

Costa, Wanderson Santos; Ruivo, Heloísa Musetti; Soterroni, Aline Cristina; Ramos, Fernando Manuel

Working Paper

Análise de cenários de mudanças no clima e de diferentes narrativas socioeconômicas sobre alterações no uso do solo e na agricultura

Texto para Discussão, No. 3139

Provided in Cooperation with:

Institute of Applied Economic Research (ipea), Brasília

Suggested Citation: Costa, Wanderson Santos; Ruivo, Heloísa Musetti; Soterroni, Aline Cristina; Ramos, Fernando Manuel (2025) : Análise de cenários de mudanças no clima e de diferentes narrativas socioeconômicas sobre alterações no uso do solo e na agricultura, Texto para Discussão, No. 3139, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, <https://doi.org/10.38116/td3139-port>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/331449>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



<https://creativecommons.org/licenses/by/2.5/br/>

TEXTO PARA DISCUSSÃO

3139

**ANÁLISE DE CENÁRIOS DE MUDANÇAS
NO CLIMA E DE DIFERENTES
NARRATIVAS SOCIOECONÔMICAS
SOBRE ALTERAÇÕES NO USO
DO SOLO E NA AGRICULTURA**

**WANDERSON SANTOS COSTA
HELOÍSA MUSETTI RUIVO
ALINE CRISTINA SOTERRONI
FERNANDO MANUEL RAMOS**



ANÁLISE DE CENÁRIOS DE MUDANÇAS NO CLIMA E DE DIFERENTES NARRATIVAS SOCIOECONÔMICAS SOBRE ALTERAÇÕES NO USO DO SOLO E NA AGRICULTURA¹

WANDERSON SANTOS COSTA²

HELOÍSA MUNETTI RUIVO³

ALINE CRISTINA SOTERRONI⁴

FERNANDO MANUEL RAMOS⁵

1. Este trabalho foi produzido no âmbito do Termo de Execução Descentralizada acordado entre a Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura do Ministério da Economia e o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (TED SDI/ME-Ipea no 1/2019), vigente entre 2019 e 2022. A frente de trabalho em que este texto para discussão se insere foi coordenada por Edison Benedito da Silva Filho e Fabiano Mezadre Pompermyer.

2. Pesquisador bolsista do Subprograma de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional (PNPD) na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais, de Inovação, Regulação e Infraestrutura (Diset) do Ipea. *E-mail*: wcosta.comp@gmail.com.

3. Pesquisadora bolsista do PNPD na Diset/Ipea.

4. Pesquisadora bolsista do PNPD na Diset/Ipea.

5. Pesquisador bolsista do PNPD na Diset/Ipea.

Governo Federal

Ministério do Planejamento e Orçamento

Ministra Simone Nassar Tebet

ipea Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

Fundação pública vinculada ao Ministério do Planejamento e Orçamento, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiros – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

Presidenta

LUCIANA MENDES SANTOS SERVO

Diretor de Desenvolvimento Institucional

FERNANDO GAIGER SILVEIRA

**Diretora de Estudos e Políticas do Estado,
das Instituições e da Democracia**

LUSENI MARIA CORDEIRO DE AQUINO

Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas

CLÁUDIO ROBERTO AMITRANO

**Diretor de Estudos e Políticas Regionais,
Urbanas e Ambientais**

ARISTIDES MONTEIRO NETO

**Diretor de Estudos e Políticas Setoriais,
de Inovação, Regulação e Infraestrutura**

PEDRO CARVALHO DE MIRANDA

Diretora de Estudos e Políticas Sociais

LETÍCIA BARTHOLO DE OLIVEIRA E SILVA

Diretora de Estudos Internacionais

KEITI DA ROCHA GOMES

Chefe de Gabinete

ALEXANDRE DOS SANTOS CUNHA

**Coordenadora-Geral de Imprensa e
Comunicação Social**

GISELE AMARAL DE SOUZA

Ouvidoria: <https://www.ipea.gov.br/ouvidoria>

URL: <https://www.ipea.gov.br>

Texto para Discussão

Publicação seriada que divulga resultados de estudos e pesquisas em desenvolvimento pelo Ipea com o objetivo de fomentar o debate e oferecer subsídios à formulação e avaliação de políticas públicas.

© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – **ipea** 2025

Análise de cenários de mudanças no clima e de diferentes narrativas socioeconômicas sobre alterações no uso do solo e na agricultura / Wanderson Santos Costa ... [et al.]. – Rio de Janeiro: Ipea, 2025.

86 p. : il., gráfs. – (Texto para Discussão ; n. 3139).

Inclui Bibliografia.

ISSN 1415-4765

1. Globiom-Brasil. 2. Modelo de uso do solo. 3. Agropecuária. I. Costa, Wanderson Santos. I. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

CDD 362.1

Ficha catalográfica elaborada por Ana Paula Fernandes Abreu CRB-7/4769.

Como citar:

COSTA, Wanderson Santos *et al.* **Análise de cenários de mudanças no clima e de diferentes narrativas socioeconômicas sobre alterações no uso do solo e na agricultura.** Rio de Janeiro: Ipea, jul. 2025. 86 p. (Texto para Discussão, n. 3139). DOI: <https://dx.doi.org/10.38116/td3139-port>

JEL: R11, R12, Q1.

As publicações do Ipea estão disponíveis para *download* gratuito nos formatos PDF (todas) e EPUB (livros e periódicos).

