 (3.811)	-1.268 (1.351)	-2.368** (1.143)	-0.229 (1.171)
DESVIO_COMP_SET	-0.378 (0.235)	-0.0723 (0.131)	-0.232 (0.158)	-0.154 (0.147)
DESVIO_COMP_SET2	5.510 (3.310)	-1.894 (2.077)	2.115 (2.137)	4.419** (2.006)
DESVIO_COMP_OUT	-0.524** (0.242)	0.0672 (0.161)	0.292 (0.211)	0.221 (0.145)
DESVIO_COMP_OUT2	26.71*** (8.193)	-1.200 (1.388)	-2.077 (2.072)	-0.850 (1.457)
DESVIO_COMP_NOV	1.460*** (0.324)	-0.294 (0.196)	-0.0304 (0.261)	-0.151 (0.196)
DESVIO_COMP_NOV2	-24.32* (12.25)	0.969 (2.679)	-2.316 (2.684)	-1.756 (2.003)
DESVIO_COMP_DEZ	-0.982* (0.486)	-0.318 (0.298)	-0.416* (0.214)	-0.317 (0.219)
DESVIO_COMP_DEZ2	-2.604 (6.980)	5.747* (3.048)	9.403*** (2.063)	1.973 (1.965)
Constant	4.279*** (0.0609)	4.217*** (0.0295)	4.090*** (0.0254)	3.967*** (0.0445)
Tamanho da Amostra	75,239	75,239	75,239	75,239
R ²	0.219	0.763	0.797	0.858
Efeito Fixo de Cidade	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo de Ano	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo Estado - Ano	Não	Não	Sim	Sim
Controles	Não	Não	Não	Sim

Erros Padrão Robustos em Parênteses.

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

Tabela D3 - Resultados Econométricos - Variáveis de Precipitação - Soja.

Variáveis	(1) lprod soja	(2) lprod soja	(3) lprod soja	(4) lprod soja
DESVIO_CHUVA_JAN	0.0734** (0.0263)	0.0849*** (0.0226)	0.0352*** (0.0113)	0.0174* (0.0100)
DESVIO_CHUVA_JAN2	-0.0765*** (0.0270)	-0.0385 (0.0336)	-0.0235 (0.0164)	-0.0177* (0.0102)
DESVIO_CHUVA_FEV	0.0968*** (0.0215)	0.0671*** (0.0214)	0.0453** (0.0162)	0.0234* (0.0135)
DESVIO_CHUVA_FEV2	-0.160*** (0.0276)	-0.0627*** (0.0204)	-0.0222 (0.0173)	-0.0102 (0.0146)
DESVIO_CHUVA_MAR	0.133*** (0.0278)	0.0512** (0.0208)	-0.0142 (0.0200)	-0.00272 (0.0176)
DESVIO_CHUVA_MAR2	-0.113*** (0.0209)	-0.0596*** (0.0167)	-0.00680 (0.0147)	-0.0157 (0.0109)
DESVIO_CHUVA_ABR	0.00515 (0.0241)	-0.0153 (0.0193)	-0.000149 (0.0157)	-0.00691 (0.0149)
DESVIO_CHUVA_ABR2	0.0256 (0.0180)	0.0166 (0.0131)	0.00757 (0.00585)	0.00562 (0.00402)
DESVIO_CHUVA_MAI	-0.0446*** (0.0136)	-0.0103 (0.00969)	-0.00272 (0.0102)	-0.00877 (0.00540)
DESVIO_CHUVA_MAI2	0.0159** (0.00661)	0.00306 (0.00365)	-0.000861 (0.00382)	0.00320* (0.00156)
DESVIO_CHUVA_JUN	0.00501 (0.00958)	0.0214** (0.0102)	0.00906 (0.00808)	0.00972 (0.00751)
DESVIO_CHUVA_JUN2	-0.000734 (0.00159)	-0.00186 (0.00123)	-0.000827 (0.00101)	-0.00106 (0.000855)
DESVIO_CHUVA_JUL	0.0187 (0.0164)	-0.0110 (0.0124)	0.00165 (0.0118)	0.00100 (0.00866)
DESVIO_CHUVA_JUL2	-0.00177 (0.00221)	0.00177 (0.00154)	-0.000279 (0.00132)	-0.000169 (0.00119)
DESVIO_CHUVA_AGO	-0.000170 (0.0131)	0.00355 (0.0144)	-0.0122** (0.00473)	0.00353 (0.00373)
DESVIO_CHUVA_AGO2	0.00126 (0.00374)	-0.00423 (0.00310)	0.000743 (0.000990)	-0.00226** (0.00101)
DESVIO_CHUVA_SET	0.00735 (0.0210)	0.0267* (0.0141)	0.00957 (0.00656)	0.00153 (0.00519)
DESVIO_CHUVA_SET2	-0.00339 (0.0123)	-0.0175* (0.00876)	-0.00529 (0.00349)	-0.00550 (0.00457)
DESVIO_CHUVA_OUT	-0.0339 (0.0237)	-0.0430*** (0.0115)	-0.00981 (0.0176)	-0.00174 (0.0139)
DESVIO_CHUVA_OUT2	-0.0107 (0.0181)	0.0166 (0.0119)	0.00819 (0.00795)	0.00812 (0.00689)
DESVIO_CHUVA_NOV	0.0320 (0.0241)	-0.0105 (0.00883)	0.00328 (0.00972)	0.0138 (0.00993)
DESVIO_CHUVA_NOV2	-0.0472*** (0.0131)	0.0346** (0.0145)	0.0107 (0.00970)	0.0122 (0.0104)
DESVIO_CHUVA_DEZ	-0.0187 (0.0186)	-0.0217** (0.0105)	0.00398 (0.0117)	0.00516 (0.0157)
DESVIO_CHUVA_DEZ2	-0.00987 (0.0211)	0.0596*** (0.0125)	0.0178* (0.00935)	0.00876 (0.0135)
Constant	1.019*** (0.0427)	0.787*** (0.0188)	0.733*** (0.0322)	0.777*** (0.0349)
Tamanho da Amostra	33,190	33,190	33,190	33,190
R ²	0.312	0.687	0.785	0.847
Efeito Fixo de Cidade	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo de Ano	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo Estado - Ano	Não	Não	Sim	Sim
Controles	Não	Não	Não	Sim

Erros Padrão Robustos em Parênteses.

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

Tabela D4 - Resultados Econométricos - Variáveis de Temperatura - Soja.

Variáveis	(1) lprod soja	(2) lprod soja	(3) lprod soja	(4) lprod soja
DESVIO_COMP_JAN	-1.090** (0.430)	-0.156 (0.494)	-0.274 (0.386)	-0.110 (0.125)
DESVIO_COMP_JAN2	41.21 (25.30)	0.590 (9.772)	0.678 (5.801)	-0.747 (4.418)
DESVIO_COMP_FEV	0.333 (0.615)	-0.00679 (0.472)	-0.830 (0.518)	-0.352 (0.534)
DESVIO_COMP_FEV2	-14.57** (6.448)	-6.891** (3.291)	-0.637 (5.554)	1.114 (4.422)
DESVIO_COMP_MAR	0.607 (0.471)	-0.751* (0.374)	-0.120 (0.532)	0.181 (0.471)
DESVIO_COMP_MAR2	-20.59*** (6.722)	-1.307 (3.031)	3.814 (4.277)	0.816 (2.290)
DESVIO_COMP_ABR	0.728*** (0.210)	0.186 (0.257)	-0.410 (0.406)	-0.380 (0.374)
DESVIO_COMP_ABR2	10.21* (5.066)	4.927** (2.057)	-0.309 (2.116)	2.020 (1.349)
DESVIO_COMP_MAI	-0.155 (0.136)	-0.0818 (0.0955)	0.0854 (0.262)	-0.188 (0.165)
DESVIO_COMP_MAI2	-11.88*** (1.297)	0.0384 (1.157)	0.240 (1.810)	-0.702 (1.148)
DESVIO_COMP_JUN	0.278** (0.104)	-0.205 (0.146)	-0.107 (0.242)	-0.142 (0.256)
DESVIO_COMP_JUN2	-2.213 (2.266)	-1.046 (0.933)	-0.0232 (1.186)	-0.223 (1.143)
DESVIO_COMP_JUL	0.126 (0.140)	0.419*** (0.0566)	0.240* (0.139)	0.144 (0.121)
DESVIO_COMP_JUL2	-6.339*** (0.655)	-1.523** (0.545)	0.164 (0.372)	0.0610 (0.222)
DESVIO_COMP_AGO	-0.340*** (0.0630)	-0.324** (0.145)	0.133 (0.124)	0.0171 (0.162)
DESVIO_COMP_AGO2	4.859*** (0.690)	5.449*** (1.134)	-0.371 (0.989)	-0.628 (0.703)
DESVIO_COMP_SET	0.105 (0.370)	-0.0566 (0.248)	0.312 (0.219)	0.0746 (0.182)
DESVIO_COMP_SET2	1.640 (2.911)	-5.383*** (0.818)	-1.067 (1.896)	0.228 (1.062)
DESVIO_COMP_OUT	0.398* (0.222)	0.597** (0.282)	0.659*** (0.126)	0.482* (0.269)
DESVIO_COMP_OUT2	0.594 (8.152)	3.652 (3.143)	3.678 (4.156)	2.058 (3.861)
DESVIO_COMP_NOV	0.00459 (0.355)	-0.567*** (0.173)	0.00741 (0.426)	0.104 (0.283)
DESVIO_COMP_NOV2	-5.992 (5.991)	-2.775 (3.919)	-1.910 (2.766)	0.642 (2.061)
DESVIO_COMP_DEZ	-0.0324 (0.362)	-0.125 (0.253)	0.234 (0.359)	0.282 (0.277)
DESVIO_COMP_DEZ2	-10.59 (6.973)	5.065 (4.579)	9.453*** (2.869)	5.477* (3.051)
Constant	1.019*** (0.0427)	0.787*** (0.0188)	0.733*** (0.0322)	0.777*** (0.0349)
Tamanho da Amostra	33,190	33,190	33,190	33,190
R ²	0.312	0.687	0.785	0.847
Efeito Fixo de Cidade	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo de Ano	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo Estado - Ano	Não	Não	Sim	Sim
Controles	Não	Não	Não	Sim

Erros Padrão Robustos em Parênteses.

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

Tabela D5 - Resultados Econométricos - Variáveis de Precipitação - Milho.

