



Os impactos das mudanças climáticas sobre a produção agrícola, uso do solo e economia da Amazônia Legal entre os anos de 2030 e 2049: Uma abordagem através de Equilíbrio Geral Computável (EGC)

Sessão Temática: 8. Mudanças Climáticas - Economia das mudanças climáticas

Tarik Marques do Prado Tanure, CEDEPLAR/UFMG, tariktanure@gmail.com;

Diego Nobuhiko Miyajima, CEDEPLAR/UFMG, diegomiyajima@gmail.com;

Aline Souza Magalhães, CEDEPLAR/UFMG, alinesm@cedeplar.ufmg.br;

Edson Paulo Domingues, CEDEPLAR/UFMG, domingues.edson@gmail.com;

Resumo

O presente artigo procura verificar os impactos das mudanças climáticas sobre a economia da Amazônia Legal, notadamente sobre a produção agrícola, uso da terra, PIB e geração de empregos, utilizando-se do modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC), REGIA - *Inter-regional General Equilibrium Model for the Brazilian Legal Amazon*, configurado para captar as mudanças na produção agrícola e uso do solo na região da Amazônia Legal de acordo com os cenários de mudanças climáticas propostos pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). Verificou-se nas simulações que haverá uma queda nos indicadores econômicos da região da Amazônia Legal, com retração acumulada do PIB real na ordem de 1,18% em 2049 em decorrência da queda da produção agrícola e do emprego no setor, o modelo indicou ainda que haverá uma substituição gradual das áreas de pasto por lavoura. Tais mudanças se darão de maneira heterogênea na região, sendo mais afetados os estados de Mato Grosso, Tocantins e Pará, estados cuja participação da agropecuária na economia é mais relevante.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas, Produção de alimentos, Amazônia Legal, Equilíbrio Geral Computável

Abstract

This paper seeks to verify the impacts of climate change on the economy of the legal Amazon, especially on agricultural production, land use, GDP and employment generation, using the Computable General Equilibrium (CGE) model, REGIA - Inter- Regional General Equilibrium Model for the Brazilian Legal Amazon, configured to capture changes in agricultural production and land use in the Legal Amazon region according to the climate change scenarios proposed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). It was verified in the simulations that there will be a fall in the economic indicators of the Legal Amazon region, with accumulated retraction of the real GDP in the order of 1.18% in 2049 due to the fall in agricultural production and employment in the sector, in addition the model indicated that there will be a gradual replacement of pasture areas by crop. Such changes will occur in a heterogeneous way in the region, with the states of Mato Grosso, Tocantins and Pará being the most affected, states whose participation in agriculture in the economy is more relevant.

Key-words: Climate Change, Food Production, Brazilian Legal Amazon, Computable General Equilibrium

1. Introdução

As emissões antrópicas de gases causadores do efeito estufa (GEE) desencadearam um processo gradual de aquecimento global e mudanças climáticas que se intensificou com o advento da industrialização dos países capitalistas. Tal processo traz consigo amplos impactos sobre a biodiversidade e os ecossistemas existentes no planeta Terra e por isso incita novos desafios a serem enfrentados pela sociedade.

Estudos reportados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) indicam que haverá no Brasil um aumento médio de temperatura de 1,43°C e uma redução média de 1,44% na pluviosidade durante os anos de 2030 e 2049. Tais dados foram utilizados por Assunção e Chein (2016) em um estudo sobre a perda de produtividade agrícola no país e cujos resultados apontaram para uma redução média de produtividade de 18% em âmbito nacional, mas com variação municipal de -40% a +15%.

Em virtude da mudança de produtividade agrícola uma nova configuração da geografia da produção agrícola se molda no país, com benefícios e perdas dependendo da cultura e da região analisada. Os efeitos dessa nova configuração não ficam restritos à produção em

si, mas afetam a economia como um todo, trazendo impactos sobre o PIB, o emprego, a renda, o consumo, os fluxos migratórios, e não obstante, sobre a segurança alimentar.

A região da Amazônia Legal, por se situar em uma latitude baixa, sofrerá os efeitos das mudanças climáticas de maneira mais intensa. De acordo com o *Fourth Assessment Report* (AR4) do IPCC (2007) a região pode passar por um processo de substituição de área de floresta tropical para vegetação do tipo savana, e da vegetação semiárida para vegetação árida, com efeitos perversos de retroalimentação do aquecimento global, dado o fundamental papel exercido pela floresta amazônica na absorção de gás carbônico.

Posto que a região da Amazônia Legal concentrará os efeitos de queda de produtividade agrícola no país, sendo ainda uma região extensa e por isso caracterizada pela heterogeneidade de aspectos que respondem de maneira distinta às mudanças climáticas, como a diversidade de biomas e culturas cultivadas, faz-se necessário avaliar como a queda de produtividade irá impactar sua economia.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo projetar os impactos das mudanças climáticas sobre a região da Amazônia Legal utilizando o modelo REGIA de EGC inter-regional para o Brasil, especificamente modelado para as regiões da Amazônia Legal. A simulação do cenário de alterações climáticas sobre a produtividade agrícola foram formuladas através das informações fornecidas por Assunção e Chein (2016) para o período de 2030 a 2049.

O estudo está dividido em 4 seções, além desta introdução. Na seção 2, será apresentado os aspectos relacionados às mudanças climáticas e as características econômicas da Amazônia Legal. A seção 3 apresenta o modelo Régia e a metodologia utilizada no estudo. A seção 4 apresenta os resultados obtidos, e por fim as considerações finais.

2. A Amazônia Legal: mudanças climáticas e características econômicas

De acordo com o *5th Assessment Report* do IPCC, é muito provável que a elevação da temperatura média global tenha sido causada pela emissão de gases causadores do efeito estufa¹ (GEE) pelo Homem. Esse aquecimento levou a um processo de alteração nos níveis de pluviosidade e do ciclo hidrológico com impactos sobre a disponibilidade de recursos hídricos em âmbito global e culminando com o advento das mudanças climáticas.

¹ O vapor d'água (H₂O), o dióxido de carbono (CO₂), o óxido nitroso (N₂O), o metano (CH₄) e o ozônio (O₃) são os principais gases causadores do efeito estufa na atmosfera terrestre (BRASIL, MMA, 2007), sendo o Efeito Estufa um fenômeno natural ocasionado por gases que impedem que parte da energia solar que chega ao planeta retorne ao espaço, mantendo a temperatura média do planeta próxima aos 14°C (BRASIL, 2016).

Warming in the climate system is unequivocal and since 1950 many changes have been observed throughout the climate system that are unprecedented over decades to millennia. Each of the last three decades has been successively warmer at the Earth's surface than any preceding decade since 1850 (...) "Observations of changes in the climate system are based on multiple lines of independent evidence. Our assessment of the science finds that the atmosphere and ocean have warmed, the amount of snow and ice has diminished, the global mean sea level has risen and the concentrations of greenhouse gases have increased" (...) (AR5, IPCC, 2013).

