

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Faculdade de Ciências Econômicas**  
**Programa de Pós-graduação em Economia**

Vitor da Silva Marinho

**CENÁRIOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS NA**  
**AMAZÔNIA: O Impacto da Bioeconomia e Políticas**  
**de Desmatamento Zero**

Belo Horizonte

2024

Vitor da Silva Marinho

**CENÁRIOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS NA AMAZÔNIA: O Impacto  
da Bioeconomia e Políticas de Desmatamento Zero**

Dissertação apresentada ao programa de  
Programa de Pós-Graduação em Economia da  
Universidade Federal de Minas Gerais como  
requisito parcial para obtenção do título de  
Mestre em Economia.

Orientadora:

Profa. Dra. Aline Souza Magalhães.

Coorientador:

Prof. Dr. Edson Paulo Domingues.

Belo Horizonte  
2024

Ficha catalográfica

M338c  
2024  
Marinho, Vitor da Silva.  
Cenários econômicos e ambientais na Amazônia [manuscrito]: o impacto da bioeconomia e políticas de desmatamento zero / Vitor da Silva Marinho. – 2024.  
82 f.: il., grafs.

Orientadora: Aline de Souza Magalhães.  
Coorientador: Edson Paulo Domingues.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional.  
Inclui bibliografia.

1. Mudanças climáticas – Teses. 2. Economia – Teses. 3. Amazônia legal – Teses. I. Magalhães, Aline de Souza. II. Domingues, Edson P. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional. IV. Título.

CDD: 330

Elaborada por Rosilene Santos CRB6-2527  
Biblioteca da FACE/UFMG. RSS – 102/2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

## FOLHA DE APROVAÇÃO

CENÁRIOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS NA AMAZÔNIA: O PAPEL DA BIOECONOMIA E POLÍTICAS DE DESMATAMENTO ZERO

VÍTOR DA SILVA MARINHO

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia dois de fevereiro de dois mil e vinte e quatro, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Profa. Aline Souza Magalhães (Orientadora) (Cedeplar/FACE/UFMG)

Prof. Édson Paulo Domingues (Coorientador) (Cedeplar/FACE/UFMG)

Prof. Ronaldo Nazaré (Cedeplar/FACE/UFMG)

Prof. Giliad de Souza Silva (UNIFESSPA/PPGPAM/FACE)

Belo Horizonte, 02 de fevereiro de 2024.

ÉDSON PAULO DOMINGUES

Coordenador em exercício do Programa de Pós-Graduação em Economia



Documento assinado eletronicamente por **Aline Souza Magalhaes, Professora do Magistério Superior**, em 02/02/2024, às 16:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Edson Paulo Domingues, Subcoordenador(a)**, em 02/02/2024, às 17:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Giliad de Souza Silva, Usuário Externo**, em 06/02/2024, às 16:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ronaldo Nazaré, Professor(a)**, em 15/02/2024, às 19:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3005304** e o código CRC **6D6C35DC**.

---

Referência: Processo nº 23072.205724/2024-85

SEI nº 3005304

*Dedico este trabalho à minha família, que,  
mesmo à dolorosa distância, me incentivou  
em cada passo dado.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram para a realização desta dissertação. Dedico Especial reconhecimento à minha orientadora, Profa. Dra. Aline Magalhães e ao meu coorientador Edson Domingues fundamentais em todo este processo acadêmico.

Gostaria também de agradecer a Rede de modelagem em Simulações Econômicas para Propostas de Crescimento Verde"do edital CNPq/MCTI/FNDCT N<sup>o</sup> 59/2022 – Produção de Conhecimento Voltada para Soluções e Tecnologias Associadas à Mitigação e Adaptação às Mudanças do Clima - Linha 3 – Simulações Econômicas para Propostas de Crescimento Verde sem a qual esta dissertação não seria possível.

Agradeço imensamente ao Instituto Escolhas, através da Cátedra Escolhas de Economia e Meio Ambiente, pelo suporte financeiro e recursos essenciais para a realização desta pesquisa. Não posso também deixar de mencionar o quanto a Cátedra foi essencial na valorização do meu objeto de pesquisa, a Amazônia.

Aos colegas de pós-graduação, agradeço pelo apoio constante e pela camaradagem durante os desafios do mestrado, incluindo as boas festas, conselhos e os momentos compartilhados tomando café que sempre trouxe grandes inspirações. Vocês foram fundamentais, muito obrigado.

Não tenho palavras para expressar minha gratidão a Yana Brito, minha companheira. Que mesmo à distância ofereceu apoio, carinho e amor. Minha gratidão se estende à minha família, especialmente aos meus pais Maria Dileuza e José Antônio, pelo amor incondicional e suporte constante.

Finalmente, expresso minha gratidão a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para este projeto, tornando possível esta conquista acadêmica.

*“Não tenho preferências para quando já não  
puder ter preferências. O que for, quando  
for, é que será o que é.”*

**Alberto Caeiro**, Poemas Inconjuntos

## RESUMO

Diante das mudanças climáticas, um desafio global crescente, esta dissertação investiga o papel da bioeconomia na Amazônia. O estudo foca na projeção do impacto econômico e nas mudanças de uso da terra relacionadas à adoção de políticas de desmatamento zero combinadas com o crescimento de setores ligados à bioeconomia na Amazônia entre 2020 e 2040. Para tal, utilizou-se o modelo de Equilíbrio Geral Computável REGIA para simular cenários econômicos e ambientais. Os resultados indicam que, apesar de uma projeção de crescimento de produção nos setores de bioeconomia, sua contribuição permanece marginal na estrutura setorial da Amazônia. No entanto, as simulações apontam uma redução líquida significativa de desmatamento, cerca de 9,83 milhões de hectares evitados na Amazônia Legal até 2040. Embora a bioeconomia não seja suficiente por si só para mitigar as mudanças climáticas, ela se apresenta como uma alternativa promissora em certos estados da Amazônia, contribuindo tanto para a economia local quanto para a conservação ambiental.

**Palavras-chave:** Mudanças Climáticas; Bioeconomia; Amazônia Legal; Modelo de Equilíbrio Geral Computável.

## ABSTRACT

Faced with climate change, a growing global challenge, this dissertation investigates the role of the bioeconomy in the Amazon. The study focuses on projecting the economic impact and land use changes related to the adoption of zero deforestation policies combined with the growth of sectors linked to the bioeconomy in the Amazon between 2020 and 2040. To this end, the REGIA Computable General Equilibrium model was used to simulate economic and environmental scenarios. The results indicate that, despite a projected decrease in production in the bioeconomy sectors, their contribution remains marginal in the Amazon's sectoral structure. However, the simulations indicate a significant net reduction in deforestation, around 9.83 million hectares avoided in the Legal Amazon by 2040. Although the bioeconomy is not enough on its own to mitigate climate change, it is a promising alternative in certain states of the Amazon, contributing to both the local economy and environmental conservation.

**Keywords:** Climate Change; Bioeconomy; Legal Amazon; Computable General Equilibrium Model.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Evolução do Desmatamento e Floresta na Região Norte do Brasil (2000-2022) . . . . .	32
Figura 2.2 – Perfil de Emissões - Região Norte . . . . .	34
Figura 3.1 – Mecanismo de Demanda por origens . . . . .	43
Figura 3.2 – Tecnologia de produção . . . . .	45
Figura 3.3 – Demanda das Famílias . . . . .	46
Figura 3.4 – Distribuição do fator terra . . . . .	48
Figura 3.5 – Regiões Consideradas nas Simulações . . . . .	51
Figura 3.6 – Custo de Fatores . . . . .	54
Figura 4.1 – Impacto sobre o PIB Real dos estados da Amazônia Legal - desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2025-2040 . . . . .	61
Figura 4.2 – Balança Comercial - desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2020-2040 . . . . .	63
Figura 4.3 – Participações Setoriais - 2020 . . . . .	65
Figura 4.4 – Participações Setoriais decorrentes da Política de Desmatamento Zero e Aumento da Produção do setor de Outras Lavouras Permanentes – Participação % em 2040 . . . . .	66
Figura 4.5 – Participações Setoriais - 2024 . . . . .	67
Figura 4.6 – Participações Setoriais (Vegetal) - Desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2020-2040 . . . . .	68
Figura 4.7 – Mudança do uso do solo no Brasil em Milhões de Hectares . . . . .	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Percentual de Área de Floresta e Desmatamento Total na Amazônia Legal - 2020 . . . . .	52
Tabela 3.2 – Valor da produção dos setores que englobam os produtos da bioeconomia para estados do Norte (em R\$ milhões de 2015) – Modelo REGIA . . .	52
Tabela 3.3 – Uso da Terra Setorial (em milhões de hectares) . . . . .	54
Tabela 4.1 – Dados observados do Cenário de Referência para 2015 a 2020 (Variação % anual) . . . . .	59
Tabela 4.2 – Impacto sobre Indicadores Macroeconômicos dos estados da Amazônia Legal - 2025-2040 . . . . .	62
Tabela 4.3 – Tabela Comparativa Detalhada: Efeitos de Estudo de Política de Con- trole de Desmatamento no Brasil (2025-2040) . . . . .	71

## LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Composição Setorial do Modelo REGIA . . . . .	50
Quadro 3.2 – Elasticidades do Modelo REGIA . . . . .	55

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADAGE	Applied Dynamic Analysis of the Global Economy
BASA	Banco da Amazônia
CEPAL	Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe
CET	Elasticidade constante de transformação
CES	Elasticidade constante de substituição
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
EGC	Equilíbrio Geral Computável
EPPA	Emissions Prediction and Policy Analysis
GEE	Gases de efeito estufa
GTAP	Global Trade Analysis Project
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
MIP	Matriz de Insumo Produto
PAA	Programa de Aquisição de Alimentos
PGC	Projeto Grande Carajás
PGPM-Bio	Política de Garantia de Preços Mínimos para os Produtos da Sociobiodiversidade
PIB	Produto Interno Bruto
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
POF	Pesquisa de Orçamentos Familiares
PPCDAm	Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
REDD	Reduced Emissions from Deforestation and Forest Degradation

REGIA	Inter-Regional General Equilibrium Model for the Brazilian Amazon
RICE	Regional Integrated model of Climate and the Economy
SEEA	System of Environmental Economic Accounting
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SUDAM	Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia
TERM	The Enormous Regional Model
WITCH	World Induced Technical Change Hybrid

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\theta$	Parâmetro de participação dos insumos
$\lambda$	Multiplicador de Lagrange no problema de maximização da utilidade das famílias
$\in$	Pertence
$\rho$	Parâmetro de substituição entre os insumos e parâmetro que determina a elasticidade de transformação
$\sigma$	Elasticidade de transformação
$\Lambda$	Multiplicador de Lagrange no problema de minimização de custo
$g$	Representa uma variável genérica na função de custo
$P_{i,j}$	Preço do insumo j na indústria i
$X_{j,i}$	Composto de insumos do tipo j na indústria i
$U_h$	Utilidade da família
$C_h$	Consumo do bem
$C_{subh}$	Consumo do bem substituto
$P_c$	Preço do bem de consumo
$V_{tot}$	Orçamento total da família
$S_{c,h}$	Parâmetro de ponderação para o bem c na família h
$Y$	Quantidade total de produção transformada
$X_1, X_2$	Quantidades dos bens produzidos
$\alpha$	Parâmetro que representa a participação relativa dos bens na função

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA . . . . .</b>	<b>21</b>
2.0.1	Mudanças Climáticas e o contexto internacional . . . . .	21
2.0.2	Cenários de Mudanças Climáticas no Brasil . . . . .	24
2.0.3	Formação econômica do território Amazônico e impactos ambientais . . . . .	29
2.0.4	Bioeconomia . . . . .	36
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA . . . . .</b>	<b>40</b>
<b>3.1</b>	<b>Estrutura Teórica . . . . .</b>	<b>40</b>
3.1.1	Base de Dados . . . . .	49
3.1.2	Parâmetros e Elasticidades . . . . .	55
<b>4</b>	<b>SIMULAÇÕES E RESULTADOS . . . . .</b>	<b>57</b>
4.0.1	Fechamento do modelo . . . . .	58
4.0.2	Cenário de Referência . . . . .	59
4.0.3	Resultados Macroeconômicos . . . . .	60
4.0.4	Resultados Setoriais . . . . .	63
4.0.5	Resultados Ambientais . . . . .	69
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .</b>	<b>72</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>75</b>
	<b>ANEXO A – DERIVAÇÃO DAS FUNÇÕES . . . . .</b>	<b>84</b>

# 1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas representam um dos desafios globais mais críticos e complexos do século XXI, com profundas implicações socioeconômicas e ambientais. O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) ressalta a urgente necessidade de limitar o aquecimento global e minimizar as emissões de gases de efeito estufa. Este cenário global de crise climática destaca a importância crítica de políticas eficazes de mitigação e adaptação. Estudos como os de Klein et al. (2005) e Rausch et al. (2011) enfatizam a complexidade das respostas necessárias para enfrentar esta crise.

Os impactos socioeconômicos das mudanças climáticas, como destacado por Guadagno (2017) e Ibararán et al. (2009), são uma preocupação crescente. A vulnerabilidade das populações, especialmente em regiões em desenvolvimento, frente a desastres naturais intensificados pelo clima, sublinha a importância de pesquisas focadas em estratégias de mitigação e adaptação.

Neste contexto, a Amazônia emerge como um ecossistema vital, tanto em termos de sua biodiversidade quanto na regulação do clima global. A região enfrenta desafios específicos relacionados ao desmatamento e às mudanças no uso da terra, que são cruciais para o equilíbrio climático global. A bioeconomia, caracterizada pelo uso sustentável dos recursos naturais, surge como uma abordagem promissora para enfrentar esses desafios ambientais e socioeconômicos (COSTA et al., 2022; FLORENTINO et al., 2020).

Diversos estudos têm projetado os impactos das mudanças climáticas e das políticas de mitigação e adaptação sobre o Brasil e a Amazônia, abordando desde efeitos econômicos até migrações induzidas por questões climáticas. O desmatamento vem sendo tratado pela literatura como um dos principais vetores de degradação ambiental no Brasil, fato abordado por Carvalho (2014), Souza (2022), Silva et al. (2015).

Esta dissertação contribuiu com a literatura ao investigar a implementação de políticas de desmatamento zero conjugada ao incentivo à produção de setores relacionados à bioeconomia, com especial ênfase em sua aplicação na região Amazônica. Este estudo, ao avaliar o impacto econômico e o uso da terra sob políticas de desmatamento zero, busca contribuir para este campo, oferecendo insights sobre estratégias eficazes que podem ser implementadas na Amazônia.

Aplicação proposta nesta dissertação é baseada no modelo de Equilíbrio Geral Computável, REGIA, uma ferramenta analítica para a simulação de cenários econômicos e ambientais. Esta abordagem metodológica é adequada para entender e quantificar os

impactos das políticas de desmatamento zero e o crescimento de setores da bioeconomia na Amazônia. A escolha deste modelo baseia-se na sua capacidade de capturar as complexas interações intra-setoriais e inter-regionais, essenciais para avaliar as consequências das políticas ambientais e econômicas na região. Além disso, o REGIA permite a análise detalhada dos impactos sobre o uso da terra, um fator crítico na avaliação das políticas de desmatamento zero.

Os resultados desta pesquisa revelam implicações significativas das políticas de bioeconomia e restrição ao desmatamento na Amazônia Legal. Os achados sugerem variações consideráveis nos estados da região, impactando o crescimento do PIB, consumo das famílias, emprego e investimentos. Além disso, observa-se uma potencial redução de desmatamento e impactos econômicos importantes. Por exemplo, o estado do Pará se destaca com um potencial crescimento do PIB de até 4,7% sob a política de bioeconomia. O que compensaria a perda causada pela restrição de uso da terra decorrente da política de desmatamento zero, enquanto outros estados como Maranhão e Mato Grosso apresentam impactos mais modestos.

A pesquisa também enfoca na transformação no uso da terra e nos setores econômicos. As projeções indicam uma redução líquida significativa de desmatamento, cerca de 9,83 milhões de hectares evitados na Amazônia Legal até 2040. Estes resultados ilustram o potencial das políticas ambientais e da bioeconomia em alterar o curso do uso da terra e contribuir para a conservação ambiental. Além disso, a análise setorial da pesquisa destaca o crescimento relativo dos setores ligados à bioeconomia, embora sua contribuição global na estrutura econômica da região permaneça modesta. Este aspecto sublinha a complexidade e o desafio de integrar a bioeconomia de forma sustentável na matriz econômica da Amazônia.

Os desafios impostos pelas mudanças climáticas exigem ações imediatas e eficazes. A Amazônia, com sua significativa contribuição para a biodiversidade e regulação climática, desempenha um papel vital neste cenário. Esta dissertação está organizada em 3 capítulos, além desta introdução e conclusão. O primeiro que traça uma revisão de literatura acerca dos desafios climáticos e do conceito de bioeconomia, em particular, o segundo se dedica a detalhar a metodologia de equilíbrio geral e o modelo utilizado e o terceiro apresenta os resultados encontrados.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

O desafio das mudanças climáticas é um tema central na agenda global. Este capítulo faz uma breve introdução ao tema, revisando principais estudos empíricos dos impactos socioeconômicos e políticas de mitigação e adaptação no Brasil. Bem como traz as percepções a cerca da bioeconomia.

### 2.0.1 Mudanças Climáticas e o contexto internacional

O relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), divulgado em 2014, lançou um alerta crítico sobre os desafios socioambientais enfrentados pela humanidade, ressaltando a urgência em limitar o aquecimento global a 1,5°C até 2050. Essa meta, reiterada pelo relatório subsequente, em 2022, sublinha a importância crucial de medidas efetivas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. De forma inédita, o mais recente relatório enfatizou a influência direta da atividade humana nas transformações climáticas, um reconhecimento que alinha as descobertas do IPCC com pesquisas anteriores que evidenciaram a relação entre ação humana e mudanças climáticas (veja, por exemplo, Huang et al. (2020)).

Além disso, o IPCC projetou que entre 32 e 132 milhões de pessoas poderiam ser empurradas para a extrema pobreza na próxima década devido aos impactos das mudanças climáticas. Este cenário alarmante inclui riscos aumentados para a segurança alimentar, escassez de água, doenças, e perda de ecossistemas e biodiversidade. Pesquisas complementares, como as de Guadagno (2017), oferecem uma visão mais detalhada sobre como esses impactos socioambientais afetam desproporcionalmente as populações mais vulneráveis, sublinhando a necessidade urgente de ações coordenadas globalmente para enfrentar esses desafios.

Conforme destacado por Ripple et al. (2017), as práticas atuais de uso da terra estão evoluindo a uma velocidade que pode ser insustentável para as gerações futuras. Os autores advertem sobre a rota de colisão da humanidade com o meio ambiente, destacando a insuficiência das medidas atuais para mitigar danos ambientais. Eles propõem soluções como a criação de reservas naturais, a redução das emissões de gases de efeito estufa, a promoção de energias renováveis, a restauração de ecossistemas e a prevenção da defaunação como estratégias essenciais para essa transição.

Nos últimos anos, observou-se um aumento na frequência e intensidade dos desastres naturais, em grande parte devido às mudanças climáticas. Ibarrarán et al. (2009) contribui para o entendimento dos efeitos desses desastres, destacando que a vulnerabilidade

de uma população é um fator determinante na gravidade dos impactos. As mudanças climáticas podem aumentar a frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, levando a mais desastres naturais, que, por sua vez, têm impactos significativos na economia de um país, reduzindo o PIB, aumentando o déficit fiscal e a balança comercial negativa, e afetando a distribuição de renda. Os potenciais impactos apontam para urgência de mitigar as mudanças climáticas e reduzir a vulnerabilidade das populações aos desastres naturais, especialmente nos países mais pobres.

No debate sobre mudanças climáticas, dois conceitos cruciais são a mitigação, focada na redução das emissões de gases de efeito estufa, e a adaptação, que visa minimizar os impactos das mudanças climáticas já em curso. Klein et al. (2005) argumentam que, apesar de interligados, esses conceitos diferem em três aspectos principais: escala espaço-temporal, mensuração dos benefícios, e os atores e setores envolvidos. Primeiramente, enquanto a mitigação oferece benefícios globais, a adaptação tende a ser mais eficaz em uma escala regional ou no nível de sistemas específicos impactados. Em segundo lugar, há uma divergência na mensuração dos benefícios. Os benefícios da mitigação podem ser quantificados por uma métrica unificada, como a redução de CO<sub>2</sub>, facilitando a comparação e análise.

Por outro lado, os benefícios da adaptação são mais complexos de quantificar e comparar, devido à sua natureza diversificada e ao impacto variável em diferentes contextos e regiões. Por fim, a terceira diferença se relaciona aos impactos setoriais e às perdas econômicas. A mitigação está principalmente ligada aos setores de energia e transportes, devido à sua alta emissão de gases de efeito estufa. Em contraste, a adaptação envolve uma variedade mais ampla de setores e atores, refletindo a gama de impactos das mudanças climáticas e a necessidade de respostas adaptativas em diferentes áreas.

Segundo Tol (2018), as mudanças climáticas podem ter um impacto limitado na economia e no bem-estar humano inicialmente, possivelmente até impactos positivos, mas, a longo prazo, os autores projetam que os impactos negativos predominem. Esses impactos negativos serão significativamente maiores em países mais pobres, mais quentes e de baixa altitude.

Os impactos econômicos projetados das mudanças climáticas dependem significativamente do caminho de mitigação escolhido. Sem mitigação, os impactos podem ser severos, mas a mitigação rigorosa poderia limitar substancialmente o impacto. O desenvolvimento socioeconômico também desempenha um papel crucial na atenuação dos impactos das mudanças climáticas (TAKAKURA et al., 2019)

Dellink et al. (2019) alertam que as consequências econômicas das mudanças

climáticas até 2060 devem ser altamente variadas entre regiões e setores. Algumas regiões podem experimentar benefícios em certos setores, enquanto outras enfrentam perdas significativas, especialmente na agricultura e na produtividade do trabalho. Os resultados macroeconômicos indicam que os impactos regionais das mudanças climáticas afetam as economias de todos os países do mundo, com diferenças regionais substanciais. Os impactos tornam-se mais severos ao longo do tempo e já são mensuráveis nas próximas décadas, indicando que as consequências das mudanças climáticas não são apenas uma questão para o futuro distante.

Um exemplo de política de mitigação é apresentado por Rausch et al. (2011), no qual o impacto da precificação do carbono em famílias é examinado, levando em consideração a heterogeneidade em seus padrões de consumo e fontes de renda. O estudo revelou que a maneira como as receitas da tarifação do carbono são alocadas influencia tanto a eficiência quanto a equidade da política, resultando em variações significativas nos efeitos distributivos. Adicionalmente, diferenças substanciais foram observadas entre grupos de diferentes origens raciais e étnicas. .

Por sua vez, Bosetti et al. (2009) investigaram o impacto do mecanismo de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD)<sup>1</sup> sobre as emissões globais. Utilizando o modelo "World Induced Technical Change Hybrid"(WITCH), que integra aspectos climáticos, energéticos e econômicos em escala global, abrangendo 12 regiões distintas, a análise indicou que a implementação do REDD poderia resultar em uma redução significativa das emissões globais, atingindo até 19,3%. Os efeitos são ainda mais pronunciados no Brasil, onde o REDD poderia levar a uma diminuição de 5,6% nas emissões globais. A maior eficácia do REDD no Brasil é atribuída aos custos econômicos relativamente menores de implementação desta política na região, comparados a outras. Os autores também ressaltam a importância de integrar o REDD a outras políticas de mitigação climática, sugerindo que sua eficácia é potencializada quando combinada com estratégias como melhorias na eficiência energética e investimentos em energias renováveis.

Já Haddad et al. (2019) utilizam o modelo GTAP-AEZ (Agro-Ecological Zones) para avaliar os impactos econômicos e as mudanças no uso da terra decorrentes do aumento da demanda por produtos florestais na bioeconomia da União Europeia. O estudo constata que essa crescente demanda pode levar a alterações significativas no uso da terra, com uma possível expansão da cobertura florestal em detrimento das áreas agrícolas. Este achado ressalta a necessidade de considerar os efeitos indiretos sobre o uso da terra e as emissões

---

<sup>1</sup> REDD é um mecanismo de mercado desenvolvido sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), destinado a incentivar países em desenvolvimento a reduzir as emissões de gases de efeito estufa provenientes do desmatamento e da degradação florestal. Este mecanismo oferece compensação financeira para tais reduções (ELIAS; HEATH, 2015).

de gases de efeito estufa ao desenvolver políticas para a bioeconomia.