Variáveis	(1) lprod_milho	(2) lprod_milho	(3) lprod_milho	(4) lprod_milho
DESVIO_CHUVA_JAN	0.0385 (0.0285)	0.0662*** (0.0174)	0.0371 (0.0222)	0.0217 (0.0135)
DESVIO_CHUVA_JAN2	-0.0896*** (0.0272)	-0.00860 (0.00909)	-0.0329*** (0.0117)	-0.0156* (0.00757)
DESVIO_CHUVA_FEV	0.0396 (0.0272)	-0.0281** (0.0117)	0.0263 (0.0198)	0.00767 (0.0140)
DESVIO_CHUVA_FEV2	-0.0967** (0.0455)	0.00711 (0.0162)	-0.0324** (0.0121)	-0.0286*** (0.00767)
DESVIO_CHUVA_MAR	0.101** (0.0407)	0.0308* (0.0175)	0.0151 (0.0264)	0.0363** (0.0168)
DESVIO_CHUVA_MAR2	-0.0480 (0.0354)	-0.00133 (0.0251)	-0.00833 (0.0166)	-0.00861 (0.00981)
DESVIO_CHUVA_ABR	0.171*** (0.0313)	0.0399* (0.0200)	0.0473*** (0.0135)	0.0287** (0.0137)
DESVIO_CHUVA_ABR2	0.00275 (0.0245)	-0.0173 (0.0118)	-0.0196** (0.00939)	-0.0196** (0.00705)
DESVIO_CHUVA_MAI	-0.0714* (0.0376)	0.0240*** (0.00760)	0.0212 (0.0146)	0.00476 (0.00801)
DESVIO_CHUVA_MAI2	0.0378*** (0.0113)	-0.0217* (0.0107)	-0.0160** (0.00739)	-0.00416 (0.00390)
DESVIO_CHUVA_JUN	0.00395 (0.0169)	0.00682 (0.00910)	0.000275 (0.0108)	0.0136 (0.00832)
DESVIO_CHUVA_JUN2	0.00453 (0.00409)	-0.00186 (0.00218)	0.00161 (0.00195)	0.000552 (0.00123)
DESVIO_CHUVA_JUL	0.0502 (0.0308)	-0.000471 (0.0171)	-0.0328* (0.0166)	-0.0206* (0.0102)
DESVIO_CHUVA_JUL2	-0.000152 (0.00399)	0.00110 (0.00349)	0.00497** (0.00207)	0.00343** (0.00141)
DESVIO_CHUVA_AGO	-0.0534** (0.0220)	0.0121 (0.0150)	-0.00858 (0.0105)	-0.00572 (0.00850)
DESVIO_CHUVA_AGO2	0.0249*** (0.00518)	-0.00547 (0.00329)	0.000662 (0.00169)	-4.58e-05 (0.00156)
DESVIO_CHUVA_SET	0.0331 (0.0303)	-0.0215 (0.0178)	0.0306* (0.0151)	0.0300*** (0.00872)
DESVIO_CHUVA_SET2	-0.0170 (0.0207)	0.0183*** (0.00563)	0.000665 (0.00480)	-0.00102 (0.00336)
DESVIO_CHUVA_OUT	0.0210 (0.0347)	-0.0238 (0.0176)	0.0237 (0.0197)	0.0112 (0.0180)
DESVIO_CHUVA_OUT2	-0.0471** (0.0183)	-0.00361 (0.00451)	-0.0114* (0.00567)	-0.00867* (0.00472)
DESVIO_CHUVA_NOV	0.160*** (0.0288)	0.0111 (0.0165)	-0.0143 (0.0292)	0.00461 (0.0168)
DESVIO_CHUVA_NOV2	-0.185*** (0.0480)	0.0302 (0.0230)	0.00108 (0.00746)	-0.00825 (0.00519)
DESVIO_CHUVA_DEZ	0.0169 (0.0391)	-0.0166 (0.0255)	0.00122 (0.0257)	-0.00128 (0.0190)
DESVIO_CHUVA_DEZ2	-0.161** (0.0666)	-0.0106 (0.0294)	0.00473 (0.0147)	0.0149 (0.0107)
Constant	1.342*** (0.0452)	1.030*** (0.0290)	0.659*** (0.0335)	6.098*** (1.743)
Tamanho da Amostra	73,196	52,875	73,196	73,196
R ²	0.170	0.725	0.836	0.885
Efeito Fixo de Cidade	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo de Ano	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo Estado - Ano	Não	Não	Sim	Sim
Controles	Não	Não	Não	Sim

Erros Padrão Robustos em Parênteses.

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

Tabela D6 - Resultados Econométricos - Variáveis de Temperatura - Milho.

Variáveis	(1) lprod_milho	(2) lprod_milho	(3) lprod_milho	(4) lprod_milho
DESVIO_COMP_JAN	-1.611*** (0.509)	1.044*** (0.203)	-0.285 (0.393)	-0.156 (0.316)
DESVIO_COMP_JAN2	38.63** (16.19)	-14.21* (7.491)	-0.302 (3.354)	-1.370 (2.185)
DESVIO_COMP_FEV	0.480 (0.929)	-1.412*** (0.329)	-0.285 (0.540)	-0.440 (0.390)
DESVIO_COMP_FEV2	-10.35 (6.805)	4.282 (4.748)	5.562 (3.704)	5.791** (2.700)
DESVIO_COMP_MAR	0.621 (0.693)	0.0945 (0.533)	0.537 (0.565)	0.392 (0.450)
DESVIO_COMP_MAR2	-8.130 (11.76)	-6.401 (8.516)	-2.684 (3.318)	-3.071 (3.062)
DESVIO_COMP_ABR	1.537*** (0.539)	-0.549 (0.543)	-0.385 (0.528)	-0.348 (0.392)
DESVIO_COMP_ABR2	-10.73 (8.087)	-2.046 (2.585)	1.869* (0.920)	1.567** (0.580)
DESVIO_COMP_MAI	-0.725 (0.491)	0.300 (0.238)	-0.409** (0.159)	-0.195 (0.144)
DESVIO_COMP_MAI2	-9.291*** (1.966)	3.453* (1.778)	-2.239** (1.015)	-1.710*** (0.496)
DESVIO_COMP_JUN	1.203** (0.498)	-0.101 (0.131)	0.344 (0.274)	0.0745 (0.132)
DESVIO_COMP_JUN2	6.776 (5.842)	-0.682 (1.629)	1.158 (2.123)	2.003 (1.597)
DESVIO_COMP_JUL	0.599*** (0.183)	0.232 (0.173)	0.0427 (0.214)	0.165 (0.133)
DESVIO_COMP_JUL2	-2.296 (2.320)	-0.951 (1.955)	0.944 (0.732)	-0.0605 (0.373)
DESVIO_COMP_AGO	-0.343 (0.212)	0.149 (0.267)	-0.0155 (0.108)	0.156 (0.125)
DESVIO_COMP_AGO2	4.597* (2.571)	3.983 (2.589)	-2.053** (0.866)	-0.649 (0.744)
DESVIO_COMP_SET	0.889 (0.694)	0.744** (0.277)	0.335 (0.209)	0.0941 (0.157)
DESVIO_COMP_SET2	-4.583 (3.840)	-5.824** (2.634)	-0.235 (1.756)	-0.574 (1.088)
DESVIO_COMP_OUT	-0.257 (0.386)	-0.142 (0.312)	0.277 (0.311)	0.234 (0.268)
DESVIO_COMP_OUT2	28.13*** (9.153)	5.028 (3.379)	-1.866 (3.841)	-0.242 (2.094)
DESVIO_COMP_NOV	1.350*** (0.343)	0.189 (0.241)	0.0403 (0.402)	0.0797 (0.269)
DESVIO_COMP_NOV2	-10.84 (10.95)	-5.789** (2.284)	1.179 (1.754)	-2.588*** (0.796)
DESVIO_COMP_DEZ	0.430 (0.257)	-0.698 (0.426)	-0.486 (0.547)	-0.141 (0.331)
DESVIO_COMP_DEZ2	12.76 (12.60)	12.88** (4.726)	4.236 (3.263)	5.999** (2.275)
Constant	1.342*** (0.0452)	1.030*** (0.0290)	0.659*** (0.0335)	6.098*** (1.743)
Tamanho da Amostra	73,196	52,875	73,196	73,196
R ²	0.170	0.725	0.836	0.885
Efeito Fixo de Cidade	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo de Ano	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo Estado - Ano	Não	Não	Sim	Sim
Controles	Não	Não	Não	Sim

Erros Padrão Robustos em Parênteses.

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

Tabela D7 - Resultados Econométricos - Variáveis de Precipitação - Feijão.