A temperatura média no planeta Terra continuará a subir se nada for feito para mitigar a situação e neste contexto, o IPCC apresentou em 2000 o *Special Report on Emissions Scenarios* com os possíveis cenários para o aquecimento global até o final do século XXI, levando em consideração os níveis de emissão de GEE pelo homem, sendo que a temperatura média global poderá aumentar entre 1.4°C e 5.8°C até o ano de 2100.

Os impactos do aquecimento global são diversos e afetam todo o conjunto de vida que habita o planeta Terra, sobretudo a vida humana. Dentre os impactos globais mais imediatos provocados pelo aquecimento global, podemos citar o deslocamento de populações em virtude de climas extremos, como furacões, secas, alagamento de rios e de áreas próximas aos oceanos, proliferação de doenças, alteração de ecossistemas e na produção de alimentos.

A produção de alimentos e conseqüentemente a segurança alimentar em face ao aquecimento global se destaca como uma questão desafiadora, visto que a população mundial continua a crescer demandando maior produção de alimentos, e tudo isso num ambiente incerto e mutante. Valin H, et al (2014), estimam que a demanda de alimentos aumentará por volta de 60% a 70% nos próximos 40 anos, e tal demanda deverá ser preenchida num ambiente onde as secas e o nível de precipitações terão um impacto negativo na produção de alimentos.

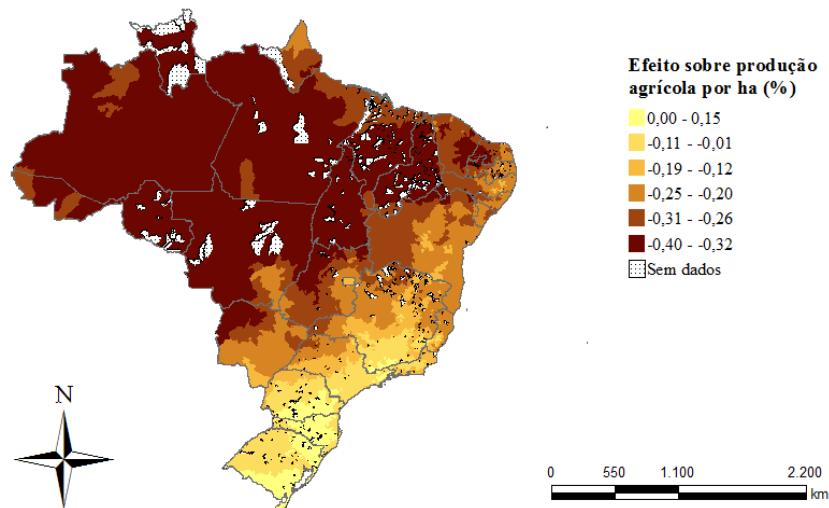
Segundo a FAO (2016), as mudanças climáticas ocasionadas pelo aquecimento global trarão conseqüências negativas para as quatro dimensões da segurança alimentar, a saber: a disponibilidade de alimentos, a estabilidade da oferta de alimentos, o acesso à alimentação e a maneira como os alimentos são utilizados, no entanto tais dimensões são também impactadas por outras variáveis como o comércio mundial e as políticas públicas.

As alterações de pluviosidade e de temperatura responsáveis pelas mudanças climáticas impactarão o nível de produtividade agrícola de maneira heterogênea. Os efeitos perversos se concentrarão nas regiões localizadas em baixas latitudes, enquanto as latitudes médias se tornarão mais propícias à produção agrícola de diversas culturas dado sua temperatura amena. Contudo, sabe-se que apesar do aumento dos níveis de CO₂ e de temperatura

favorecer o crescimento de algumas culturas, isso não se traduz em maior produção visto que o aquecimento global traz consigo fatores negativos que se sobrepõem aos positivos, como a proliferação de pestes e escassez de fontes de água para irrigação e alteração no nível de precipitações (FAO, 2005).

Assunção e Chein (2016) estimaram os impactos das mudanças climáticas sobre a produtividade agrícola municipal no Brasil entre os anos de 2030 e 2049 utilizando o cenário A1B² do IPCC como referência e verificaram que o território nacional será afetado de maneira heterogênea. A concentração dos efeitos de queda de produtividade agrícola se dará nos estados da região Norte, Nordeste e Centro Oeste, regiões cujos os estados compreendem o território da Amazônia Legal.

Figura 1: Efeito das mudanças climáticas sobre a produção agrícola brasileira por hectare em nível municipal (2030 a 2049)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de Assunção e Chein (2016)

Como o Brasil possui sua maior porção territorial compreendida entre a linha do Equador e o Trópico de Capricórnio, região de latitude baixa, cuja predominância dos impactos é negativa e que compreende a totalidade do território da Amazônia Legal conforme evidenciado na figura 1, reforça-se a necessidade de entender como os impactos do aquecimento global sobre a produtividade agrícola influenciará a dinâmica econômica das regiões que compõem a Amazônia Legal brasileira. Neste sentido, a próxima seção apresenta as características econômicas da Amazônia Legal.

² O cenário A1B do IPCC compreende um futuro com grande crescimento econômico e introdução de novas e mais eficientes tecnologias, haverá convergência entre as regiões com redução das disparidades econômicas e uma maior interação cultural e social. A população global atingirá seu pico em meados do século e depois entrará em declínio. A base energética será balanceada entre combustíveis fósseis e não fósseis (IPCC, 2007a).

2.1 Aspectos econômicos da Amazônia Legal

O conceito de Amazônia Legal e sua configuração territorial foram instituídos inicialmente em 1953 em decorrência da necessidade de planejar o desenvolvimento econômico da região que representa cerca de 60% do território nacional e abriga cerca de 12% da população brasileira compreendidas entre os estados da região Norte (Amazonas, Acre, Amapá, Rondônia, Roraima, Tocantins e Pará), o estado do Mato Grosso e parte do estado do Maranhão (BRASIL, 2008).

A economia da Amazônia Legal é bastante heterogênea e espelha sua diversidade ambiental, social e cultural. Os setores econômicos mais relevantes para região são o agropecuário, o florestal, o mineral, o industrial e as atividades urbanas, que por possuírem dinâmicas distintas, despontam em regiões específicas dentro da Amazônia Legal, com destaque para o complexo minerador do Carajás nos estrados do Pará e do Maranhão, as zonas francas industriais no Amazonas e no Amapá, e o agronegócio ligado aos estados de Mato Grosso, Rondônia, Tocantins, Pará e Maranhão.