Em suma, a urgência dos desafios socioambientais é clara. As mudanças climáticas já têm impactos significativos na sociedade e no meio ambiente, e esses efeitos tendem a se intensificar se medidas adequadas não forem implementadas. A transição para uma economia verde é essencial para limitar o aquecimento global e mitigar os impactos das mudanças climáticas. O processo de mitigação e adaptação é complexo e desafiador, assim como a avaliação de impactos e benefícios. O financiamento da transição verde representa um desafio significativo, envolvendo tanto o setor público quanto o privado, dada a magnitude dos recursos necessários e a incerteza associada. Além disso, muitos países dependem economicamente de combustíveis fósseis e commodities, tornando-se imperativa uma governança global eficaz e iniciativas locais para mitigar o impacto humano sobre o meio ambiente.

### **2.0.2 Cenários de Mudanças Climáticas no Brasil**

O Brasil se depara com uma encruzilhada complexa diante das mudanças climáticas, onde as dinâmicas de crescimento econômico, emissões de gases de efeito estufa (GEE), desmatamento, alterações no uso da terra, migrações e vulnerabilidade ambiental estão intrinsecamente interligadas. Nas últimas duas décadas, o modelo de crescimento econômico brasileiro tem sido impulsionado, em grande parte, pelos setores agrícola e extrativista, evidenciando uma marcante reprimarização da estrutura produtiva (COONEY, 2016; CHESNOKOVA, 2003).

Segundo o Relatório do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) (2022), o Brasil emitiu 2,4 bilhões de GEE em 2021, um aumento de 12,2% em relação a 2020, configurando o maior aumento de emissões em quase duas décadas. De acordo com este relatório, a aceleração foi mais do que duas vezes superior à média mundial estimada para o mesmo ano e a elevação do desmatamento, sobretudo na Amazônia, foi a principal responsável pelo aumento de emissões, sendo que agropecuária e a mudança no uso da terra tiveram participação crescente e expressiva.

O Brasil assume uma posição de destaque neste debate, apresentando tanto vantagens quanto desvantagens em relação às mudanças climáticas. De acordo com o relatório do Banco Mundial (2023), o país possui vantagens competitivas significativas, especialmente em termos de fornecimento de energia com baixa emissão de carbono e um grande potencial para energia renovável. No entanto, o mesmo relatório destaca que o Brasil também está sujeito a riscos consideráveis devido aos impactos negativos das mudanças climáticas, especialmente nas regiões da Amazônia e do Cerrado, devido ao desmatamento e à agropecuária, que são os principais impulsionadores das emissões de

gases de efeito estufa (SEEG, 2021).

Nesse contexto, políticas que visam à descarbonização, redução do desmatamento e adoção de práticas sustentáveis são de suma importância para o Brasil. Além disso, a governança dessas políticas deve ser abordada de forma abrangente, conforme destacado por Newell et al. (2023). A gestão, financiamento, regulamentação e coordenação dessas políticas devem ser realizados por órgãos reguladores em todos os níveis de autoridade para garantir uma transição justa e verde. No contexto das mudanças climáticas, a vulnerabilidade ambiental do Brasil é amplamente discutida. Fatores como resiliência, sensibilidade e exposição são cruciais na definição da vulnerabilidade, que abrange dimensões biofísicas e socioeconômicas (FÜSSEL, 2007).

Uma série de estudos empíricos se dedicam a analisar as implicações das mudanças climáticas sobre o Brasil. Os temas vão desde os impactos das mudanças climáticas, análises de políticas de mitigação e adaptação Feijó e Júnior (2009) além de estudos sobre desmatamento e mudanças no uso da terra Ferreira-Filho e Horridge (2017), Filho e Horridge (2017), Taheripour et al. (2020) em especial no caso da região amazônica Carvalho e Domingues (2016), CABRAL e Gurgel (2014). Outro ponto relevante é a investigação da migração causada por questões climáticas, um tópico abordado por diversos estudos, incluindo Backhaus et al. (2015), Mueller et al. (2014), Cattaneo e Peri (2016), Marchiori et al. (2012), Barbieri et al. (2010).

Domingues et al. (2010) também projetam os impactos das mudanças climáticas com base nos relatórios do IPCC A2 (pessimista-ambiental) e B2 (otimista-ambiental) na economia brasileira. Com base no modelo de equilíbrio geral computável, os cenários projetados apontam que o PIB brasileiro encolheria entre 0,5% (A2) e 2,3% (B2) e o consumo das famílias seria retraído em 1,1% (A2) e 3,4% (B2). Além disso, as desigualdades econômicas e sociais regionais seriam ampliadas, além de haverem perdas sobre o bem-estar em zonas rurais.

De acordo com Filho e Horridge (2020) as mudanças climáticas podem reverter os padrões de migração interna no Brasil, com impactos significativos nos estados do nordeste e nas regiões urbanas, a partir de projeções com um modelo de equilíbrio geral computável. Os autores estimam que as alterações climáticas levarão a um aumento da migração rural-urbana no Brasil. O estudo também estima que os trabalhadores menos qualificados serão os mais afetados pelas alterações climáticas, e que estes serão mais propensos a migrar para as favelas das grandes cidades brasileiras.

Oliveira e Pereda (2020) utilizaram um modelo de equilíbrio geral espacial para demonstrar que as mudanças climáticas influenciam as decisões de localização com base nos

preços das commodities e nos salários agrícolas. Que por sua vez resultam em um aumento previsto nas taxas de migração interna e uma mudança na distribuição populacional. Segundo os resultados apresentados nos cenários climáticos B1 (otimista) e A2 (pessimista) haveria aumento de 0,9 milhão e 1 milhão de migrantes, respectivamente. O Nordeste seria a região que mais contribuiria para o aumento de migrantes, com 1,03 milhão no cenário B1. Os custos de migração afetariam a região devido a perdas de valor urbano e produtividade agrícola. Por fim, os autores chamam atenção para políticas de integração dos mercados locais de trabalho que podem ajudar a reduzir as perdas de bem-estar devido às mudanças climáticas.

Em linha com as pesquisas que avaliam cenários de mitigação, Feijó e Júnior (2009) avaliam os impactos sobre o bem-estar econômico que as reduções de CO<sub>2</sub> acordadas no protocolo de Quito (1997) podem ter sobre o Brasil, a partir de um modelo de equilíbrio geral global (GTAP-E). Os resultados indicam que o Brasil tem vantagens competitivas em relação a outros países por não ter uma matriz energética tão intensiva em emissões. Além disso, afirma a necessidade do Brasil estar inserido no comércio internacional de mitigação de CO<sub>2</sub>, o que traria ganhos de bem-estar econômico em termos de renda.

Gurgel e Paltsev (2014) por sua vez, avaliam os impactos das metas brasileiras nacionalmente determinadas na conferência de Copenhague (2009), de redução de emissões em até 38,9% até 2020, a partir de um modelo para economia global (Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA)). No cenário global, o Brasil atingiria uma redução de 21% das emissões em 2015 e 57% até 2030. Sendo que o desmatamento e as mudanças no uso da terra são os principais vetores. Outro resultado importante é que um imposto sobre carbono emitido por mudanças no uso da terra seria suficiente para alcançar as metas sem causar perdas muito significativas de bem-estar econômico.

Lucena et al. (2016) analisa os efeitos de mecanismos baseados no mercado e restrições nas emissões de carbono no sistema energético brasileiro. Seis diferentes modelos econômicos de energia ou modelos de avaliação integrada são comparados sob diversos cenários de impostos sobre carbono e metas de redução de emissões até 2050. Os resultados mostram um aumento nas emissões nos cenários de base, devido principalmente à maior penetração de gás natural e carvão. Entretanto, cenários de políticas climáticas indicam que esse caminho pode ser evitado, com impostos mais altos sobre o carbono induzindo reduções significativas nas emissões. As reduções de emissões são principalmente devido à menor demanda energética, maior penetração de energia renovável (especialmente biomassa e energia eólica) e tecnologias de captura e armazenamento de carbono. O estudo também discute questões específicas relacionadas a alternativas de mitigação no Brasil.

Já Stocco et al. (2020) investigaram como o intensificação da produtividade na

pecuária impactam no desmatamento e emissões brasileiras. Por meio de um modelo de equilíbrio geral computável, TERMBR, os resultados apontam que um aumento na produtividade agropecuária levaria a um crescimento de 23,5% na produção de gado, reduzindo a área de pastagem em 4,24 milhões de hectares. As diferentes regiões do Brasil teriam efeitos econômicos variados, com os estados do Norte registrando o maior aumento do PIB devido à sua alta dependência da pecuária. Além disso, a análise considera o potencial de redução das emissões líquidas ao levar em conta o armazenamento de carbono no solo.

Silva et al. (2017) também avalia ganhos de produtividade na agropecuária com controle de desmatamento. Com base no modelo EGC TERM-BR, adaptado com módulo de usos da terra e emissões, os resultados destacam que os choques de produtividade agrícola teriam efeitos econômicos, sobretudo no Centro-Oeste e Norte do Brasil. Por outro lado, isto provocaria migrações inter-regionais do fator trabalho em direção as regiões mais produtivas em termos de salário real. Sob a ótica ambiental, os ganhos também são positivos com controle de desmatamento, principalmente para Amazônia e Cerrado. Contudo, em termos de emissões, o crescimento econômico impulsionaria os níveis líquidos de GEE.

Leitão e Vasconcellos (2017) projetam quais seriam os impactos sobre o PIB de uma política de desmatamento zero sobre a economia brasileira. Restringindo a fronteira de expansão de uso de terras para agropecuária e intensificando a produtividade do setor na linha de base 2016-2030. Considerando desmatamento zero, os impactos acumulados sobre o PIB levariam a uma redução de apenas 0,62% até 2030. Já adotando incrementos na produtividade, os autores apontam que seria necessário um aumento de 0,29% na bovinocultura de corte e 0,13% na de leite para não haver perdas sobre o PIB. Por fim, os autores ainda apontam políticas complementares como forma de maior efetividade do controle do desmatamento, como parcerias público-privadas e o desenvolvimento de mecanismos financeiros para pagamento por serviços ambientais.

Já Eriksson (2020) projeta cenários de desmatamento evitado e de reflorestamento, partindo do modelo RICE (Regional Integrated model of Climate and the Economy) , atribuindo alterações para controle de mudanças no uso do solo. Os resultados destacam que, sob a meta de 2 °C, as reduções máximas de emissões provenientes da desflorestação ocorrem rapidamente. Além disso, a florestação apresenta um impacto substancial na diminuição das emissões a curto e longo prazo. A concentração de esforços sobre a recuperação e preservação nas florestas tropicais é fundamental para alcançar reduções expressivas.

Pattanayak et al. (2009) também projeta uma expansão da floresta brasileira em 50 milhões hectares. A estratégia empírica foi baseada no modelo Applied Dynamic Analysis of

the Global Economy (ADAGE) que também se baseia no GTAP, com abertura de famílias urbanas e rural. Em termos econômicos o choque sobre floresta tem impacto negativo, mas pouco significativo sobre o PIB, de apenas -0,1%. Por outro lado, famílias rurais se beneficiariam da política com ganhos econômicos e de saúde. O resultado encontrado alimenta a discussão de um trade-off entre perdas econômicas e ganho de bem estar ambiental. Como solução os autores apontam que a venda de serviços ecossistêmicos que o Brasil pode oferecer ao mundo seriam suficientes para suprir perdas econômicas e ampliar o bem-estar das populações rurais.

Diante destas problemáticas, a discussão sobre o financiamento para a transição ganha importância. A literatura indica a necessidade de uma abordagem abrangente e multifacetada para a transição rumo a economias mais verdes e sustentáveis. Isso envolve enfatizar o papel do financiamento público, o alinhamento estratégico de orçamentos com metas ecológicas, e a implementação de iniciativas adaptadas a contextos específicos. Tais medidas são fundamentais para promover uma transformação sustentável tanto em escala global quanto local (MONACA et al., 2019).

Mazzucato (2018) enfatiza a importância dos investimentos públicos para atingir os objetivos do Acordo de Paris. A autora defende que o setor público desempenha um papel vital na absorção de riscos associados à pesquisa e ao desenvolvimento de tecnologias e modelos econômicos sustentáveis. Este foco nos investimentos públicos como impulsionadores de um crescimento econômico inteligente, inclusivo e sustentável é fundamental para tornar economicamente viáveis as tecnologias verdes.

Nesta discussão, o conceito de 'orçamento verde', abordado por Rodrigues (2023), mostra-se potencial para atingir metas ambientais e climáticas ao integrar objetivos ecológicos na elaboração orçamentária. Elementos como gestão de risco fiscal, etiquetagem verde, tributação ambiental e avaliação de desempenho são fundamentais, permitindo que governos direcionem recursos para atividades sustentáveis e minimizem o impacto ambiental de suas políticas.

Por fim, Marques (2020) examina a transição para uma economia verde no contexto pós-pandêmico, com foco no Brasil. Propondo um plano adaptado às peculiaridades locais, inspirado no Green New Deal dos EUA e no European Green Deal. Sugerindo um "Big Push Ambiental", visando investimentos para desacoplar o crescimento econômico das emissões de gases do efeito estufa, e uma "Política de Desenvolvimento Produtivo Orientada por Missões", focada em investimentos sociais para a diversificação produtiva sustentável.

O Brasil, assim, se encontra em uma situação complexa no que diz respeito às mudanças climáticas. Por um lado, o país possui vantagens competitivas em termos de

energia de baixa emissão de carbono e potencial para energia renovável, mas, por outro, está vulnerável aos impactos negativos das mudanças climáticas, principalmente nas regiões da Amazônia e do Cerrado devido ao desmatamento e à agropecuária. Essas regiões desempenham um papel crucial na prestação de serviços ecossistêmicos, não apenas para o Brasil, mas também para o mundo.

A literatura destaca a importância de estratégias que transcendam as fronteiras setoriais, abordando de maneira integrada o desafio complexo que as mudanças climáticas impõem. A gestão sustentável do crescimento econômico, a descarbonização, a redução do desmatamento e a adoção de práticas sustentáveis são imperativos. No entanto, a implementação efetiva dessas políticas exige uma governança abrangente, conforme destacado por especialistas, abrangendo gestão, financiamento, regulamentação e coordenação em todos os níveis de autoridade.

Portanto, a necessidade premente de políticas e estratégias que abordem as interconexões entre crescimento econômico, emissões de GEE, desmatamento, mudanças no uso da terra, migrações e vulnerabilidade ambiental. O Brasil, dado sua biodiversidade tem um papel significativo no cenário global, mas enfrenta desafios que requerem uma abordagem holística para enfrentar os impactos das mudanças climáticas e promover um desenvolvimento sustentável.

### **2.0.3 Formação econômica do território Amazônico e impactos ambientais**

A Amazônia desempenha um papel crucial no debate acerca dos desafios ambientais. O ecossistema amazônico, conhecido por sua vasta biodiversidade e importância para o equilíbrio climático global, está no centro de discussões sobre as mudanças no uso da terra e suas repercussões nos sistemas climático, de terra e alimentar. O relatório especial do IPCC (2019) destaca a interconexão desses sistemas e ressalta a influência determinante do uso da terra nas mudanças climáticas, sendo a Amazônia uma região emblemática nesse contexto.

O debate em torno do desmatamento na Amazônia tem gerado inúmeros estudos que investigam a antropização desse território (AGUIAR, 2006; FEARNSSIDE, 2022; RIVERO et al., 2009). A dinâmica de ocupação, impulsionada por estratégias agropecuárias e grandes projetos de infraestrutura, transformou significativamente a paisagem amazônica. A abertura de novas rodovias, como a transamazônica, e políticas de colonização incentivadas por diversos projetos de desenvolvimento regional, como o Projeto Grande Carajás (PGC), definiram um marco no processo migratório para a região e de consequências ambientais (AB'SABER, 1996).

Segundo Sauer e Pietrafesa (2013), a economia do agronegócio na Amazônia estimulou a transformação da floresta em pastagens, justificada pela ocupação de terras "vazias". No entanto, tal estratégia desencadeou fortes conflitos sociais relacionados à posse e ao uso da terra, além de intensificar a degradação ambiental por mudanças no uso do solo (COSTA, 2005). As mudanças no uso da terra são atribuídas como um forte determinante das mudanças climáticas. O relatório especial do IPCC (2019) chama atenção para este fato e distingue o ciclo básico que afeta as mudanças na seguinte estrutura: sistemas climático, sistema de terra e sistema alimentar. Todos estes sistemas estão interligados e se retroalimentam, bem como provocam mudanças sobre o uso da terra (MASSON-DELMOTTE et al., 2019).

Segundo Loureiro e Pinto (2005) até antes da política de colonização a maior parte do território amazônico era de posse do estado, sendo que 87% eram de matas e terras não exploradas. Segundo os autores, apenas 11% do território abrigavam fazendas e eram baseadas em pastos naturais. A economia da região se baseava, sobretudo, na cultura extrativista. A vastidão territorial não empossada, privadamente, passaria a ser palco de grilagem por consequências das políticas de desenvolvimento para região adotadas dali em diante.

A Amazônia tornou-se alvo de ocupação justificada pela baixa densidade demográfica da região. O golpe militar de 1964 traça um marco no processo migratório rumo a Amazônia com a política denominada de 'homens sem terras para terras sem homens'. Franklin (2014) argumenta que a ocupação foi capitalizada, principalmente, na abertura de novas rodovias como a transamazônica, perimetral norte-sul, Cuiabá-Santarém, Manaus-Boa Vista, dentre outras, que seguiam o projeto de desenvolvimento regional militar. Tal política foi acompanhada de um processo de colonização incentivado pela criação de assentamentos. A política de desenvolvimento também foi marcada pelo PGC com foco na produção hidroelétrica, extração mineral e pela zona franca de Manaus (MONZONI et al., 2018).

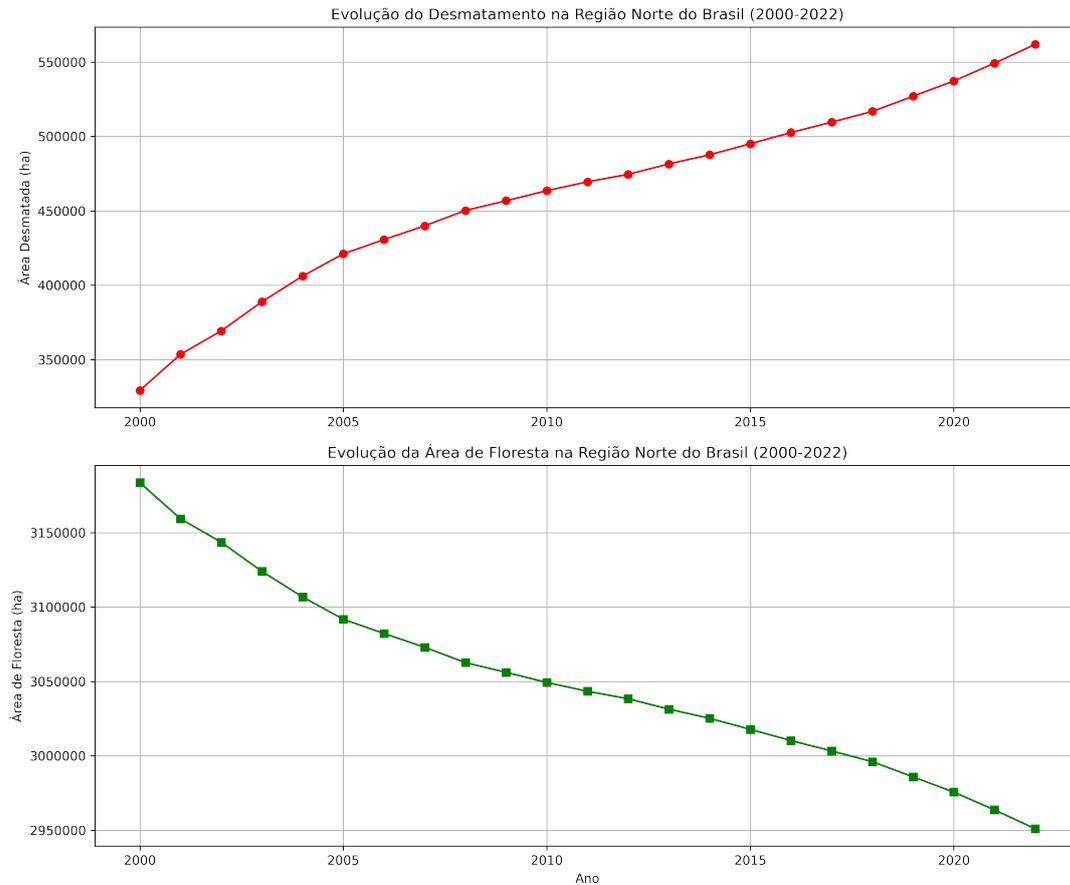
Becker (2001) também argumenta sobre a ocupação do território amazônico. Destacando quatro tipos de investimento públicos na região: a rede rodoviária, a rede de telecomunicações, a rede urbana e, por fim, a rede hidroelétrica. Dois aparelhos estatais foram responsáveis por sustentar e desenvolver esses projetos: o Banco da Amazônia (BASA) e a Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM). A autora sustenta que o processo implicou o ciclo de desmatamento e expansão da pecuária. Além disso, a concentração das rodovias ao longo da borda da densa floresta amazônica resultou na formação do arco do desmatamento (ALDRICH et al., 2012). Tais políticas também teriam por consequência uma estrutura econômica baseada no latifúndio de baixa produtividade e enclaves econômicos entorno dos grandes projetos.

Além da estratégia agropecuária, grandes projetos de infraestrutura, como a mineração, também passaram a se instalar na Amazônia durante a década de 1960. Segundo Chaves et al. (2021), essa atividade econômica está indiretamente ligada ao desmatamento, além dos impactos ambientais diretos do processo de extração mineral. Como também implicam consequências socioeconômicas, como enclaves e crescimento populacional não planejado (MONZONI et al., 2018; COELHO et al., 2005) .

A estrutura de transportes rodoviários também exerceu forte pressão sobre o desmatamento, com abertura de novos mercado e especulação sobre a terra (GODAR et al., 2012; FEARNSIDE, 2009) . Araujo et al. (2023) por exemplo, estimou que o aumento de 1% no investimento em infraestrutura teria impacto de 0,5% sobre o desmatamento.

O gráfico 2.1 aponta para uma tendencia alarmante em relação a conservação ambiental na Amazônia Legal. A evolução do desmatamento e área de floresta (hectares) na região norte de 2000 a 2022. A curva ascendente vermelha representa um aumento consistente no desmatamento ao longo do período, sugerindo uma intensificação das atividades que resultam na perda de cobertura florestal. Em contraste, a curva descendente verde mostra uma redução na área de floresta, refletindo o impacto acumulativo dessas atividades. um indicativo preocupante que sinaliza a necessidade de ações de conservação e políticas eficazes de manejo sustentável.

**Figura 2.1 – Evolução do Desmatamento e Floresta na Região Norte do Brasil (2000-2022)**



Fonte: Elaboração Própria a partir de dados do PRODES

Estudos empíricos avaliaram o impacto do desmatamento na Amazônia sobre a economia brasileira. Carvalho (2014) procura mensurar qual a relevância do desmatamento para economia da Amazônia além de simular os efeitos de uma política de controle de desmatamento. Utilizando o modelo REGIA (*Inter-Regional General Equilibrium Model for the Brazilian Amazon*) para regiões da Amazônia Legal, projeta a expansão de terra para uso pecuário e agrícola. Neste primeiro cenário, destaca-se um importante resultado: o desmatamento não tem uma contribuição econômica relevante para o crescimento do PIB, contribuindo com apenas 0,142%. Fato explicado pela baixa produtividade das atividades na região, muitas vezes ligadas à especulação com a terra. No cenário de controle do desmatamento, por sua vez, as perdas econômicas seriam de apenas 0,05% até 2020. Isto reflete que o custo da preservação é relativamente baixo, logo, políticas de controles podem ser efetivas combinadas a políticas de manutenção da renda.

