

Mudanças Climáticas no Brasil: Efeitos Sistêmicos sob Cenários de Incerteza¹

Bruno Santos de Souza², Eduardo Amaral Haddad³

Resumo

As mudanças climáticas são uma das principais causas de perdas de produtividade para o setor agrícola em todo o mundo. No entanto, a maior parte do arcabouço teórico aplicado para estimar esse efeito entre as regiões concentra-se apenas na estimativa do impacto econômico direto que tais mudanças terão sobre a atividade agrícola de uma determinada localidade. Além disso, pouco é discutido sobre a vulnerabilidade que diferentes regiões de um determinado país podem enfrentar. De acordo com a definição do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), as regiões mais vulneráveis em termos de mudanças climáticas serão aquelas que, além de enfrentar mudanças climáticas mais duras, têm pouca capacidade adaptativa para lidar com essas mudanças, sendo mais dependentes do setor agrícola em sua estrutura produtiva.

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.

Para isso, utiliza um modelo físico que leva em conta as projeções mais recentes de mudanças climáticas do IPCC para prever o efeito de tais mudanças na produtividade da agricultura brasileira. Este modelo físico está integrado ao modelo de equilíbrio geral computável (EGC) que possui os dados disponíveis mais recentes em sua calibragem para avaliar o impacto sistêmico que mudanças na produtividade agrícola podem causar no nível de atividade, bem-estar e migração dos Estados brasileiros.

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% da produção agrícola do país. Além disso, o modelo inter-regional de EGC usa os dados de 2011 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. As estimativas indicam que a Região Sul do Brasil, enquanto experimenta um intenso aumento relativo de temperatura até o final do século, terá variação ainda mais intensa no seu regime de chuvas. A Região Nordeste do Brasil, notoriamente a menos desenvolvida do país, observará alterações climáticas mais intensas, já que as projeções indicam que sofrerá um lento processo de desertificação até 2100. A Região Norte, que abriga a Floresta Amazônica, é a única que apresenta ganhos médios potenciais após considerada a incerteza dos modelos utilizados. A Região Sudeste, a mais importante do ponto de vista econômico brasileiro, é a que possui resultados mais divergentes a depender do cenário considerado. Por fim, a Região Centro-Oeste é a que mais sofrerá impactos econômicos negativos, em função de sua alta dependência do setor agrícola.

Palavras-Chave: Mudanças Climáticas, Agricultura, Economia Regional, Brasil

ABSTRACT

Climate change is one of the main causes of productivity losses for the agricultural sector around the world. However, most of the theoretical framework applied to estimate this effect between regions focuses only on the estimation of the direct economic impact that such changes will have on the agricultural activity of a given locality. In addition, little is discussed about the vulnerability that different regions of a given country may face. According to the definition of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the most vulnerable regions in terms of climate change will be those that, in addition to facing tougher climate changes, have little adaptive capacity to deal with these changes, being more dependent on the agricultural sector in its productive structure.

This paper measures the economic impact that the projected climatic changes for the Brazilian regions can have until the end of the century. In particular, it estimates the direct impact that this change in the climate pattern will have on the productivity of the country's main agricultural crops and the indirect impact of these changes on the Brazilian economy as a whole. In addition, it constructs an index of vulnerability that allows to detect which are the Brazilian regions more vulnerable in terms of climatic changes for the studied period.

To do so, it uses a physical model that takes into account the latest IPCC projections of climate change to predict the effect of such changes on the productivity of Brazilian agriculture. This physical model is integrated with the general computable equilibrium model (CGE), which has the most recent data available in its calibration to evaluate the systemic impact that changes in agricultural productivity can cause on the level of activity, welfare and migration of the Brazilian states.

The analysis is performed with data on soybean, sugarcane, corn, coffee beans and orange between 1994 and 2015. These crops represent about 82% of the country's agricultural production. In addition, the CGE interregional model uses the 2011 data in its calibration and captures the regional interdependence of the 27 Brazilian states. Finally, the paper uses projections for the regional climate change standard provided by the IPCC's 5th Assessment Report (AR5).