Segundo o IBGE (2017), o PIB da região da Amazônia legal foi de R\$136,7 bilhões em 2010, representando 8,1% do PIB nacional, participação que vem aumentando, ante aos 7,88% da participação nacional em 2005 e de 6,57% em 1990. Dentro da Amazônia Legal destaca-se a participação do estado do Pará responsável por cerca de 25% do PIB regional. Amazonas e Mato Grosso apresentam participação semelhante de 19,5% e 19,4%, respectivamente e compõem o grupo de estados mais representativos em termos de PIB.

Dentre os estados pertencentes à região da Amazônia Legal a composição do PIB é diversificada. A participação do setor agropecuário é excepcional no estado do Mato Grosso que é responsável por 32% do PIB agropecuário da Amazônia Legal, seguido pelo Maranhão com 19,4%, Pará com 13%, Rondônia 12% e Tocantins com 7%. Em relação ao PIB industrial da Amazônia Legal, a maior participação é do estado do Pará com 37% seguido pelo Amazonas com 28% (IBGE, 2017).

O setor da administração pública é marcante nos estados de Roraima (45%), Amapá (44%), Acre (30%), Rondônia (24%). É refletida a dependência sobre o funcionalismo público na geração de renda e empregos formais. Tal fato pode ser explicado pela grande presença de áreas de floresta nativa em seus territórios que não são incorporadas no cálculo do PIB.

O setor agropecuário na Amazônia Legal caminha em franca expansão, sobretudo nos estados do Pará e do Mato Grosso que respondem por 60% da expansão atual do valor da

produção regional do setor, sendo que até o final da década de 1960 a agricultura que estava circunscrita aos territórios maranhenses e leste paraense passou a incorporar as áreas de cerrado do Mato Grosso, Rondônia, Tocantins e sul do Maranhão. Neste processo, o plantio do arroz e do milho passou a competir com a soja e seus altos índices de produtividade e padrão tecnológico (BRASIL, 2008).

Segundo os dados do Censo agropecuário de 2006, a Amazônia Legal é responsável por cerca de 33% da produção de soja nacional, com 17,79 milhões de toneladas, sendo que 15.59 milhões de toneladas foram produzidas pelo estado de Mato Grosso, seguido por Maranhão e Tocantins com 931 e 743 mil toneladas respectivamente. A produção de algodão em caroço representa cerca de 50% do total nacional, com a produção concentrada no estado do Mato Grosso (98% da produção regional). Em termos nacionais, a região também é responsável por 13.5% da produção do milho, por 20,8% do arroz e, em menor destaque, por 3,7% do total da produção de cana de açúcar.

Nas áreas de transição entre o cerrado e a floresta tropical há a predominância da produção familiar com os cultivos de mandioca, milho, feijão e arroz, além de culturas perenes como a banana, cacau e o café. Tais atividades ocorrem nas várzeas dos rios e ao longo dos principais eixos rodoviários da região, como a Transamazônica, BR-364 e PA-150 (BRASIL, 2008).

Dentre as atividades desempenhadas pela agricultura familiar, o destaque é a produção de mandioca que cumpre o duplo papel de abastecer o mercado nacional e de contribuir para a segurança alimentar de seus produtores. O principal produtor nacional de mandioca é o estado do Pará, com 5,08 milhões de toneladas, sendo que a região da Amazônia legal é responsável por cerca de 36% do total nacional, segundo os dados do censo agropecuário de 2006.

A atividade pecuária na Amazônia Legal começou a se desenvolver a partir da década de 1980, período em que a atividade era restrita à região do pantanal mato-grossense e aos vales inferiores dos rios maranhenses, ilha de Marajó e cursos médios dos rios Araguaia e Tocantins. Os estímulos dados pela Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) promoveram a atividade da pecuária bovina nas áreas de cerrado e nas áreas florestadas ao longo da transamazônica e das rodovias BR-364, BR-163, BR-319, PA-150, PA-279 e MT-138 (BRASIL, 2008).

Durante os anos de 1990 e 2005, 70% do crescimento do rebanho efetivo nacional se deu na região, especificamente nas áreas de fronteira do cerrado com a floresta amazônica e envolvendo parte dos dois ecossistemas. Atualmente os maiores rebanhos encontram-se

no estado do Mato Grosso, Pará, Rondônia, Tocantins e Maranhão, sendo que a atividade é direcionada, sobretudo, para a produção de carne. A produção de leite possui uma dimensão menor, sendo exercida com destaque no norte mato-grossense e leste paraense. A suinocultura e a avicultura tem prosperado no Mato Grosso e no Pará (BRASIL, 2008).

O setor mineral possui relevância para a porção oriental da região, com destaque para a extração de ferro, manganês e cobre em Carajás; alumínio no Pará; alumina no Maranhão; caulim na região de Paragominas no Pará; bauxita na região do rio Trombetas; cassiterita no Amazonas e Rondônia. Tais empreendimentos são de grande porte e com potencial efeito multiplicador para a região, visto que segundo estudos do Serviço Geológico Brasileiro, para cada posto de trabalho criado na mineração, 13 outros são criados ao longo da cadeia produtiva (BRASIL, 2008).

Apesar das atividades minero-metálicas serem representativas em alguns estados da Amazônia Legal, muitas destas atividades não contribuem para um processo de desenvolvimento local de base sustentável, muito em virtude do restante da cadeia produtiva se localizar fora da região. Segundo a Plano Amazônia Sustentável (2008), os empreendimentos minerários possuem característica de enclave, com reduzidos benefícios econômicos para a população local e com graves impactos ambientais. Ademais, a geração de empregos no setor é relativamente baixa, cerca de 14 mil no ano de 2015.

O setor industrial na Amazônia Legal passou a ser estimulado apenas com a criação da SUDAM a partir de 1966 e da Superintendência da Zona Franca de Manaus – SUFRAMA em 1967, antes disto o setor era restrito a indústria de alimentos e bebidas, têxtil, florestal e construção civil. Ressalta-se que cerca de 75% da atividade industrial regional está concentrada nos quatro grandes centros urbanos, Manaus, Belém, São Luís e Cuiabá (BRASIL, 2008).

Segundo dados do IBGE (2017), o PIB industrial da Amazônia Legal totalizou 34,9 bilhões de reais em 2010, representando 26% do PIB total da Amazônia Legal e 8,6% do PIB industrial nacional. O maior e mais moderno centro industrial da região é o Polo Industrial de Manaus (PIM) no estado do Amazonas, empregando cerca de 100 mil trabalhadores concentrados sobretudo nos setores eletroeletrônicos, informática e motocicletas.