Souza et al. (2022) analisou as implicações econômicas e ambientais de políticas de mitigação no Brasil, como o Desmatamento Zero na Amazônia e a política de Reflorestamento, usando o modelo de equilíbrio geral BLUME que capta mudanças diretas

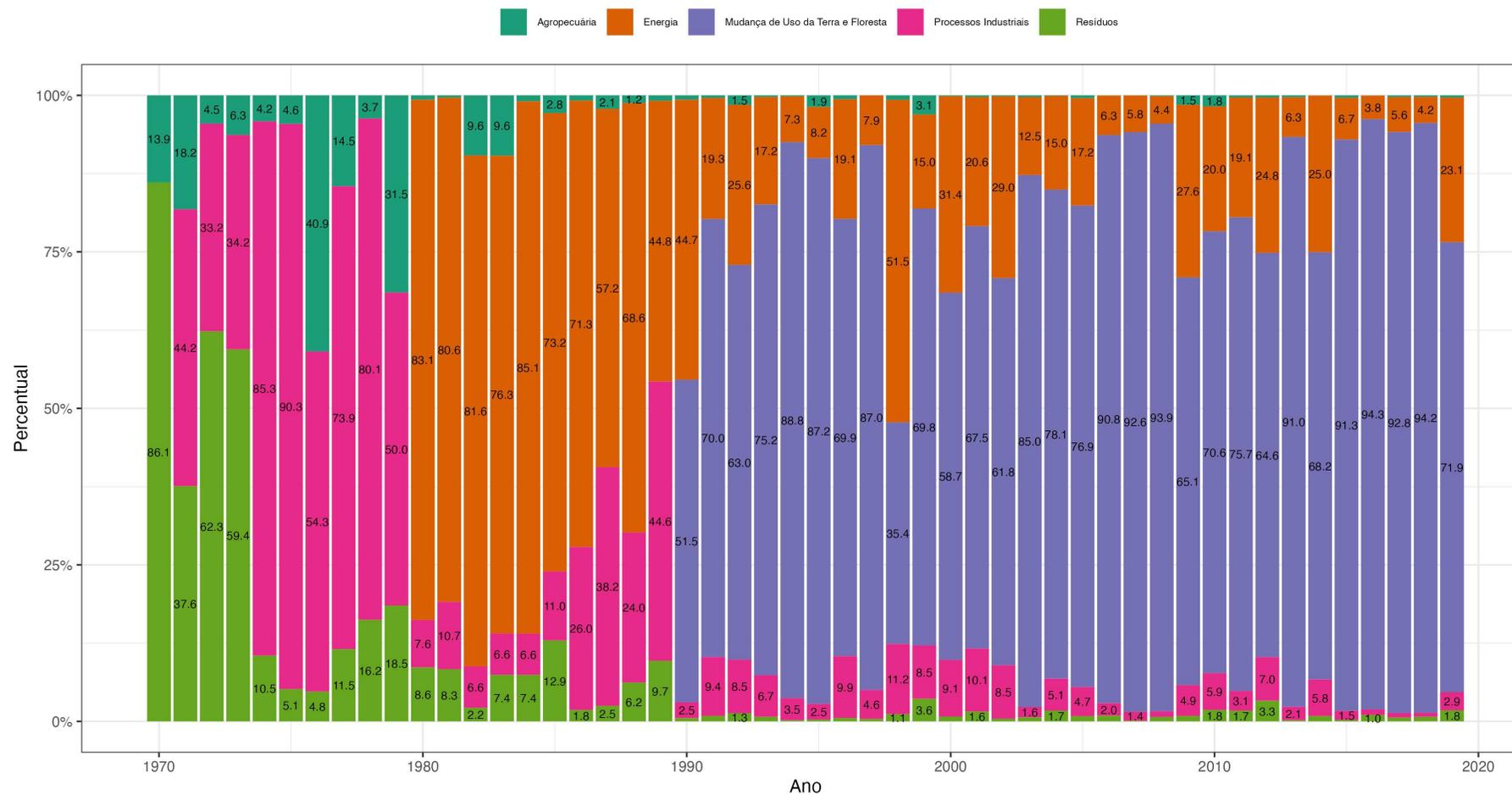
e indiretas no uso do solo. Seus resultados destacaram a necessidade de abordagens diferenciadas em entre regiões e setores para equilibrar o crescimento econômico com a conservação ambiental, enfatizando os investimentos na agricultura de médio e grande porte, especialmente por incrementos de produtividade na pecuária, como uma estratégia para atender às metas de desenvolvimento sem recorrer ao desmatamento.

Na mesma linha Silva et al. (2023) projetam cenários de desmatamento zero na Amazônia com vistas de mensurar os impactos sob a produção, a partir de modelo de equilíbrio geral computável TERM-BR. As projeções revelam que a política de desmatamento zero, aliada a incrementos de produtividade no Cerrado levaria a intensificação das desigualdades regionais. Em termos de produto, contudo, a perda seria pouco significativa, de apenas 0,04% no PIB em 2030.

Em tópico distinto, por sua vez, Silva e Prasad (2019) investigam as infraestruturas verde e socioeconômica na Amazônia Brasileira e suas implicações para adaptação às mudanças climáticas. A metodologia envolve a identificação de hotspots socio-climáticos em municípios, combinando infraestrutura verde e socioeconômica com riscos climáticos. Os resultados mostram que muitos municípios têm baixa infraestrutura socioeconômica, apontando para uma necessidade de desenvolvimento mais sustentável. O estudo sugere que a melhoria da infraestrutura socioeconômica, sem prejudicar a infraestrutura verde, é crucial para a resiliência climática.

Ao longo das últimas décadas, o impacto do desmatamento pode ser visualizado pelas emissões na Amazônia Legal, que, grosso modo, refletem as transformações nas atividades econômicas e práticas ambientais. Na figura 2.2 pode-se observar o perfil de emissões na Amazônia legal nos últimos 50 anos.

Figura 2.2 – Perfil de Emissões - Região Norte



Fonte: Elaboração Própria a partir de dados do SEEG

No período mais recente a partir da década de 1990 o perfil de emissões passou a ser amplamente dominado pelo setor de mudanças no uso da terra. As mudanças no uso do solo são implicação humanas sobre a vegetação natural para fins econômicos e sociais. Podendo ser sobre a superfície terrestre, solo, topografia, bioma, águas e também atributos subterrâneos como minérios (LAMBIN et al., 2000). As emissões podem ser provenientes tanto dos fatores diretos de mudanças no uso da terra (Land use change, LUC) como de fatores indiretos (land use, land-use change and forestry, LULUCF) (SOUZA et al., 2022). No caso da Amazônia LUC e LULUCF tornam-se tão relevantes devido, sobretudo, a pecuária de baixa produtividade, que expande sua produção através da abertura de novas terras por meio do desmatamento.

Outro ponto relevante neste debate a cerca das mudanças no uso da terra é a mensuração do mesmo. Por exemplo Alder e Silva (2000) procuram mensurar o crescimento de floresta natural na região amazônica, por meio de um modelo fundamentado em dados de longo prazo, coletados em parcelas experimentais nas florestas de Terra Firme, neste caso a modelagem não leva em consideração aspectos econômicos da utilização do fator terra.

Por outro lado modelagens econômicas procuram mensurar como a terra é distribuída em virtude dos interesses econômicos. Faria e Haddad (2019) procura mensurar a utilização do estoque de terra dentre vários tipos de uso da terra associados à agropecuária, como diferentes tipos de lavouras, pecuária e exploração florestal. Com base no retorno (ou remuneração) que cada uso da terra pode fornecer. Assim, a terra é alocada entre as atividades agrícolas de acordo com os possíveis retornos e custos de oportunidades relativos a cada uma. Este tipo de abordagem tem suas limitações alguns modelos podem assumir que certos recursos, como a terra, são fixos em quantidade e apenas redistribuídos entre diferentes usos, o que pode não refletir totalmente mudanças na disponibilidade de terra.

Em mesma perspectiva Carvalho (2014) modela o uso da terra, permitindo sua conversão entre diferentes tipos de uso do solo. Este modelo detalha a alocação do solo em cada região, mantendo a área total fixa e dividida em quatro tipos: terras cultiváveis, pastagens, florestas plantadas e florestas naturais/outras áreas. Cada setor agrícola no modelo está vinculado a um desses tipos de uso do solo que também são guiados dentre os usos por meio da rentabilidade.

Como destaca a literatura, o setor pecuário é relevante no debate acerca das mudanças climáticas, devido à expansão da pecuária de baixa produtividade. As projeções futuras, como as de Carvalho (2012) e Silva et al. (2023), apontam para o desafio de conciliar conservação ambiental e crescimento econômico na região, destacando a importância de políticas diferenciadas para equilibrar esses objetivos complexos. Em termos de medidas

preventivas, o aumento da produtividade com fim do desmatamento ilegal é apontado como política suficiente para o Brasil atingir suas metas nacionalmente determinadas.

#### **2.0.4 Bioeconomia**

A bioeconomia emerge como uma proposta inovadora e multifacetada no cenário global, oferecendo uma alternativa sustentável à produção tradicional. Este campo de estudo engloba diversas interpretações e aplicações, explorando seus potenciais impactos e nuances. As análises variam desde a sustentabilidade inerente à bioeconomia até os desafios específicos de sua implementação, como na região da Amazônia. Estudos como os de D'Amato et al. (2017) e Dietz et al. (2018) abordam essas diversas facetas, enfatizando a necessidade de abordagens interdisciplinares para alcançar uma bioeconomia genuinamente sustentável.

As perspectivas sobre a bioeconomia incluem biotecnologia, bio-recursos e bio-ecologia, bem como a integração de práticas tradicionais e conservação da biodiversidade. Bugge et al. (2019) discutem essas visões, ressaltando a importância da pesquisa e aplicação comercial da biotecnologia, o desenvolvimento de matérias-primas biológicas, e a promoção de processos ecológicos otimizados. Segundo o autor, a bioeconomia pode ser caracterizada por quatro principais perspectivas: sua sustentabilidade intrínseca, os benefícios potenciais para a sustentabilidade condicionados a certas práticas, as críticas que recomendam cautela na sua adoção, e preocupações sobre possíveis impactos negativos na sustentabilidade.

No contexto amazônico, Costa et al. (2022) argumenta pela adaptação do conceito de bioeconomia, enfatizando a conservação da biodiversidade e o respeito ao conhecimento tradicional. Bergamo et al. (2022) sugere princípios orientadores para uma bioeconomia sustentável na Amazônia, incluindo zero desmatamento e fortalecimento das práticas milenares locais. Denny et al. (2022) aborda a transformação da economia amazônica em uma bioeconomia circular sustentável, enfatizando a necessidade de investimentos responsáveis e políticas públicas.

A mensuração da bioeconomia, discutida por autores como Wesseler e Braun (2017), apresenta complexidades e demanda abordagens metodológicas diversas, desde análises setoriais até perspectivas econômicas, ambientais e sociais integradas. Lopes e Chiavari (2023), por seu turno, exploram a bioeconomia na Amazônia, ressaltando a diversidade de estratégias adequadas para cada área da região. E Angenendt et al. (2018) focam em estratégias e ferramentas para a transição para uma bioeconomia sustentável, destacando a importância de cenários e modelos integrados para uma análise abrangente.

Por sua vez, Figueiredo et al. (2023) abordam a interconexão entre a bioeconomia

e o desenvolvimento, especialmente no contexto da Amazônia Paraense. O estudo destaca a evolução do conceito de desenvolvimento, que se alterou significativamente ao longo das décadas, influenciado por diversos fatores históricos, culturais, políticos, e socioeconômicos. A pesquisa explora como o desenvolvimento evoluiu para incluir a sustentabilidade e a bioeconomia. Para os autores a bioeconomia é vista como um resultado prático desse desenvolvimento, integrando crescimento econômico, qualidade de vida, desenvolvimento humano, e práticas sustentáveis de produção e consumo. Também enfatizam que a bioeconomia pode ser uma alternativa viável para um desenvolvimento sustentável na Amazônia, aproveitando a rica biodiversidade da região e inclusão das comunidades tradicionais, fomentando a disseminação de conhecimentos e práticas sustentáveis.

Pesquisas sobre a bioeconomia estão ainda em um estágio inicial, e os esforços para quantificar esse setor se concentram principalmente na análise de contas econômicas sociais e na metodologia de insumo-produto. Estudos relevantes nesse campo, como os conduzidos por Bracco et al. (2018), Highfill e Chambers (2023) e Iost et al. (2019)), ilustram essa abordagem, empregando técnicas econômicas para avaliar o impacto e a estrutura da bioeconomia em diferentes contextos. Outra área de pesquisa emergente na bioeconomia é o desenvolvimento e aplicação de indicadores de desempenho. Este campo ganha relevância à medida que entidades como a Comissão Europeia promovem a utilização de recursos biológicos renováveis para a produção de produtos de valor agregado e bioenergia (DOLGE et al., 2023; D'ADAMO et al., 2020; BRAUN, 2018).

Silva et al. (2018) apresentam uma análise aprofundada do setor de bioeconomia no Brasil, usando dados da OCDE de 2016. Este trabalho investiga o impacto econômico da bioeconomia no Brasil, revelando que as vendas atribuíveis a este setor totalizaram impressionantes US\$ 3261 bilhões globalmente, com US\$ 2859 bilhões gerados dentro do país e US\$ 402 bilhões provenientes de atividades econômicas em outros países. A pesquisa adota a definição de bioeconomia de McCormick e Kautto (2013), enfatizando a importância de seres vivos originários de setores como agricultura, silvicultura e pesca, e a utilização de biotecnologias para a produção de bens e serviços. Este estudo oferece uma contribuição para a compreensão do papel da bioeconomia, evidenciando seu impacto econômico e a relevância de inovações oriundas do setor primário da economia brasileira.

Em estudo recente sobre a Nova Economia na Amazônia, Nobre et al. (2023), modelos econômicos desenvolvidos por diferentes instituições brasileiras foram combinados para projetar cenários para a economia da Amazônia Legal (AML) em 2050. A Nova Economia da Amazônia (NEA), cenário orientado pelo Acordo de Paris, desmatamento zero, expansão da bioeconomia, restauração florestal e adequação da agropecuária chega em 2050 com PIB R\$ 40 bilhões superior ao referencial, 312 mil empregos adicionais, além de 81 milhões de hectares de florestas e 19% de estoque de carbono a mais. Além disso,

os investimentos para financiar a NEA foram estimados em 1,8% do PIB nacional ao ano, contra 1% ao ano no cenário referencial, sendo a Amazônia a grande catalisadora da descarbonização da economia brasileira.

Em termos de políticas o Brasil possui o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm). Uma iniciativa governamental brasileira, instituída com o objetivo de combater e reduzir o desmatamento na Amazônia. Este plano, iniciado em 2004, emprega uma abordagem multifacetada, envolvendo a cooperação de diversos ministérios e entidades governamentais. Ele é estruturado em torno de quatro eixos temáticos principais: promover atividades produtivas sustentáveis, aprimorar o monitoramento e controle ambiental, assegurar um ordenamento territorial eficaz, e desenvolver e implementar instrumentos normativos e econômicos voltados para a mitigação do desmatamento. Estes eixos visam atender a uma série de objetivos estratégicos e ações específicas, que incluem desde a expansão da fiscalização ambiental e implementação de políticas de gestão sustentável de recursos, até o incentivo a práticas de manejo florestal responsáveis.

Em sua mais recente fase o plano tem um foco na bioeconomia e também prevê uma meta de zero desmatamento até 2030. O plano está estruturada em quatro eixos principais: atividades produtivas sustentáveis, monitoramento e controle ambiental, ordenamento territorial, e instrumentos normativos e econômicos. Estes eixos incluem objetivos como a ampliação de áreas de florestas públicas sob concessão, a contratação de analistas ambientais e o fortalecimento da gestão de áreas protegidas. Adicionalmente, o plano prevê a atualização anual com base em metas e indicadores específicos, visando avaliação e monitoramento efetivos.

O eixo I do PPCDAm, foca em Atividades Produtivas Sustentáveis. Este está estruturado em três objetivos fundamentais: 1) Estimular atividades produtivas sustentáveis, valorizando a bioeconomia e apoiando cadeias produtivas locais e economias da sociobiodiversidade; 2) Promover o Manejo Florestal Sustentável e a recuperação de áreas desmatadas ou degradadas; 3) Fortalecer a articulação com os estados da Amazônia Legal para fomentar práticas sustentáveis. A figura ?? oferece uma introdução ao conceito de bioeconomia, explorando suas áreas fundamentais, objetivos e desafios conforme o PPCDAm.

Para alcançar estes objetivos, o plano propõe uma série de iniciativas, como o incentivo à bioeconomia, a implementação de práticas agropecuárias sustentáveis, e a valorização da floresta em pé. Isso inclui a recomposição orçamentária e a promoção de políticas como a Política de Garantia de Preços Mínimos para os Produtos da Sociobiodiversidade (PGPM-Bio) e programas como o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA). Além disso, há um enfoque na inovação e assistência técnica adaptadas às realidades locais,

visando o desenvolvimento endógeno e a conservação dos recursos naturais. Também é destacada a implantação de infraestrutura sustentável, como acesso a água potável, energia e comunicação, como vital para o avanço da produção e acesso a mercados, enquanto a promoção do turismo sustentável é vista como uma ferramenta chave para o controle do desmatamento e a geração de emprego e renda.

Em resumo, a bioeconomia ainda se apresenta como um conceito em construção, como um campo dinâmico e diversificado, e com implicações significativas para a sustentabilidade, a inovação tecnológica e o desenvolvimento econômico. Suas múltiplas facetas e a necessidade de abordagens interdisciplinares para sua compreensão e implementação eficazes são enfatizadas na literatura contemporânea.

Esta dissertação procura contribuir com esta literatura ao estimar o impacto econômico sobre a mudança do uso da terra de um cenário de desmatamento zero conjugado a aumento da produção dos setores ligados a produtos da bioeconomia, como Açaí-Fruto, Cacau-Amêndoa, Castanha do Pará, Açaí-Palmito, Cupuaçu- Fruta, Urucum, Bacuri, Mel e Pupunha.

### 3 METODOLOGIA

Este capítulo é dedicado à apresentação detalhada das metodologias utilizadas e à exploração da estrutura teórica que sustenta do modelo de equilíbrio geral computável utilizado para as simulações dos cenários. Serão abordados os princípios teóricos, as abordagens metodológicas e as fontes de dados utilizadas na modelagem. A metodologia empregada segue-se conforme apresentado em Carvalho (2014) e Souza (2022) .

#### 3.1 ESTRUTURA TEÓRICA

Este trabalho adota um modelo de equilíbrio geral inter-regional, para explorar os impactos intra-setoriais e inter-regionais de políticas ligadas à bioeconomia, como o desmatamento zero e incentivo à produção de setores ligados a atividade.

Modelos de equilíbrio geral, reconhecidos por sua versatilidade, são frequentemente utilizados para examinar questões estruturais e interdependentes, incluindo políticas fiscais e monetárias, inovações tecnológicas e choques econômicos. Eles proporcionam uma visão abrangente da economia, permitindo a análise simultânea de múltiplos mercados.

Os modelos operam com abordagens top-down e bottom-up. No top-down, a distribuição regional é derivada dos resultados nacionais, enquanto no bottom-up, as contribuições regionais influenciam o panorama nacional. Esses modelos consideram a economia como uma rede de mercados interconectados, onde o equilíbrio é simultâneo, enfatizando a flexibilidade dos preços, a mobilidade dos fatores e a capacidade de substituição entre insumos (DOMINGUES, 2002; MAGALHAES, 2013).

A exemplo, utilizando o modelo dinâmico e multi-regional Global Trade Analysis Project (GTAP) com uma adaptação focada em questões ambientais, GTAP-EF, Eboli et al. (2010) examinam os impactos das mudanças climáticas na economia global. Este estudo realça as consequências na distribuição de renda entre diferentes regiões. A análise detalhada, que inclui oito macro-regiões mundiais e dezessete setores industriais, mostra que o aumento do nível do mar, sem investimentos adequados em medidas de proteção, resultará na perda de terras agrícolas. Este impacto afetará principalmente as regiões mais pobres e setores como Florestal, Pesca, Gás, Arroz, Indústrias Intensivas em Energia e Outros, com reduções significativas na produção. Os autores enfatizam que as regiões mais desfavorecidas são as mais prejudicadas, indicando que as mudanças climáticas ameaçam a equidade e a convergência de renda globalmente.

Os modelos EGCs, fundamentados em premissas neoclássicas, são estruturas

teóricas complexas que descrevem as relações de oferta e demanda em uma economia. Eles incluem equações que representam o comportamento de firmas e famílias, bem como a dinâmica de mercados. As firmas são modeladas como entidades que minimizam custos para produzir de forma eficiente, enquanto as famílias buscam maximizar sua utilidade, decidindo como distribuir seu consumo e trabalho. O equilíbrio de mercado ocorre quando oferta e demanda se equilibram em diversos setores.

O modelo de equilíbrio geral do tipo Johansen (utilizado nesta pesquisa), é caracterizado por um conjunto de equações linearizadas, nas quais as variáveis são expressas em termos de taxas de crescimento ou elasticidades. Este modelo segue uma abordagem de equilíbrio geral, utilizando especificações lineares para as funções de demanda e oferta. Sua principal vantagem reside na flexibilidade, na formulação de equações e na capacidade de incorporar de forma detalhada as mudanças setoriais e comportamentais (DIXON; JORGENSON, 2012).

Neste contexto econômico, os agentes como as firmas produtoras são modelados como entidades racionais que otimizam suas escolhas. Esta otimização envolve a seleção da combinação ideal de insumos, que podem ser intermediários, como matérias-primas e serviços, ou primários, como capital, trabalho e terra. Essa escolha é feita dentro das limitações impostas pelas funções de produção do modelo, que explicam como os insumos são transformados em produtos finais (HORRIDGE, 2012).

A construção dos modelos EGCs é baseada na Matriz Insumo-Produto (MIP). A MIP é uma representação das interações econômicas entre setores e atividades, detalhando os fluxos econômicos e como a produção de um setor é usada como insumo em outros, além do consumo final por diferentes setores e agentes econômicos.

Integrando essas variadas suposições e mecanismos, o modelo proporciona uma visão complexa e dinâmica. Sendo uma ferramenta útil para analisar os efeitos de políticas econômicas, variações nos preços internacionais, inovações tecnológicas e outros choques externos tanto em economias regionais quanto nacionais. Este trabalho utiliza o modelo REGIA, um modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC) com dinâmica recursiva e modelagem do uso da terra (Carvalho, 2014). Trata-se de um modelo bottom-up, isto é, um modelo multirregional em que os resultados nacionais são agregações dos resultados regionais. Segue a estrutura e formulação teórica-computacional do modelo TERM (HORRIDGE et al., 2005), com adição de um módulo de dinâmica recursiva (DIXON; RIMMER, 1998; DIXON et al., 2002) e de uso da terra conforme (CARVALHO, 2014). Foi calibrado com dados de 2015, ano mais recente para a Matriz de Insumo-Produto do Brasil publicada pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018).

A especificação teórica do REGIA está dividida em três partes. A primeira apresenta o mecanismo de composição por origem das demandas regionais, a estrutura de produção, a demanda por investimento, a demanda das famílias, a demanda por exportações, a demanda do governo, o funcionamento do mercado de trabalho, o equilíbrio de mercados, a demanda por margens e preços de compra. Isto é, apresenta o núcleo base do modelo. A segunda parte mostra os elementos de dinâmica recursiva que permitem um ajuste intertemporal no estoque de capital, e investimento, e do mercado de trabalho. A terceira parte apresenta a incorporação de um módulo que analisa os efeitos das mudanças no uso da terra.

### 3.1.0.1 Mecanismo de composição por origem das demandas regionais

A metodologia desta pesquisa é centrada na análise de um sistema de demanda regional, estruturado em quatro níveis hierárquicos, conforme ilustrado na Figura 3.1. O mecanismo de composição por origem das demandas regionais contempla diferentes camadas de escolha e substituição de bens, tanto domésticos quanto importados, (SOUZA, 2022) .

Nível I: Aqui, as famílias optam entre produtos nacionais e internacionais usando uma função CES<sup>1</sup>. Essa escolha depende dos valores de aquisição específicos por uso, integrados na matriz PUR (resultante das matrizes USE e TAX). A elasticidade de substituição, denotada por  $\sigma_x$ , varia por produto mas é constante por uso e região. O consumo doméstico em uma região é calculado agregando-se todas as utilizações, gerando o total USE\_U. Os preços em USE\_U incluem custos básicos e adicionais, excluindo impostos específicos.

Da mesma forma, os insumos intermediários são modelados utilizando a função CES, incorporando a hipótese de Armington<sup>2</sup>, aplicada a bens de diferentes setores e origens. Esta abordagem é fundamental para compreender como as variações nos preços relativos das commodities afetam as escolhas de insumos pelas empresas.

Nível II: Determina-se a origem regional do componente doméstico (USE\_U) através de uma função CES ( $\sigma_d$ ), refletindo a distribuição de mercado com base nos custos relativos de produção. A matriz DELIVRD evidencia a divisão do composto USE\_U pelas regiões produtoras.