The results point to a very heterogeneous economic impact among the Brazilian regions. Estimates indicate that the Southern Region of Brazil, while experiencing an intense relative increase of temperature until the end of the century, will have an even more intense variation in its rainfall regime. The Northeastern Region of Brazil, which is notoriously the least developed in the country, will observe more intense climate changes, since the projections indicate that it will undergo a slow desertification process until 2100. The North Region, home to the Amazon Forest, is the only one that presents gains potential uncertainties after considering the uncertainty of the models used. The Southeast Region, the most important from the Brazilian economic point of view, has the most divergent results depending on the scenario considered. Finally, the Central-West Region will suffer the most negative economic impacts, due to its high dependence on the agricultural sector.

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

Área ANPEC: Economia Agrícola e Meio Ambiente

JEL Code: R13, Q54

¹ Agradecemos ao Instituto Escolhas, Rede Clima e ao INCT para mudanças climáticas pelo auxílio financeiro.

² NEREUS – Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo.

³ NEREUS – Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo.

1 INTRODUÇÃO

A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas é o maior tratado de cooperação internacional visando a mitigação do efeito maléfico que a atividade humana pode gerar ao meio ambiente. Esse tratado, elaborado durante a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento em 1992, define as mudanças climáticas como alterações no clima que são atribuídas direta ou indiretamente à atividade humana ao mudar a composição da atmosfera global além da variação natural do clima (em períodos comparáveis). Seu objetivo visa estabilizar a emissão dos gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera em níveis que evitem a interferência destes no sistema climático mundial.

O Brasil, sede da conferência, foi o primeiro país ao assinar o tratado, ratificando-o no início de 1994. Nesse sentido, o país reconhecia sua influência no fenômeno das mudanças climáticas se comprometendo voluntariamente, a cumprir e respeitar os termos dispostos no acordo. Outras 140 nações são signatárias dessa conferência, dando sinalização ao mundo de que os esforços de mitigação do efeito humano sobre o clima é tema de grande atenção em todo o planeta. Embora o tratado não fixe, inicialmente, metas claras e específicas dos signatários acerca do seu nível emissões de GEE, abriu precedente para a elaboração de protocolos (sendo o mais famoso destes o Protocolo de Kyoto) que criariam limites obrigatórios de emissão ao longo do tempo.

Em 2008, o Brasil apresentou o Plano Nacional sobre Mudança do Clima, que tem como principal objetivo incentivar o desenvolvimento e o aprimoramento de ações de mitigação de emissões no território nacional. Um dos pilares deste plano é o da geração de pesquisa e desenvolvimento acerca da mensuração de impactos, vulnerabilidade e adaptação do Brasil em relação as mudanças climáticas projetadas para o país.

Um dos canais de maior influência do clima na economia de determinada região diz respeito a alterações na produtividade de suas culturas ao longo do tempo. Esses efeitos, além de impactar de maneira direta as economias regionais, têm potencial de influenciá-las de maneira indireta e diferenciada. Determinados choques de produtividade agrícola podem afetar as demandas locais dos mais diversos agentes econômicos. As relações espaciais e setoriais também podem desempenhar papel fundamental no processo de ajustamento econômico: o setor de alimentação de determinada região, ao enfrentar escassez relativa de gêneros agrícolas para sua produção, terá que repassar parte de seu aumento de custos para os consumidores. Estes, por sua vez, se tornam relativamente mais pobres na medida em que terão menor renda real para adquirir esses produtos. Além disso, terão que diminuir sua demanda por bens de outros setores, que tenderão a diminuir sua produção e preços, além diminuir sua demanda por mão-de-obra. O efeito líquido sobre as variáveis econômicas pode ser bastante complexo de se antecipar ao longo dos diversos setores e regiões do país tanto no curto quanto no longo prazo.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é analisar a vulnerabilidade econômica do setor agrícola das regiões brasileiras em relação às potenciais alterações climáticas no país. Ademais, estudamos os impactos diretos e indiretos que tais alterações no clima podem vir a acarretar sobre a economia brasileira, comparando-os entre as regiões do País. Para tal, utilizamos o arcabouço fornecido pelos modelos de EGC, que permitem integrar modelos físicos e econômicos com o intuito de avaliar os impactos das mais diversas ordens sobre o sistema econômico brasileiro. Ainda, utilizamos metodologia explícita a fim de comparar as incertezas decorrentes das técnicas empregadas, possibilitando a comparação da robustez e consistência dos resultados ao longo das regiões do Brasil.