Em relação ao setor terciário uma característica particular da região da Amazônia Legal é a grande informalidade, sendo que em nenhum município a população empregada no setor formal atinge mais de 50% da população economicamente ativa. A administração pública responde em grande parte pela formalização do trabalho, seguida pelo comércio e

serviços nos grandes centros urbanos, o restante das atividades são compostas pela economia popular de pequena produção de mercadorias e prestação de serviços (BRASIL, 2008).

Portanto, a região da Amazônia Legal, por ser uma área extensa e que compreende três biomas, apresenta suas atividades econômicas distribuídas de maneira muito heterogênea pelo território. Em termos gerais, a agropecuária se destaca no bioma Cerrado e nas fronteiras com a floresta tropical, com os estados de Mato Grosso, Tocantins, Pará e Maranhão como os principais responsáveis pela produção regional; a indústria é concentrada nos grandes centros urbanos, sobretudo na Zona Franca de Manaus; a informalidade e a presença da economia popular é marcante nas zonas urbanas e a mineração exerce papel limitado quanto ao desenvolvimento local, sobretudo no Pará.

Neste sentido, assim como as atividades econômicas estão distribuídas de maneira heterogênea, os impactos do aquecimento global sobre a produção agrícola também se darão de maneira díspar, evidenciando a importância de se verificar como se dará a nova dinâmica econômica em decorrência da queda de produtividade agrícola. A seguir será apresentada a metodologia utilizada neste estudo para verificar a nova dinâmica econômica da Amazônia Legal ante os impactos das mudanças climáticas.

3. Metodologia

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

Esse é um dos aspectos que coloca esta metodologia em destaque em relação aos demais métodos e apresenta-se como o mais indicado para avaliar os impactos econômicos das mudanças climáticas, pois tais fenômenos do clima tem efeito direto e indireto sobre a economia em grande escala regionalmente e setorialmente.

Além disso, os efeitos das temperaturas e condições climáticas percebidas nos dados de uma série temporal são pequenas em relação aos efeitos dos fatores conjunturais e estruturais, ou seja, ausência dos dados adequados do passado deixam os modelos *ex-post* como econometria limitados, neste caso, para estimação do fenômeno tratado neste trabalho (DOMINGUES et al., 2008). Nesse sentido, o uso dos modelos *ex-ante* como EGC é mais aconselhável para projeção dos impactos das mudanças climáticas.

3.1. Modelo REGIA

O REGIA, o modelo adotado neste trabalho, trata-se de um modelo de EGC construído especialmente para estudar os impactos econômicos regionais e setoriais da região da Amazônia Legal. Sendo assim, o uso deste modelo é mais indicado para a proposta deste trabalho.

Este modelo segue a estrutura de EGC *bottom-up*³ inter-regional do tipo Johansen⁴ abrangendo 30 mesorregiões da Amazônia Legal mais o restante do Brasil. As principais características deste modelo são: a) desagregação em nível regional da Amazônia Legal; b) uma estrutura de EGC com dinâmica recursiva; e c) modelagem de uso da terra (CARVALHO, 2014).

A estruturação teórica do REGIA é similar ao modelo IMAGEM-B elaborada pelo CEDEPLAR/UFMG, que é construído a partir da estrutura teórica do modelo TERM (HORRIDGE *et al.*, 2005). Os conjuntos de equações que compõem as relações de demanda e oferta seguem a hipótese de otimização e condições de equilíbrio de mercado. A produção setorial segue a minimização de custos sujeitos à tecnologia de produção com retornos constantes de escala e sua composição dos insumos intermediários e fator primário seguem a função Leontief (proporção fixa). Para cada setor, a alocação dos insumos intermediários é determinada via substituição preço entre produtos domésticos e importados seguindo a função de elasticidade de substituição constante (CES). Além disso, a função CES determina outras alocações como a composição doméstica entre as regiões e na escolha entre capital, trabalho e terra. Contudo, o fator terra é utilizado somente por setores agrícola, pecuária e silvicultura, os demais setores como indústria, serviços e comércio não utilizam o fator terra neste modelo (CARVALHO, 2014).

Em relação ao mecanismo de composição de demanda de bens, há uma família representativa para cada região que faz uma escolha entre bens domésticos e bens importados orientada pela função CES, em que os bens de diferentes origens são tratados como substitutos imperfeitos (hipótese de Armington). Além do mais, na escolha desses bens domésticos há ainda a opção entre diferentes regiões, sendo especificada, novamente, por uma função CES. As preferências de consumo das famílias são determinadas pela combinação de função de utilidade CES/Klein-Rubin. A partir dessa função cria-se um

³ O modelo *bottom-up* é um modelo no qual os resultados nacionais são formados pelas agregações dos resultados regionais. No caso do REGIA, os resultados nacionais são agregações dos resultados de 30 mesorregiões da Amazônia Legal mais o restante do Brasil.

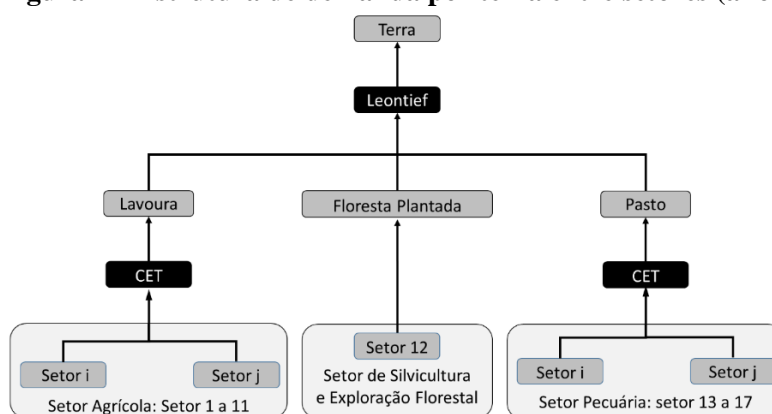
⁴ Os modelos de EGC do tipo Johansen têm sua estrutura matemática representada por sistema de equações linearizadas e as soluções são fornecidas na forma de taxas de variação percentuais.

sistema linear de gastos (LES) em que a parcela do consumo acima do nível de subsistência de cada bem representa a proporção fixa do consumo total de subsistência de cada família (CARVALHO, 2014).

Como foi mencionado anteriormente, um dos diferenciais do REGIA é o módulo de uso da terra, também conhecido como ILUC (*indirect land use change*), sendo uma característica fundamental para o objetivo do presente trabalho que é foco na dinâmica do efeito de queda da produtividade agrícola decorrente das alterações climáticas. Esse módulo está inserido no fator terra localizado na composição dos fatores primários (trabalho, capital e terra), no qual o fator terra é determinado para cada região de maneira que o uso da área total da terra seja fixa e sem mobilidade do fator entre as regiões, ou seja, o tamanho do território de cada região não se altera.