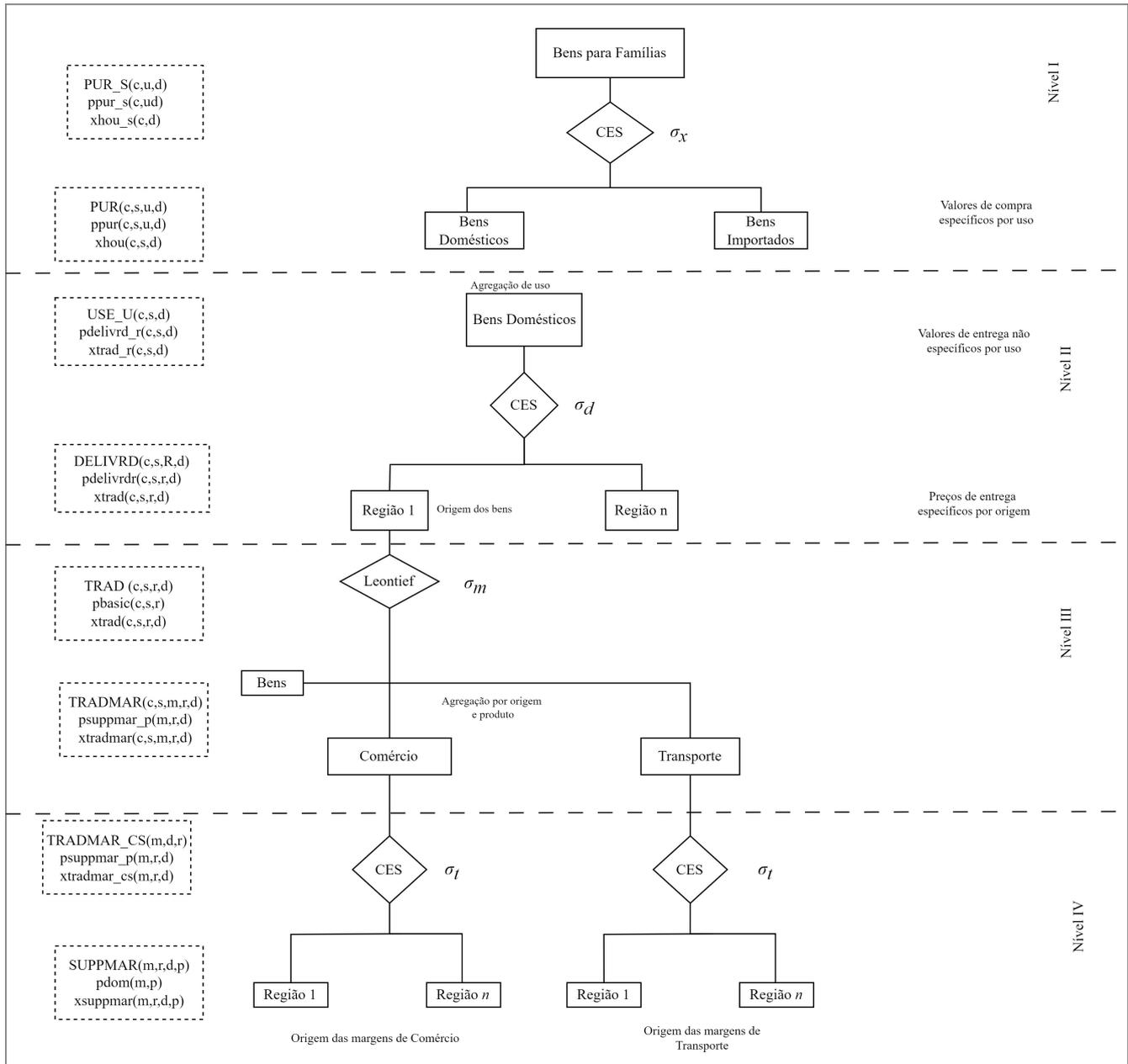
Nível III: Aborda a composição dos preços de bens. A proporção de cada compo-

---

<sup>1</sup> A derivação é detalhada no Anexo A

<sup>2</sup> A hipótese de Armington postula que bens de diferentes origens são considerados substitutos imperfeitos, significando que bens produzidos em diferentes países ou regiões são semelhantes, mas não idênticos Armington (1969)

Figura 3.1 – Mecanismo de Demanda por origens



Fonte: Adaptado de Souza (2022)

nente no preço final é fixa, seguindo uma função Leontief. Não se considera a possibilidade de substituição entre os custos de comércio e transporte. A influência dos custos de transporte é mais significativa para regiões distantes.

Nível IV: Define-se a origem das margens de transporte entre as regiões. Estas margens são distribuídas equitativamente entre a origem e o destino. A elasticidade ( $\sigma_t$ ), que pode ser de 0,5, sugere a capacidade dos transportadores de ajustar seus depósitos de armazenagem. As margens de comércio geralmente se concentram na região de destino,

com uma elasticidade próxima de zero. A mesma lógica de origem é aplicada a bens importados, considerando o porto de entrada como ponto de origem.

### **3.1.0.2 Função de Produção**

No modelo, os fatores primários são distribuídos por uma função do tipo CES<sup>3</sup>, conforme ilustrado na figura 3.2. Esta abordagem permite uma certa substituição entre capital, terra e trabalho, refletindo a realidade de que, embora haja uso conjunto desses fatores na produção, existe uma flexibilidade na proporção de cada um, influenciada pelo preço relativo e pela tecnologia disponível.

Da mesma forma, os insumos intermediários são modelados utilizando a função CES, aplicada a bens de diferentes setores e origens. Esta abordagem é fundamental para compreender como as variações nos preços relativos das commodities afetam as escolhas de insumos pelas empresas. Além disso, a função de transformação CET<sup>4</sup> é empregada para ilustrar como os produtos de um setor são convertidos em bens finais ou commodities para o consumo. Esta equação, comum em modelos de produção, descreve a demanda por insumos levando em conta tanto o efeito de substituição quanto o efeito renda.

### **3.1.0.3 Demanda por exportações**

A demanda internacional por bens domésticos é modelada utilizando um conjunto de elasticidades. Esta demanda global pelos produtos nacionais é influenciada pelo preço em moeda estrangeira e por fatores de deslocamento, geralmente tratados como exógenos ao modelo. Esses fatores são fundamentais para estabelecer o preço internacional dos produtos nacionais em cada categoria de bem no modelo. Tipicamente, as curvas de demanda por esses bens no mercado global apresentam uma relação inversa com os preços, caracterizando uma inclinação negativa.

### **3.1.0.4 Demanda por investimentos**

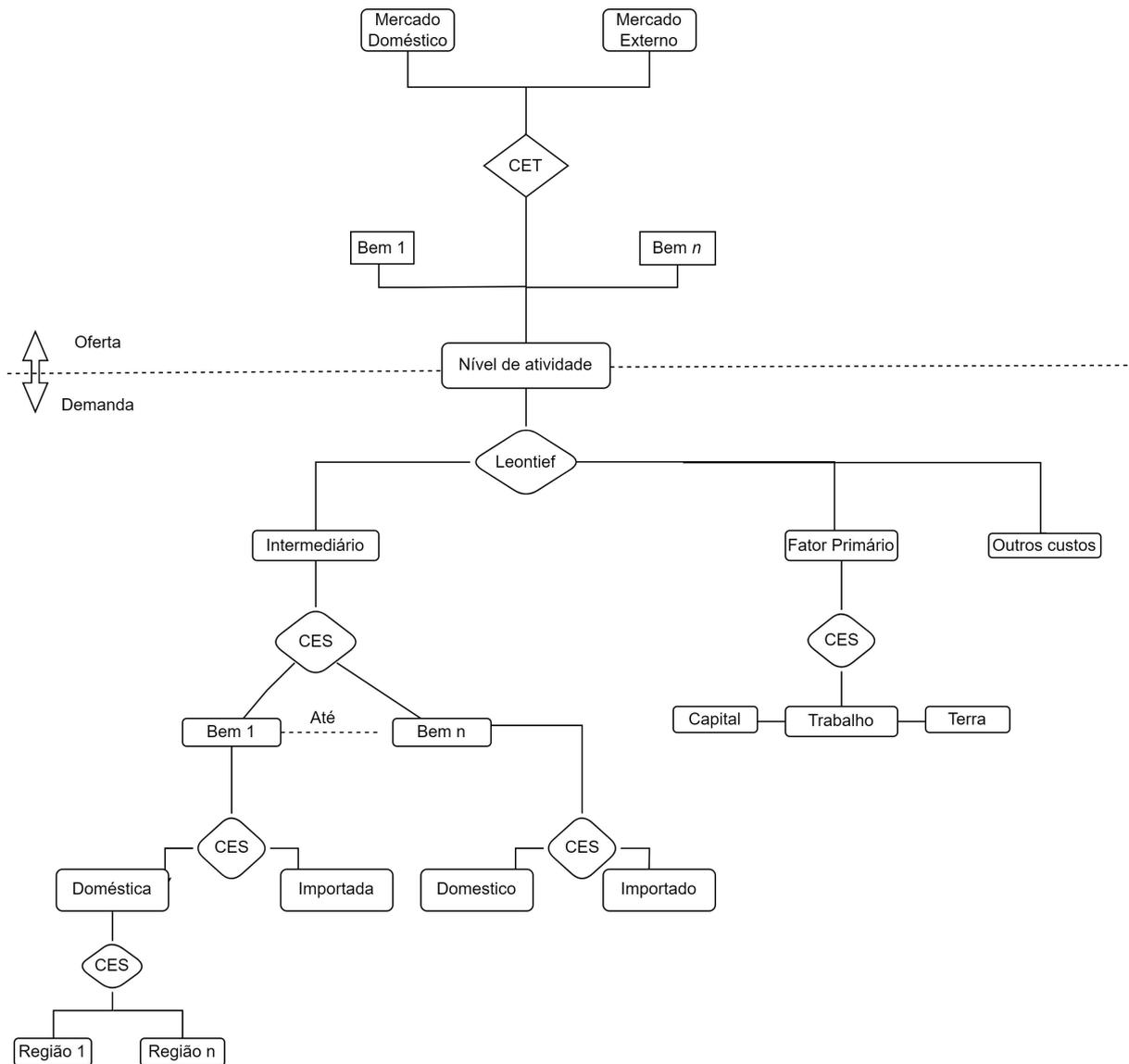
A demanda por investimentos e a formação bruta de capital fixo ocorrem por meio de um processo de minimização de custos, subordinado a uma estrutura de tecnologia hierarquizada em dois níveis. No primeiro nível, a combinação de bens de origem doméstica e importada é realizada através de uma função CES. No segundo nível, a produção de capital do setor é definida por um conjunto de insumos intermediários, que são agregados usando uma função do tipo Leontief.

---

<sup>3</sup> A derivação é detalhada no Anexo A

<sup>4</sup> A derivação é detalhada no Anexo A

**Figura 3.2 – Tecnologia de produção**



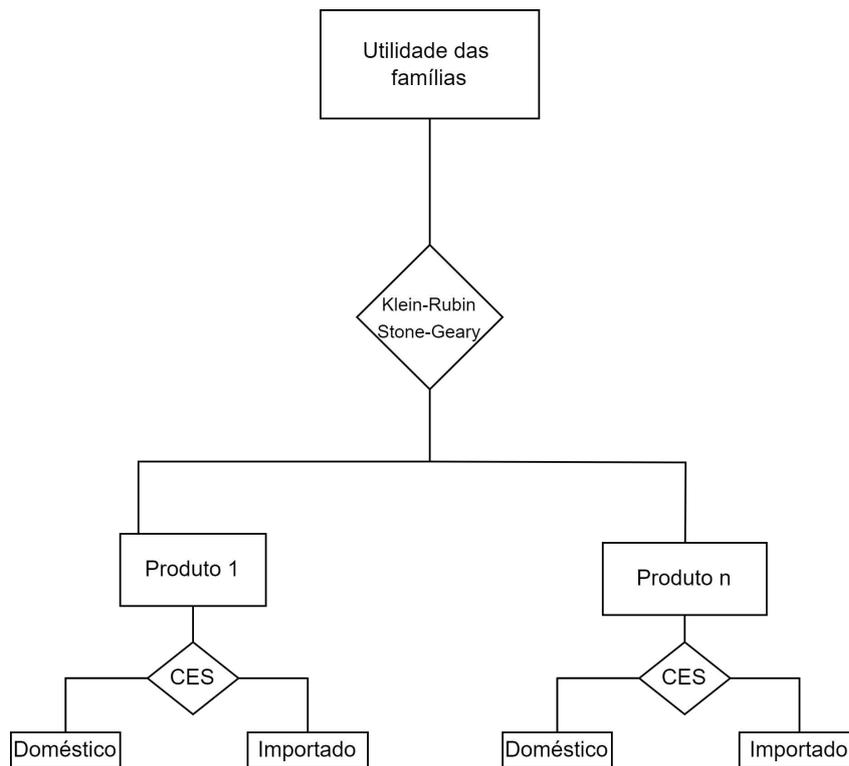
Fonte: Adaptado de Souza (2022)

### 3.1.0.5 Demanda das Famílias

O REGIA também modela o comportamento das famílias a nível regional, ilustrado na figura 3.3. A família representativa em cada região efetua escolhas de consumo entre bens produzidos internamente e aqueles importados, seguindo uma abordagem CES. As equações do modelo são baseadas em um processo de maximização de utilidade, organizado em dois níveis hierárquicos.

No primeiro nível, a decisão de substituição CES ocorre entre produtos domésticos e importados. No segundo nível, a demanda familiar é modelada usando um sistema híbrido

**Figura 3.3 – Demanda das Famílias**



Fonte: Adaptado de Carvalho (2014)

de preferências, que combina as metodologias CES e Klein-Rubin<sup>5</sup>.

### 3.1.0.6 Demanda do Governo e Variação de Estoques

No modelo em estudo, a demanda governamental é tratada de forma flexível, podendo ser afetada por variações no consumo privado real ou ser determinada de maneira exógena, independente das dinâmicas internas do modelo. Esta abordagem permite que a demanda do governo se ajuste conforme condições econômicas específicas ou políticas adotadas.

Os estoques são fixados de maneira exógena. O que cria uma relação direta entre mudanças nos níveis de estoque e as variações na produção doméstica das commodities. Assim, qualquer alteração na quantidade de produtos, sejam eles domésticos ou importados, destinados ao estoque, refletirá diretamente nas mudanças na produção desses produtos.

<sup>5</sup> Especificação de uma função utilidade que permite uma separação clara entre a escolha de diferentes categorias de bens. A função permite a análise de como mudanças nos preços ou na renda afetam a demanda por diferentes tipos de bens.

### 3.1.0.7 Mercado de Trabalho

O modelo integra um mecanismo dinâmico de ajuste no mercado de trabalho, que interliga o salário real, o emprego atual e o emprego projetado ou tendencial. Neste cenário, a taxa de desemprego é influenciada pelo nível de atividade econômica e, conseqüentemente, impacta o salário real. Se, em um período futuro  $t+1$ , o emprego observado exceder o emprego tendencial (definido exogenamente) por uma porcentagem  $x$ , haverá um aumento proporcional no salário real de  $\lambda x\%$ .

### 3.1.0.8 Dinâmica do Investimento e Acumulação de Capital

Os modelos dinâmicos superam os estáticos ao incorporar a acumulação de capital ao longo do tempo. A acumulação e a alocação do capital são regidas por regras predefinidas, considerando taxas de depreciação e retorno. O crescimento do capital industrial no ano é impulsionado pela disposição dos investidores em alocar recursos, influenciado pela expectativa de retorno (SOUZA, 2022) .

O modelo utiliza uma dinâmica recursiva para descrever a acumulação e alocação de capital, tanto setorial quanto regional. A formulação matemática é expressa por:

$$K_{i,t+1} = K_{i,t}(1 - D_{i,t}) + I_{i,t} \quad (1)$$

onde  $K_{i,t}$  é o capital no setor  $i$  no período  $t$ ,  $D_{i,t}$  a taxa de depreciação, e  $I_{i,t}$  o investimento no período  $t$  no setor  $i$ . A taxa de retorno do capital depende desses valores.

A regra de investimento, seguindo modelos dinâmicos de Equilíbrio Geral, é dada por:

$$E_t[R_{i,t}] = \frac{-1 + E_t(Q_{i,t+1})C_{i,t}}{1 + r} + \frac{(1 - D_i)E_t(Q_{i,t+1})C_{i,t}}{1 + r} \quad (2)$$

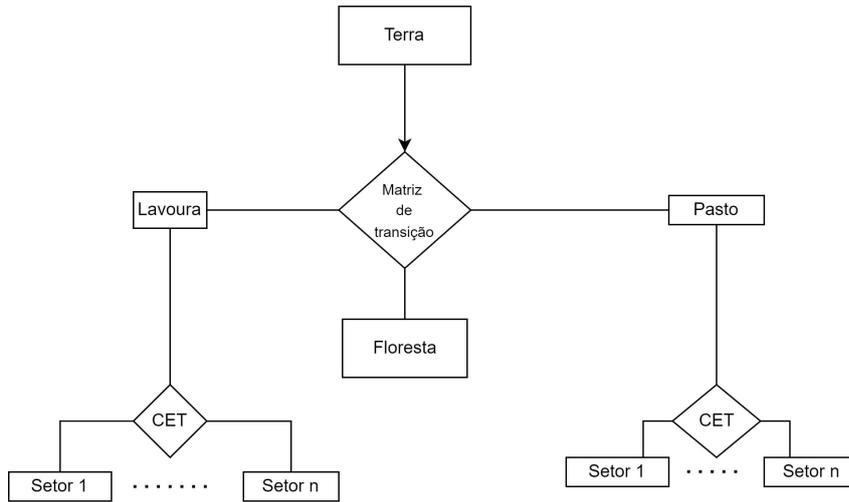
$$E_t[R_{i,t}] = \frac{f_{i,t}K_{i,t+1}}{K_{i,t} - 1} \quad (3)$$

Aqui,  $E_t$  representa a expectativa no ano  $t$ ,  $R_{i,t}$  a taxa de retorno,  $Q_{i,t+1}$  o retorno sobre capital no ano  $t + 1$ ,  $r$  a taxa de juros,  $C_{i,t}$  o custo por unidade de capital, e  $f_{i,t}$  uma função não-decrescente. Estas equações determinam a taxa de retorno esperada e a relação oferta-investimento.

### 3.1.0.9 Módulo de uso da terra

O modelo REGIA se destaca pela integração de módulos de uso da terra considerando a terra um fator primário junto ao capital e ao trabalho. A terra é usada entre setores, com a alocação sendo feita individualmente para cada região.

**Figura 3.4 – Distribuição do fator terra**



Fonte: Adaptado de Carvalho (2014), Souza (2022)

Existem quatro categorias de uso da terra: Lavoura, Pastagem, Floresta Plantada e Floresta Natural. Cada categoria tem uma produção setorial específica, distribuída entre os setores do modelo. A alocação da terra entre diferentes setores agrícolas é realizada com base na remuneração diferenciada, utilizando uma função CET. A equação para esta distribuição é:

$$x_{ir} = x_r + \alpha \ln(p_{ir} - p_r) \quad (4)$$

onde  $x_{ir}$  representa a mudança percentual na demanda por terra no setor  $i$  na região  $r$ . O modelo garante que a oferta total de terra seja constante, mantendo o equilíbrio no mercado de terra.

A estrutura da oferta de terra permite a mobilidade entre diferentes categorias anualmente. Esta mobilidade é guiada por uma matriz de transição, que reflete a conversão de terras mais produtivas em áreas agrícolas.

A oferta de terra é separada em categorias como Lavoura, Pasto, Floresta Plantada e Floresta Natural e modelada para cada região. O crescimento anual percentual destas categorias é determinado pela matriz de transição, conforme a equação:

$$N_{k,t+1} = 100 \times \frac{\Delta N_{k,(t+1,t)}}{N_{k,t}} \quad (5)$$

A alocação da terra para o próximo ano é distribuída usando um mecanismo CET, baseado na variação da remuneração da terra. A matriz de transição expressa as probabilidades de conversão de um tipo de uso da terra para outro, modeladas em função da variação da rentabilidade de cada tipo de terra. As equações relevantes são:

$$S_{pk,r} = \mu_{p,r} \cdot L_{pk,r} \cdot P_{q,r}^{\beta_{\text{ind}}} \cdot M_{k,r} \quad (6)$$

$$S_{pk,r} = \frac{L_{pk,r} \cdot P_{k,r}^{\beta_{\text{ind}}} \cdot M_{k,r}}{\sum_k L_{pk,r} \cdot P_{k,r}^{\beta_{\text{ind}}} \cdot M_{k,r}} \quad (7)$$

Onde  $S_{pk,r}$  é a participação da terra do tipo  $p$  que se transforma em  $k$  na região  $r$ . As constantes e parâmetros como  $\mu_{p,r}$ ,  $L_{pk,r}$ ,  $P_{q,r}^{\beta_{\text{ind}}}$ , e  $M_{k,r}$  representam variáveis de ajuste, calibração, remuneração unitária média e deslocamento, respectivamente.

A área de terra de cada tipo no ano  $t + 1$  é dada por:

$$N_{k,t+1} = \sum_k S_{pk} N_{kt} \quad (8)$$

Este modelo implica que, a menos que os preços mudem, a distribuição da terra permanece constante. A matriz de transição e a oferta de terras são ajustadas anualmente.

### 3.1.1 Base de Dados

A tabela 3.1 apresenta a desagregação setorial do modelo. Que divide a economia em 52 setores distintos. Esta divisão abrange uma ampla gama de atividades econômicas, desde a produção agrícola básica, como Arroz, Trigo e Milho em Grão, até setores mais complexos e industrializados, como Eletrônicos e Maquinas Equipamentos. Setores agrícolas incluem culturas temporárias e permanentes, refletindo a diversidade da produção agrícola, como Fumo em Folha, Cana de Açúcar e Café em Grão. Além disso, o modelo contempla a produção animal, incluindo Bovinos, Suínos e Aves, bem como a produção de derivados, como Leite e Ovos. Setores de extrativismo, como Silvicultura e Extrativa Vegetal, também são destacados, assim como a indústria de transformação, serviços e setores públicos, ilustrando a complexidade e interconexão da economia.

A base de dados para o modelo foi desenvolvida utilizando uma variedade de fontes, com o objetivo de regionalizar e distribuir o valor agregado entre as economias

**Quadro 3.1 – Composição Setorial do Modelo REGIA**

Nº	Setor	Nº	Setor
1	Arroz	27	Carne Suino
2	Trigo	28	Carne Aves
3	Milho em Grao	29	Pescado Industrial
4	Alg Fib Temp	30	Leite ResPas
5	Cana de açúcar	31	Outros Laticínios
6	Soja em Grao	32	Rações Animais
7	Mandioca	33	Alimentos e Bebidas
8	Fumo em Folha	34	Vestuários Texteis
9	Frutas Cítricas	35	Calçados e Couro
10	Feijão em Grão	36	Produção Mandeira
11	Outras Tempor	37	Celulose
12	Laranja	38	Ind Diversas
13	Café em Grão	39	Etanol e Bio
14	Out Culturas Permantes	40	Prod QuiIno
15	Bovinos	41	Adubo e Fertilizantes
16	Out Animais	42	Defensivos Agrícolas
17	Leite Vaca	43	Eletrônicos
18	Leite Outros	44	Maquinas EquipAuto
19	Suínos	45	Serviços
20	Aves	46	EletGasOut
21	Ovos	47	Construção
22	Silvicultura	48	Comércio Atacado e Varejo
23	Extrativa Vegetal	49	Transporte de Carga
24	Pesca Agric	50	Transporte Out
25	Ind Extrativa	51	Int Financeiras e Seguros
26	Carne de Boi	52	Set Publico

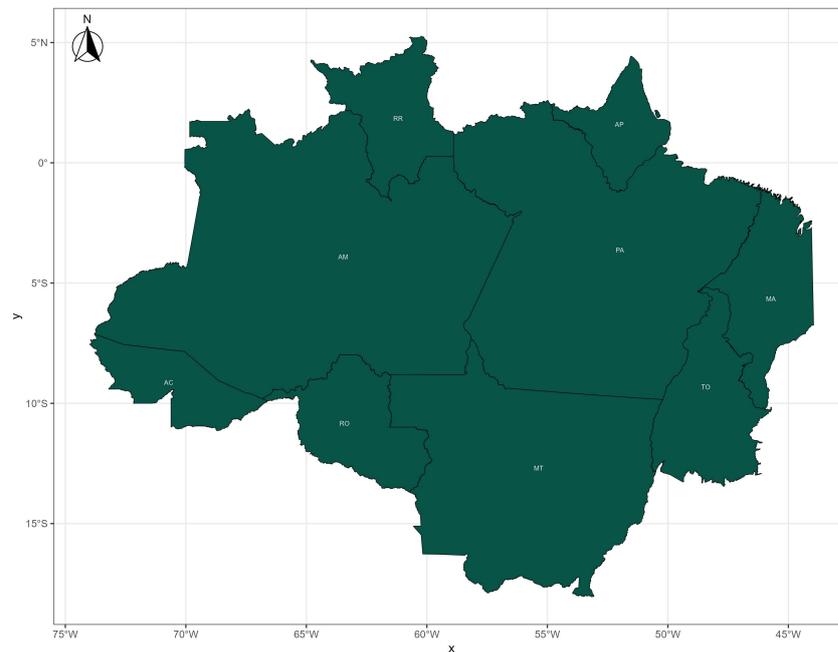
Fonte: Elaboração própria com base no REGIA.

envolvidas. Esta abordagem emprega a metodologia proposta por Horridge (2006), que se fundamenta no uso de várias ferramentas e dados, incluindo a Matriz Insumo-Produto e os Sistemas de Contas Regionais, garantindo assim que os resultados sejam consistentes com o sistema de contas nacionais. Maiores detalhes de todo o procedimento de regionalização do modelo, pode ser encontrado em Carvalho (2014), Souza (2022)

O gráfico 3.5 apresenta as regiões em análise. A escolha da Amazônia Legal para a modelagem e simulação no contexto da bioeconomia se justifica devido à sua relevância ambiental em termos de área de floresta, especialmente no que diz respeito ao uso sustentável dos recursos florestais e agrícolas.