O trabalho se divide em outras 4 seções além dessa introdução. A próxima seção trata da metodologia utilizada, enfatizando a integração do modelo físico com o modelo de EGC utilizado neste trabalho. A terceira diz respeito aos dados e faz uma breve descrição e justificativa das projeções climáticas utilizadas. A quarta seção introduz os resultados, apresentando os impactos diretos, indiretos e totais das mudanças climáticas para a economia brasileira, e propondo metodologia para lidar com a incerteza dos resultados de maneira explícita. A quinta e última seção finaliza o texto..

2 METODOLOGIA

A metodologia 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, iremos 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 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, procuramos 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 efeitos de primeira e segunda ordem 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 3 partes que dizem respeito, respectivamente, ao modelo econométrico utilizado, às premissas que norteiam a construção das projeções climáticas aplicadas e à descrição do modelo de EGC que será empregado.

2.1 MODELO ECONOMÉTRICO

Um dos principais canais de influência que determinada alteração climática pode vir a ter sobre o setor agrícola é sua produtividade. Dessa forma, entender a relação que esta tem com potenciais variações de pluviosidade e temperatura é o primeiro passo metodológico necessário para a elaboração do 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, conforma 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 clima sobre a produtividade agrícola condicional a efeitos fixos de município e Estado. Com isso, os parâmetros de interesse serão 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 municípios⁴ X'_{it} e um vetor de variáveis climáticas W_{cit} , que é 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 .

⁴ As variáveis de controle utilizadas são descritas na C1, no apêndice.

Com as estimativas obtidas, cada coeficiente da equação acima é multiplicado pela sua respectiva projeção de anomalia climática (melhor descrita na próxima seção). Tal cálculo irá gerar, *ceteris paribus*, uma projeção de alteração de produtividade da *commodity 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.

2.2 PROJEÇÕES DE PLUVIOSIDADE E TEMPERATURA

Uma série de institutos de pesquisa 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 conduzindo, 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).

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.

2.3 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. O arcabouço permite, também, que se analise os efeitos de política e choques de determinado setor e região para os outros setores e regiões do país. O recorte utilizado no 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, em geral, capital, trabalho e terra que, por sua vez, se combinam 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 tempo⁵. O modelo em questão foi calibrado para o ano de 2011 e os dados utilizados para sua construção são provenientes, em sua maior parte, 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 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.

⁵ Para mais detalhes, ver Haddad, Gonçalves Júnior e Nascimento (2017).

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 do Estado afetado 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 conseqüente 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.

3 DADOS

Para implementar a estratégia descrita anteriormente, 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 nesta seção.

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 país. Tais informações foram colhidas 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 área plantada (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, se buscou mesclar a análise de culturas de cultivo temporário (soja, cana-de-açúcar, milho e feijão) e de cultivo permanente (café e laranja). A tabela 1 mostra a representatividade dessas culturas em termos de área plantada para os anos de 2010 a 2015, que juntas foram responsáveis por mais de 81% da área cultivada no país no período.

Tabela 1 - Representatividade das Culturas Seleccionadas em Termos de Área Plantada.

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%

Os dados climáticos utilizados são provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) que fornece em seu site 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 dezembro de 2015. Os dados são interpolados

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.

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.

Conforme descrito acima, 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 mais recentes *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. Cenários vem sendo usados há bastante tempo por planejadores e tomadores de decisão para analisar situações que possuem resultados incertos. Projeções e cenários de condições sociais e ambientais futuras podem abranger diferentes 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 consideram uma trajetória de diminuição no uso do petróleo e crescimento moderado da população mundial, que atinge 9 bilhões de habitantes no final do século. Além disso, admite um aumento importante no uso de energia gerada a partir de biomassa e considera que as emissões de CO₂ permaneçam constantes nos níveis atuais até 2020, começando a declinar a partir daí e se tornando negativas a partir de 2100. Em termos de concentração de CO₂ na atmosfera, o cenário admite que esta 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 principais premissas que as emissões de CO₂ sejam 3 vezes maiores que os níveis atuais até 2100. Admite um rápido crescimento das emissões de metano, além de um crescente aumento do uso de terra para agricultura conduzido por um forte crescimento populacional no planeta (que atinge 12 bilhões de habitantes até 2100). Além disso, o cenário considera uma baixa taxa de crescimento da tecnologia para o uso de fontes renováveis, culminando em uma alta resiliência do uso de combustíveis

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.