A figura 2 ilustra a estrutura do módulo de uso da terra. No primeiro nível há o fator terra que é desagregado em três tipos de uso: a) lavoura, utilizada para setor agrícola; b) pasto, utilizada para setor pecuária; e c) floresta plantada, utilizada para setor de silvicultura e exploração florestal. No segundo nível, para cada categoria de uso da terra, exceto silvicultura e exploração florestal por ser o único setor que utiliza esse tipo de fator terra no modelo, há uma escolha entre setores via função CET (elasticidade de transformação constante). A dinâmica da demanda por terra corresponde às variações da remuneração da terra de cada setor e cada uso da terra é distribuído no ano t seguindo uma função do tipo CET entre os diferentes setores/produtos para cada região (CARVALHO, 2014).

Figura 2 – Estrutura de demanda por terra entre setores (ano t)

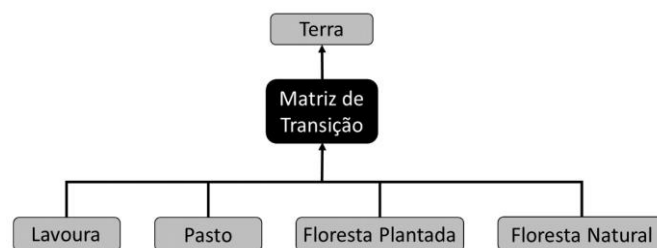


Fonte: adaptado de CARVALHO (2014).

Em relação à oferta da terra, diferentemente da demanda, há mobilidade entre as diferentes categorias de uso da terra no período entre o ano t e ano $t + 1$. Esse processo de mobilidade da terra é ajustado pela matriz de transição, pois uma função CET não é capaz

de capturar essa dinâmica de transição entre os diferentes tipos de uso da terra. A matriz contém a informação de grau de conversão da terra entre os tipos de usos para cada região e o grau de disponibilidade da terra reflete na elasticidade de oferta da terra, quanto maior a área disponível maior a elasticidade, ou seja, maior facilidade de conversão do uso da terra em termos de custos. Portanto, a dinâmica do mercado de oferta da terra é ajustado sob orientação da matriz de transição. Por fim, no equilíbrio de mercado da terra a variação da demanda por terra é igual a variação da oferta da terra, fixando a oferta total disponível para cada região. A figura 3 ilustra essa estrutura da oferta da terra (CARVALHO, 2014).

Figura 3 – Estrutura de oferta por terra entre categorias de uso (entre ano t e $t + 1$)



Fonte: adaptado de CARVALHO (2014).

O banco de dados do REGIA é gerado pela matriz de insumo-produto do IBGE do ano de 2005, sendo composto por 110 produtos e 55 setores, e complementada pelas informações deflacionadas do Censo Agropecuário de 2006. Além disso, para completar, foram utilizadas outras fontes de dados como IBGE, RAIS, SECEX e POF para implementar informações regionais. Por fim, o banco de dados do REGIA apresenta estrutura matricial de 31 regiões e 27 setores (CARVALHO, 2014).

3.2. Construção dos choques e simulação

Para mensurar os impactos das mudanças climáticas neste trabalho, as informações sobre mudanças de produtividade agrícola foram utilizados como proxy dos efeitos climáticos para alimentar o modelo de EGC. Essas informações foram obtidas através do trabalho de Assunção e Chein (2016), onde foram estimadas as médias das mudanças de produtividade agrícola brasileira em nível municipal no período entre 2030 a 2049.

Na etapa da construção dos choques, foram feitas as agregações das mudanças de produtividade agrícola municipais em 30 mesorregiões da Amazônia Legal mais o restante do Brasil. A agregação de cada região foi calculada de acordo com o peso, de cada município, da sua produção total da agricultura sobre a região pertencente. Após essa etapa, os resultados dessas agregações foram decompostas em taxas de crescimento

composta em período quinquenal formando 4 períodos de 2030/2034, 2035/2039, 2040/2044 e 2045/2049. Assim, a simulação do cenário das mudanças climáticas busca capturar os efeitos diretos e indiretos da mudança de produtividade agrícola causada pelo aquecimento global através dos mecanismos de interação entre setores e regiões descrito no modelo de EGC. Os resultados dos choques calculados estão no anexo.

Os fechamentos selecionados seguem o padrão de um modelo de dinâmica recursiva que são divididos em cenário de referência e cenário de política. No cenário de referência as variáveis macroeconômicas como o consumo das famílias, gasto do governo, investimentos, exportação e PIB agregado são exógenas. No cenário de política, todas as variáveis macroeconômicas são endógenas.

4. Resultados

A seguir seguem os resultados da simulação do modelo REGIA. Os valores dos resultados são acumulados ao longo dos anos e são a representação de diferença entre o cenário base⁵ e cenário com o efeito das mudanças climáticas.

4.1. Uso do Solo

O setor mais vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas é a agricultura devido a sua dependência com a temperatura e pluviosidade para a produção. Assim, a queda de produtividade da terra causada pelo aquecimento global provoca maior uso da terra nesse setor para compensar a queda de produtividade do solo e equilibrar o nível da produção.

O mecanismo do modelo REGIA incorpora essa dinâmica, considerando que a área total disponível das regiões é fixa, o aumento do uso da terra de determinado setor implica necessariamente na redução do uso de outros setores⁶.

Tabela 1 – Efeito das mudanças climáticas sobre a área de lavoura, pasto, floresta plantada e floresta natural (em milhões de hectares) – valor acumulado 2030 – 2049

Mesorregiões	UF	Lavoura	Pasto	Floresta Plantada	Floresta Natural
Madeira-Guaporé	RO	0,03	-0,02	0,00	-0,01
Leste Rondoniense	RO	0,06	-0,05	0,00	-0,01
Vale do Juruá	AC	0,05	-0,01	0,00	-0,04
Vale do Acre	AC	0,09	-0,05	0,00	-0,04
Norte Amazonense	AM	0,02	0,00	0,00	-0,02
Sudoeste Amazonense	AM	0,06	0,00	0,00	-0,05
Centro Amazonense	AM	0,13	-0,02	-0,01	-0,10
Sul Amazonense	AM	0,05	-0,01	0,00	-0,04
Norte de Roraima	RR	0,03	-0,01	0,00	-0,02

⁵ Cenário base refere-se a conjuntura sem considerar o efeito das mudanças climáticas sendo utilizado como a referência para comparação com o cenário de mudanças climáticas neste trabalho.

⁶ Vale ressaltar que o modelo REGIA desconta da área disponível as áreas de preservação ambiental para o cálculo da alocação de diferentes tipos de uso da terra.