A tabela 3.1 apresenta dados referentes aos estados da Amazônia Legal do Brasil, destacando informações relacionadas à área total, desmatamento total, floresta total, e as

**Figura 3.5 – Regiões Consideradas nas Simulações**



Fonte: Elaboração própria.

porcentagens de desmatamento e área florestal em relação à área total. Os estados, incluem o Acre (AC), Amazonas (AM), Amapá (AP), Pará (PA), Rondônia (RO), Roraima (RR) e Tocantins (TO), Mato Grosso (MT) e parte do Maranhão (MA).

O desmatamento em relação à área total, chama atenção no Maranhão (MA), atingindo 45.17%. Esta situação é seguida de perto por Mato Grosso (MT) e Tocantins (TO), com taxas consideráveis de 36.39% e 32.62%, respectivamente. Esses números ressaltam uma preocupante perda de vegetação nativa, com implicações diretas para a biodiversidade e equilíbrio ecológico nestas regiões.

Em contraste, Amazonas (AM) e Amapá (AP) apresentam as menores taxas de desmatamento entre as UFs avaliadas, com 2.26% e 1.94%, respectivamente. Estes dados indicam uma preservação mais efetiva das áreas florestais, crucial para a manutenção dos serviços ecossistêmicos e da biodiversidade.

Quanto à cobertura florestal, o Amazonas se destaca positivamente com a maior porcentagem de sua área total coberta por florestas, totalizando 91.31%. Por outro lado, o Maranhão, apesar de ter a maior taxa de desmatamento, ainda mantém um pouco mais da metade de seu território como área florestada (51.27%), um reflexo da complexidade das dinâmicas de uso da terra e conservação.

A comparação direta entre as áreas desmatadas e as florestas remanescentes nas

**Tabela 3.1 – Percentual de Área de Floresta e Desmatamento Total na Amazônia Legal - 2020**

UF	area total (ha)	desmatamento total (ha)	floresta total (ha)	% desmatado	% floresta
AC	3,773,449	482,970	3,286,222	12.80	87.09
AM	35,855,528	811,254	32,738,672	2.26	91.31
AP	3,265,632	63,367	2,537,160	1.94	77.69
MA	7,580,478	3,424,211	3,886,882	45.17	51.27
MT	20,775,325	7,560,893	11,990,420	36.39	57.71
PA	28,534,398	5,308,926	20,724,374	18.61	72.63
RO	5,462,247	1,655,804	3,213,676	30.31	58.83
RR	5,138,660	216,156	3,468,908	4.21	67.51
TO	6,385,927	2,083,359	4,205,337	32.62	65.85

Fonte: Elaboração própria com dados do PRODES

UFs revela contrastes ainda mais marcantes. Mato Grosso e Maranhão, com grandes extensões de terras desmatadas 7,56 ha e 3,42 ha (milhões), respectivamente, demonstram o impacto substancial das atividades humanas em seus ecossistemas. Em contrapartida, mesmo com percentuais de desmatamento relativamente elevados, Acre (AC) e Rondônia (RO) conservam proporções significativas de suas florestas, com 87.09% e 58.83% de cobertura florestal, respectivamente.

**Tabela 3.2 – Valor da produção dos setores que englobam os produtos da bioeconomia para estados do Norte (em R\$ milhões de 2015) – Modelo REGIA**

Estados	Outras lavouras permanentes	Extração e produção florestal
AC	11.62	65.33
AM	1155.87	334.90
AP	67.40	134.88
PA	3334.89	1784.51
RO	107.26	50.58
RR	52.47	30.19
TO	4.66	46.17

Fonte: Elaboração própria com dados do IBGE

O conceito de bioeconomia é amplo e multifacetado, o que impõe limitações sobre como defini-lo. Dado este contexto, nesta dissertação, assumimos um conceito mais restrito e consideramos que no modelo REGIA, os produtos associados à bioeconomia podem ser agrupados em dois setores principais: "Outros produtos da lavoura permanente" e "Exploração e produção vegetal"<sup>6</sup>. Estes setores compreendem uma gama de produtos essenciais para a economia regional e a sustentabilidade ambiental, valorizando a floresta

<sup>6</sup> Os setores de extrativismo vegetal e Outras Lavouras Permanentes envolvem a coleta de produtos derivados de plantas em habitats selvagens, diferindo da agricultura convencional. Essas atividades incluem a colheita de frutos, sementes, madeira, resinas e outros produtos de florestas naturais (IBGE, 2020).

em pé. Entre eles, destacam-se itens como Açaí-Fruto, Cacau-Amêndoa, Castanha do Pará, Açaí-Palmito, Cupuaçu-Fruta, Urucum, Bacuri, Mel e Pupunha. A categorização desses produtos no modelo REGIA é crucial para entender como a gestão desses recursos impacta o equilíbrio econômico e ambiental. A tabela 3.2 reporta o valor da produção dos setores que englobam produtos da bioeconomia para os estados do Norte, que serão objeto das simulações.

A Tabela 3.1 detalha o uso da terra (em milhões de hectares) para atividades agrícolas, pecuárias, silviculturais e extrativas nas Amazônia Legal. A distribuição do uso da terra nas atividades setoriais da Amazônia Legal é desigual, como ilustrado pelos dados da tabela. No setor de Café em Grão, destaca-se Rondônia com uma área de 0.077 milhões de hectares, enquanto os demais estados apresentam um uso bem mais modesto desta cultura. Outros Permanentes, que abrangem uma gama de culturas duradouras, encontram-se concentrados no Pará, ocupando uma área de 0.83 milhões de hectares. A Extração Vegetal mostra sua maior incidência no Amazonas, com 1.07 milhões de hectares, ressaltando a riqueza de recursos naturais exploráveis da região.

O setor Bovino prevalece em Mato Grosso, onde uma vasta extensão de 20.34 milhões de hectares é dedicada à pecuária, evidenciando a importância da atividade agropecuária nesse estado. No que se refere à Silvicultura, o Maranhão se sobressai com 0.39 milhões de hectares.

O cultivo de Milho em Grão é mais notável no Mato Grosso, com 1.53 milhões de hectares, refletindo o status do estado como um centro agrícola significativo. Assim como a produção de Soja em Grão tem forte presença tanto no Mato Grosso, com 6.63 milhões de hectares, quanto no Maranhão, com 0.86 milhões de hectares. Outros Animais e Outras Culturas Temporárias têm participações substanciais em vários estados, com o Pará e o Maranhão liderando esses setores com 5.69 e 2.35 milhões de hectares, respectivamente. Estes dados salientam não apenas a diversidade produtiva da região, mas também suas especializações e potenciais para desenvolvimento futuro nos diversos setores da bioeconomia.

A figura 3.6 demonstra a composição dos custos de fatores entre terra, capital e trabalho na Amazônia Legal. Em todos os estados, o custo do trabalho (LAB) é o componente predominante dos custos primários, variando de 56.5% no Mato Grosso a 69.4% no Acre. Este alto custo reflete uma economia intensiva em mão de obra.

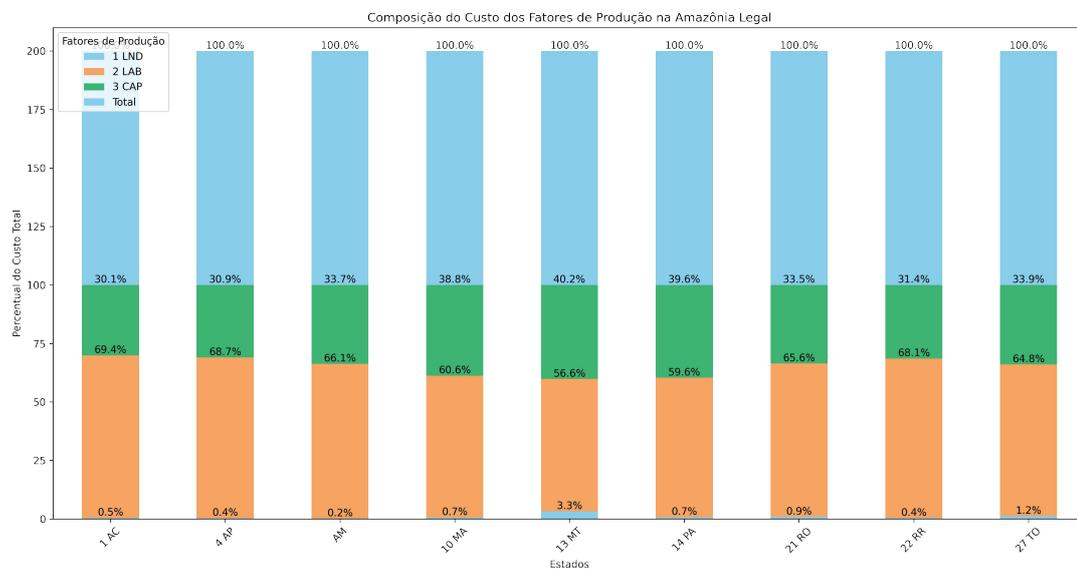
O custo do capital (CAP), embora menor do que o do trabalho, é significativo, indicando a presença de investimentos em máquinas, equipamentos e infraestrutura. O Mato Grosso mostra o maior percentual de custo de capital com 40.1%, o que pode estar

**Tabela 3.3 – Uso da Terra Setorial (em milhões de hectares)**

Setor	AC	AP	AM	MA	MT	PA	RO	RR	TO
Café em Grão	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.08	0.00	0.00
Lavouras Perman	0.00	0.02	0.19	0.06	0.03	0.83	0.03	0.02	0.00
Bovinos	1.35	0.00	0.28	4.77	20.35	9.87	5.31	0.82	8.13
Extr Vegetal	0.66	0.22	1.08	0.91	1.89	2.10	0.34	0.15	0.50
Silvicultura	0.00	0.00	0.01	0.40	0.97	0.45	0.03	0.00	0.19
Milho em Grão	0.01	0.00	0.00	0.27	1.53	0.07	0.07	0.00	0.11
Algodão e Fibras Temp	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00
Cana açúcar	0.00	0.00	0.01	0.07	0.24	0.00	0.00	0.00	0.06
Soja Grao	0.00	0.00	0.00	0.87	6.64	0.32	0.23	0.03	0.70
Arroz e Trigo	0.00	0.00	0.00	0.05	0.06	0.01	0.02	0.01	0.14
Out Animais	0.24	0.44	1.13	2.36	3.64	5.69	1.15	0.38	1.26
Out Lavouras Temp	0.09	0.04	0.17	0.31	0.17	0.58	0.07	0.05	0.21

Fonte: Elaboração própria com dados do REGIA

associado a uma economia mais mecanizada e a investimentos maiores em agroindústria e outros setores de capital intensivo.

**Figura 3.6 – Custo de Fatores**

Fonte: Elaboração própria com dados do modelo.

Por outro lado, o custo da terra (LND) é o menor dos três, com o maior valor sendo observado no Mato Grosso (3.2%). Isso pode ser resultado da vasta disponibilidade de terra na região, o que geralmente leva a custos relativamente baixos. No entanto, esses custos podem ser subestimados devido a externalidades, como a degradação ambiental, que não são refletidas diretamente nos custos de produção.

### 3.1.2 Parâmetros e Elasticidades

O modelo REGIA integra diversos parâmetros comportamentais e elasticidades, geralmente derivados de estudos anteriores na literatura devido à limitada disponibilidade de dados para estimação direta. Estes parâmetros incluem elasticidades de substituição entre fatores primários e elasticidades de gasto-consumo das famílias. A adoção de uma elasticidade de substituição Armington imperfeita permite a substituição entre produtos domésticos e importados. Os fatores primários - terra, trabalho e capital - são substituíveis seguindo uma função CES.

**Quadro 3.2 – Elasticidades do Modelo REGIA**

Parâmetros	Descrição	Dimensão	Valor
DPRC	Taxa de depreciação	IND	0,05
QRATIO	Razão investimento/capital (máxima/tendência)	IND e DST	4
RNORMAL	Razão investimento/capital (máxima/tendência)	IND e DST	12,50%
GROTREND	Razão Investimento/Capital (tendência)	IND e DST	0,09 a 0,9
ALPHA	Elasticidade do investimento	IND e DST	5
SIGMA1LAB	Elasticidade do investimento	IND	0,04
SIGMA1PRIM	Elasticidade do investimento	IND	0,25 a 1
ARMSIGMA	Elasticidade do investimento	IND	0,27 a 1,56
SIGMADOMDOM	Elasticidade do investimento	IND	0,002 a 5,3
SIGMAMAR	Elasticidade do investimento	MAR	0,2
FRISCH	Elasticidade do investimento	DST	-2,48
EPS	Elasticidade do investimento	COM	0 a 1,85
SIGMAOUT	Elasticidade do investimento	IND	0,5
EXPLAST	Elasticidade da demanda por exportações	IND	0,8 a 4,3
$\alpha_x$	Mobilidade da terra entre os usos agrícolas	TERRA	0,5
SLND	Elasticidade de oferta da terra	TERRA	0,5

Fonte: Construção própria com base nas estimativas da literatura

Estes parâmetros, válidos em todas as regiões do modelo, foram calibrados com base em estudos de Faria e Haddad (2017), Kume e Piani (2013), Tourinho et al. (2007) e Hoffmann (2010). A calibragem envolveu ajustes às estruturas setoriais do REGIA e a ponderação das elasticidades pela participação de cada produto no valor total da produção do seu setor.

A demanda das famílias no modelo é estruturada com base no parâmetro de Frisch (1959), que indica a sensibilidade da utilidade marginal da renda. Este parâmetro é uniforme para todos os setores e foi estimado em -2,48 (DOMINGUES et al., 2009). As elasticidades de substituição de margens (SIGMAMAR) são fixadas em 0,2. O modelo também considera um parâmetro que mede a mobilidade da terra entre usos agrícolas (lavoura, pasto, floresta plantada) em resposta a mudanças na remuneração. A elasticidade

da oferta de terra (SLND) é uniforme em todas as regiões, visto que as variações são marginais e impactam minimamente os resultados das simulações.

## 4 SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Este capítulo objetiva analisar os impactos da política de desmatamento zero na Amazônia Legal e incentivo à setores ligados à bioeconomia dos estados da região Norte do Brasil. Embora os resultados para o resto do país tenham sido computados nos modelos, eles não serão discutidos na análise, pois efetivamente não apresentam choques nas simulações. Os cenários focalizam a Amazônia Legal e a Região Norte, dada a relevância particular das regiões, termos de políticas ambientais para a Amazônia e para o setor extrativo, em razão de sua extensa área florestal.

Para esta análise, empregou-se o modelo REGIA em duas simulações distintas. Essas simulações visam explorar dois cenários principais: (1) a implementação de uma política de Desmatamento Zero a partir de 2030 e (2) um aumento da produção em 100% de setores ligados à bioeconomia e à manutenção da floresta em pé, como Açaí-Fruto, Cacau-Amêndoa, Castanha do Pará, Açaí-Palmito, Cupuaçu- Fruta, Urucum, Bacuri, Mel e Pupunha, seja através de políticas públicas de incentivo ou mesmo aumento da demanda pelos produtos. No modelo são dois setores que incorporam estes produtos: Outras Lavouras permanentes e, notadamente, Extrativismo vegetal. O choque seria compatível com a produção dobrando de tamanho na região. Embora existam os efeitos de dinâmica recursiva, como o modelo é linearizado, pode-se obter aproximações lineares para diferentes intensidades de choques, conforme a avaliação do pesquisador: 50% ou 200% de aumento na produção dos setores, por exemplo, a depender da projeção que se queira realizar.

Outro ponto importante a ser mencionado é que embora o setor de Outras Lavouras Permanentes contenha produtos mais amplos dos que os mencionados anteriormente, decidiu-se incluí-lo nas simulações, para visualizar o efeito adicional de incentivo ao setor, mesmo que apenas pequena parte dele possa se referir a produtos da bioeconomia.

Assim, quando for mencionado "cenário de bioeconomia" refere-se a conjunção desses dois choques: desmatamento zero na Amazônia Legal e incentivo a setores ligados à bioeconomia na região Norte do país. Para o cenário foi utilizada a base de dados atualizada com os dados observados até 2020, permitindo simulações quinquenais a partir de 2021.

A implementação de limitações ao desmatamento, aliada ao fomento dos setores relacionados à bioeconomia, pode resultar em determinadas consequências causais. Quando a disponibilidade de terra é restringida, observa-se um incremento no valor da terra, elevando assim os custos de produção agrícola e pecuária. Isso repercute na produção

dessas áreas. Devido ao caráter inter-estadual do modelo, pode ocorrer uma redistribuição da produção para áreas sem tais restrições e com maior eficiência na utilização da terra.

É importante notar que regiões mais dependentes da agropecuária e focadas em agroexportação são mais suscetíveis a essas políticas. Por outro lado, estímulos nos setores da bioeconomia podem impactar positivamente indicadores macroeconômicos regionais, através do aumento do emprego e dos investimentos. O crescimento na produção pode também elevar a renda e o consumo das famílias. Os efeitos globais dessas causalidades, diretas e indiretas, serão moldados pelos diferentes impactos aplicados, pelas limitações na oferta de terra e pela configuração produtiva de cada região.

#### **4.0.1 Fechamento do modelo**

Os modelos EGC utilizam mecanismos de dinâmica recursiva para uma abordagem temporal explícita. Após choques iniciais, as variáveis endógenas se adaptam durante o período analisado, tanto no cenário base como no de políticas, este último incorporando choques específicos de simulação. Nos modelos EGC, a fase de fechamento é crucial, definindo o cenário macroeconômico para simulações. Esse processo envolve escolher variáveis endógenas e exógenas, com base em teorias econômicas sobre ajustes e respostas a políticas. A natureza do fechamento do modelo muda conforme a teoria econômica aplicada e os objetivos específicos da projeção (DOMINGUES, 2002).

O modelo REGIA, dinâmico e regional, emprega fechamento de dinâmica recursiva, permitindo a acumulação de capital e ajustes no mercado de terras com base nos diferentes usos da terra. Considera-se o emprego nacional como exógeno e o salário real nacional como endógeno, promovendo a mobilidade inter-regional do trabalho de acordo com os diferenciais salariais. O investimento nacional, endógeno, é a soma dos investimentos setoriais, variando conforme o estoque de capital, movendo-se para setores mais lucrativos com taxas de retorno fixas. O consumo real das famílias é endógeno, baseado na variação do PIB regional, e o consumo do governo é exógeno (SOUZA, 2022; CARVALHO, 2014).

No cenário de referência, de 2015 a 2020, macroagregados como PIB, investimento, consumo das famílias, gastos governamentais, exportações e emprego, além das taxas de desmatamento e exportação setorial, são considerados exógenos. De 2021 a 2040, mantém-se a exogeneidade de variáveis macroeconômicas, taxas de exportação setorial e crescimento populacional, mas as taxas de desmatamento tornam-se endógenas. No cenário de política, as variáveis macroeconômicas são endógenas, com o emprego definido exogenamente. A dinâmica recursiva dos modelos EGC permite a adaptação temporal das variáveis endógenas após choques iniciais em ambos os cenários. O consumo nas regiões está ligado à renda regional, com a propensão marginal ao consumo definida exogenamente.

Os gastos governamentais refletem o consumo familiar em níveis nacional e regional. A expansão agrícola via desmatamento é restrita, especialmente em áreas não florestais, onde a disponibilidade de terra é um fator exógeno.

#### 4.0.2 Cenário de Referência

O cenário de referência projeta a trajetória tendencial de crescimento da economia. Esse cenário possibilita visualizar as trajetórias dos indicadores econômicos ao longo do tempo e o impacto dos choques de políticas nessa trajetória. A diferença entre o cenário de referência e o cenário de política representa, o efeito adicional da imposição da política de desmatamento zero e bioeconomia. Os resultados do modelo são, em geral, apresentados como o desvio acumulado de determinada variável em relação ao cenário contrafactual, ou de referência.

O cenário de referência atualiza os dados observados de 2015 a 2020 a partir dos dados macroeconômicos observados do IBGE (4.1) e das taxas de desmatamento observadas. Os dados do incremento do desmatamento foram retirados da plataforma TerraBrasilis do INPE (Instituto Espacial de Pesquisas Espaciais) e dos relatórios oficiais do Instituto SOS Mata Atlântica. Na projeção, a partir de 2021, assume-se um crescimento da economia nacional de 2% a.a. (no PIB real, consumo das famílias, gastos do governo), crescimento das exportações setoriais de acordo com as projeções do MAPA (2019) e OCDE-FAO (2015) e crescimento populacional. Em todo período, considera-se um crescimento da produtividade da terra de 1% a.a. e do trabalho de 0,8% a.a.. Nas projeções, o desmatamento passa a ser endógeno, determinado pelo crescimento da economia de acordo com os mecanismos de uso da terra do modelo.

**Tabela 4.1 – Dados observados do Cenário de Referência para 2015 a 2020 (Variação % anual)**

Indicadores	2016	2017	2018	2019	2020
Consumo das famílias	-3,80%	2,00%	2,10%	1,80%	-5,50%
Investimento real	-12,10%	-2,60%	3,90%	2,20%	-0,80%
Consumo do governo	0,20%	-0,70%	0,40%	-0,40%	2,00%
Volume das Exportações	0,90%	4,90%	4,00%	-2,50%	-1,80%
PIB real	-3,30%	1,30%	1,30%	1,10%	-4,10%
Crescimento População	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%

Fonte: Elaboração própria com base em IBGE

O módulo de uso da terra do modelo apresenta uma categoria de terra que engloba as áreas de Florestas Naturais e Demais Usos. Desse modo, a taxa de desmatamento incorporada no Cenário de Referência foi calculada como sendo o percentual de incremento

do desmatamento divulgado pelo INPE sobre a categoria de floresta natural e demais usos do modelo REGIA.

### 4.0.3 Resultados Macroeconômicos

Nesta subseção tem-se os resultados macroeconômicos associados à política de bioeconomia, dado por choques no setor extrativo vegetal e de outras lavouras permanentes. Segundo a estrutura do modelo, a política de Desmatamento Zero restringe o aumento de terras para agricultura, um processo geralmente realizado à custa do desmatamento de florestas naturais. Assim, busca-se compreender o impacto dessa política combinada com um choque de 100% sobre os dois principais setores de produtos ligados à bioeconomia.