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 à 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.

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) estão abarcadas entre as estimativas obtidas nos cenários mais drásticos.

fosseis. Por fim, o cenário não considera a possibilidade de implementação de nenhuma política de mitigação ao longo o século.

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. As figuras A1 a A4 no [apêndice online](#) apresentam as trajetórias projetadas para anomalias¹⁰ de temperatura e pluviosidade no Brasil. O RCP 2.6 apresenta trajetórias de anomalia mais discretas sendo possível destacar 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%). Em termos de temperatura as projeções no cenário apontam para aumento mediano de 4% (cerca de 0,9°C) no Brasil até o final do século, sendo o Sul do país a região mais afetada.

Sob o RCP 8.5 as trajetórias são muito mais intensas. Sua análise permite inferir que, além de mais intensas, as anomalias de 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. Em termos de temperatura, as projeções indicam que no início do período o aquecimento mediano projetado para o Brasil seja da ordem dos 5% (1°C), enquanto que no final do século tal aumento é de cerca de 17% (ou 3,8°C), chegando aos 25% nos municípios da região Sul.

4 RESULTADOS

Esta seção se subdivide em outras duas e apresenta as estimativas para impactos diretos, indiretos e totais das mudanças climáticas projetadas até o final do século para a economia brasileira. Ademais, utiliza uma metodologia descrita na literatura para tratar do problema da incerteza de maneira explícita.

4.1 IMPACTOS DIRETOS, INDIRETOS E TOTAIS.

As figuras B1 a B6 no [apêndice online](#) apresentam as trajetórias de variação da produtividade de cada uma das culturas estudadas entre 2020 e 2100 para os dois cenários analisados¹¹. 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 análise dos impactos sobre as culturas reflete, em boa medida, o comportamento dos cenários climáticos considerados e descritos acima: apresentam trajetórias parecidas até o meio do século, mas se descolam a partir de 2050 com um profundo agravamento sob o cenário RCP 8.5 e uma trajetória quase constante no RCP 2.6. Sob o RCP 2.6 as taxas de variação na produtividade anual são estatisticamente insignificantes em todas as culturas. 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.

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

¹¹ 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).

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. Com isso, a fim de traduzir os impactos econômicos das mudanças climáticas ao longo do tempo e, seguindo as boas práticas da literatura que trata do tema, foram utilizadas 3 taxas foram consideradas três taxas de desconto distintas: 0,1%, 1% e 3% ao ano. Os resultados apresentados são calculados a partir da média dessas taxas (1,37% ao ano).

Finalmente, para calcular os impactos diretos das mudanças no clima na economia brasileira, as trajetórias descritas no apêndice B foram convertidas para valores em R\$ de 2018 (considerando preços constantes) para cada uma das culturas. Em seguida, para cada ano entre 2020 e 2100, os valores individuais para cada cultura foram agregados de modo a se calcular o impacto total das culturas analisadas no ano em questão. Por fim, esses impactos totais foram trazidos a valor presente conforme descrito acima para se auferir o impacto direto das mudanças climáticas para a economia brasileira. Esses resultados se encontram descritos na 2ª e 5ª colunas da tabela A1 no apêndice A (representando os RCP 2.6 e 8.5, respectivamente).

Os impactos diretos calculados totalizam quase 647 bilhões de reais sob o RCP 2.6 e 3,7 trilhões de reais sob o RCP 8.5. Do ponto de vista regional, o padrão de impactos entre os estados brasileiros se mantém análogos entre os cenários, diferindo apenas em sua magnitude: os impactos diretos são, em média, 5,7 vezes maiores sob o RCP 8.5 em relação ao cenário mais otimista. Os Estados mais prejudicados em termos de magnitude de impactos sob o RCP 2.6 são São Paulo (responsável por 20,8% do total dos impactos), Minas Gerais (responsável por 16,4%) e Paraná (com 13,7% dos impactos diretos sob o cenário otimista). Sob o RCP 8.5 o padrão é o parecido, com São Paulo sendo responsável por 27,8% do total dos impactos, Paraná com 14,1% e Minas Gerais com 13,4%.