Sul de Roraima	RR	0,02	-0,01	0,00	-0,01
Baixo Amazonas	PA	0,21	-0,05	-0,02	-0,14
Marajó	PA	0,06	0,00	-0,01	-0,05
Metropolitana de Belém	PA	0,01	0,00	0,00	0,00
Nordeste Paraense	PA	0,08	-0,05	-0,01	-0,02
Sudoeste Paraense	PA	0,08	-0,03	-0,01	-0,04
Sudeste Paraense	PA	0,06	-0,04	-0,01	-0,01
Norte do Amapá	AP	0,00	0,00	0,00	0,00
Sul do Amapá	AP	0,01	0,00	0,00	-0,01
Ocidental do Tocantins	TO	0,13	-0,12	-0,01	0,00
Oriental do Tocantins	TO	0,04	-0,04	0,00	0,00
Norte Maranhense	MA	0,05	-0,03	0,00	-0,02
Oeste Maranhense	MA	0,04	-0,03	0,00	-0,01
Centro Maranhense	MA	0,04	-0,02	0,00	-0,01
Leste Maranhense	MA	0,01	0,00	0,00	0,00
Sul Maranhense	MA	0,01	-0,01	0,00	0,00
Norte Mato-grossense	MT	0,49	-0,29	-0,02	-0,19
Nordeste Mato-grossense	MT	0,13	-0,07	0,00	-0,05
Sudoeste Mato-grossense	MT	0,04	-0,03	0,00	-0,01
Centro-Sul Mato-grossense	MT	0,03	-0,03	0,00	0,00
Sudeste Mato-grossense	MT	0,04	-0,04	0,00	0,00
Amazônia Legal	-	2,10	-1,06	-0,10	-0,90

Fonte: Elaboração própria.

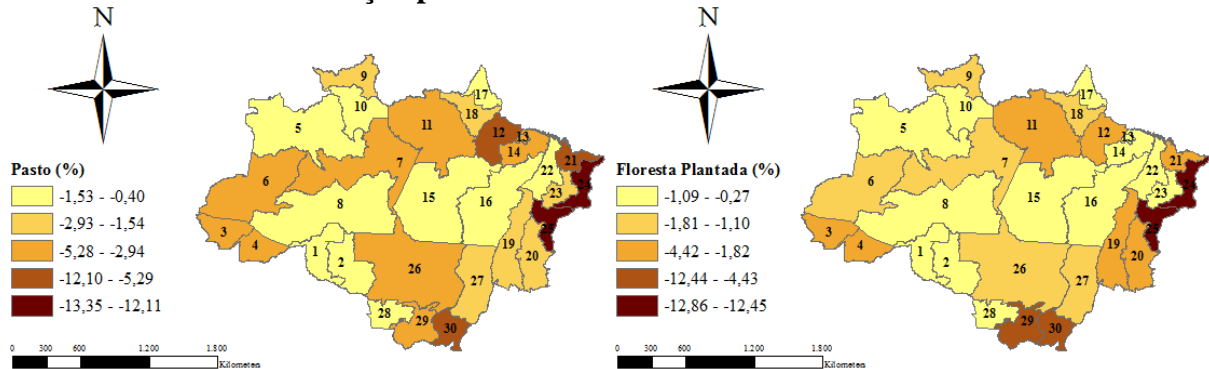
Assim, como esperado, os resultados da simulação na tabela 1 indicam que houveram padrões de crescimento das áreas (em milhões de hectares) destinadas para lavoura (setor agrícola) em todas as regiões e, em contra partida, teve diminuição do pasto (pecuária) e/ou florestas, lembrando que os valores negativos da floresta natural pode ser interpretados como desmatamento. Outro ponto a ser observado é que, apesar desse padrão convergente do efeito do choque, cada mesorregião foi afetada com magnitude distinta devido a sua estrutura produtiva, relações inter-setoriais e inter-regionais típicos de cada região.

Ainda, na tabela 1, as regiões que intensificarão, em maior escala, o uso da terra (em milhões de hectares) destinados à agricultura são Norte Mato-grossense e Baixo Amazonas e, conseqüentemente, são justamente essas regiões que serão mais afetadas pelo desmatamento em termos de área. Entretanto, analisando a mesma variável em termos de variação percentual acumulada entre 2030 a 2049, a região que se destaca é o Norte Maranhense com taxa de desmatamento de 0,81%. Em relação a variação percentual acumulada da área de lavoura apresentam, também, os resultados diferentes comparados em termos de área, as mesorregiões com maiores aumentos das taxas foram Madeira-Guaporé, Sul Amazonense, Sul de Roraima e Sudoeste Paraense.

Em relação ao pasto, em geral, esse uso de terra apresentou maior redução de áreas em detrimento à expansão das áreas de lavoura como foi mostrado na tabela 1. Esse efeito deve-se a maior facilidade de conversão do pasto em lavoura comparado aos demais uso de terra e ao fato de que na região da Amazônia Legal a atividade da pecuária se desenvolve de forma extensiva. O mapa 1 (à esquerda) ilustra a taxa de redução das áreas de pasto. As

mesorregiões mais impactadas são Leste Maranhense e Sul Maranhense com queda, respectivamente, de 13,35% e 12,11%.

Mapa 1 – Efeitos das mudanças climáticas sobre as áreas de pasto e da floresta plantada em termos de variação percentual acumulada 2030 – 2049⁷



Fonte: Elaboração própria.

O mapa 1 (à direita) ilustra a taxa de redução das áreas de floresta plantada. As mesorregiões mais impactadas são Leste Maranhense e Sul Maranhense com queda de 12,45% e 12,86%, respectivamente. Contudo, observando a tabela 1 em termos de área (em milhões de hectares) percebe-se que esse fator uso de terra sofre menos efeito de mudanças climáticas em relação aos demais. Isso significa que a elevação do custo de produção deste fator terra é menor relativamente aos demais.

4.2. Produção Agrícola

A produção agrícola será bastante afetada pelas mudanças de pluviosidade e temperatura em decorrência das mudanças climáticas, seus efeitos serão bem diversos ao longo do território. De maneira geral as culturas serão impactadas de maneira negativa. Contudo, algumas culturas em regiões específicas se beneficiarão das mudanças climáticas, o estado do Amapá é o único cuja produção será majoritariamente beneficiada. A tabela 2 apresenta a variação percentual da produção entre os anos de 2030 e 2049, por mesorregião e por cultura.