Variáveis	(1) lprod feijao	(2) lprod feijao	(3) lprod feijao	(4) lprod feijao
DESVIO_CHUVA_JAN	0.0454* (0.0222)	0.00624 (0.0169)	0.00126 (0.0188)	0.0190* (0.00994)
DESVIO_CHUVA_JAN2	-0.00881 (0.0430)	-0.0367 (0.0224)	-0.0273** (0.0123)	0.00172 (0.0111)
DESVIO_CHUVA_FEV	-0.0639** (0.0304)	-0.0206 (0.0166)	0.00982 (0.0190)	-0.0193 (0.0153)
DESVIO_CHUVA_FEV2	0.0827*** (0.0280)	0.0355*** (0.0125)	0.0271** (0.01000)	0.0197*** (0.00416)
DESVIO_CHUVA_MAR	0.0706*** (0.0213)	0.0204 (0.0130)	0.00792 (0.0170)	0.0193 (0.0156)
DESVIO_CHUVA_MAR2	-0.0413** (0.0192)	0.0126 (0.0249)	-0.0163 (0.0212)	-0.0208 (0.0182)
DESVIO_CHUVA_ABR	0.0112 (0.0194)	0.00241 (0.00865)	-0.0118 (0.0112)	-0.0135** (0.00559)
DESVIO_CHUVA_ABR2	0.0417* (0.0209)	-0.0155 (0.0125)	-0.000662 (0.00309)	0.00568 (0.00427)
DESVIO_CHUVA_MAI	-0.0667*** (0.0206)	-0.0274 (0.0168)	-0.0171 (0.0236)	-0.0114 (0.0177)
DESVIO_CHUVA_MAI2	0.00503 (0.0124)	0.00370 (0.00549)	-0.00111 (0.00767)	0.00442 (0.00729)
DESVIO_CHUVA_JUN	-0.0242 (0.0275)	0.0117 (0.00915)	-0.00775 (0.0115)	0.0307*** (0.00869)
DESVIO_CHUVA_JUN2	0.00609 (0.00436)	-0.00200 (0.00171)	-0.000121 (0.00249)	-0.000774 (0.00107)
DESVIO_CHUVA_JUL	-0.0120 (0.0276)	0.00869 (0.0137)	0.0155 (0.0150)	-0.00369 (0.00830)
DESVIO_CHUVA_JUL2	0.00971* (0.00509)	0.000177 (0.00235)	-0.000797 (0.00240)	0.000636 (0.00105)
DESVIO_CHUVA_AGO	-0.0427* (0.0249)	0.0116 (0.0101)	0.0278** (0.0126)	-0.00471 (0.00894)
DESVIO_CHUVA_AGO2	0.0231** (0.00837)	-0.00459* (0.00250)	-0.00613*** (0.00188)	0.00134 (0.00150)
DESVIO_CHUVA_SET	0.0124 (0.0153)	-0.00996 (0.0131)	-0.0296* (0.0164)	-0.0110 (0.0157)
DESVIO_CHUVA_SET2	0.0266*** (0.00942)	-0.00188 (0.00791)	0.0123 (0.00858)	0.00836 (0.00607)
DESVIO_CHUVA_OUT	-0.0185 (0.0158)	0.00265 (0.0115)	0.00799 (0.0162)	0.00696 (0.0131)
DESVIO_CHUVA_OUT2	0.0172 (0.0170)	-0.00356 (0.00328)	0.000148 (0.00417)	-0.00350 (0.00490)
DESVIO_CHUVA_NOV	0.0638*** (0.0196)	0.00578 (0.0265)	0.0185 (0.0231)	0.0522*** (0.00971)
DESVIO_CHUVA_NOV2	-0.0896** (0.0327)	-0.00159 (0.0184)	-0.0244 (0.0234)	-0.0254* (0.0130)
DESVIO_CHUVA_DEZ	-0.0234 (0.0240)	0.0325* (0.0181)	0.0210 (0.0221)	0.00235 (0.00913)
DESVIO_CHUVA_DEZ2	-0.0620 (0.0629)	-0.0178 (0.0217)	-0.00482 (0.0226)	-0.0199 (0.0166)
Constant	0.425*** (0.0516)	0.282*** (0.0403)	0.558*** (0.0577)	1.707*** (0.0768)
Tamanho da Amostra	21,356	21,356	21,356	21,356
R ²	0.136	0.705	0.754	0.832
Efeito Fixo de Cidade	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo de Ano	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo Estado - Ano	Não	Não	Sim	Sim
Controles	Não	Não	Não	Sim

Erros Padrão Robustos em Parênteses.

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

Tabela D8 - Resultados Econométricos - Variáveis de Temperatura - Feijão.

Variáveis	(1) lprod_feijao	(2) lprod_feijao	(3) lprod_feijao	(4) lprod_feijao
DESVIO_COMP_JAN	0.0278 (0.422)	0.761* (0.391)	0.282 (0.712)	-0.108 (0.400)
DESVIO_COMP_JAN2	35.29*** (10.14)	15.00** (7.243)	7.394 (4.667)	3.209 (2.854)
DESVIO_COMP_FEV	-0.505 (0.705)	-0.384 (0.451)	-0.478 (0.550)	-0.684 (0.420)
DESVIO_COMP_FEV2	-13.01** (4.708)	-5.457 (3.399)	-2.230 (2.952)	1.377 (1.872)
DESVIO_COMP_MAR	0.751** (0.295)	0.0471 (0.243)	0.243 (0.505)	0.344 (0.208)
DESVIO_COMP_MAR2	-3.516 (4.961)	-1.906 (4.824)	-2.959 (5.818)	0.942 (4.005)
DESVIO_COMP_ABR	0.569* (0.331)	0.265 (0.314)	0.265 (0.599)	0.274 (0.344)
DESVIO_COMP_ABR2	-4.998 (3.703)	2.740 (1.914)	1.926 (3.945)	-0.451 (1.881)
DESVIO_COMP_MAI	0.0483 (0.311)	-0.658*** (0.165)	-0.311 (0.215)	-0.132 (0.158)
DESVIO_COMP_MAI2	-9.453** (3.738)	-1.038 (2.540)	-1.491 (2.398)	-2.431** (0.879)
DESVIO_COMP_JUN	-0.103 (0.187)	-0.248 (0.180)	-0.294 (0.188)	-0.0856 (0.110)
DESVIO_COMP_JUN2	-2.259* (1.275)	-0.632 (0.750)	1.422* (0.712)	2.130*** (0.232)
DESVIO_COMP_JUL	0.0349 (0.228)	0.0424 (0.0849)	-0.135 (0.165)	-0.0560 (0.130)
DESVIO_COMP_JUL2	-0.850 (1.528)	-0.0252 (0.396)	-0.194 (1.357)	-0.517 (0.623)
DESVIO_COMP_AGO	0.0507 (0.170)	-0.102 (0.225)	-0.477 (0.403)	-0.0608 (0.136)
DESVIO_COMP_AGO2	3.037 (2.060)	0.929 (1.339)	0.0336 (2.195)	0.210 (0.842)
DESVIO_COMP_SET	0.279 (0.398)	0.0389 (0.221)	0.327* (0.191)	0.215 (0.151)
DESVIO_COMP_SET2	0.465 (2.929)	-0.251 (1.106)	0.889 (2.065)	-0.626 (2.427)
DESVIO_COMP_OUT	-0.470** (0.219)	-0.272 (0.187)	-0.535 (0.345)	-0.584*** (0.0930)
DESVIO_COMP_OUT2	7.463* (4.313)	0.907 (2.105)	-2.062 (2.275)	-0.700 (1.959)
DESVIO_COMP_NOV	0.405 (0.502)	-0.789** (0.358)	-0.479 (0.568)	0.264 (0.442)
DESVIO_COMP_NOV2	-10.78*** (3.581)	-5.589* (3.026)	-8.805*** (1.800)	-6.807*** (2.078)
DESVIO_COMP_DEZ	-0.259 (0.187)	0.716** (0.325)	0.306 (0.553)	0.200 (0.393)
DESVIO_COMP_DEZ2	12.16* (7.005)	-5.568 (4.801)	-2.949 (5.227)	4.210** (2.033)
Constant	0.425*** (0.0516)	0.282*** (0.0403)	0.558*** (0.0577)	1.707*** (0.0768)
Tamanho da Amostra	21,356	21,356	21,356	21,356
R ²	0.136	0.705	0.754	0.832
Efeito Fixo de Cidade	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo de Ano	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo Estado - Ano	Não	Não	Sim	Sim
Controles	Não	Não	Não	Sim

Erros Padrão Robustos em Parênteses.

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

Tabela D9 - Resultados Econométricos - Variáveis de Precipitação - Café.

Variáveis	(1) lprod coffe	(2) lprod coffe	(3) lprod coffe	(4) lprod coffe
DESVIO_CHUVA_JAN	-0.0425** (0.0165)	-0.00332 (0.0221)	-0.0267 (0.0225)	-0.0481*** (0.0132)
DESVIO_CHUVA_JAN2	-0.0906* (0.0470)	-0.0191 (0.0496)	0.0124 (0.0358)	0.0446** (0.0175)
DESVIO_CHUVA_FEV	0.0791*** (0.0174)	0.0950*** (0.0228)	0.101** (0.0384)	0.0370** (0.0133)
DESVIO_CHUVA_FEV2	-0.0584*** (0.0103)	-0.0234 (0.0189)	-0.0205 (0.0129)	-0.00680 (0.00822)
DESVIO_CHUVA_MAR	-0.0316 (0.0207)	0.0173 (0.0178)	0.0146 (0.0229)	0.00323 (0.0111)
DESVIO_CHUVA_MAR2	-0.0336 (0.0247)	-0.0223 (0.0171)	-0.000815 (0.0271)	0.00603 (0.0132)
DESVIO_CHUVA_ABR	-0.0789*** (0.0241)	-0.0119 (0.0235)	-0.0468** (0.0194)	-0.0235 (0.0175)
DESVIO_CHUVA_ABR2	0.0336 (0.0265)	0.00373 (0.00917)	0.0197 (0.0137)	-0.00362 (0.0108)
DESVIO_CHUVA_MAI	-0.0164 (0.0188)	0.0275 (0.0160)	0.00778 (0.0106)	0.00920 (0.0137)
DESVIO_CHUVA_MAI2	-0.0163 (0.0116)	-0.0334*** (0.00679)	-0.0250*** (0.00576)	-0.0135** (0.00557)
DESVIO_CHUVA_JUN	-0.0195 (0.0140)	0.00173 (0.0109)	0.0202 (0.0169)	0.00265 (0.00754)
DESVIO_CHUVA_JUN2	0.0128** (0.00529)	-0.000472 (0.00311)	-0.00316 (0.00257)	-0.00175 (0.00179)
DESVIO_CHUVA_JUL	-0.0378*** (0.00938)	-0.00204 (0.0194)	0.0140 (0.00834)	-0.00629 (0.0168)
DESVIO_CHUVA_JUL2	0.0137*** (0.00287)	0.00220 (0.00292)	-0.000479 (0.000806)	0.00200 (0.00297)
DESVIO_CHUVA_AGO	0.0121 (0.0212)	0.0213* (0.0119)	0.0460 (0.0355)	-0.00129 (0.00540)
DESVIO_CHUVA_AGO2	0.0247*** (0.00666)	0.00617** (0.00234)	0.00118 (0.00568)	0.00334*** (0.000986)
DESVIO_CHUVA_SET	0.00853 (0.0377)	0.0208 (0.0330)	0.0249 (0.0476)	-0.00997 (0.0298)
DESVIO_CHUVA_SET2	0.0110 (0.0278)	-0.00694 (0.00759)	-0.0121 (0.00940)	-0.0116*** (0.00324)
DESVIO_CHUVA_OUT	-0.0348 (0.0321)	0.0632** (0.0251)	0.0702** (0.0280)	-0.00699 (0.0147)
DESVIO_CHUVA_OUT2	0.0554*** (0.0125)	-0.00261 (0.00715)	-0.0157 (0.0103)	0.00133 (0.00778)
DESVIO_CHUVA_NOV	-0.0402 (0.0296)	-0.0401*** (0.0137)	-0.0559* (0.0297)	-0.0528*** (0.0160)
DESVIO_CHUVA_NOV2	0.100** (0.0425)	0.0488* (0.0236)	0.0607* (0.0302)	0.0439** (0.0187)
DESVIO_CHUVA_DEZ	-0.0352 (0.0274)	0.00225 (0.0354)	0.0365 (0.0284)	0.0301* (0.0171)
DESVIO_CHUVA_DEZ2	0.00621 (0.0122)	-0.00293 (0.0170)	-0.0156 (0.0181)	-0.00585 (0.00877)
Constant	0.412*** (0.00794)	0.592*** (0.0383)	-0.484 (0.804)	-0.874** (0.319)
Tamanho da Amostra	17,703	17,703	17,703	17,703
R²	0.136	0.494	0.543	0.785
Efeito Fixo de Cidade	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo de Ano	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo Estado - Ano	Não	Não	Sim	Sim
Controles	Não	Não	Não	Sim

Erros Padrão Robustos em Parênteses.