Para avaliar os efeitos totais dessas perdas, porém, utilizamos o arcabouço fornecido pelo modelo de EGC descrito na seção 2.3. Para isso, é necessário se introduzir um choque de produtividade na estrutura funcional do modelo dentro do setor agrícola de cada uma das regiões analisadas. Assim, para construir os choques de produtividade necessários para as simulações do modelo, foram consideradas as trajetórias de impacto descritas na seção 5.2. Para tal, se considerou como choque de produtividade a diferença entre o nível de produtividade atual¹² 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:

$$\Delta prod_i^h = \frac{\widehat{prod}_{i,2100}^h - prod_{i,atual}^h}{prod_{i,atual}^h}$$

Onde $prod_{i,atual}^h$ 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 :

¹² 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 climáticas projetadas se iniciam em 2020, a média 2011-2015 foi considerada como nível inicial de produtividade em 2020.

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

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 :

$$choque_S^h = p_S^h * \Delta prod_S^h$$

Onde $choque_S^h$ 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:

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

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:

$$choque_efetivo_S = (1 + choque_final_S)^{1/16} - 1$$

Assim, a Tabela 2 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.

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 2 serão implementados na estrutura do modelo através do parâmetro referente ao termo de aumento tecnológico dos fatores primários (capital, trabalho e terra). 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 2.

Tabela 2 - 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%

A Tabela 3 mostra os resultados das simulações sobre alguns agregados macroeconômicos no nível nacional. 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 renda¹³, tem queda de 0,43% e 1,82%, respectivamente. Dentre todos os agregados analisados, esse é o que apresenta maior divergência entre os

¹³ 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.

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.

Tabela 3 - 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

Para analisar os impactos totais sobre as regiões brasileiras, porém, iremos analisar o efeito que estas causarão sobre seu PIB real. A 4ª e 7ª colunas da tabela A1 apresentam esses impactos totais, indicando considerável diferença em relação à análise dos efeitos diretos sobre os estados. 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 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.

4.2 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. 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 e a segunda se relaciona à incerteza relativa às informações cedidas pelas estações do INMET 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.

Ademais, as próprias projeções climáticas geradas pelos modelos do IPCC possuem seu grau de incerteza. 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 anterior. 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, 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” 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 5.4¹⁴ 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 resolução de um sistema de equações linearizadas¹⁵. Assim, considere determinado sistema de equações do B-MARIA:

$$F(V) = 0 \quad (3)$$

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 (5), que pode ser representada como:

$$A(V)v = 0 \quad (4)$$

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 (6). 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:

¹⁴ No caso em questão, a variável endógena que será utilizada como target será o PIB real dos Estados.

¹⁵ Para mais detalhes, ver Dixon e Parmenter (1996).

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

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:

$$v_\alpha = B(V^I)v_\beta \quad (5)$$

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 (7) representada da seguinte maneira:

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

Que pode ser rearranjada tal que:

$$\begin{bmatrix} v_{\alpha 1} \\ \dots \\ v_{\alpha m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} \\ \dots \\ B_{m1} \end{bmatrix} v_{\beta 1} + \begin{bmatrix} B_{12} \\ \dots \\ B_{m2} \end{bmatrix} v_{\beta 2} + \dots + \begin{bmatrix} B_{1(n-m)} \\ \dots \\ B_{m(n-m)} \end{bmatrix} v_{\beta(m-n)} \quad (7')$$

A equação (7') 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 (7'). 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 (7') 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}_α o vetor de variáveis endógenas consideradas para a análise e \widehat{v}_β o vetor de exógenas consideradas como importantes para determiná-las. Usando a mesma notação de (7):

$$\widehat{v}_\alpha = \widehat{B}\widehat{v}_\beta \quad (6)$$

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}_α dependerá da escolha de valores para as variáveis exógenas contidas em \widehat{v}_β . Dessa forma, dados os valores de um *target* t a melhor escolha para \widehat{v}_β será aquela que resolve:

$$\min_{\widehat{v}_\beta} \frac{(\widehat{v}_\alpha - t)^2}{t^2} \quad (7)$$

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

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 2 para cada um dos cenários estudados.