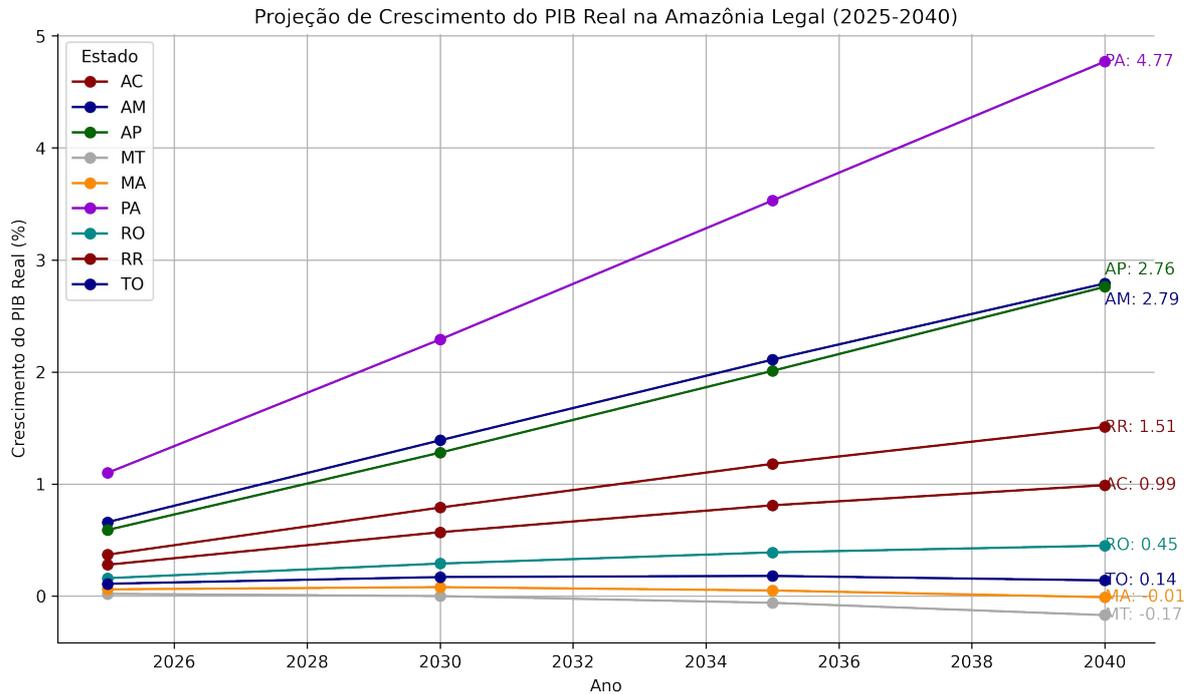
Na Figura 4.1, observa-se as projeções regionais de crescimento do PIB real em termos do desvio acumulado em relação ao cenário de referência. Pode-se identificar quatro agrupamentos distintos neste cenário. O primeiro, constituído exclusivamente pelo estado do Pará. Os resultados indicam que o cenário de bioeconomia (desmatamento zero e incentivo a setores), teria um efeito adicional de crescimento real no PIB de até 4,7% no estado em comparação com um cenário sem a política de bioeconomia. Mesmo considerando restrições do uso da terra dos setores agropecuários no estado, o incentivo à produção de setores ligados à bioeconomia compensaria o efeito negativo de menor produção dos setores agropecuários. O resultado no Pará tende a ser mais significativo pelo maior peso dos setores extrativos na região, se comparado aos demais estados da Amazônia Legal.

Os números do segundo grupo, por seu turno, formado por Amapá e Amazonas, projetam um crescimento similar, de 2,76% e 2,7%, respectivamente. Já o terceiro grupo inclui Roraima, Rondônia e Acre, com crescimentos mais modestos, de 1,51%, 0,45% e 0,99%, respectivamente. Por fim, o último grupo é composto por Tocantins (0,45%), Maranhão (0,01%) e Mato Grosso (-0,017%). Este impacto reduzido pode ser explicado pela menor área de cobertura florestal nesses estados, limitando os benefícios da produção bioeconômica e destacando o papel da restrição de oferta de terra nessas economias, notadamente no Mato Grosso.

A tabela 4.2 reporta os resultados macroeconômicos do consumo das famílias, Consumo do Governo e Emprego Agregado para Amazônia Legal. Os valores são apresentados em termos acumulados de 2025 à 2040, em relação ao cenário base. Cabe destacar que estes resultados representam desvios em relação a um cenário em que a política não fosse implementada, e números negativos não devem ser interpretados como recuos absolutos nos indicadores, e sim relativos a um cenário tendencial da economia.

Os resultados no mercado de trabalho espelham a importância da extensão de

**Figura 4.1 – Impacto sobre o PIB Real dos estados da Amazônia Legal - desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2025-2040**



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

florestas naturais nos estados. A migração da força de trabalho em busca de salários reais mais elevados é influenciada pelos ganhos de produtividade em outras regiões. Neste contexto, Pará e Amapá se destacam com a maior dinâmica no mercado de trabalho, acumulando crescimentos de 2,83% e 2,04% em 2040, respectivamente. Em contrapartida, Rondônia e Tocantins exibiriam crescimento mais modesto no emprego, com expansões de 0,41% e 0,28%, respectivamente, em relação a um cenário em que a política de bioeconomia não ocorresse. Já nos estados do Maranhão (MA) e Mato Grosso (MT) os cenários são divergentes, com um ligeiro aumento no emprego de 0,12% para MA, enquanto MT se manteria estável, sem variação significativa no emprego.

Ao avaliar o consumo das famílias, um indicador crucial para a demanda de produtos bioeconômicos, observa-se um incremento considerável em relação ao cenário base. Existe uma variação marcante no consumo doméstico entre os estados, evidenciando respostas distintas ao choque de política. Especificamente, o Amapá teria um aumento acumulado de 2,11%, seguido por Pará com 2,9% e Roraima com 1,29%, enquanto o Amazonas experimentaria um desvio de 1,6% em 2040, em relação ao cenário de referência. Em contraste, Tocantins e Rondônia exibiriam aumentos mais moderados, de 0,35% e 0,48%, respectivamente, no contexto regional. Maranhão e Mato Grosso exibem um crescimento mais tímido, com apenas 0,19% e 0,07% de aumento no consumo das famílias,

**Tabela 4.2 – Impacto sobre Indicadores Macroeconômicos dos estados da Amazônia Legal - 2025-2040**

UF	Cons.Famílias	Investimento	Cons.Gov	Emprego.Agreg
AC	0,91	1,65	0,91	0,84
AM	1,6	4,31	1,6	1,53
AP	2,11	3,25	2,11	2,04
MA	0,19	-0,47	0,19	0,12
MT	0,07	0,14	0,07	0
PA	0,08	-0,59	0,08	0,01
RO	0,48	0,8	0,48	0,41
RR	1,29	2,8	1,29	1,22
TO	0,35	-0,18	0,35	0,28

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

respectivamente, indicando uma resposta menos intensa ao choque de política nesses estados. Esses resultados estão associados ao ganho/perda de renda com as políticas simuladas e o peso e dinâmica do consumo das famílias nas regiões.

Quanto ao investimento, as projeções sugerem aumento relevante, especialmente nos estados do Pará e Amazonas, com crescimentos de até 4,69% e 4,31% até 2040, respectivamente. Estes ganhos são seguidos pelo Amapá, com um aumento de 3,25%, e por Roraima, com 2,8%. Em contraste, Acre e Rondônia apresentariam benefícios mais modestos, com variações de 1,35% e 0,80%, respectivamente. No entanto, Tocantins exibe uma ligeira redução de -0,8%, Maranhão de -0,47%, enquanto MT vê um modesto crescimento de 0,14%.

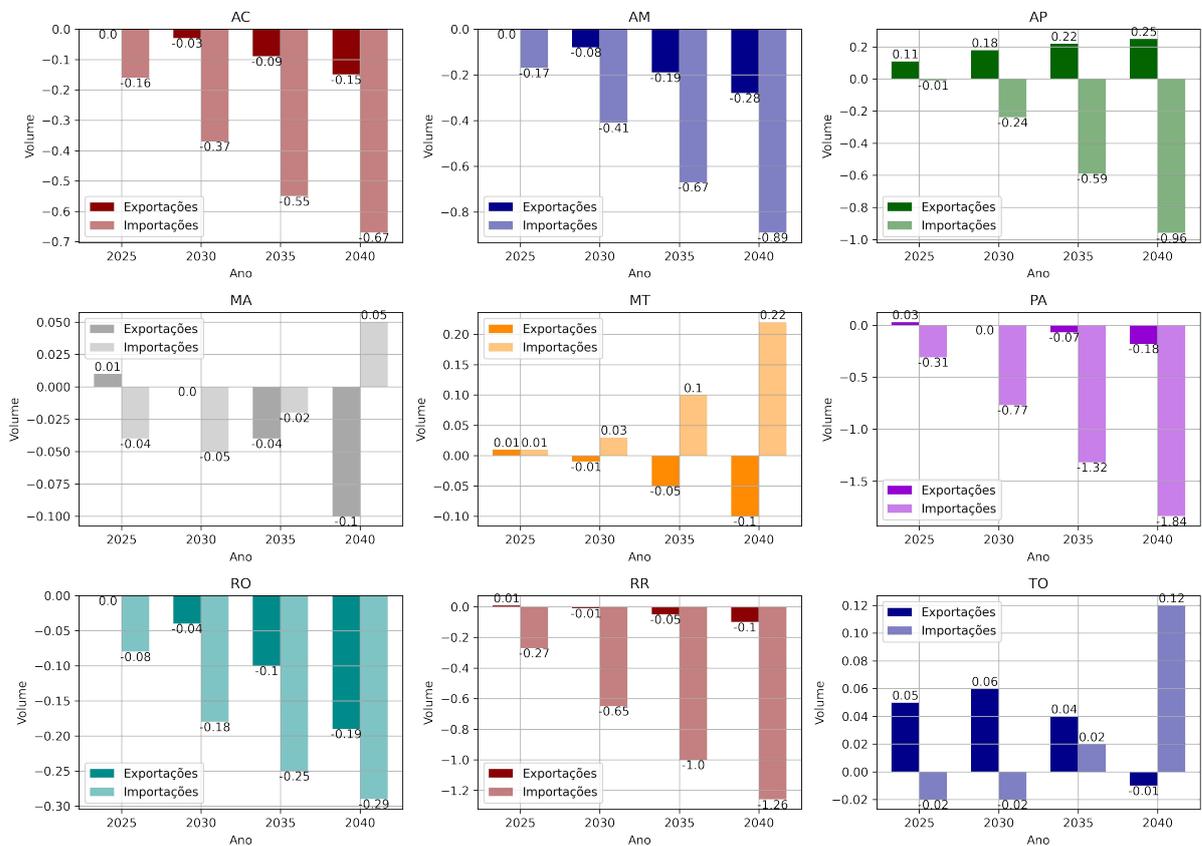
Esta dinâmica espelha as consequências regionais decorrentes da restrição na conversão de terras para uso produtivo. As regiões estão se adaptando, substituindo terra por trabalho e capital, o que resulta em uma diminuição da relação investimento/capital devido a taxas de retorno mais baixas, levando a uma redução no investimento. Além disso, a queda no emprego, um efeito direto dessa transição, conduz a uma diminuição na renda familiar e no consumo, indicando uma redução geral no bem-estar em estados menos propícios à bioeconomia (CARVALHO, 2014). Vale ressaltar que estes números não expressam recuos absolutos no investimento, e sim desvios em relação a um cenário de referência da economia, no qual o investimento cresce a taxas tendenciais.

Como demonstrado na Figura 4.2, a análise da balança comercial revela padrões notáveis entre os indicadores macroeconômicos. A maioria dos estados apresenta um desempenho negativo na balança comercial, o que contrasta com os ganhos observados em outros indicadores. Estados como Acre, Amazonas, Roraima e Pará registram uma diminuição no volume de importações durante o período projetado, juntamente com

pequeno recuo das exportações. Em contraste, o Amapá teria um aumento de 0,25 % em suas exportações ao final do período, seguido por Roraima com 0,26 % e Tocantins com 0,12 %.

Estes resultados podem ser explicados pela limitada presença dos produtos bioeconômicos no mercado externo, já que são predominantemente consumidos internamente, reduzindo assim seu impacto nas exportações. A diminuição nas exportações pode também ser um reflexo das restrições no uso de terras ou do aumento do consumo doméstico de produtos locais. Por outro lado, os resultados destacam a heterogeneidade dentro da Amazônia.

**Figura 4.2 – Balança Comercial - desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2020-2040**



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

#### 4.0.4 Resultados Setoriais

Esta subseção expõe uma análise dos impactos setoriais derivados da implementação da política de bioeconomia, revelando como diferentes setores contribuem para as economias estaduais na região amazônica. Aqui são explorados as nuances da participação setorial, desde a predominância do setor em valores observados até as projeções em 2040 oriundas do modelo.

Utilizando um mapa de calor representado na Figura 4.3, é possível visualizar participação setorial em 2015 nas economias estaduais. Primeiramente, pode-se observar, como esperado, como essas economias tem participação predominante do setor de serviços. Dentre as UFs o mesmo corresponde a mais de 51% das atividades econômicas no Pará, podendo corresponder até 71% no caso do Amapá. O setor Comércio também se destaca variando de 8% no Amazonas até 13% em Rondônia. Estas participações são esperadas e seguem uma tendência nacional. Cabe salientar a participação do segmento industrial no estado Amazonas que compõe 34% de sua economia. O mesmo destoa regionalmente devido a zona franca<sup>1</sup> de Manaus de forma semelhante a indústria extrativa (9%) no caso do Pará devido atividades de mineração.

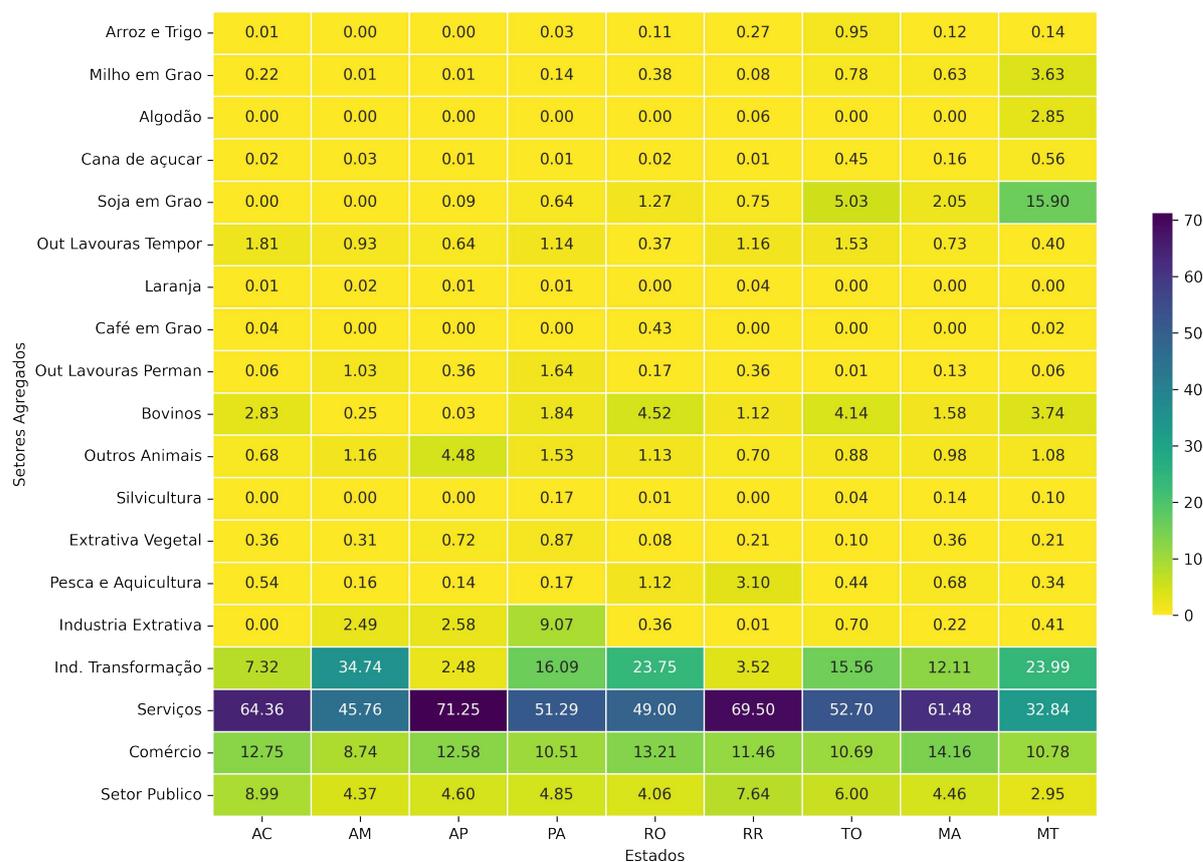
Como abordado no primeiro capítulo, a pecuária na Amazônia não apenas possui uma presença marcante, mas também gera impactos ambientais significativos. Este aspecto confere ao setor de Bovinos um peso setorial considerável. Por exemplo, respondem por 4% no Acre e Tocantins. Como também é o caso da Soja que chega a corresponder a 5% no Tocantins e 15% no Mato Grosso. Essa expansão agrícola, impulsionada por demandas globais e nacionais, não só molda a economia regional, mas também traz consigo questões críticas relacionadas ao uso sustentável da terra e ao impacto ambiental, particularmente no que diz respeito ao desmatamento e à conservação da biodiversidade.

Quando se avalia a participação dos setores ligados à bioeconomia, percebe-se seu peso relativo modesto nas regiões. Em Outras Lavouras permanentes, as quotas variam de 0,01% no Tocantins até um máximo de 1,6% no Pará. Enquanto na indústria extrativa vegetal a participação inicia em 0,10% no Tocantins a 0,87% também no Pará. Outro setor que chama atenção nesta discussão é de Pesca que tem participação relevante em Roraima, 3%. É essencial considerar estas contribuições em um contexto relativo, mesmo que menores em relação a outros setores, essas atividades têm sua relevância. Esta perspectiva é reforçada por Figueiredo et al. (2023), que salienta a importância da bioeconomia no combate contra a pobreza.

---

<sup>1</sup> Para discussão ver Silva (2014), Cavalcante (2020)

Figura 4.3 – Participações Setoriais - 2020



Fonte: Elaboração própria com dados do REGIA.

#### 4.0.4.1 Impacto sobre o Setor de Outras Lavouras Permanentes

Na Figura 4.3, identifica-se o impacto potencial sobre a composição setorial diante de um choque de 100% de produção no setor de Outras Lavouras Permanentes aliado a política de desmatamento zero na Amazônia Legal. Já o Grafico 4.5 mostra a mudança de participação do setor de Outras Lavouras permanentes entre o cenário antes e após a política.

Neste cenário, as participações não teriam uma mudança tão expressiva. Os setores anteriormente dominantes, como Serviços passariam a ter uma parcela ainda acima de 30% entre os estados. Comércio também manteria sua participação entre 10%. No caso da pecuária, as mudanças também são marginais, mesmo com a política de desmatamento zero. Em Tocantins, a participação do setor seria mantida em 4%, da mesma maneira para a Soja no Mato Grosso, que manteria os 15% em relação ao cenário pré-política, mesmo com a restrição estabelecida de mudanças no uso da terra.

Com a política, pode-se destacar três grupamentos para a produção em Outras

**Figura 4.4 – Participações Setoriais decorrentes da Política de Desmatamento Zero e Aumento da Produção do setor de Outras Lavouras Permanentes – Participação % em 2040**



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

Lavouras permanentes, na figura 4.5. O primeiro composto por estados no qual o aumento da participação do setor seria relativamente marginal, em parte por conta do peso relativamente pequeno do setor nas regiões. Esse seria o caso dos estados do Acre (ganho de participação de 0,10 pontos percentuais do setor com a política), e Tocantins, Maranhão e Mato Grosso, sem mudanças, dado que não receberam choques sobre o setor.

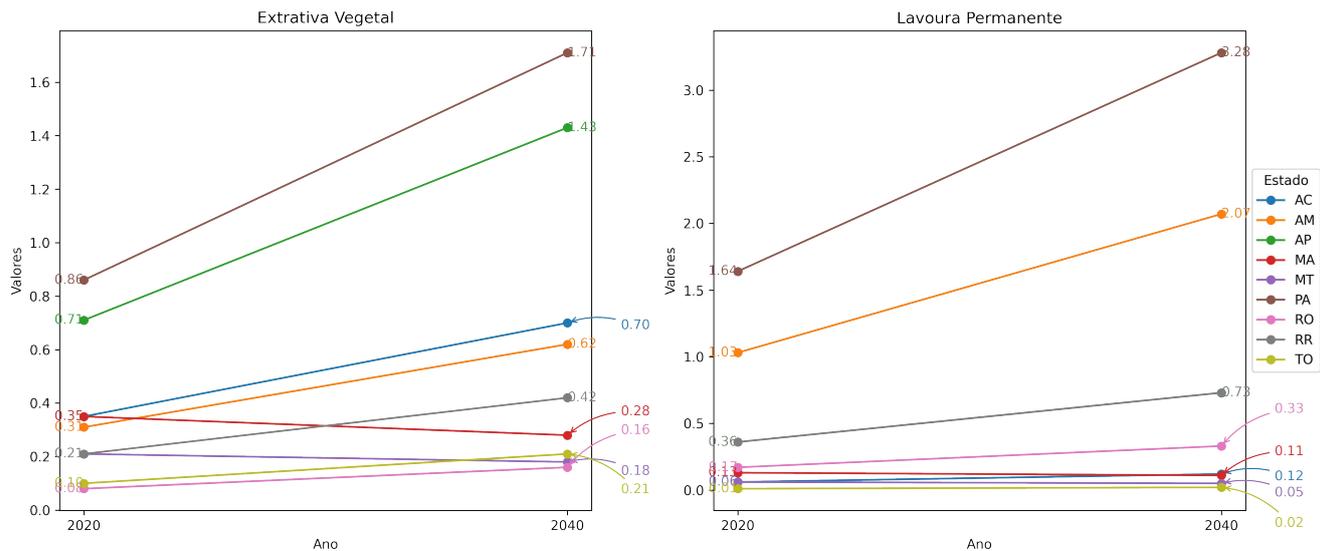
O segundo grupo é caracterizado por um aumento médio de participação no setor de Outras Lavouras permanentes. Esse grupo inclui Amapá, Roraima e Rondônia, estados que, embora não liderem em termos de crescimento percentual, demonstrariam um desenvolvimento consistente. Esse avanço indica uma tendência positiva, refletindo o potencial desses estados em contribuir de forma mais efetiva para o setor agrícola da região, especialmente em culturas permanentes. A evolução nesses estados sugere uma combinação de fatores favoráveis, como políticas de incentivo, investimentos em infraestrutura.

Por outro lado, o último grupo, composto por Pará e Amazonas, destaca-se

com um crescimento mais significativo na participação do setor de Outras Lavouras permanentes, com expansão de 1,60p.p e 1,00p.p, respectivamente. Esse avanço reflete um alinhamento estratégico de fatores ambientais, como a abundância de terras férteis e condições climáticas ideais, juntamente com extensão de floresta. Estes estados demonstram um potencial robusto, não apenas em termos de crescimento percentual, mas também no impacto substancial que podem ter na economia regional e na sustentabilidade.

O crescimento do Pará e do Amazonas no setor de lavouras permanentes pode ser atribuído a uma combinação de fatores ambientais, políticos e econômicos. Ambos os estados possuem vastas extensões de florestas naturais, que desempenham um papel crucial em manter um equilíbrio ecológico favorável. Além disso, as condições climáticas e de solo em áreas específicas desses estados são particularmente propícias para o cultivo de lavouras permanentes sustentáveis ou agroflorestas. Isso inclui a adequada pluviosidade, temperatura e fertilidade do solo, criando um ambiente ideal para o cultivo sustentável.