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

Tabela D10 - Resultados Econométricos - Variáveis de Temperatura - Café.

Variáveis	(1) lprod coffe	(2) lprod coffe	(3) lprod coffe	(4) lprod coffe
DESVIO_COMP_JAN	0.179 (0.132)	-0.381 (0.288)	0.326 (0.213)	0.400* (0.213)
DESVIO_COMP_JAN2	-18.91** (8.628)	-16.73* (9.582)	-22.61*** (4.024)	-9.310*** (0.486)
DESVIO_COMP_FEV	2.434*** (0.224)	0.398 (0.449)	0.0913 (0.358)	-0.0775 (0.230)
DESVIO_COMP_FEV2	-20.71*** (6.217)	-14.25** (6.074)	-9.268* (5.247)	-2.004 (3.760)
DESVIO_COMP_MAR	-1.551*** (0.379)	1.365*** (0.167)	1.164** (0.518)	0.340 (0.276)
DESVIO_COMP_MAR2	12.10** (4.758)	1.340 (5.711)	3.624 (6.730)	-3.181 (3.635)
DESVIO_COMP_ABR	-0.747* (0.374)	-0.784* (0.424)	-0.591*** (0.153)	-0.0732 (0.191)
DESVIO_COMP_ABR2	19.37** (8.858)	-5.357** (2.537)	-1.855 (1.981)	-1.975 (2.571)
DESVIO_COMP_MAI	0.211 (0.386)	-0.830*** (0.245)	-0.463** (0.175)	-0.0355 (0.156)
DESVIO_COMP_MAI2	-9.159*** (2.289)	1.593 (2.565)	-0.788 (3.103)	-0.494 (1.983)
DESVIO_COMP_JUN	0.408** (0.162)	0.416 (0.271)	0.613 (0.476)	0.578** (0.246)
DESVIO_COMP_JUN2	-13.06*** (3.160)	-1.058 (4.279)	-6.648* (3.602)	-4.795* (2.382)
DESVIO_COMP_JUL	-0.342 (0.233)	-0.0761 (0.289)	-0.868* (0.439)	-0.356 (0.251)
DESVIO_COMP_JUL2	2.194 (1.418)	-0.871 (1.924)	3.110 (4.668)	1.783 (2.205)
DESVIO_COMP_AGO	-0.218 (0.289)	0.414 (0.364)	0.843 (0.555)	-0.123 (0.531)
DESVIO_COMP_AGO2	-8.704** (4.067)	4.611 (2.698)	7.355*** (0.819)	4.844*** (0.658)
DESVIO_COMP_SET	0.0717 (0.180)	-0.300 (0.375)	-0.0971 (0.180)	0.0474 (0.217)
DESVIO_COMP_SET2	10.40** (4.746)	6.654** (2.413)	2.988 (3.410)	2.329 (1.960)
DESVIO_COMP_OUT	-0.659** (0.291)	-0.237 (0.375)	-0.515 (0.545)	-0.646** (0.295)
DESVIO_COMP_OUT2	11.22* (5.391)	2.930 (3.825)	-2.250 (2.091)	2.475 (2.168)
DESVIO_COMP_NOV	-0.608 (0.446)	-0.470 (0.409)	-0.140 (0.367)	0.00907 (0.205)
DESVIO_COMP_NOV2	-13.06** (5.621)	-6.182 (4.986)	-2.395 (6.305)	-6.988 (4.358)
DESVIO_COMP_DEZ	0.762 (0.473)	-0.161 (0.387)	-0.0858 (0.603)	-0.102 (0.117)
DESVIO_COMP_DEZ2	9.133*** (2.940)	15.26*** (4.839)	5.579 (5.667)	7.399 (6.149)
Constant	0.412*** (0.00794)	0.592*** (0.0383)	-0.484 (0.804)	-0.874** (0.319)
Tamanho da Amostra	17,703	17,703	17,703	17,703
R ²	0.136	0.494	0.543	0.785
Efeito Fixo de Cidade	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo de Ano	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo Estado - Ano	Não	Não	Sim	Sim
Controles	Não	Não	Não	Sim

Erros Padrão Robustos em Parênteses.

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

Tabela D11 - Resultados Econométricos - Variáveis de Precipitação - Laranja.

Variáveis	(1) lprod laranja	(2) lprod laranja	(3) lprod laranja	(4) lprod laranja
DESVIO_CHUVA_JAN	0.341*** (0.0610)	0.0216 (0.0302)	0.0713** (0.0313)	0.0496** (0.0203)
DESVIO_CHUVA_JAN2	-0.153*** (0.0228)	-0.00700 (0.0104)	-0.0192 (0.0154)	-0.00964 (0.0103)
DESVIO_CHUVA_FEV	0.0850 (0.263)	-0.00408 (0.0288)	0.0502 (0.0296)	0.0234 (0.0196)
DESVIO_CHUVA_FEV2	0.0241 (0.0976)	0.0197 (0.0219)	-0.00775 (0.0284)	0.00289 (0.0175)
DESVIO_CHUVA_MAR	-0.508** (0.191)	0.0356 (0.0270)	0.0290 (0.0172)	0.0389* (0.0201)
DESVIO_CHUVA_MAR2	0.0552 (0.123)	-0.00257 (0.0153)	0.00157 (0.0111)	0.0113 (0.00729)
DESVIO_CHUVA_ABR	-0.323* (0.172)	-0.00157 (0.0152)	0.0309** (0.0115)	0.0185 (0.0285)
DESVIO_CHUVA_ABR2	-0.201* (0.0997)	-0.0372 (0.0316)	-0.0759** (0.0297)	-0.0382*** (0.0130)
DESVIO_CHUVA_MAI	0.145 (0.115)	0.000355 (0.0107)	0.0143* (0.00812)	-0.0118 (0.0137)
DESVIO_CHUVA_MAI2	-0.266*** (0.0808)	-0.00540 (0.00805)	-0.0177** (0.00682)	-0.00624 (0.00642)
DESVIO_CHUVA_JUN	-0.116 (0.0700)	0.0163 (0.0105)	0.00612 (0.00719)	-0.00926 (0.0160)
DESVIO_CHUVA_JUN2	0.111*** (0.0376)	-0.00771 (0.00497)	-0.00238 (0.00167)	0.00715 (0.00648)
DESVIO_CHUVA_JUL	-0.415*** (0.0455)	0.00630 (0.0136)	-0.0241 (0.0152)	-0.0235 (0.0155)
DESVIO_CHUVA_JUL2	0.0722*** (0.0197)	0.00674 (0.00611)	0.00752 (0.00604)	0.00907 (0.00716)
DESVIO_CHUVA_AGO	-0.0574 (0.0397)	0.00219 (0.0111)	-0.0177* (0.00987)	-0.00441 (0.0148)
DESVIO_CHUVA_AGO2	0.0733*** (0.0198)	-0.00246 (0.00808)	0.00495 (0.00614)	0.00228 (0.00192)
DESVIO_CHUVA_SET	0.00598 (0.0576)	0.0300*** (0.0106)	0.0346** (0.0146)	0.0206* (0.0106)
DESVIO_CHUVA_SET2	0.0154 (0.0715)	-0.0329*** (0.0104)	-0.0224* (0.0124)	-0.00595* (0.00329)
DESVIO_CHUVA_OUT	0.00836 (0.0772)	-0.0286 (0.0259)	-0.0422 (0.0299)	-0.0313 (0.0289)
DESVIO_CHUVA_OUT2	-0.116* (0.0597)	0.000399 (0.00642)	0.00401 (0.00738)	0.00188 (0.00696)
DESVIO_CHUVA_NOV	-0.120 (0.114)	-0.0188 (0.0257)	-0.0332 (0.0261)	-0.0454 (0.0284)
DESVIO_CHUVA_NOV2	0.101 (0.0820)	0.0103 (0.0170)	0.00435 (0.0186)	0.00393 (0.0179)
DESVIO_CHUVA_DEZ	0.168*** (0.0439)	-0.0298 (0.0237)	0.00442 (0.00531)	-0.0417** (0.0201)
DESVIO_CHUVA_DEZ2	-0.201*** (0.0539)	-0.0166** (0.00670)	0.00639 (0.00707)	0.0179* (0.00959)
Constant	3.551*** (0.0964)	4.603*** (0.0644)	5.124*** (0.0565)	5.146*** (0.157)
Tamanho da Amostra	65,839	65,839	65,839	65,839
R ²	0.481	0.923	0.932	0.950
Efeito Fixo de Cidade	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo de Ano	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo Estado - Ano	Não	Não	Sim	Sim
Controles	Não	Não	Não	Sim

Erros Padrão Robustos em Parênteses.

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

Tabela D12 - Resultados Econométricos - Variáveis de Temperatura - Laranja.