Os choques contidos em \widehat{v}_β dirão respeito aos 27 choques de produtividade no setor agrícola dos Estados brasileiros, conforme descrito na seção anterior. Assim, a equação (8) 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. 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 na seção anterior 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, nós utilizamos como *target* os impactos sobre o PIB estadual derivados a partir dos resultados das simulações descritas na seção anterior. Para este trabalho, foram realizadas 10 mil simulações de choque de produtividade (\widehat{v}_β) a fim de avaliar aquela que minimiza (9). 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 2 e variância calculada a partir das estimativas econométricas combinadas com as projeções climáticas descritas anteriormente.

A Figura B1 no apêndice 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 B2, por sua vez, mostra os efeitos sobre o PIB real dos Estados (\widehat{v}_α) 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.

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. A análise permite observar a consistência dos resultados com aqueles descritos na Tabela 2 mantendo o mesmo ranqueamento de efeitos entre os Estados em ambos os cenários.

A figura C1 no apêndice mostra a relação dos impactos simulados sobre o PRB das cinco grandes regiões brasileiras (\widehat{v}_α) 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.

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.

A região Nordeste, por sua vez, embora apresente desempenho melhor que a média nacional (está acima da linha de cinza de 45°), apresenta perdas médias da ordem de 0,2%. Os resultados para a região Sudeste demonstram que a relação de impactos desta 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.

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.

Em resumo, a análise das imagens 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.

Se, ao invés de utilizar a equação (8) para gerar as estimativas para \widehat{v}_α^* , utilizarmos \widehat{v}_β^* como choques de produtividade para rodar uma simulação do B-MARIA, obtemos os resultados apresentados na Tabela C1 no [apêndice online](#), 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.

5 CONCLUSÃO

As mudanças climáticas projetadas para o futuro apresentam um sério desafio para a humanidade até o final do século. Seus impactos mais intensos serão sentidos no futuro mais distante, 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 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.

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, se analisou os impactos

econômicos diretos, indiretos e totais dessas alterações no clima sobre a agricultura 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.

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 diretos e indiretos 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.

Por fim, ao tratar as incertezas inerentes à metodologia utilizada de maneira explícita, foi possível concluir que as regiões Nordeste e Sudeste serão consistentemente mais afetadas de maneira negativa sob o RCP 2.6 enquanto que sob o RCP 8.5, em função da sua maior integração regional, são as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste as relativamente mais afetadas.

Ainda, existe bastante espaço para aprimoramento e refinamento dos métodos e dados utilizados. A impossibilidade da metodologia para lidar com a possibilidade de mudança da estrutura produtiva brasileira em resposta às mudanças climáticas observadas concomitante à pouca disponibilidade de dados climáticos e agrícolas são o principal ponto de melhora futura do trabalho. Todavia, acreditamos que os resultados acima descritos possam contribuir para uma discussão mais ampla e detalhada acerca das estratégias para mitigação e adaptação das regiões brasileiras no futuro e, por conseguinte, transmitir à literatura o legado da pesquisa das mudanças climáticas no Brasil.

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., **Squiteri**, R., & **Stiglitz**, J. E. (1996). "Intertemporal equity, discounting, and economic efficiency" (pp. 125-44). Cambridge, UK, New York and Melbourne: Cambridge University Press.
3. **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.
4. **Embrapa** (1987): "Recomendações técnicas para o cultivo do milho.", 3º ed. Sete Lagoas.
5. **Embrapa** (1994): "Feijão – Cultivo – Recomendação Técnica", Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, Brasília.
6. **Embrapa** (2005): "Manual de segurança e qualidade para a cultura da soja." – Brasília, DF: Embrapa Transferência de Tecnologia.
7. **Haddad**, E. A. (1999). "Regional Inequality and Structural Chances: Lessons from the Brazilian Experience". Ashgate, Aldershot.
8. **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.
9. **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.
10. **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.
11. **Haddad**, E. A. (2014a). "Spatial Perspectives of Increasing Freeness of Trade in Lebanon". *Annals of Regional Science*.
12. **Haddad**, E. A. (2014b). "Trade and Interdependence in Lebanon: An Interregional Input-Output Perspective". *Journal of Development and Economic Policies*.
13. **Haddad**, E. A., et al. (2014c). "Climate change in Lebanon: Higher-order regional impacts from agriculture". *Region* 1.1: 9-24.
14. **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.
15. **Haddad**, E. A., **Garber**, G.; "Target Fitting and Robustness Analysis in CGE Models", in discussion texts of NEREUS.
16. **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.
17. **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.
18. **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.
19. **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.
20. **Mas-Colell**, A., **Whinston**, M and **Green**, J. (1995): "Microeconomic Theory", Oxford University Press, New York.
21. **Nordhaus**, W. D. (2007). "A review of the Stern review on the economics of climate change". *Journal of economic literature*, 45(3), 686-702.
22. **Stern**, N (2006). "Stern Review Report on The Economics of Climate Change."