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

Tabela 2: Produção agropecuária (var %) (2030-2049)

Mesorregião	UF	Arroz Casca	Milho Grão	Soja Grão	Cana de Açúcar	Algodão Herbáceo	Mandioca	Outras Lavouras
Madeira Guaporé	RO	-0,92	-1,92	-1,97	-4,43	-0,38	-0,47	-0,40
Leste Rondoniense	RO	-11,93	-12,05	-11,78	-14,82	-2,72	-1,64	-2,26
Vale do Juruá	AC	-4,55	-4,90	-5,00	-7,45	-0,93	-0,73	-0,94
Vale do Acre	AC	-10,58	-10,56	-10,32	-13,34	-2,14	-1,33	-1,92
Norte Amazonense	AM	2,10	1,38	0,78	-0,78	0,12	-0,21	0,01
Sudoeste Amazonense	AM	0,54	-0,23	-0,76	-2,60	-0,03	-0,24	-0,19
Centro Amazonense	AM	-1,72	-2,24	-2,48	-4,98	-0,42	-0,48	-0,41
Sul Amazonense	AM	3,57	2,22	1,93	0,12	0,29	-0,10	0,16
Norte de Roraima	RR	-1,07	-1,94	-1,52	-3,98	-0,29	-0,44	-0,47
Sul de Roraima	RR	2,74	1,51	1,49	-0,42	0,22	-0,14	0,02
Baixo Amazonas	PA	-6,03	-6,37	-5,92	-9,35	-1,32	-0,93	-1,13
Marajó	PA	-2,71	-3,30	-3,22	-6,19	-0,56	-0,43	-0,39
Metropolitana de Belém	PA	-19,86	-19,73	-19,16	-22,09	-5,14	-2,77	-4,15
Nordeste Paraense	PA	-16,28	-16,14	-15,61	-18,98	-3,69	-2,01	-2,91
Sudoeste Paraense	PA	2,11	1,40	1,35	-0,80	0,19	-0,16	0,09
Sudeste Paraense	PA	-7,29	-8,12	-7,85	-10,89	-1,82	-1,14	-1,41
Norte do Amapá	AP	6,83	4,84	4,36	3,39	0,60	0,03	0,41
Sul do Amapá	AP	4,07	2,32	2,22	0,36	0,29	-0,23	0,15
Ocidental do Tocantins	TO	-14,27	-14,50	-13,70	-17,43	-3,34	-2,04	-2,58
Oriental do Tocantins	TO	-9,46	-10,06	-9,69	-12,51	-2,52	-1,67	-1,95
Norte Maranhense	MA	-5,72	-6,48	-6,14	-9,44	-1,13	-0,78	-0,99
Oeste Maranhense	MA	-9,51	-10,25	-10,15	-13,02	-2,50	-1,49	-1,94
Centro Maranhense	MA	-7,83	-8,28	-8,24	-11,19	-1,88	-1,12	-1,50
Leste Maranhense	MA	-15,97	-15,86	-15,34	-18,94	-3,62	-2,13	-2,84
Sul Maranhense	MA	-12,40	-12,56	-12,22	-15,77	-2,95	-1,84	-2,06
Norte Mato-grossense	MT	-6,41	-6,33	-6,82	-9,75	-1,32	-1,03	-1,10
Nordeste Mato-grossense	MT	-4,75	-5,23	-5,40	-8,17	-1,07	-0,83	-0,94
Sudoeste Mato-grossense	MT	-9,55	-9,64	-9,62	-12,52	-2,10	-1,38	-1,68
Centro-Sul Mato-grossense	MT	-9,72	-9,77	-9,81	-12,60	-2,05	-1,22	-1,55
Sudeste Mato-grossense	MT	-10,52	-10,11	-9,98	-13,48	-2,36	-1,59	-1,67
Amazônia Legal	-	-7,55	-7,90	-7,87	-11,34	-1,89	-1,14	-2,21

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

O aumento na área destinada às lavouras para suprir a queda na produtividade agrícola foi insuficiente visto que na região da Amazônia Legal houve uma queda na produção de todos os cultivos apresentados na tabela 2. O impacto maior foi verificado na produção de cana de açúcar, com queda de 11,34% na produção.

A mesorregião Metropolitana de Belém será a mais afetada em relação a todas as culturas apresentadas, sendo que a queda média prevista para a produção de soja, milho, cana de açúcar e arroz será de 20,2%. Destarte, as mesorregiões presentes nos estados do Tocantins e Mato Grosso também apresentarão redução significativa nestas culturas, com

queda média de 12,7% e 9,1% respectivamente, contudo tais atividades são mais representativas em termos de PIB estadual, indicando um maior impacto econômico.

As mesorregiões do Norte e Nordeste de Mato Grosso apresentam grande participação da produção de soja e algodão no PIB indicando que as quedas na produção da soja de 6,2% no Norte Mato-grossense e de 5,4% no Nordeste Mato-grossense e quedas de 1,3% e 1,07% respectivamente para a produção de algodão serão significativas para as economias destas mesorregiões.

A mandioca, cuja participação no PIB agropecuário da Amazônia Legal é de cerca de 10% apresentará queda média de 1,14% na região, queda pequena em relação às outras culturas. Contudo, o consumo da mandioca é importante para a segurança alimentar de grande parte da população. As mesorregiões localizadas nos estados do Maranhão, Tocantins, Pará e Mato Grosso estão entre as mais afetadas pela queda da produção.

4.3. Variáveis macroeconômicas para a região da Amazônia Legal

Os efeitos macroeconômicos das mudanças de pluviosidade e de temperatura evidenciam que as mudanças climáticas serão prejudiciais à economia da Amazônia Legal. O consumo das famílias e do governo, investimento, exportações, importação, PIB, emprego e salário real apresentarão queda, conforme verificado na tabela 3.

Tabela 3: Variáveis Macroeconômicas por estado e região da Amazônia Legal (var % acumulada 2030 a 2049)

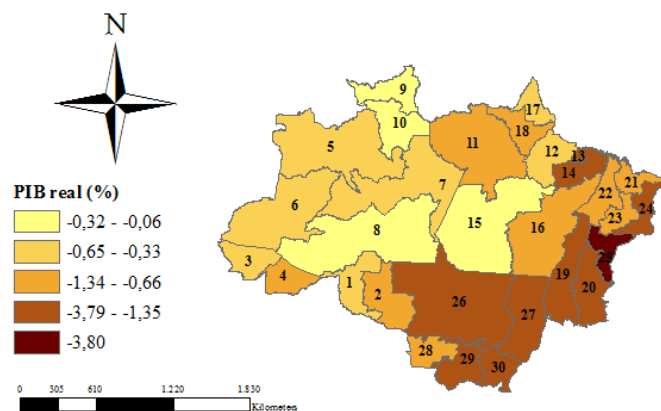
Estado	Consumo das famílias	Investimento	Consumo do Governo	Exportações	Importações	PIB
Rondônia	-0,87	-2,85	-0,84	-0,26	-0,65	-0,94
Acre	-0,76	-2,57	-0,72	-0,13	-0,81	-0,78
Amazonas	-0,38	-1,15	-0,36	-0,23	-0,31	-0,32
Pará	-1,49	-3,95	-1,32	-0,25	-1,08	-1,18
Roraima	0,06	-0,20	0,07	-0,08	-0,06	-0,08
Amapá	-0,80	-2,35	-0,83	-0,14	-0,94	-0,75
Tocantins	-1,65	-5,44	-1,66	-0,34	-1,94	-1,69
Maranhão	-1,07	-3,24	-0,86	-0,36	-0,97	-1,05
Mato Grosso	-1,68	-4,56	-1,62	-0,21	-1,32	-2,00
Amazônia Legal	-1,03	-3,34	-1,03	-0,23	-0,94	-1,18

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

Os estados mais afetados serão os de Mato Grosso, Tocantins e Pará que apresentarão queda superior à média da Amazônia Legal em todas as variáveis analisadas na tabela 3. Enquanto o PIB da Amazônia Legal se reduzirá em 1,18%, a redução para esses três

estados serão de 2%, 1,69% e 1,18% respectivamente. Este desempenho é oriundo da maior participação das atividades agropecuárias na economia destes estados.