Variáveis	(1) lprod laranja	(2) lprod laranja	(3) lprod laranja	(4) lprod laranja
DESVIO_COMP_JAN	10.97*** (2.482)	0.765 (0.590)	0.626 (0.640)	-0.411 (0.296)
DESVIO_COMP_JAN2	11.01 (16.51)	6.586 (5.394)	8.965* (4.359)	-0.906 (5.514)
DESVIO_COMP_FEV	0.661 (5.137)	-0.944 (0.554)	0.553 (0.750)	-0.0313 (0.413)
DESVIO_COMP_FEV2	-37.40 (24.16)	4.823 (5.362)	1.429 (3.030)	5.845** (2.217)
DESVIO_COMP_MAR	-2.326 (1.653)	0.554 (0.554)	-0.482 (0.415)	-0.0362 (0.286)
DESVIO_COMP_MAR2	4.036 (25.42)	-10.27* (5.886)	-12.16*** (2.890)	-6.268** (2.933)
DESVIO_COMP_ABR	-16.03*** (3.066)	-0.483 (0.320)	-0.844 (0.597)	-0.791 (0.653)
DESVIO_COMP_ABR2	98.69*** (20.23)	2.179 (5.356)	-4.228 (5.518)	-2.177 (4.448)
DESVIO_COMP_MAI	5.805*** (0.875)	0.419 (0.335)	0.747*** (0.143)	0.694*** (0.108)
DESVIO_COMP_MAI2	-21.08 (18.35)	-2.446 (6.094)	4.733 (5.691)	-1.271 (3.661)
DESVIO_COMP_JUN	-5.635*** (1.204)	0.0893 (0.172)	0.197 (0.345)	-0.168 (0.320)
DESVIO_COMP_JUN2	-19.05** (7.659)	-0.899 (1.691)	2.578 (2.308)	0.0116 (2.801)
DESVIO_COMP_JUL	-4.156*** (1.259)	-0.127 (0.128)	-0.271 (0.305)	-0.164 (0.190)
DESVIO_COMP_JUL2	15.02*** (3.721)	-0.119 (1.202)	-3.461 (2.445)	-1.564 (1.492)
DESVIO_COMP_AGO	0.847 (1.019)	-0.165 (0.169)	0.0978 (0.611)	-0.136 (0.261)
DESVIO_COMP_AGO2	-20.41* (10.73)	-0.955 (1.200)	1.368 (5.077)	-0.976 (2.687)
DESVIO_COMP_SET	0.943 (0.788)	0.253 (0.230)	0.120 (0.163)	1.079** (0.420)
DESVIO_COMP_SET2	-2.259 (12.63)	1.795 (1.576)	2.234 (5.080)	5.728 (3.386)
DESVIO_COMP_OUT	6.410*** (2.240)	0.248 (0.237)	0.423** (0.194)	0.832*** (0.283)
DESVIO_COMP_OUT2	3.390 (16.62)	4.760** (2.096)	1.918 (1.677)	-1.232 (1.097)
DESVIO_COMP_NOV	-10.65*** (2.413)	-0.447 (0.299)	-0.597*** (0.179)	-1.599*** (0.462)
DESVIO_COMP_NOV2	7.792 (21.01)	-1.399 (3.361)	1.352 (2.389)	2.611 (2.885)
DESVIO_COMP_DEZ	0.443 (1.248)	0.562 (0.343)	0.104 (0.244)	-0.536 (0.494)
DESVIO_COMP_DEZ2	-86.29** (33.72)	7.910 (7.339)	-4.102 (5.450)	-9.279 (5.802)
Constant	3.551*** (0.0964)	4.603*** (0.0644)	5.124*** (0.0565)	5.146*** (0.157)
Tamanho da Amostra	65,839	65,839	65,839	65,839
R ²	0.481	0.923	0.932	0.950
Efeito Fixo de Cidade	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo de Ano	Não	Sim	Sim	Sim
Efeito Fixo Estado - Ano	Não	Não	Sim	Sim
Controles	Não	Não	Não	Sim

Erros Padrão Robustos em Parênteses.

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

Apêndice E - Projeção de Impacto na Produtividade de Cada Cultura

Figura E1 - Projeção de Trajetória da Produtividade da Cana de Açúcar.

Figura E2 - Projeção de Trajetória da Produtividade da Soja.

Figura E3 - Projeção de Trajetória da Produtividade do Milho.

Figura E4 - Projeção de Trajetória da Produtividade do Feijão.

Figura E5 - Projeção de Trajetória da Produtividade do Café.

Figura E6 - Projeção de Trajetória da Produtividade da Laranja.

Apêndice F - Projeção de Impacto em Termos de Valor (em bilhões de R\$) - Taxa de desconto de 0,1% ao ano.

Tabela F1 - Impacto em valor (bilhões de R\$) - Taxa de Desconto de 0,1%.

Estado	RCP 2.6						RCP 8.5					
	Cana	Soja	Milho	Feijão	Café	Laranja	Cana	Soja	Milho	Feijão	Café	Laranja
AC	-R\$ 255,55	-R\$ 12,12	R\$ 0,00	R\$ 348,70	-R\$ 842,58	-R\$ 15,30	-R\$ 1.182,86	-R\$ 498,86	R\$ 0,00	R\$ 2.486,75	-R\$ 3.352,67	-R\$ 86,61
AL	-R\$ 8.589,85	-R\$ 6.056,34	R\$ 0,00	-R\$ 66,38	-R\$ 128,32	R\$ 0,00	-R\$ 45.881,91	-R\$ 53.993,13	R\$ 0,00	-R\$ 142,36	-R\$ 753,64	R\$ 0,00
AM	-R\$ 385,30	-R\$ 262,26	R\$ 0,00	-R\$ 83,26	-R\$ 52,17	-R\$ 14,45	-R\$ 1.633,47	-R\$ 2.141,88	R\$ 0,00	-R\$ 160,52	-R\$ 178,48	-R\$ 40,02
AP	-R\$ 9,28	-R\$ 6,85	R\$ 0,00	-R\$ 8,07	-R\$ 3,89	R\$ 0,00	-R\$ 44,44	-R\$ 49,46	R\$ 0,00	-R\$ 18,01	-R\$ 27,98	R\$ 0,00
BA	-R\$ 2.539,91	-R\$ 1.686,26	-R\$ 24.730,12	-R\$ 9.141,38	-R\$ 1.417,41	-R\$ 9.520,06	-R\$ 13.698,34	-R\$ 18.213,05	-R\$ 104.913,53	-R\$ 18.132,62	-R\$ 10.806,72	-R\$ 32.997,99
CE	-R\$ 700,43	-R\$ 740,35	-R\$ 116,23	-R\$ 1.284,09	-R\$ 496,67	-R\$ 148,52	-R\$ 3.121,54	-R\$ 4.655,58	-R\$ 442,76	-R\$ 2.033,76	-R\$ 4.913,24	-R\$ 417,05
DF	-R\$ 35,21	-R\$ 16,64	-R\$ 183,14	-R\$ 1.423,79	-R\$ 1.148,15	-R\$ 131,93	-R\$ 258,10	-R\$ 183,05	-R\$ 3.730,26	-R\$ 3.207,73	-R\$ 6.366,05	-R\$ 552,98
ES	-R\$ 544,25	-R\$ 81,56	-R\$ 11,14	-R\$ 518,88	-R\$ 24,10	-R\$ 16.695,23	-R\$ 3.087,37	-R\$ 3.585,89	-R\$ 69,37	-R\$ 1.069,77	-R\$ 499,14	-R\$ 79.863,23
GO	-R\$ 17.950,23	-R\$ 5.687,39	-R\$ 25.633,36	-R\$ 23.793,97	-R\$ 4.744,31	-R\$ 837,34	-R\$ 114.357,14	-R\$ 94.904,26	-R\$ 177.625,97	-R\$ 66.392,65	-R\$ 27.858,22	-R\$ 3.552,61
MA	-R\$ 1.932,15	-R\$ 1.237,99	-R\$ 8.071,05	-R\$ 3.800,03	-R\$ 362,81	-R\$ 17,91	-R\$ 10.442,29	-R\$ 13.347,04	-R\$ 44.056,49	-R\$ 10.950,09	-R\$ 2.389,47	-R\$ 60,75
MG	-R\$ 21.620,03	-R\$ 4.340,30	-R\$ 9.967,12	-R\$ 32.481,67	-R\$ 7.494,59	-R\$ 76.456,93	-R\$ 139.465,30	-R\$ 114.106,39	-R\$ 67.127,11	-R\$ 79.806,55	-R\$ 47.020,03	-R\$ 349.893,16
MS	-R\$ 15.416,94	-R\$ 8.158,12	-R\$ 14.540,76	-R\$ 17.637,55	-R\$ 432,76	-R\$ 119,86	-R\$ 111.118,28	-R\$ 98.399,81	-R\$ 130.791,78	-R\$ 46.933,93	-R\$ 2.589,08	-R\$ 595,16
MT	-R\$ 6.101,78	-R\$ 3.394,57	-R\$ 52.803,57	-R\$ 27.980,04	-R\$ 2.609,20	-R\$ 302,33	-R\$ 34.669,73	-R\$ 32.593,44	-R\$ 437.557,70	-R\$ 78.368,19	-R\$ 14.631,43	-R\$ 960,55
PA	-R\$ 348,44	-R\$ 186,12	-R\$ 2.119,02	-R\$ 2.852,12	-R\$ 299,45	-R\$ 220,43	-R\$ 1.570,32	-R\$ 1.895,99	-R\$ 12.230,26	-R\$ 8.840,24	-R\$ 1.588,30	-R\$ 530,40
PB	-R\$ 1.668,65	-R\$ 1.967,21	-R\$ 999,69	-R\$ 213,14	-R\$ 39,03	R\$ 0,00	-R\$ 6.988,08	-R\$ 13.508,68	-R\$ 3.349,92	-R\$ 344,16	-R\$ 626,29	R\$ 0,00
PE	-R\$ 4.612,05	-R\$ 4.930,72	-R\$ 727,55	-R\$ 198,92	-R\$ 296,99	-R\$ 47,12	-R\$ 19.789,24	-R\$ 33.572,61	-R\$ 2.870,92	-R\$ 345,57	-R\$ 1.799,75	-R\$ 139,72
PI	-R\$ 369,99	-R\$ 310,35	-R\$ 3.835,13	-R\$ 2.749,70	-R\$ 484,58	R\$ 0,00	-R\$ 1.930,66	-R\$ 2.747,56	-R\$ 23.089,00	-R\$ 6.530,12	-R\$ 3.094,89	R\$ 0,00
PR	-R\$ 20.408,43	-R\$ 9.576,88	-R\$ 26.623,41	-R\$ 48.497,00	-R\$ 14.044,67	-R\$ 5.468,79	-R\$ 166.918,00	-R\$ 133.982,88	-R\$ 310.753,96	-R\$ 120.490,89	-R\$ 79.011,80	-R\$ 29.657,33
RJ	-R\$ 685,36	R\$ 30,61	R\$ 0,00	-R\$ 67,89	-R\$ 14,80	-R\$ 384,27	-R\$ 3.969,31	-R\$ 3.809,43	R\$ 0,00	-R\$ 146,96	-R\$ 121,66	-R\$ 1.899,00
RN	-R\$ 972,91	-R\$ 1.178,21	R\$ 0,00	-R\$ 40,48	-R\$ 14,19	R\$ 0,00	-R\$ 4.458,34	-R\$ 6.950,51	R\$ 0,00	-R\$ 64,41	-R\$ 274,86	R\$ 0,00
RO	-R\$ 427,78	-R\$ 223,30	-R\$ 1.220,76	-R\$ 1.333,63	-R\$ 600,50	-R\$ 777,71	-R\$ 2.062,99	-R\$ 2.642,49	-R\$ 12.269,78	-R\$ 3.372,21	-R\$ 1.880,45	-R\$ 6.627,92
RR	-R\$ 8,25	-R\$ 6,70	-R\$ 102,57	-R\$ 40,11	-R\$ 24,14	R\$ 0,00	-R\$ 36,09	-R\$ 49,91	-R\$ 483,34	-R\$ 100,99	-R\$ 146,71	R\$ 0,00
RS	-R\$ 2.274,27	-R\$ 1.004,32	-R\$ 19.697,29	-R\$ 15.387,31	-R\$ 2.242,05	R\$ 0,00	-R\$ 15.929,93	-R\$ 11.262,87	-R\$ 212.623,72	-R\$ 34.494,83	-R\$ 12.294,47	R\$ 0,00
SC	-R\$ 4.522,08	-R\$ 2.167,36	-R\$ 2.019,20	-R\$ 9.963,95	-R\$ 2.567,86	-R\$ 119,46	-R\$ 31.976,70	-R\$ 24.431,57	-R\$ 28.514,00	-R\$ 21.675,86	-R\$ 13.597,79	-R\$ 476,72
SE	-R\$ 993,20	-R\$ 632,36	R\$ 0,00	-R\$ 2.588,81	-R\$ 206,88	R\$ 0,00	-R\$ 5.609,96	-R\$ 6.308,02	R\$ 0,00	-R\$ 5.948,81	-R\$ 1.154,44	R\$ 0,00
SP	-R\$ 121.276,57	-R\$ 42.249,95	-R\$ 3.170,12	-R\$ 15.508,29	-R\$ 2.733,74	-R\$ 11.720,92	-R\$ 835.147,90	-R\$ 701.597,49	-R\$ 31.001,99	-R\$ 37.764,56	-R\$ 14.765,95	-R\$ 61.075,03
TO	-R\$ 822,31	-R\$ 429,78	-R\$ 6.707,11	-R\$ 1.206,49	-R\$ 179,08	R\$ 0,00	-R\$ 4.163,13	-R\$ 3.515,21	-R\$ 36.907,24	-R\$ 4.071,40	-R\$ 1.319,87	R\$ 0,00
TOTAL	-R\$ 235.471,20	-R\$ 96.513,40	-R\$ 203.278,34	-R\$ 218.518,24	-R\$ 43.504,90	-R\$ 122.998,57	-R\$ 1.579.511,41	-R\$ 1.382.947,08	-R\$ 1.640.409,11	-R\$ 548.920,44	-R\$ 253.063,37	-R\$ 569.426,22