**Figura 4.5 – Participações Setoriais - 2024**



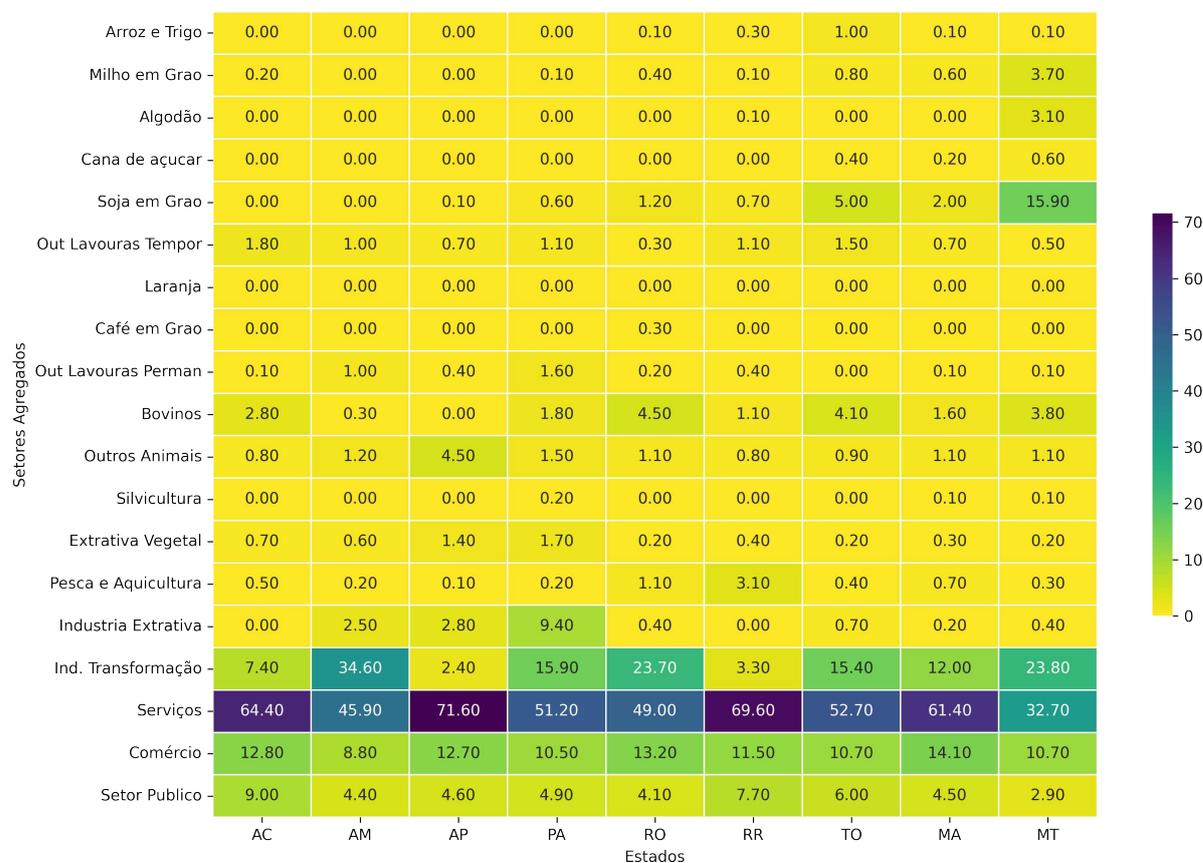
Fonte: Elaboração própria com dados do REGIA.

#### 4.0.4.2 Impacto sobre o setor Extrativo Vegetal

Esta seção dedica-se à análise das repercussões econômicas advindas do crescimento do setor extrativo vegetal, projetando um incremento de produção de 100% até o ano de 2040, em um contexto de política rigorosa de Desmatamento Zero na Amazônia. As variações previstas nos setores estaduais são detalhadas na Figura 4.6.

A tendência de crescimento no setor extrativo vegetal (4.5), reflete um dinamismo econômico regional desigual. Durante este período, projeta-se que o setor extrativo vegetal

**Figura 4.6 – Participações Setoriais (Vegetal) - Desvio % acumulado em relação ao cenário base, 2020-2040**



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

expanda sua presença em 8 dos 10 estados da Amazônia Legal. No entanto, o panorama não é uniformemente positivo em toda a região. No Maranhão, por exemplo, o setor sofreria uma leve queda, perdendo 0,10 pontos percentuais de sua participação, enquanto no Mato Grosso não haveria mudanças na participação em relação ao cenário base. Estas reduções podem ser atribuídas a fatores competitivos nas regiões e ao fato que Mato Grosso e Maranhão não foram incluídos nos choques de produção. De maneira semelhante, no Tocantins, espera-se um incremento marginal de apenas 0,10 p.p na participação do setor extrativo vegetal.

Contrastando com as variações moderadas em outros estados, o cenário no Pará e Amapá destaca-se por seu crescimento setorial. Assim como no setor da lavoura, esses estados demonstram um aumento na participação do setor extrativo vegetal, com o Pará e o Amapá acumulando aumentos de 0,90 (p.p) e 0,70 (p.p), respectivamente. Esse crescimento pode ser estendido a uma combinação de fatores, como pela expansão das áreas de cultivo sustentável e pelo fortalecimento das cadeias de valor locais. Estes cenário reforça a importância de políticas regionais diferenciadas, que considerem as especificidades

econômicas e ambientais de cada estado.

A análise de políticas sugere pequenas mudanças na composição setorial da região em resposta a um impulso na bioeconomia, principalmente porque o setor é relativamente pequeno nas regiões. Há certa reconfiguração na distribuição setorial, indicando que os setores da bioeconomia podem redefinir o perfil econômico da região, com potenciais impactos positivos. No entanto, essa transição muito provavelmente não ocorrerá sem políticas públicas explícitas de incentivo aos setores e produtores locais, de maneira a tornar sustentável e inclusiva a produção. Assim, os resultados destacam tanto o potencial quanto as limitações de escala da bioeconomia. Além disso, sublinham a importância de realizar análises criteriosas das implicações setoriais e regionais, visando assegurar um desenvolvimento que seja não apenas equilibrado, mas também sustentável.

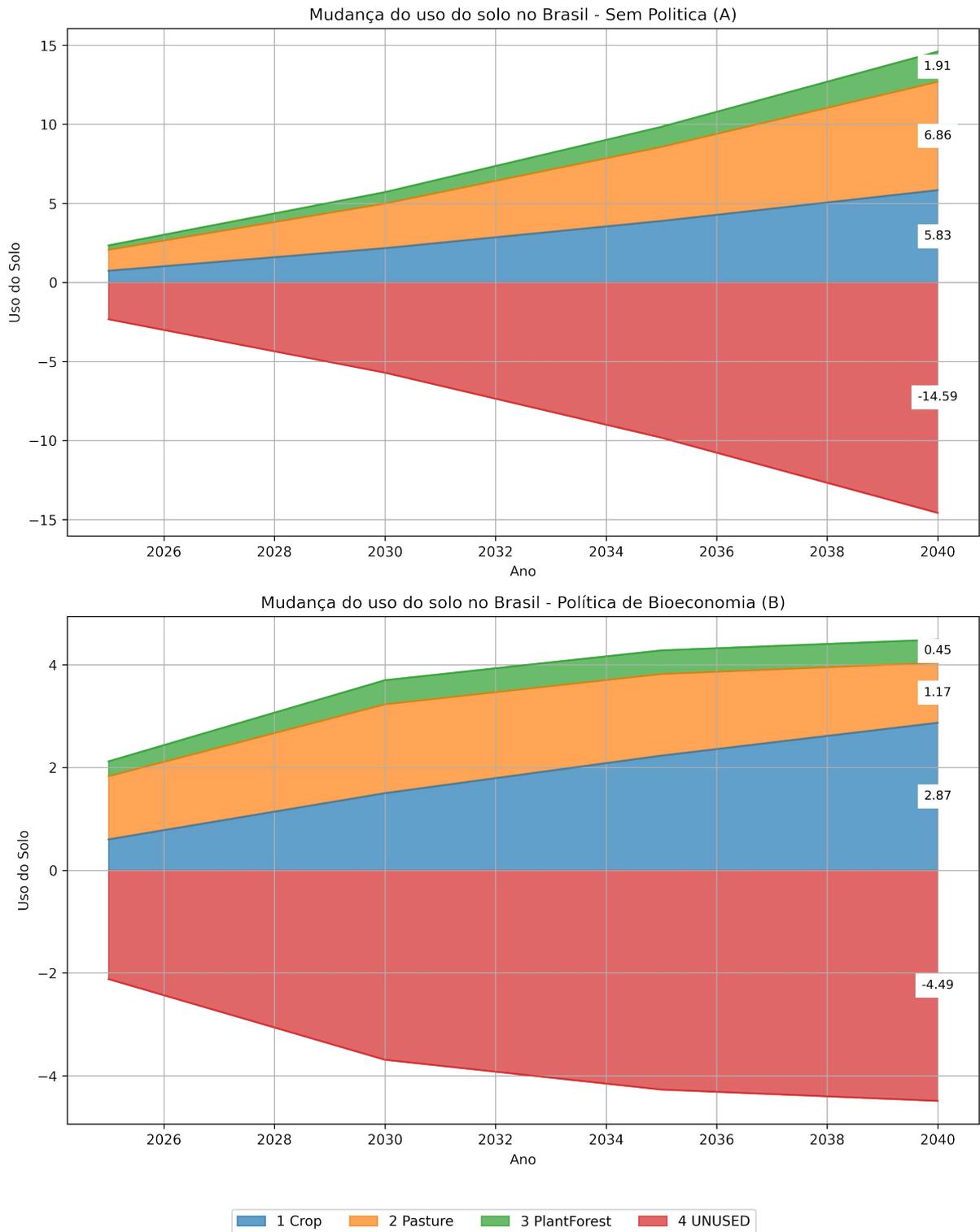
#### 4.0.5 Resultados Ambientais

A Figura 4.7 baseados na tabela 4.3 ilustra dois cenários distintos de mudança no uso do solo no Brasil. O gráfico A representa a trajetória projetada na ausência de uma política efetiva de controle do desmatamento na Amazônia. Este cenário base prevê um desmatamento de 12,2 milhões de hectares entre 2025 e 2040, equivalendo a uma média anual de 0,82 milhões de hectares, sem levar em conta a implementação de uma política de desmatamento zero e investimentos adicionais na bioeconomia. Para se ter um ideia da magnitude, esta projeção está em linha com o desmatamento observado para a Amazônia entre 2022 e 2023 pelo INPE, na casa de 0,9 milhões de hectares.

Em contrapartida, o gráfico B apresenta um cenário alternativo em que medidas restritivas ao desmatamento são implementadas, juntamente com um estímulo à bioeconomia, particularmente nos setores de Extrativa Vegetal e Outras Culturas Permanentes. Neste contexto, a projeção indica uma redução significativa para 2,37 milhões de hectares, ou 0,16 milhões de hectares de desmatamento anual, sendo este último concentrado em outras regiões do país, primordialmente no Cerrado. A política de desmatamento zero na Amazônia, somada ao aumento da produção da bioeconomia, resultaria em quedas notáveis de desmatamento nos estados do Pará, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Rondônia.

O cenário B sugere um efeito líquido de 9,83 milhões de hectares de desmatamento evitado na Amazônia Legal até 2040. Esta análise destaca a relevância de políticas ambientais rigorosas e o potencial da bioeconomia como agentes de transformação no uso do solo, contribuindo para a conservação ambiental e o desenvolvimento sustentável. Outro fator que chama atenção entre os dois gráficos é a suavização das curvas entre os cenários de política. Bem como a perda de participação das áreas de pastagem ao fim do período saindo de 6,86 milhões de hectares no cenário sem política para 1,17 milhões de hectares

**Figura 4.7 – Mudança do uso do solo no Brasil em Milhões de Hectares**



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

com a política, sendo também que área de floresta perderia participação para área de cultivos.

**Tabela 4.3 – Tabela Comparativa Detalhada: Efeitos de Estudo de Política de Controle de Desmatamento no Brasil (2025-2040)**

Cenário Base Sem Política				
	2025	2030	2035	2040
1 Desmatado	0.73	2.16	3.88	5.83
2 Pasto	1.33	2.83	4.69	6.86
3 Floresta/Cultivo	0.28	0.72	1.27	1.91
4 Sem Uso	-2.34	-5.72	-9.83	-14.59
Cenário de Política				
	2025	2030	2035	2040
1 Desmatado	0.60	1.50	2.23	2.87
2 Pasto	1.23	1.73	1.59	1.17
3 Floresta/Cultivo	0.29	0.47	0.46	0.45
4 Sem Uso	-2.12	-3.69	-4.27	-4.49

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

Por fim, os cenários expostos na Figura 4.7 enfatizam a capacidade das políticas de conservação de alterar significativamente o curso do desmatamento no Brasil. O impulso na bioeconomia, quando alinhado com estratégias de desmatamento zero, não apenas promete mitigar a perda de habitats naturais, mas também sinaliza um caminho para o crescimento econômico sustentável.

Esses resultados evidenciam a eficácia de políticas ambientais rigorosas e o papel importante da bioeconomia compensando possíveis perdas econômicas decorrentes na restrição ao desmatamento, contribuindo tanto para a conservação ambiental e o desenvolvimento sustentável. A análise sublinha a importância de estratégias de conservação para mudar significativamente o curso do desmatamento no Brasil, indicando que o fortalecimento da bioeconomia, combinado com políticas de desmatamento zero, pode ser um caminho viável para um crescimento econômico mais sustentável.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa dissertação teve por objetivo analisar cenários de crescimento da bioeconomia e impactos de uma política de desmatamento zero na Amazônia Legal, no período 2020 a 2040. A bioeconomia vem sendo postulada como uma maneira sustentável de se produzir na Amazônia. Além disso, a região é tratada como uma importante prestadora de serviços ambientais em escala global o que torna sua preservação um tema de grande interesse a diversos atores sociais.

A literatura alerta que as práticas atuais de uso da terra são insustentáveis, levando a um risco de danos ambientais irreversíveis (RIPPLE et al., 2017). Bem como para o aumento na frequência e intensidade dos desastres naturais (IBARRARÁN et al., 2009). Enquanto algumas regiões podem experimentar benefícios, outras enfrentam perdas significativas, especialmente na agricultura e produtividade do trabalho (DELLINK et al., 2019).

A bioeconomia surge como um vetor crucial de inovação e sustentabilidade, especialmente para Amazônia que apresenta um campo fértil para a implementação de práticas bioeconômicas sustentáveis. Estudos como os de Costa et al. (2022) e Bergamo et al. (2022) apontam um caminho para uma adaptação sensível e integrada do conceito de bioeconomia na região, respeitando tanto a biodiversidade quanto o conhecimento tradicional. A promoção de uma bioeconomia na Amazônia não se limita apenas à preservação ambiental; ela também oferece uma nova dimensão para o desenvolvimento econômico, potencializando o crescimento alinhado com a conservação ambiental e inclusão social. Portanto, a bioeconomia se configura não apenas como uma alternativa econômica, mas como um modelo de desenvolvimento holístico, capaz de equilibrar progresso econômico e responsabilidade ecológica.

A metodologia empregada nesta dissertação baseia-se no modelo de Equilíbrio Geral Computável (REGIA), que permite a simulação de cenários econômicos e ambientais na Amazônia. O REGIA, que captura dinâmicas inter-regionais e intersetoriais, bem como as mudanças no uso do solo baseado em Carvalho (2014). Assim, o modelo permite compreender a dinâmica da política analisada em múltiplas escalas.

No cenário base, foi traçada uma projeção da trajetória econômica tendencial. Atualizada com dados macroeconômicos do IBGE e taxas de desmatamento, incluindo previsões de crescimento econômico, exportações, população e produtividade. Neste cenário a análise setorial revela impactos diferenciados entre os estados. O setor de serviços domina

a economia regional, com participações significativas em todos os estados, especialmente no Amapá. O setor industrial é notável no Amazonas devido à Zona Franca de Manaus, enquanto a mineração se destaca no Pará. A pecuária e a soja, importantes para a economia e com impactos ambientais consideráveis, têm presenças marcantes em estados como Acre, Tocantins e Mato Grosso. Nesta dissertação, a participação dos setores considerados ligados à bioeconomia, como outras lavouras permanentes e extrativas vegetais, é relativamente modesta, mas essencial para o combate à pobreza e sustentabilidade ambiental.

Já nas projeções de política, os resultados macroeconômicos revelam impactos variados nos estados da Amazônia Legal. O Pará se destaca com um crescimento adicional de até 4,7% no PIB real, atribuído ao incentivo à bioeconomia, que compensa as restrições agropecuárias. Amapá e Amazonas seguem com crescimentos similares de aproximadamente 2,7%, enquanto Roraima, Rondônia e Acre apresentam aumentos mais modestos. Tocantins, Maranhão e Mato Grosso mostram impactos reduzidos, com Mato Grosso até registrando uma leve queda, refletindo a menor cobertura florestal e os limitados benefícios da bioeconomia nesses estados.

Outro resultado encontrado na implementação da política de desmatamento zero e incentivo ao setor de outras lavouras permanentes mostram um aumento marginal na participação setorial em estados como Acre, Tocantins, Maranhão e Mato Grosso, refletindo limitações específicas e desafios ambientais. Em contraste, Pará e Amazonas exibiram um crescimento mais significativo, beneficiando-se de condições ambientais favoráveis e políticas de incentivo. No setor extrativo vegetal, observa-se um crescimento desigual, com aumentos no Pará e Amapá, enquanto Maranhão e Mato Grosso enfrentam quedas ou estagnação. Esses resultados indicam a necessidade de políticas públicas diferenciadas e um foco na sustentabilidade e inclusão para redefinir o perfil econômico da região.

Além disso a implementação da política de bioeconomia apresenta a perspectiva significativa de preservar até 9,83 milhões de hectares de desmatamento na Amazônia Legal, enquanto favorece a expansão das áreas de cultivo em detrimento das áreas de pastagens. Este resultado destaca o potencial impacto positivo dessa abordagem na conservação ambiental e na otimização do uso da terra na região.

No entanto, é importante destacar a limitação conceitual de bioeconomia considerado aqui, notadamente pelo número de produtos da bioeconomia utilizados tais como, Açaí-Fruto, Cacau-Amêndoa, Castanha do Pará, Açaí-Palmito, Cupuaçu-Fruta, Urucum, Bacuri, Mel e Pupunha, na base que alimenta o modelo. Tais produtos foram utilizados devido a limitação de dados disponível nos níveis de desagregação necessários para manter a estrutura de dados consistente. O conceito tende a ser muito mais amplo, envolvendo inclusive questões tecnológicas e socioculturais. Outra limitação se encontra nos fatores

topográficos que não são capturados no modelo.

Para futuras pesquisas, sugere-se a exploração de produtos adicionais da bioeconomia, com trabalho mais criterioso para desagregação, além da incorporação de fatores topográficos e de emissões no modelo REGIA, para uma análise mais abrangente do impacto das políticas ambientais. Além disso, seria valioso investigar os efeitos sociais dessas políticas, como migração e mudanças no bem-estar das comunidades locais. Finalmente, estudos futuros podem focar em abordagens interdisciplinares, combinando aspectos econômicos, sociais e ambientais para uma compreensão mais holística do desenvolvimento sustentável na Amazônia.

Frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas, a bioeconomia emerge como uma alternativa viável. Contudo, torna-se imperativa a implementação de uma política intra-regional específica que leve em consideração as múltiplas Amazônias. Além disso, a necessidade de mecanismos adicionais de renda se destaca como crucial para garantir a qualidade de vida dos amazonidas.

## REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. **Amazonia: do discurso a praxis**. [S.l.]: Edusp, 1996.
- AGUIAR, A. Modelagem de mudança do uso da terra na amazônia: Explorando a heterogeneidade intra-regional. **Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos**, 2006.
- ALDER, D.; SILVA, J. N. An empirical cohort model for management of terra firme forests in the brazilian amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 130, p. 141–157, 2000.
- ALDRICH, S.; WALKER, R.; SIMMONS, C.; CALDAS, M.; PERZ, S. Contentious land change in the amazon's arc of deforestation. **Annals of the Association of American Geographers**, Taylor & Francis, v. 102, n. 1, p. 103–128, 2012.
- ANGENENDT, E.; POGANIETZ, W.-R.; BOS, U.; WAGNER, S.; SCHIPPL, J. Modelling and tools supporting the transition to a bioeconomy. **Bioeconomy: Shaping the Transition to a Sustainable, Biobased Economy**, Springer International Publishing, p. 289–316, 2018.
- ARAÚJO, R.; ASSUNÇÃO, J.; BRAGANÇA, A. A. The effects of transportation infrastructure on deforestation in the amazon: A general equilibrium approach. **Policy Research Working Papers**, n. 10415, 2023.
- ARMINGTON, P. S. A theory of demand for products distinguished by place of production. **International Monetary Fund Staff Papers**, v. 16, n. 1, p. 159–178, 1969.
- BACKHAUS, A.; MARTINEZ-ZARZOSO, I.; MURIS, C. Do climate variations explain bilateral migration? a gravity model analysis. **IZA Journal of Migration**, Springer, v. 4, n. 1, p. 1–15, 2015.
- BARBIERI, A. F.; DOMINGUES, E.; QUEIROZ, B. L.; RUIZ, R. M.; RIGOTTI, J. I.; CARVALHO, J. A.; RESENDE, M. F. Climate change and population migration in brazil's northeast: scenarios for 2025–2050. **Population and environment**, Springer, v. 31, p. 344–370, 2010.
- BECKER, B. K. Revisão das políticas de ocupação da amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários. **Parcerias estratégicas**, n. v. 12, n. 1, p. 135–59, 2001.
- BERGAMO, D.; ZERBINI, O.; PINHO, P.; MOUTINHO, P. **The Amazon bioeconomy: Beyond the use of forest products**. [S.l.]: Elsevier, 2022.
- BOSETTI, V.; LUBOWSKI, R. N.; GOLUB, A.; MARKANDYA, A. Linking reduced deforestation and a global carbon market: impacts on costs, financial flows, and technological innovation. FEEM Working Paper, 2009.
- BRACCO, S.; CALICIOGLU, O.; JUAN, M. G. S.; FLAMMINI, A. Assessing the contribution of bioeconomy to the total economy: A review of national frameworks. **Sustainability**, MDPI, v. 10, n. 6, p. 1698, 2018.

BRAUN, J. V. Bioeconomy—the global trend and its implications for sustainability and food security. *Glob. Food Secur.* **19**, 81–83. 2018.

BUGGE, M. M.; HANSEN, T.; KLITKOU, A. What is the bioeconomy? In: **From Waste to Value**. [S.l.]: Routledge, 2019. p. 19–50.

CABRAL, C.; GURGEL, Â. C. Análise econômica da limitação do desmatamento no Brasil utilizando um modelo de equilíbrio geral computável. **Anais do XLI Encontro Nacional de Economia. ANPEC-Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia**, 2014.

CARVALHO, A. C. Expansão da fronteira agropecuária e a dinâmica do desmatamento na Amazônia Paraense. <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/285926>, maio 2012. Accepted: 2019-04-22T17:37:14Z Publisher: Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <<http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/10994>>.

CARVALHO, T. S. **Uso do Solo e Desmatamento nas Regiões da Amazônia Legal Brasileira: Condicionantes Econômicos e Impactos de Políticas Públicas**. Tese (Tese de doutorado) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2014.

CARVALHO, T. S.; DOMINGUES, E. P. Projeção de um cenário econômico e de desmatamento para a Amazônia legal brasileira entre 2006 e 2030. *Nova Economia*, SciELO Brasil, v. 26, p. 585–621, 2016.

CATTANEO, C.; PERI, G. The migration response to increasing temperatures. *Journal of development economics*, Elsevier, v. 122, p. 127–146, 2016.

CAVALCANTE, L. R. Zona franca de Manaus: uma revisão sistemática de impactos. 2020.

CHAVES, E. P.; MENEZES, C. G. P.; MONTEIRO, A. C.; ROCHA, R.; CHAVES, E.; BIBIANO, I. Desmatamento induzido pela mineração: análise espacial no município de Oriximiná (PA). maio 2021. Publisher: Zenodo. Disponível em: <<https://zenodo.org/record/4743919>>.

CHESNOKOVA, T. Immiserizing deindustrialization: A dynamic trade model with credit constraints. *International Trade*, 2003.

COELHO, M. C. N.; MONTEIRO, M. d. A.; LOPES, A. G.; LIRA, S. R. B. d. et al. Regiões do entorno dos projetos de extração e transformação mineral na Amazônia oriental. 2005.

COONEY, P. Reprimaryzation. *Review of Radical Political Economics*, v. 48, p. 553–561, 2016.

COSTA, F.; NOBRE, C.; GENIN, C.; FRASSON, C. M. R.; FERNANDES, D. A.; SILVA, H.; VICENTES, I.; SANTOS, I. T.; BARBIERI, R.; NETO, R. V. et al. Uma bioeconomia inovadora para a Amazônia: conceitos, limites e tendências para uma definição apropriada ao bioma floresta tropical. **Texto para discussão**, 2022.

COSTA, F. d. A. Questão agrária e macropolíticas para a Amazônia. *Estudos Avançados*, SciELO Brasil, v. 19, p. 131–156, 2005.