Mapa 2 – Impacto das mudanças climáticas sobre PIB real – valor acumulado 2030 a 2049



Fonte: Elaboração própria.

O mapa 2 acima ilustra em nível mesorregional a variação percentual acumulada do PIB real no período entre 2030 a 2049. Observando a figura abaixo, fica evidente que o efeito das mudanças climáticas não são homogêneos. As mesorregiões que sofrem maior dano situam-se na região oriental e sul da Amazônia Legal e regiões menos afetadas situam-se na porção norte e ocidental.

Os estados do Mato Grosso e do Tocantins por apresentarem maior dependência das atividades agropecuárias são os estados mais afetados pelas mudanças climáticas. A queda média respectiva do PIB para estes estados é de 2,00% e 1,69% enquanto a queda média para a Amazônia Legal é de 1,18%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do presente artigo foi simular os efeitos da queda de produtividade agrícola em decorrência das mudanças climáticas sobre a produção de alguns cultivos agrícolas na região da Amazônia Legal brasileira considerando os anos de 2030 a 2049 e com isso verificar os possíveis impactos sobre o uso da terra e sobre a economia da região.

As simulações indicam que durante o período de 2030 a 2049 as mudanças climáticas trarão impactos negativos para a economia da Amazônia Legal, contudo os efeitos se darão de maneira heterogênea no território. Haverá uma substituição gradual das áreas de pasto (-0,3%) e floresta natural (-0,3%) para áreas de lavoura (0,6%), indicando que a queda de produtividade agrícola deverá ser compensada com ganho territorial pelo setor e com impactos negativos sobre a pecuária e sobre o desmatamento. O PIB da Amazônia Legal apresentará queda acumulada próxima de 1,2% em 2049, assim como no consumo das

famílias (-1,03%), investimentos (-3,34%), consumo do governo (-1,03%), exportações (-0,23%) e importações (-0,94%).

Pelo fato do setor agrícola ser diretamente afetado pelas mudanças climáticas, os estados mais dependentes das atividades agrícolas como Mato Grosso, Tocantins e Pará apresentarão os piores rendimentos em termos de PIB, com quedas acumuladas de 2%, 1,69% e 1,18% respectivamente, e dentre as culturas mais impactadas nestes estados estão o milho com queda média ponderada pela participação no PIB estadual de 7,93%, o arroz com 6,89%, a soja com 7,54% e a cana de açúcar com 11,37%.

Portanto as mudanças climáticas trarão efeitos sobre a dinâmica econômica e social da região da Amazônia Legal. Os impactos e seus efeitos serão heterogêneos regionalmente e setorialmente, causando desequilíbrios na região. Dessa forma, as políticas de mitigação e adaptação a outros tipos de atividades se tornam necessárias para amenizar esses prováveis prejuízos econômicos, sociais e ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSAD, E. D. e PINTO, H. S. **Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil**. CEPAGRI – Unicamp / EMBRAPA. 2008

BRASIL, 2008 - Presidência da República. **Plano Amazônia Sustentável: diretrizes para o desenvolvimento sustentável da Amazônia Brasileira**. Brasília, 2008. 112 p.

BRASIL, 2016 - Ministério do Meio Ambiente. **Efeito Estufa e Aquecimento Global**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/ciencia-da-mudanca-do-clima/efeito-estufa-e-aquecimento-global> Acesso em: nov/2016

BURFISHER, Mary E. **Introduction to computable general equilibrium models**. Cambridge University Press, 2011

CARVALHO, T. S. **Uso do Solo e Desmatamento nas Regiões da Amazônia Legal Brasileira: condicionantes econômicos e impactos de políticas públicas, 2014, 219 p.** 2014. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado). Belo Horizonte: Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar) Universidade Federal de Minas Gerais.

DOMINGUES, Edson; MAGALHÃES, Aline Souza; RUIZ, Ricardo Machado. **Cenários de mudanças climáticas e agricultura no Brasil: impactos econômicos na Região Nordeste**. Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

FAO, 2005 - **Special event on impact of climate change, pests and diseases on food security and poverty reduction**. Background Document. 31st Session of the Committee on World Food Security Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/009/j5411e.pdf>

FAO, 2016 - Food and Agriculture Organization of the United Nations - **The state of food and agriculture - climate change, agriculture and food security**. Rome, 2016.

HORRIDGE, Mark; MADDEN, John; WITTEWER, Glyn. The impact of the 2002–2003 drought on Australia. **Journal of Policy Modeling**, v. 27, n. 3, p. 285-308, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Censo Agropecuário 2006. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/ca/default.asp?o=2&i=P>. Acesso em 2017;

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). PIB Industrial, Agropecuário, Serviços e Setor Público de 2010. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em 2017;

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Dados Macroeconômicos e Regionais. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>

IPCC, 2000 – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Special Report on Emissions Scenarios** Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.) Cambridge University Press, UK. pp 570

IPCC, 2007 - **Climate Change 2007: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, Core Writing Team, R.K. Pachauri and A. Reisinger (eds), Geneva: IPCC. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/029.htm#storya1>

IPCC, 2013 - **Working Group I - Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Summary for Policymakers**. October 2013, Switzerland

ASSUNÇÃO, Juliano; CHEIN, Flávia. Climate change and agricultural productivity in Brazil: future perspectives. **Environment and Development Economics**, p. 1-22, 2016.

Valin H, Sands RD, van der Mensbrugge,D, Nelson GC, Ahammad H, Blanc E, Bodirsky B, Fujimori S, Hasegawa T, Havlik P, Heyhoe E, Kyle P, Mason-D'Croz D, Paltsev S, Rolinski S, Tabeau A, van Meijl H, von Lampe M, Willenbockel D. 2014. **The future of food demand: understanding differences in global economic models**. *Agricultural Economics* 45(1): 51–67.