Tabela F2 - Impacto em valor (bilhões de R\$ de 2011) - Taxa de Desconto de 1%.

Estado	RCP 2.6						RCP 8.5					
	Cana	Soja	Milho	Feijão	Café	Laranja	Cana	Soja	Milho	Feijão	Café	Laranja
AC	-R\$ 182,62	-R\$ 8,87	R\$ 0,00	R\$ 249,09	-R\$ 604,19	-R\$ 11,20	-R\$ 733,52	-R\$ 295,33	R\$ 0,00	R\$ 1.498,39	-R\$ 2.094,11	-R\$ 54,54
AL	-R\$ 6.088,13	-R\$ 4.414,19	R\$ 0,00	-R\$ 47,65	-R\$ 89,81	R\$ 0,00	-R\$ 28.373,99	-R\$ 32.771,49	R\$ 0,00	-R\$ 94,34	-R\$ 463,67	R\$ 0,00
AM	-R\$ 274,33	-R\$ 188,17	R\$ 0,00	-R\$ 59,70	-R\$ 37,53	-R\$ 10,34	-R\$ 1.012,05	-R\$ 1.291,65	R\$ 0,00	-R\$ 107,90	-R\$ 112,43	-R\$ 25,92
AP	-R\$ 6,63	-R\$ 4,81	R\$ 0,00	-R\$ 5,68	-R\$ 2,85	R\$ 0,00	-R\$ 27,64	-R\$ 29,82	R\$ 0,00	-R\$ 11,83	-R\$ 17,24	R\$ 0,00
BA	-R\$ 1.811,43	-R\$ 1.213,47	-R\$ 17.830,66	-R\$ 6.608,35	-R\$ 988,16	-R\$ 6.875,15	-R\$ 8.460,65	-R\$ 11.032,37	-R\$ 66.019,96	-R\$ 11.952,31	-R\$ 6.606,04	-R\$ 20.876,24
CE	-R\$ 501,66	-R\$ 535,61	-R\$ 83,98	-R\$ 926,01	-R\$ 353,50	-R\$ 106,48	-R\$ 1.953,91	-R\$ 2.849,70	-R\$ 278,75	-R\$ 1.387,25	-R\$ 2.950,96	-R\$ 267,53
DF	-R\$ 24,74	-R\$ 12,14	-R\$ 160,16	-R\$ 1.021,43	-R\$ 800,30	-R\$ 91,82	-R\$ 158,46	-R\$ 110,29	-R\$ 2.265,49	-R\$ 2.172,44	-R\$ 3.943,31	-R\$ 352,94
ES	-R\$ 388,02	-R\$ 53,77	-R\$ 7,95	-R\$ 374,89	-R\$ 14,10	-R\$ 12.133,43	-R\$ 1.901,49	-R\$ 2.137,33	-R\$ 42,86	-R\$ 702,08	-R\$ 301,31	-R\$ 49.535,26
GO	-R\$ 12.763,12	-R\$ 3.569,39	-R\$ 18.306,79	-R\$ 16.952,80	-R\$ 3.357,29	-R\$ 597,06	-R\$ 70.306,52	-R\$ 56.396,05	-R\$ 109.526,39	-R\$ 43.580,04	-R\$ 17.276,43	-R\$ 2.223,86
MA	-R\$ 1.377,92	-R\$ 880,60	-R\$ 5.769,28	-R\$ 2.713,53	-R\$ 259,06	-R\$ 12,81	-R\$ 6.522,43	-R\$ 8.038,44	-R\$ 27.460,93	-R\$ 7.148,52	-R\$ 1.465,74	-R\$ 38,68
MG	-R\$ 15.312,88	-R\$ 2.492,42	-R\$ 7.115,34	-R\$ 23.277,49	-R\$ 5.262,52	-R\$ 54.737,66	-R\$ 85.683,45	-R\$ 68.380,83	-R\$ 41.467,37	-R\$ 52.149,64	-R\$ 28.993,88	-R\$ 218.658,49
MS	-R\$ 10.731,29	-R\$ 5.592,85	-R\$ 11.387,97	-R\$ 12.637,21	-R\$ 304,38	-R\$ 85,12	-R\$ 68.901,06	-R\$ 59.702,11	-R\$ 80.364,83	-R\$ 31.200,25	-R\$ 1.611,92	-R\$ 379,34
MT	-R\$ 4.342,55	-R\$ 2.352,19	-R\$ 39.328,59	-R\$ 20.236,40	-R\$ 1.865,63	-R\$ 215,10	-R\$ 21.515,48	-R\$ 19.615,70	-R\$ 266.556,02	-R\$ 51.036,22	-R\$ 9.076,04	-R\$ 610,20
PA	-R\$ 247,95	-R\$ 133,03	-R\$ 1.501,80	-R\$ 2.035,30	-R\$ 216,54	-R\$ 155,66	-R\$ 976,56	-R\$ 1.120,49	-R\$ 7.456,75	-R\$ 5.665,59	-R\$ 980,80	-R\$ 337,92
PB	-R\$ 1.185,70	-R\$ 1.433,17	-R\$ 724,62	-R\$ 153,02	-R\$ 26,16	R\$ 0,00	-R\$ 4.383,18	-R\$ 8.262,82	-R\$ 2.112,86	-R\$ 234,21	-R\$ 371,46	R\$ 0,00
PE	-R\$ 3.267,00	-R\$ 3.579,25	-R\$ 524,78	-R\$ 142,37	-R\$ 213,47	-R\$ 33,69	-R\$ 12.415,02	-R\$ 20.561,66	-R\$ 1.798,10	-R\$ 232,84	-R\$ 1.103,97	-R\$ 88,99
PI	-R\$ 265,20	-R\$ 222,01	-R\$ 2.791,84	-R\$ 1.971,04	-R\$ 340,98	R\$ 0,00	-R\$ 1.203,07	-R\$ 1.662,24	-R\$ 14.291,71	-R\$ 4.321,02	-R\$ 1.900,40	R\$ 0,00
PR	-R\$ 14.219,83	-R\$ 6.623,51	-R\$ 21.220,06	-R\$ 34.670,31	-R\$ 9.821,81	-R\$ 3.861,19	-R\$ 102.920,97	-R\$ 81.246,82	-R\$ 189.758,92	-R\$ 80.121,51	-R\$ 48.699,93	-R\$ 18.749,39
RJ	-R\$ 487,36	R\$ 38,73	R\$ 0,00	-R\$ 48,51	-R\$ 9,81	-R\$ 275,32	-R\$ 2.436,80	-R\$ 2.251,91	R\$ 0,00	-R\$ 96,51	-R\$ 74,46	-R\$ 1.179,08
RN	-R\$ 690,30	-R\$ 849,00	R\$ 0,00	-R\$ 29,28	-R\$ 9,36	R\$ 0,00	-R\$ 2.788,87	-R\$ 4.281,51	R\$ 0,00	-R\$ 43,91	-R\$ 163,32	R\$ 0,00
RO	-R\$ 304,14	-R\$ 158,78	-R\$ 957,27	-R\$ 973,07	-R\$ 429,81	-R\$ 544,32	-R\$ 1.278,27	-R\$ 1.578,74	-R\$ 7.352,25	-R\$ 2.207,17	-R\$ 1.192,51	-R\$ 4.067,51
RR	-R\$ 5,82	-R\$ 4,78	-R\$ 72,28	-R\$ 28,25	-R\$ 17,29	R\$ 0,00	-R\$ 22,34	-R\$ 30,26	-R\$ 297,77	-R\$ 66,11	-R\$ 89,43	R\$ 0,00
RS	-R\$ 1.601,30	-R\$ 733,95	-R\$ 15.839,87	-R\$ 11.053,20	-R\$ 1.562,28	R\$ 0,00	-R\$ 9.761,11	-R\$ 6.745,82	-R\$ 129.272,88	-R\$ 23.224,01	-R\$ 7.603,81	R\$ 0,00
SC	-R\$ 3.180,06	-R\$ 1.560,65	-R\$ 1.616,91	-R\$ 7.127,48	-R\$ 1.794,56	-R\$ 83,34	-R\$ 19.548,53	-R\$ 14.638,09	-R\$ 17.279,27	-R\$ 14.518,09	-R\$ 8.377,47	-R\$ 302,76
SE	-R\$ 703,93	-R\$ 446,52	R\$ 0,00	-R\$ 1.857,89	-R\$ 144,40	R\$ 0,00	-R\$ 3.472,37	-R\$ 3.808,39	R\$ 0,00	-R\$ 3.892,67	-R\$ 713,42	R\$ 0,00
SP	-R\$ 85.556,36	-R\$ 27.621,72	-R\$ 2.424,66	-R\$ 11.080,82	-R\$ 1.915,37	-R\$ 8.344,74	-R\$ 512.345,31	-R\$ 421.727,79	-R\$ 18.964,41	-R\$ 24.927,47	-R\$ 9.104,60	-R\$ 38.064,82
TO	-R\$ 587,08	-R\$ 301,62	-R\$ 4.770,29	-R\$ 859,81	-R\$ 131,95	R\$ 0,00	-R\$ 2.588,34	-R\$ 2.087,25	-R\$ 22.961,27	-R\$ 2.628,77	-R\$ 821,78	R\$ 0,00
TOTAL	-R\$ 166.107,35	-R\$ 64.947,73	-R\$ 152.435,10	-R\$ 156.642,41	-R\$ 30.573,13	-R\$ 88.174,43	-R\$ 971.691,41	-R\$ 832.654,88	-R\$ 1.005.528,77	-R\$ 362.224,30	-R\$ 156.110,47	-R\$ 355.813,48