APÊNDICE

Apêndice A – Impactos Diretos, Indiretos e Totais.

Tabela A1 - 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 B – Impactos Diretos, Indiretos e Totais.

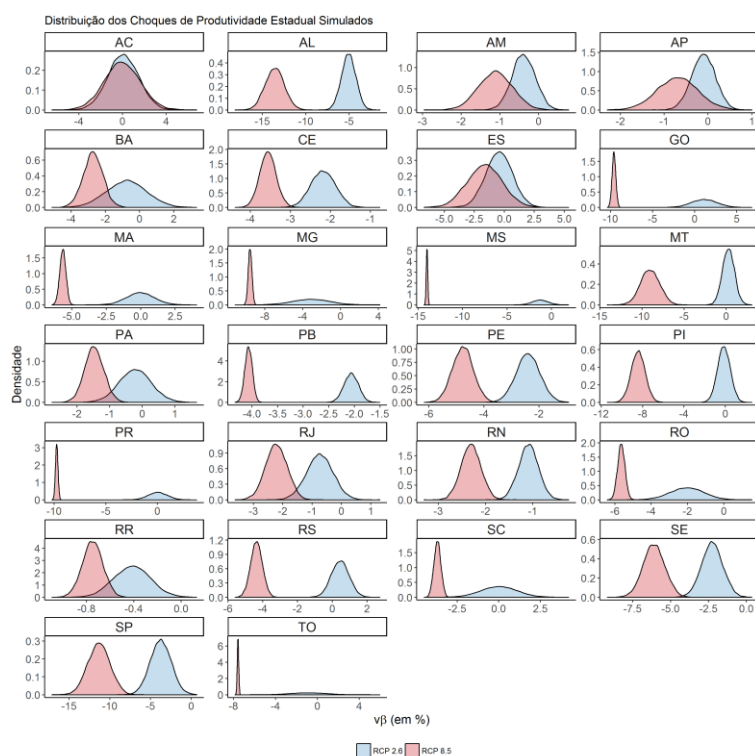


Figura B1 - Distribuição de Choques de Produtividade Simulados.

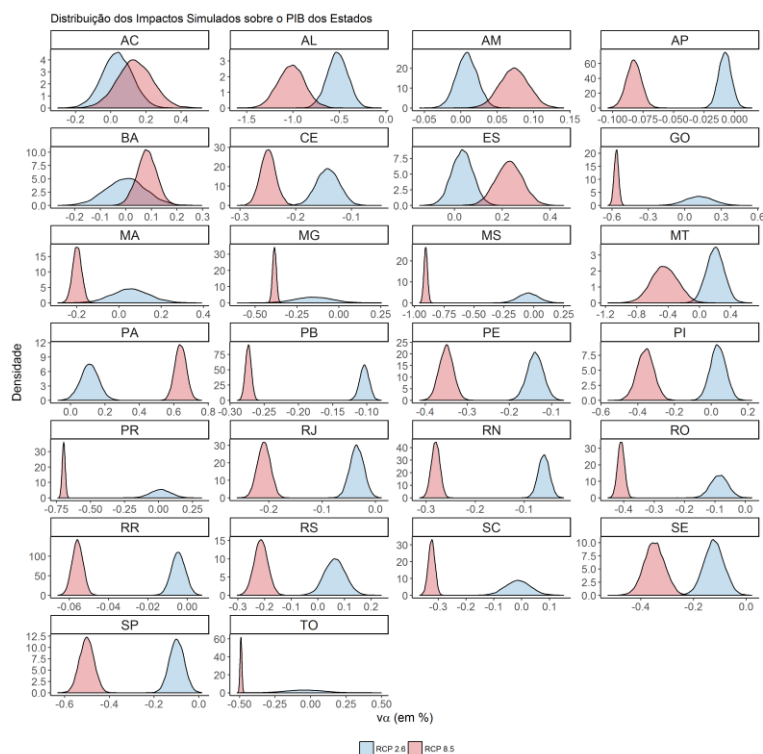


Figura B2 - Distribuição dos Impactos Simulados sobre o PIB Estadual.