- D'ADAMO, I.; FALCONE, P. M.; MORONE, P. A new socio-economic indicator to measure the performance of bioeconomy sectors in europe. **Ecological Economics**, Elsevier, v. 176, p. 106724, 2020.
- D'AMATO, D.; DROSTE, N.; ALLEN, B.; KETTUNEN, M.; LÄHTINEN, K.; KORHONEN, J.; LESKINEN, P.; MATTHIES, B. D.; TOPPINEN, A. Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues. **Journal of cleaner production**, Elsevier, v. 168, p. 716–734, 2017.
- DELLINK, R.; LANZI, E.; CHÂTEAU, J. The sectoral and regional economic consequences of climate change to 2060. **Environmental and Resource Economics**, v. 72, p. 309–363, 2019.
- DENNY, D. M. T.; MARTINS, M. M. V.; BURNQUIST, H. L. From extractivism and illegalities to a circular bioeconomy in the amazon region. **Revista Tempo do Mundo**, v. 27, 2022.
- DIETZ, T.; BÖRNER, J.; FÖRSTER, J. J.; BRAUN, J. V. Governance of the bioeconomy: A global comparative study of national bioeconomy strategies. **Sustainability**, MDPI, v. 10, n. 9, p. 3190, 2018.
- DIXON, P.; RIMMER, M. T. **Forecasting and policy analysis with a dynamic CGE model of Australia**. [S.l.]: Centre of Policy Studies (CoPS), 1998.
- DIXON, P. B.; JORGENSON, D. **Handbook of computable general equilibrium modeling**. [S.l.]: Newnes, 2012. v. 1.
- DIXON, P. B.; PICTON, M. R.; RIMMER, M. T. Efficiency effects of inter-government financial transfers in australia. **Australian Economic Review**, Wiley Online Library, v. 35, n. 3, p. 304–315, 2002.
- DOLGE, K.; BALODE, L.; LAKTUKA, K.; KIRSANOV, V.; BARISA, A.; KUBULE, A. A comparative analysis of bioeconomy development in european union countries. **Environmental Management**, Springer, v. 71, n. 2, p. 215–233, 2023.
- DOMINGUES, E.; HADDAD, E. A.; PEROBELLI, F. S.; AZZONI, C. R.; GUILHOTO, J.; KANCZUK, F. The impacts of climate change in the brazilian economy (impactos econômicos das mudanças climáticas no brasil). **Available at SSRN 1830552**, 2010.
- DOMINGUES, E. P. **Dimensão regional e setorial da integração brasileira na Área de Livre Comércio das Américas**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2002.
- DOMINGUES, E. P.; BETARELLI, A. A. J.; MAGALHÃES, A. S.; OLIVEIRA, H. C.; VALLADARES, L. M. **Calibragem do Modelo ORANIG para os Dados da Matriz Insumo-Produto Nacional (2005)**. [S.l.], 2009. 33 p.
- EBOLI, F.; PARRADO, R.; ROSON, R. Climate-change feedback on economic growth: explorations with a dynamic general equilibrium model. **Environment and Development Economics**, Cambridge University Press, v. 15, n. 5, p. 515–533, 2010.
- ELIAS, P.; HEATH, L. Redd+ and ecosystem services: Relevance to the forestry profession. **Journal of Forestry**, v. 113, p. 268–270, 2015.

ERIKSSON, M. Afforestation and avoided deforestation in a multi-regional integrated assessment model. **Ecological Economics**, Elsevier, v. 169, p. 106452, 2020.

FARIA, W. R.; HADDAD, E. A. Modeling land use and the effects of climate change in brazil. **Climate Change Economics**, v. 8, n. 01, p. 1750002, 2017.

FARIA, W. R.; HADDAD, E. A. Modelagem do uso da terra e efeitos de mudanças na produtividade agrícola entre 2008 e 2015. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, SciELO Brasil, v. 49, p. 65–103, 2019.

FEARNSIDE, P. M. As hidrelétricas de Belo Monte e Altamira (Babaquara) como fontes de gases de efeito estufa. **Novos Cadernos NAEA**, v. 12, n. 2, dez. 2009. ISSN 21797536, 15166481. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/315>>.

FEARNSIDE, P. M. Uso da terra na amazônia e as mudanças climáticas globais. **FLORESTA AMAZÔNICA**, v. 10, n. 2, p. 21, 2022.

FEIJÓ, F. T.; JÚNIOR, S. P. O protocolo de quioto e o bem-estar económico no brasil-uma análise utilizando equilibrio geral computável. **Análise Econômica**, v. 27, n. 51, 2009.

FERREIRA-FILHO, J. B.; HORRIDGE, M. Biome composition in deforestation deterrence and ghg emissions in brazil. 2017.

FIGUEIREDO, Y. G.; MELO, J. O. F.; DUARTE, M. B.; ROSA, N. C.; FARIAS, V. S.; JÚNIOR, V. N.; FERREIRA, D. K.; SANTOS, M. B. d.; NETO, O. A. d. S.; SOUZA, P. C. d. et al. A bioeconomia e sua relação com a amazônia paraense: Uma revisão a partir do conceito de desenvolvimento. **A ECONOMIA DO DESENVOLVIMENTO: DO CRESCIMENTO ECONÔMICO AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**, Editora Científica Digital, v. 1, n. 1, p. 11–24, 2023.

FILHO, J. B. de S. F.; HORRIDGE, M. Land use change, ethanol production expansion and food security in brazil. **Handbook of Bioenergy Economics and Policy: Volume II: Modeling Land Use and Greenhouse Gas Implications**, Springer, p. 303–320, 2017.

FILHO, J. B. de S. F.; HORRIDGE, M. **Climate Change Impacts on Agriculture and Internal Migration in Brazil**. [S.l.]: Springer, 2020.

FLORENTINO, G. D.; MARTORANO, L.; SANTOS, S. A. L. dos; MORAES, J. C. D. C.; MIRANDA, I. P. A.; RUIVO, M. Bioeconomic potential of sustainability indicators in a ceramic production center in the western amazon. **Ecosystem and Biodiversity of Amazonia**, 2020.

FRANKLIN, C. B. Geopolítica dos governos militares para a amazônia brasileira. **Olhares Amazônicos, Boa Vista**, v. 2, n. 01, p. 332–347, 2014.

FRISCH, R. A complete scheme for computing all direct and cross demand elasticities in a model with many sectors. **Econometrica**, v. 27, p. 177–196, 1959.

FÜSSEL, H.-M. Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. **Global environmental change**, Elsevier, v. 17, n. 2, p. 155–167, 2007.

GODAR, J.; TIZADO, E. J.; POKORNY, B. Who is responsible for deforestation in the amazon? a spatially explicit analysis along the transamazon highway in brazil. **Forest Ecology and Management**, Elsevier, v. 267, p. 58–73, 2012.

GUADAGNO, L. Human mobility in a socio-environmental context: Complex effects on environmental risk. **Identifying Emerging Issues in Disaster Risk Reduction, Migration, Climate Change and Sustainable Development: Shaping Debates and Policies**, Springer, p. 13–31, 2017.

GURGEL, A. C.; PALTSEV, S. Costs of reducing ghg emissions in brazil. **Climate policy**, Taylor & Francis, v. 14, n. 2, p. 209–223, 2014.

HADDAD, S.; BRITZ, W.; BÖRNER, J. Economic impacts and land use change from increasing demand for forest products in the european bioeconomy: A general equilibrium based sensitivity analysis. **Forests**, MDPI, v. 10, n. 1, p. 52, 2019.

HIGHFILL, T.; CHAMBERS, M. **Developing a National Measure of the Economic Contributions of the Bioeconomy**. [S.l.], 2023.

HOFFMANN, R. Estimativas das elasticidades-renda de várias categorias de despesa e de consumo, especialmente alimentos, no brasil, com base na pof de 2008-2009. **Economia Aplicada**, v. 57, n. 2, p. 49–57, 2010.

HORRIDGE, J.; JERIE, M.; MUSTAKINOV, D.; SCHIFFMANN, F. Gempack manual. **GEMPACK software**, 2018.

HORRIDGE, M. **The TERM model and its database**. [S.l.]: Springer, 2012.

HORRIDGE, M.; MADDEN, J.; WITTEWER, G. The impact of the 2002–2003 drought on australia. **Journal of Policy Modeling**, Elsevier, v. 27, n. 3, p. 285–308, 2005.

HORRIDGE, M. Preparing a term bottom-up regional database. **Preliminary Draft, Centre of Policy Studies, Monash University**, p. 420–434, 2006.

HUANG, J.; ZHANG, G.; ZHANG, Y.; GUAN, X.; WEI, Y.; GUO, R. Global desertification vulnerability to climate change and human activities. **Land Degradation & Development**, Wiley Online Library, v. 31, n. 11, p. 1380–1391, 2020.

IBARRARÁN, M. E.; RUTH, M.; AHMAD, S.; LONDON, M. Climate change and natural disasters: macroeconomic performance and distributional impacts. **Environment, development and sustainability**, Springer, v. 11, p. 549–569, 2009.

IBGE. **Sistema de Contas Regionais: Brasil 2020**. [S.l.: s.n.], 2020. ISBN 9788524045509.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA)**. 2010. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Produção da extração vegetal e da silvicultura. **Rio de Janeiro**, v. 27, p. 1–63, 2012.

Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON). **Desmatamento na Amazônia Legal até 2010**. 2011. Disponível em: <<http://www.imazon.org.br/mapas/desmatamento-acumulado-2007-2010/desmatamento-naamazonia-ate-2010/view>>.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Projeto PRODES Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. 2009. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>>.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); Coordenadoria Geral Observação da Terra Programa Amazônia – Projeto PRODES. **Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal**. 2013.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **TerraClass, 2008 – Levantamento de Informações de uso e cobertura da terra na Amazônia**. 2011. Dezembro de 2023.

IOST, S.; LABONTE, N.; BANSE, M.; GENG, N.; JOCHEM, D.; SCHWEINLE, J.; WEBER, S.; WEIMAR, H. German bioeconomy: Economic importance and concept of measurement. **German Journal of Agricultural Economics**, v. 68, n. 4, p. 275–288, 2019.

KLEIN, R. J.; SCHIPPER, E. L. F.; DESSAI, S. Integrating mitigation and adaptation into climate and development policy: three research questions. **Environmental science & policy**, Elsevier, v. 8, n. 6, p. 579–588, 2005.

KUME, H.; PIANI, G. Elasticities of import substitution in Brazil. **Revista de Economia Contemporânea (Online)**, Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 423, 2013.

LAMBIN, E. F.; ROUNSEVELL, M. D.; GEIST, H. J. Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Elsevier, v. 82, n. 1-3, p. 321–331, 2000.

LEITÃO, S.; VASCONCELLOS, L. Qual o impacto do desmatamento zero no Brasil. **São Paulo: Instituto Escolhas, out**, 2017.

LOPES, C. L.; CHIAVARI, J. **Bioeconomia na Amazônia: Análise Conceitual, Regulatória e Institucional**. Rio de Janeiro: CPI/PUC-Rio, 2023.

LOUREIRO, V. R.; PINTO, J. N. A. A questão fundiária na Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 54, Aug 2005.

LUCENA, A. F.; CLARKE, L.; SCHAEFFER, R.; SZKLO, A.; ROCHEDO, P. R.; NOGUEIRA, L. P.; DAENZER, K.; GURGEL, A.; KITOUS, A.; KOBER, T. Climate policy scenarios in Brazil: A multi-model comparison for energy. **Energy Economics**, Elsevier, v. 56, p. 564–574, 2016.

MAGALHAES, A. S. Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa. Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

MARCHIORI, L.; MAYSTADT, J.-F.; SCHUMACHER, I. The impact of weather anomalies on migration in sub-saharan africa. **Journal of Environmental Economics and Management**, Elsevier, v. 63, n. 3, p. 355–374, 2012.

MARQUES, P. R. As propostas internacionais para um green new deal: pautando a transição para uma economia verde no brasil pós-pandemia. **Made-centro de pesquisa em macroeconomia das desigualdades Nota de Política Econômica**, n. 002, 2020.

MASSON-DELMOTTE, V.; PÖRTNER, H.; SKEA, J.; BUENDÍA, E.; ZHAI, P.; ROBERTS, D. Climate change and land. **An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems**, 2019.

MAZZUCATO, M. Mission-oriented innovation policies: challenges and opportunities. **Industrial and Corporate Change**, v. 27, n. 5, p. 803–815, out. 2018. ISSN 0960-6491, 1464-3650. Disponível em: <<https://academic.oup.com/icc/article/27/5/803/5127692>>.

MCCORMICK, K.; KAUTTO, N. The bioeconomy in europe: An overview. **Sustainability**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 5, n. 6, p. 2589–2608, 2013.

MONACA, S. L.; SPECTOR, K.; KOBUS, J. Financing the green transition. **Journal of International Affairs**, JSTOR, v. 73, n. 1, p. 17–32, 2019.

MONZONI, M.; ANG, H. G.; PINTO, D. G. et al. **Grandes obras na Amazônia: aprendizados e diretrizes**. [S.l.], 2018.

MUELLER, V.; GRAY, C.; KOSEC, K. Heat stress increases long-term human migration in rural pakistan. **Nature climate change**, Nature Publishing Group, v. 4, n. 3, p. 182–185, 2014.

MUNDIAL, G. B. B. Relatório sobre clima e desenvolvimento para o país. 2023.

NEWELL, P.; DALEY, F.; MIKHEEVA, O.; PEŠA, I. Mind the gap: The global governance of just transitions. **Global Policy**, Wiley Online Library, v. 14, n. 3, p. 425–437, 2023.

NOBRE, C.; AL. et. Relatório, **Nova Economia da Amazônia**. São Paulo: [s.n.], 2023. Disponível em: <<https://www.wribrasil.org.br/nova-economia-da-amazonia>>.

OLIVEIRA, J.; PEREDA, P. The impact of climate change on internal migration in brazil. **Journal of Environmental Economics and Management**, Elsevier, v. 103, p. 102340, 2020.

PATTANAYAK, S. K.; ROSS, M. T.; DEPRO, B. M.; BAUCH, S. C.; TIMMINS, C.; WENLAND, K. J.; ALGER, K. Climate change and conservation in brazil: Cge evaluation of health and wealth impacts. **The BE journal of economic analysis & policy**, De Gruyter, v. 9, n. 2, 2009.

RAUSCH, S.; METCALF, G. E.; REILLY, J. M. Distributional impacts of carbon pricing: A general equilibrium approach with micro-data for households. **Energy economics**, Elsevier, v. 33, p. S20–S33, 2011.

RIPPLE, W. J.; WOLF, C.; NEWSOME, T. M.; GALETTI, M.; ALAMGIR, M.; CRIST, E.; MAHMOUD, M. I.; LAURANCE, W. F.; 15, . s. s. f. . c. World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice. **BioScience**, v. 67, n. 12, p. 1026–1028, dez. 2017. ISSN 0006-3568. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/biosci/bix125>>.

RIVERO, S.; ALMEIDA, O.; ÁVILA, S.; OLIVEIRA, W. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na amazônia. **Nova economia**, SciELO Brasil, v. 19, p. 41–66, 2009.

RODRIGUES, P. R. M. L. H. O que é um orçamento verde e quais os caminhos para adotá-lo no Brasil? **centro de pesquisa em macroeconomia das desigualdades**, MADE, n. 041, 2023.

SAUER, S.; PIETRAFESA, J. P. Novas fronteiras agrícolas na Amazônia: expansão da soja como expressão das agroestratégias no Pará. **Revista ACTA Geográfica**, n. Edição Especial “Geografia Agrária”, p. 245–264, 2013. ISSN 19805772, 21774307. Disponível em: <<http://revista.ufr.br/index.php/actageo/article/view/1974/1251>>.

SEEG. Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de mudanças climáticas do Brasil (1970-2021). **Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG)**, 2021.

SILVA, J. G. da; ALMEIDA, R. B. de; CARVALHO, L. V. An economic analysis of a zero-deforestation policy in the Brazilian Amazon. **Ecological Economics**, Elsevier, v. 203, p. 107613, 2023.

SILVA, J. G. da; RUVIARO, C. F.; FILHO, J. B. de S. F. Livestock intensification as a climate policy: Lessons from the Brazilian case. **Land Use Policy**, Elsevier, v. 62, p. 232–245, 2017.

SILVA, J. M. C. da; PRASAD, S. Green and socioeconomic infrastructures in the Brazilian Amazon: implications for a changing climate. **Climate and Development**, Taylor & Francis, v. 11, n. 2, p. 153–166, 2019.

SILVA, M. F. d. O.; PEREIRA, F. d. S.; MARTINS, J. V. B. A bioeconomia brasileira em números. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2018.

SILVA, M. M.; OLIVEIRA, F. A.; SANTANA, A. C. Mudanças na dinâmica de uso das florestas secundárias em Altamira, Estado do Pará, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, n. 2, p. 176–183, ago. 2015. ISSN 2177-8760. Number: 2. Disponível em: <<http://200.129.150.26/index.php/ajaes/article/view/1739>>.

SILVA, S. M. d. **Projeção dos impactos econômicos da redução na alíquota do ICMS na economia do estado do Amazonas: uma abordagem de equilíbrio geral computável (MINIMAN)**. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2014.

SOUZA, G. C. de; MAGALHÃES, A. S.; DOMINGUES, E. P. Impactos econômicos e ambientais de uma política de desmatamento zero e reflorestamento na região do arco do desmatamento. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2022.

SOUZA, G. C. P. d. **Crescimento econômico, desmatamento e emissões de gases de efeito estufa: análises prospectivas para os biomas brasileiros numa perspectiva de sustentabilidade.** 200 p. Tese (Tese (doutorado)) — Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional, 2022.

STOCCO, L.; FILHO, J. B. de S. F.; HORRIDGE, M. Closing the yield gap in livestock production in brazil: New results and emissions insights. **Environmental Economics and Computable General Equilibrium Analysis: Essays in Memory of Yuzuru Miyata**, Springer, p. 153–170, 2020.

TAHERIPOUR, F.; ZHAO, X.; HORRIDGE, M.; FARROKHI, F.; TYNER, W. Land use in computable general equilibrium models. **Journal of Global Economic Analysis**, v. 5, n. 2, p. 63–109, 2020.

TAKAKURA, J.; FUJIMORI, S.; HANASAKI, N.; HASEGAWA, T.; HIRABAYASHI, Y.; HONDA, Y.; IIZUMI, T.; KUMANO, N.; PARK, C.; SHEN, Z.; TAKAHASHI, K.; TAMURA, M.; TANOUE, M.; TSUCHIDA, K.; YOKOKI, H.; ZHOU, Q.; OKI, T.; HIJIOKA, Y. Dependence of economic impacts of climate change on anthropogenically directed pathways. **Nature Climate Change**, v. 9, p. 737 – 741, 2019.

TOL, R. S. The economic impacts of climate change. **Review of environmental economics and policy**, The University of Chicago Press, 2018.

TOURINHO, O. A. F.; KUME, H.; PEDROSO, A. C. d. S. Elasticidades de armington para o brasil: 1986-2002. **Revista brasileira de economia**, SciELO Brasil, v. 61, p. 245–267, 2007.

WESSELER, J.; BRAUN, J. von. Measuring the bioeconomy: Economics and policies. **Annual Review of Resource Economics**, Annual Reviews, v. 9, p. 275–298, 2017.

## ANEXO A – DERIVAÇÃO DAS FUNÇÕES

### DERIVAÇÃO DO MODELO DE MINIMIZAÇÃO DE CUSTO COM FUNÇÃO CES

Considere o problema de minimização de custo de um produtor que escolhe um composto de insumos  $X_{i,j}$  que minimiza o custo total para este composto em cada indústria  $i$  e conjunto de insumos  $j$ .

#### Problema de Minimização

O problema do produtor pode ser formalmente definido como:

$$\min \sum g \cdot P_{i,j} \quad \forall i = (1, \dots, n), j = (1, \dots, m) \quad (9)$$

sujeito a:

$$X_{Ji} = \left[ \sum \theta_{i,j} X_{i,j}^{-\rho_{i,j}} \right]^{-\frac{1}{\rho_{i,j}}} \quad (10)$$

Onde:

- $P_{i,j}$  é o preço do insumo  $j$  na indústria  $i$ .
- $X_{Ji}$  é o composto de insumos do tipo  $j$  na indústria  $i$ .
- $\theta_{i,j}$  é o parâmetro de participação dos insumos  $j$  na indústria  $i$ .
- $\rho_{i,j}$  é o parâmetro de substituição entre os insumos.

#### Lagrangeano do Problema

O lagrangeano do problema pode ser expresso como:

$$L = \sum g P_{i,j} - \Lambda \left( \left[ \sum \theta_{i,j} X_{i,j}^{-\rho_{i,j}} \right]^{-\frac{1}{\rho_{i,j}}} - X_{Ji} \right) \quad (11)$$

### Condições de Primeira Ordem

Resolvendo o problema, as condições de primeira ordem são:

$$\frac{\partial L}{\partial \Lambda} = \left[ \sum \theta_{i,j} X_{i,j}^{-\rho_{i,j}} \right]^{-\frac{1}{\rho_{i,j}}} - X_{Ji} = 0 \quad (12)$$

$$\frac{\partial L}{\partial X_{i,j}} = P_{i,j} - \Lambda \frac{\partial X_{Ji}}{\partial X_{i,j}} = 0 \quad (13)$$

### Resolução para Preços

Resolvendo para preços, obtemos:

$$P_{i,j} = \Lambda \theta_{i,j} X_{i,j}^{-(1+\rho_{i,j})} \left[ \sum \theta_{i,j} X_{i,j}^{-\rho_{i,j}} \right]^{-\frac{(1+\rho_{i,j})}{\rho_{i,j}}} \quad (14)$$

## DERIVAÇÃO DA DEMANDA DAS FAMÍLIAS

Considere o problema de maximização da utilidade das famílias, onde a função de utilidade é uma soma de logaritmos dos consumos líquidos de bens de luxo, ajustada para eficiências tecnológicas e escalas de produção.

### Problema de Maximização

Seja  $U_h$  a utilidade da família,  $C_h$  o consumo do bem de luxo,  $C_{subh}$  o consumo do bem substituto,  $P_c$  o preço do bem de consumo e  $V_{tot}$  o orçamento total da família. O problema de maximização da utilidade é:

$$\max U_h = \sum_c S_{c,h} \ln(C_h - C_{subh}) \quad (15)$$

sujeito a:

$$\sum_c C_h \cdot P_c = V_{tot} \quad (16)$$

Onde:

- $S_{c,h}$  é um parâmetro de ponderação para o bem  $c$  na família  $h$ .

- $C_h$  é o consumo total do bem  $c$  na família  $h$ .
- $C_{subh}$  é o consumo total do bem substituto para o bem  $c$  na família  $h$ .
- $P_c$  é o preço do bem de consumo  $c$ .
- $V_{tot}$  é o orçamento total da família  $h$ .

### Lagrangeano do Problema

Considere o Lagrangeano para o problema de maximização da utilidade das famílias:

$$L = \sum_c S_{c,h} \ln(C_h - C_{subh}) - \lambda \left( \sum_c C_h \cdot P_c - V_{tot} \right) \quad (17)$$

### Condições de Primeira Ordem

Para encontrar as condições de primeira ordem, calculamos as derivadas parciais do Lagrangeano em relação a cada  $C_h$  e  $\lambda$ :

$$\frac{\partial L}{\partial C_h} = \frac{S_{c,h}}{C_h - C_{subh}} - \lambda P_c = 0, \quad \forall c \quad (18)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = \sum_c C_h \cdot P_c - V_{tot} = 0 \quad (19)$$

### Resolução das CPOs

A partir das condições de primeira ordem, podemos resolver para encontrar as quantidades ótimas de consumo  $C_h$  para cada bem  $c$  na família  $h$ . Estas condições garantem que a utilidade é maximizada dada a restrição orçamentária.

### DERIVAÇÃO DA FUNÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO CET (ELASTICIDADE CONSTANTE DE TRANSFORMAÇÃO)

Considere a função de transformação CET, que é utilizada para modelar a capacidade de transformar um bem em outro na produção. A forma geral da função CET é:

$$Y = \left[ \alpha X_1^{-\rho} + (1 - \alpha) X_2^{-\rho} \right]^{-\frac{1}{\rho}} \quad (20)$$

onde:

- $Y$  representa a quantidade total de produção transformada.
- $X_1$  e  $X_2$  são as quantidades dos bens produzidos.
- $\alpha$  é um parâmetro que representa a participação relativa dos bens.
- $\rho$  é o parâmetro que determina a elasticidade de transformação.

### Elasticidade de Transformação

A elasticidade de transformação  $\sigma$  é definida como:

$$\sigma = \frac{1}{1 + \rho} \quad (21)$$

Esta elasticidade indica a facilidade com que um bem pode ser transformado em outro.

### Derivação em relação a $X_1$ e $X_2$

Para entender como a produção de um bem afeta a produção do outro, derivamos a função CET em relação a  $X_1$  e  $X_2$ :

$$\frac{\partial Y}{\partial X_1} = \alpha \left[ \alpha X_1^{-\rho} + (1 - \alpha) X_2^{-\rho} \right]^{-\frac{1}{\rho} - 1} \cdot (-\rho) X_1^{-\rho - 1} \quad (22)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial X_2} = (1 - \alpha) \left[ \alpha X_1^{-\rho} + (1 - \alpha) X_2^{-\rho} \right]^{-\frac{1}{\rho} - 1} \cdot (-\rho) X_2^{-\rho - 1} \quad (23)$$

Estas derivadas são importantes para entender a relação de transformação entre os bens na produção.