Tabela F3 - Impacto em valor (bilhões de R\$ de 2011) - Taxa de Desconto de 3%.

Estado	RCP 2.6						RCP 8.5					
	Cana	Soja	Milho	Feijão	Café	Laranja	Cana	Soja	Milho	Feijão	Café	Laranja
AC	-R\$ 99,55	-R\$ 5,08	R\$ 0,00	R\$ 134,38	-R\$ 331,72	-R\$ 6,43	-R\$ 292,26	-R\$ 101,79	R\$ 0,00	R\$ 553,60	-R\$ 852,25	-R\$ 23,01
AL	-R\$ 3.284,60	-R\$ 2.494,69	R\$ 0,00	-R\$ 26,52	-R\$ 46,88	R\$ 0,00	-R\$ 11.190,88	-R\$ 12.296,72	R\$ 0,00	-R\$ 44,01	-R\$ 180,39	R\$ 0,00
AM	-R\$ 148,80	-R\$ 104,75	R\$ 0,00	-R\$ 33,06	-R\$ 20,76	-R\$ 5,67	-R\$ 404,36	-R\$ 478,92	R\$ 0,00	-R\$ 51,94	-R\$ 47,02	-R\$ 11,70
AP	-R\$ 3,63	-R\$ 2,55	R\$ 0,00	-R\$ 3,01	-R\$ 1,61	R\$ 0,00	-R\$ 11,08	-R\$ 11,00	R\$ 0,00	-R\$ 5,41	-R\$ 6,74	R\$ 0,00
BA	-R\$ 986,51	-R\$ 675,55	-R\$ 9.949,82	-R\$ 3.704,78	-R\$ 508,67	-R\$ 3.841,50	-R\$ 3.321,80	-R\$ 4.106,59	-R\$ 27.386,77	-R\$ 5.474,28	-R\$ 2.523,25	-R\$ 8.754,44
CE	-R\$ 275,33	-R\$ 300,72	-R\$ 47,04	-R\$ 519,96	-R\$ 182,20	-R\$ 58,55	-R\$ 796,14	-R\$ 1.092,49	-R\$ 115,12	-R\$ 685,60	-R\$ 1.069,59	-R\$ 116,12
DF	-R\$ 13,21	-R\$ 6,73	-R\$ 120,64	-R\$ 579,11	-R\$ 415,11	-R\$ 47,59	-R\$ 61,13	-R\$ 40,80	-R\$ 845,48	-R\$ 1.047,01	-R\$ 1.562,01	-R\$ 152,51
ES	-R\$ 211,11	-R\$ 21,83	-R\$ 4,26	-R\$ 211,24	-R\$ 4,21	-R\$ 6.821,34	-R\$ 740,96	-R\$ 762,48	-R\$ 16,96	-R\$ 321,62	-R\$ 110,95	-R\$ 19.661,49
GO	-R\$ 6.901,66	-R\$ 1.357,20	-R\$ 9.830,22	-R\$ 9.231,51	-R\$ 1.794,90	-R\$ 322,31	-R\$ 27.187,39	-R\$ 20.293,91	-R\$ 43.306,49	-R\$ 19.865,85	-R\$ 6.852,33	-R\$ 915,23
MA	-R\$ 750,56	-R\$ 477,20	-R\$ 3.145,74	-R\$ 1.496,60	-R\$ 141,32	-R\$ 7,00	-R\$ 2.634,41	-R\$ 2.941,60	-R\$ 11.076,28	-R\$ 3.220,29	-R\$ 565,01	-R\$ 16,52
MG	-R\$ 8.226,62	-R\$ 589,70	-R\$ 3.828,54	-R\$ 12.875,24	-R\$ 2.758,28	-R\$ 29.865,11	-R\$ 33.032,31	-R\$ 25.063,04	-R\$ 16.470,95	-R\$ 23.585,15	-R\$ 11.316,47	-R\$ 89.231,66
MS	-R\$ 5.595,10	-R\$ 2.713,41	-R\$ 7.261,98	-R\$ 7.123,99	-R\$ 161,00	-R\$ 46,30	-R\$ 27.183,12	-R\$ 22.477,78	-R\$ 31.117,24	-R\$ 14.672,23	-R\$ 643,91	-R\$ 162,08
MT	-R\$ 2.380,07	-R\$ 1.200,29	-R\$ 23.376,32	-R\$ 11.387,47	-R\$ 1.024,50	-R\$ 116,54	-R\$ 8.538,34	-R\$ 7.251,37	-R\$ 101.217,08	-R\$ 22.881,60	-R\$ 3.596,56	-R\$ 260,72
PA	-R\$ 134,20	-R\$ 72,93	-R\$ 810,74	-R\$ 1.115,13	-R\$ 120,66	-R\$ 83,08	-R\$ 391,49	-R\$ 386,43	-R\$ 2.829,59	-R\$ 2.451,35	-R\$ 387,91	-R\$ 146,93
PB	-R\$ 642,46	-R\$ 821,29	-R\$ 410,85	-R\$ 84,64	-R\$ 10,85	R\$ 0,00	-R\$ 1.799,11	-R\$ 3.147,18	-R\$ 875,61	-R\$ 115,89	-R\$ 131,04	R\$ 0,00
PE	-R\$ 1.757,84	-R\$ 2.032,10	-R\$ 294,58	-R\$ 78,62	-R\$ 117,00	-R\$ 18,46	-R\$ 5.099,67	-R\$ 7.873,74	-R\$ 732,59	-R\$ 112,72	-R\$ 427,66	-R\$ 37,96
PI	-R\$ 146,10	-R\$ 121,83	-R\$ 1.583,81	-R\$ 1.096,95	-R\$ 179,79	R\$ 0,00	-R\$ 482,79	-R\$ 617,45	-R\$ 5.654,69	-R\$ 2.001,58	-R\$ 733,83	R\$ 0,00
PR	-R\$ 7.421,34	-R\$ 3.253,59	-R\$ 13.803,59	-R\$ 19.440,52	-R\$ 5.131,50	-R\$ 2.065,43	-R\$ 39.992,54	-R\$ 30.464,92	-R\$ 72.302,60	-R\$ 37.649,20	-R\$ 18.983,51	-R\$ 7.860,65
RJ	-R\$ 262,84	R\$ 46,09	R\$ 0,00	-R\$ 26,69	-R\$ 4,48	-R\$ 150,57	-R\$ 937,62	-R\$ 785,49	R\$ 0,00	-R\$ 44,35	-R\$ 28,41	-R\$ 470,86
RN	-R\$ 372,23	-R\$ 475,85	R\$ 0,00	-R\$ 16,56	-R\$ 3,64	R\$ 0,00	-R\$ 1.137,84	-R\$ 1.668,88	R\$ 0,00	-R\$ 21,76	-R\$ 57,65	R\$ 0,00
RO	-R\$ 165,24	-R\$ 85,87	-R\$ 615,73	-R\$ 558,71	-R\$ 235,45	-R\$ 278,34	-R\$ 509,86	-R\$ 566,06	-R\$ 2.628,92	-R\$ 998,99	-R\$ 508,00	-R\$ 1.624,84
RR	-R\$ 3,11	-R\$ 2,61	-R\$ 38,52	-R\$ 14,91	-R\$ 9,47	R\$ 0,00	-R\$ 8,85	-R\$ 11,36	-R\$ 116,96	-R\$ 30,39	-R\$ 33,85	R\$ 0,00
RS	-R\$ 857,52	-R\$ 408,42	-R\$ 10.660,26	-R\$ 6.289,18	-R\$ 811,67	R\$ 0,00	-R\$ 3.746,30	-R\$ 2.446,94	-R\$ 48.352,86	-R\$ 11.086,86	-R\$ 3.002,65	R\$ 0,00
SC	-R\$ 1.694,83	-R\$ 843,14	-R\$ 1.068,36	-R\$ 3.994,36	-R\$ 936,15	-R\$ 43,38	-R\$ 7.453,76	-R\$ 5.320,70	-R\$ 6.440,88	-R\$ 6.878,38	-R\$ 3.273,55	-R\$ 129,07
SE	-R\$ 379,71	-R\$ 234,91	R\$ 0,00	-R\$ 1.032,47	-R\$ 75,13	R\$ 0,00	-R\$ 1.369,43	-R\$ 1.411,43	R\$ 0,00	-R\$ 1.768,35	-R\$ 281,34	R\$ 0,00
SP	-R\$ 45.778,93	-R\$ 11.598,64	-R\$ 1.470,88	-R\$ 6.137,74	-R\$ 1.004,87	-R\$ 4.508,35	-R\$ 196.218,94	-R\$ 154.525,07	-R\$ 7.282,45	-R\$ 11.541,61	-R\$ 3.550,51	-R\$ 15.366,06
TO	-R\$ 320,48	-R\$ 159,08	-R\$ 2.553,58	-R\$ 470,29	-R\$ 80,36	R\$ 0,00	-R\$ 1.031,77	-R\$ 738,59	-R\$ 9.250,67	-R\$ 1.152,95	-R\$ 329,50	R\$ 0,00
TOTAL	-R\$ 88.813,58	-R\$ 30.013,86	-R\$ 90.875,48	-R\$ 87.414,89	-R\$ 16.112,16	-R\$ 48.285,94	-R\$ 375.574,15	-R\$ 306.882,72	-R\$ 388.020,18	-R\$ 167.155,77	-R\$ 61.055,89	-R\$ 144.941,85

Apêndice G- Choques de Produtividade Agrícola

Tabela G1 – Choques de Produtividade por Estado, Cultura e Cenário.