Apêndice C – Impactos Diretos, Indiretos e Totais.

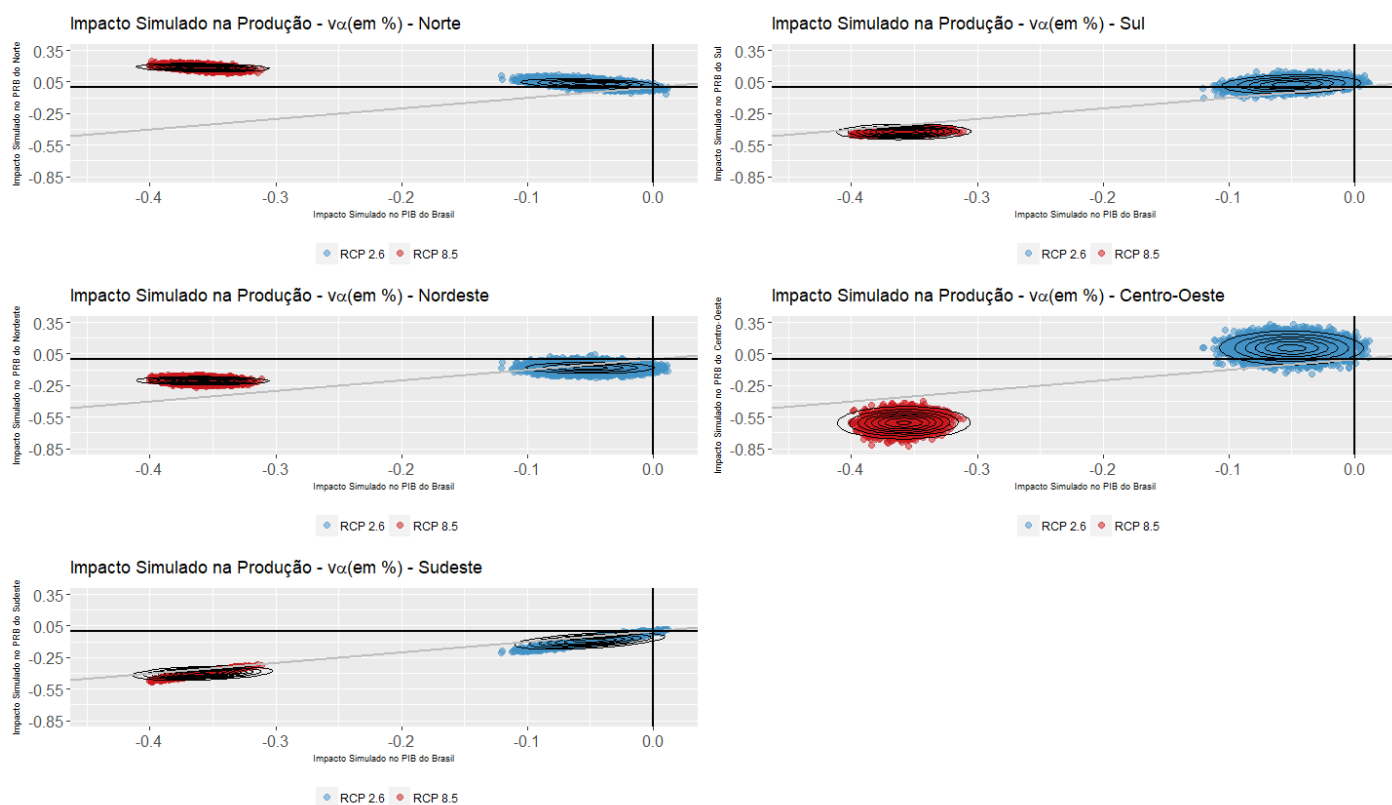


Figura C1 - Impacto Simulado sobre o PIB Nacional e PRB das Regiões Brasileiras.