Estado	RCP 2.6						RCP 8.5					
	Cana	Soja	Milho	Feijão	Café	Laranja	Cana	Soja	Milho	Feijão	Café	Laranja
AC	-2,75%	0,00%	2,01%	2,51%	-1,12%	-0,74%	-2,75%	0,00%	-0,79%	2,60%	-1,12%	0,42%
AL	-54,98%	0,00%	-0,49%	-0,99%	0,00%	0,26%	-49,90%	0,00%	-0,82%	-1,05%	0,00%	-0,38%
AM	-4,36%	0,00%	-1,02%	-0,13%	-0,44%	-0,14%	-4,51%	0,00%	-2,15%	0,29%	-0,44%	-2,85%
AP	-0,62%	0,00%	-0,70%	-0,29%	0,00%	5,31%	-0,64%	0,00%	-1,11%	-0,30%	0,00%	-6,97%
BA	-1,88%	-0,29%	-5,32%	-1,96%	-2,16%	4,00%	-1,80%	-18,54%	-6,28%	-2,09%	-1,16%	-1,71%
CE	-2,96%	0,00%	-16,52%	-10,10%	-0,15%	0,36%	-2,91%	0,00%	-20,21%	-15,27%	0,52%	-0,24%
DF	-0,81%	0,02%	1,87%	-9,09%	-1,07%	-0,52%	-0,83%	-25,09%	-21,62%	-6,80%	-1,07%	-0,55%
ES	-1,51%	0,00%	-0,43%	-0,37%	-4,27%	0,00%	-1,38%	0,00%	-1,06%	-0,38%	-3,27%	-0,08%
GO	-13,90%	44,84%	-7,20%	-2,74%	-0,47%	-0,18%	-15,72%	-38,05%	-15,51%	-2,48%	-0,47%	-0,31%
MA	-6,73%	15,67%	-7,83%	-1,65%	0,00%	0,07%	-6,72%	-35,94%	-11,59%	-2,28%	0,00%	-0,05%
MG	-12,37%	11,44%	-5,27%	-3,40%	-29,97%	-0,92%	-13,25%	-8,64%	-11,86%	-3,25%	-28,60%	-1,43%
MS	-20,26%	10,07%	-7,72%	-0,35%	-0,10%	-0,06%	-21,61%	-45,85%	-18,17%	-0,30%	-0,10%	-0,07%
MT	-2,93%	12,82%	-4,84%	-0,77%	-0,10%	-0,01%	-3,16%	-59,68%	-13,06%	-0,50%	-0,08%	0,00%
PA	-0,96%	4,23%	-4,65%	-0,99%	-0,92%	1,13%	-1,00%	-6,51%	-8,36%	-1,13%	-0,76%	-1,27%
PB	-22,21%	0,00%	-2,75%	-3,42%	0,00%	0,25%	-20,48%	0,00%	-3,06%	-5,45%	0,00%	-0,09%
PE	-25,78%	0,00%	-1,84%	-4,48%	-0,17%	0,03%	-22,48%	0,00%	-2,12%	-5,71%	0,03%	-0,04%
PI	-2,09%	16,21%	-11,11%	-5,23%	0,00%	0,04%	-2,09%	-45,53%	-19,27%	-5,71%	0,00%	-0,07%
PR	-6,78%	17,37%	-4,18%	-3,16%	-2,96%	-0,65%	-7,14%	-44,43%	-19,26%	-2,79%	-2,93%	-0,86%
RJ	-6,65%	0,00%	-0,30%	-0,49%	-3,72%	4,28%	-7,63%	0,00%	-0,89%	-0,46%	-4,53%	-2,50%
RN	-11,36%	0,00%	-2,30%	-2,55%	0,00%	0,04%	-9,90%	0,00%	-2,86%	-4,13%	0,00%	0,01%
RO	-3,33%	-3,15%	-3,57%	-1,84%	-15,93%	-0,03%	-3,57%	-23,65%	-9,82%	-1,03%	-16,45%	0,07%
RR	-0,23%	-1,71%	-3,44%	-1,05%	0,00%	-0,19%	-0,22%	-4,14%	-4,23%	-1,64%	0,00%	-0,22%
RS	-0,52%	9,04%	-0,61%	-0,40%	0,00%	-0,76%	-0,53%	-37,76%	-10,84%	-0,25%	0,00%	-0,98%
SC	-0,81%	3,99%	-1,00%	-1,85%	0,00%	-0,27%	-0,83%	-17,16%	-24,01%	-1,43%	0,00%	-0,32%
SE	-14,71%	0,00%	-14,22%	-1,58%	0,00%	-14,32%	-14,90%	0,00%	-22,81%	-1,49%	0,00%	-15,63%
SP	-43,37%	2,13%	-0,75%	-0,80%	-2,84%	-6,73%	-45,62%	-2,61%	-3,90%	-0,76%	-2,77%	-10,48%
TO	-7,16%	3,27%	-6,45%	-2,56%	0,00%	0,00%	-7,47%	-49,07%	-9,43%	-2,83%	0,00%	-0,02%

Apêndice H – Impactos Diretos, Indiretos e Totais sobre a Economia Brasileira.

Tabela H1 - Impactos Diretos, Indiretos e Totais sob os Estados Brasileiros (em bilhões R\$ de 2018).

Estado	RCP 2.6			RCP 8.5		
	Impacto Direto	Impacto Indireto	Impacto Total	Impacto Direto	Impacto Indireto	Impacto Total
AC	-R\$ 0,55	R\$ 5,02	R\$ 4,48	-R\$ 1,68	R\$ 13,53	R\$ 11,86
AL	-R\$ 10,44	-R\$ 180,61	-R\$ 191,05	-R\$ 62,06	R\$ 46,74	-R\$ 15,32
AM	-R\$ 0,56	R\$ 7,96	R\$ 7,40	-R\$ 2,57	R\$ 51,14	R\$ 48,58
AP	-R\$ 0,02	-R\$ 0,76	-R\$ 0,78	-R\$ 0,09	-R\$ 7,61	-R\$ 7,69
BA	-R\$ 34,68	R\$ 88,32	R\$ 53,65	-R\$ 125,09	R\$ 194,41	R\$ 69,31
CE	-R\$ 2,46	-R\$ 161,48	-R\$ 163,94	-R\$ 9,72	-R\$ 240,10	-R\$ 249,82
DF	-R\$ 2,08	-R\$ 31,49	-R\$ 33,56	-R\$ 9,00	-R\$ 240,57	-R\$ 249,57
ES	-R\$ 12,71	R\$ 53,18	R\$ 40,47	-R\$ 54,80	R\$ 296,77	R\$ 241,97
GO	-R\$ 54,54	R\$ 267,25	R\$ 212,70	-R\$ 300,81	-R\$ 352,15	-R\$ 652,96
MA	-R\$ 10,82	R\$ 54,97	R\$ 44,15	-R\$ 50,79	-R\$ 101,30	-R\$ 152,09
MG	-R\$ 106,23	-R\$ 623,00	-R\$ 729,23	-R\$ 497,15	-R\$ 599,97	-R\$ 1.097,12
MS	-R\$ 39,98	R\$ 9,46	-R\$ 30,52	-R\$ 242,95	-R\$ 229,88	-R\$ 472,83
MT	-R\$ 67,01	R\$ 297,61	R\$ 230,60	-R\$ 370,31	-R\$ 155,69	-R\$ 526,00
PA	-R\$ 4,22	R\$ 164,17	R\$ 159,95	-R\$ 16,60	R\$ 620,42	R\$ 603,82
PB	-R\$ 3,46	-R\$ 49,37	-R\$ 52,83	-R\$ 15,42	-R\$ 77,62	-R\$ 93,03
PE	-R\$ 7,62	-R\$ 188,52	-R\$ 196,15	-R\$ 36,33	-R\$ 240,74	-R\$ 277,07
PI	-R\$ 5,49	R\$ 21,23	R\$ 15,74	-R\$ 23,42	-R\$ 96,74	-R\$ 120,16
PR	-R\$ 88,72	R\$ 118,52	R\$ 29,80	-R\$ 523,19	-R\$ 1.319,19	-R\$ 1.842,38
RJ	-R\$ 0,77	-R\$ 242,74	-R\$ 243,51	-R\$ 6,08	-R\$ 835,26	-R\$ 841,34
RN	-R\$ 1,55	-R\$ 32,04	-R\$ 33,59	-R\$ 7,30	-R\$ 59,79	-R\$ 67,09
RO	-R\$ 3,30	-R\$ 26,60	-R\$ 29,90	-R\$ 17,79	-R\$ 80,67	-R\$ 98,46
RR	-R\$ 0,13	-R\$ 0,44	-R\$ 0,56	-R\$ 0,51	-R\$ 2,65	-R\$ 3,16
RS	-R\$ 30,14	R\$ 256,52	R\$ 226,38	-R\$ 177,28	-R\$ 600,14	-R\$ 777,43
SC	-R\$ 15,10	-R\$ 27,78	-R\$ 42,88	-R\$ 74,94	-R\$ 507,95	-R\$ 582,89
SE	-R\$ 3,10	-R\$ 63,76	-R\$ 66,86	-R\$ 11,91	-R\$ 77,43	-R\$ 89,34
SP	-R\$ 134,70	-R\$ 1.918,87	-R\$ 2.053,57	-R\$ 1.031,66	-R\$ 4.583,54	-R\$ 5.615,19
TO	-R\$ 6,53	-R\$ 3,68	-R\$ 10,21	-R\$ 31,19	-R\$ 77,60	-R\$ 108,79
TOTAL	-R\$ 646,89	-R\$ 2.206,93	-R\$ 2.853,83	-R\$ 3.700,64	-R\$ 9.263,57	-R\$ 12.964,21

Apêndice I – Análise de Sensibilidade.

Figura I1 - Distribuição dos Valores Ótimos de $\hat{v}_\beta^*$.

Figura 12 - Distribuição dos Valores Ótimos de $\hat{v}_{\alpha}^*$.

Apêndice J – Períodos de Plantio e Colheita no Brasil.

Figura J1 - Períodos de Plantio e Colheita nas Regiões (Elaboração Própria).