Acesse: <https://repositorio.ipea.gov.br/>.

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério do Planejamento e Orçamento.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

SUMÁRIO

SINOPSE	
ABSTRACT	
1 INTRODUÇÃO	7
2 NARRATIVAS SOCIOECONÔMICAS.....	8
3 MÉTODOS E CENÁRIOS DE ESTUDO.....	16
4 RESULTADOS.....	20
4.1 Mudanças do uso da terra para o cenário referencial.....	20
4.2 Tendência de produção agropecuária para o cenário referencial.....	25
4.3 Impactos das mudanças climáticas no uso da terra	37
4.4 Impactos das mudanças climáticas na produção agropecuária.....	43
4.5 Variações das narrativas socioeconômicas para o cenário com mudanças climáticas.....	55
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
REFERÊNCIAS	83

SINOPSE

Este trabalho apresenta os resultados das simulações de produção agropecuária e florestal do Brasil, por meio do Global Biosphere Management Model (Globiom), estimando os efeitos das mudanças climáticas em relação ao cenário sem mudanças climáticas e trabalhando com diferentes cenários de projeções socioeconômicas mundiais. As simulações dos efeitos das mudanças climáticas consideram a perda de produtividade agrícola devido à ocorrência de dias de temperatura extrema, particularmente danosos em períodos de crescimento de grãos. O resultado desse cenário em comparação ao cenário-base, sem mudanças climáticas, é que a produção de grãos brasileira tende a se manter, mas utilizando uma área consideravelmente maior. Há também um deslocamento da concentração da produção agrícola na direção sul do país. As áreas de pastagens seriam as principais cedentes para a ampliação da área de agricultura. Nos cenários de diferentes projeções socioeconômicas, baseadas nos caminhos socioeconômicos compartilhados (*shared socioeconomic pathways* – SSPs), a produção e a área demandada seguem o perfil de demanda de cada cenário. O cenário de menor crescimento populacional e dieta menos baseada em proteína animal requer menor produção e menor área para a pecuária e, em menor grau, para a agricultura. Nos cenários de maior crescimento populacional, ainda que com distintos perfis de nível e distribuição de renda, as projeções de produção agropecuária e de área destinada a essas atividades seguem o perfil de demanda. Quanto à cobertura florestal, o cenário com maior área projetada é o de menor crescimento populacional e dieta menos baseada em proteína animal, que conseqüentemente gera menor pressão para a abertura de novas áreas para a pecuária.

Palavras-chave: Globiom-Brasil; modelo de uso do solo; agropecuária.

ABSTRACT

This paper presents the results of simulations of agricultural and forestry production in Brazil, using the GLOBIOM-Brazil Model, of the effects of climate change in relation to the scenario without climate change and also of different scenarios of global socioeconomic projections. The simulations of the effects of climate change consider the loss of agricultural productivity due to the occurrence of extreme degree days, particularly damaging during grain growth periods. The general results of this scenario compared to the baseline, without climate change, is that Brazilian grain production tends to be maintained, but using a considerably larger area. There is also a shift in the concentration of agricultural production towards the south of the country. Pasture areas would be the main sources of expansion of the agricultural area. In the scenarios of different socioeconomic projections, based on the Shared Socioeconomic Pathways (O'Neill et al. 2017), production and area demanded follow the demand profile of each

scenario. The scenario of lower population growth and a diet less based on animal protein requires less production and area for livestock farming and, to a lesser extent, for agriculture. In the scenarios of higher population growth, and even with different income level and distribution profiles, the projections for agricultural production and area allocated to these activities follow the demand patterns. As for forest cover, the scenario with the largest projected area is that of lower population growth and a diet less based on animal protein, which consequently generates less pressure to open new areas for livestock farming.

Keywords: Globiom-Brazil; land use model; agricultural.

1 INTRODUÇÃO

As alterações climáticas globais têm influência direta na agricultura, impactando a produtividade das culturas agrícolas e a disponibilidade de alimentos, com consequências para milhões de pessoas em todo o mundo (Adams *et al.*, 2014). Dentro deste contexto, o Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de alimentos do mundo, e os impactos das mudanças climáticas no setor agropecuário brasileiro precisam ser avaliados e quantificados. Vale ressaltar que a preservação da vegetação nativa pode servir como fonte de resiliência contra os impactos das mudanças climáticas, uma vez que a conversão de florestas para áreas agrícolas é capaz de alterar o regime de chuvas, podendo ocasionar reduções na produtividade agrícola ou deslocamento das regiões agricultáveis para locais mais resistentes à seca (Zilli *et al.*, 2020; Flach *et al.*, 2021; Leite-Filho *et al.*, 2021).

As principais culturas agrícolas do agronegócio brasileiro são soja, milho e cana-de-açúcar, que juntas totalizaram 63% da área agricultável no país em 2020, conforme a pesquisa Produção Agrícola Municipal, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (PAM/IBGE).¹ Em 2020, a soja ocupou uma área de 37,1 milhões de hectares e sua produção atingiu 120 milhões de toneladas. O milho totalizou uma produção de 97,3 milhões de toneladas em 2020, ocupando uma área de 18,6 milhões de hectares. Por sua vez, a cana-de-açúcar alcançou uma produção de 757,1 milhões de toneladas, essencialmente utilizada como matéria-prima na produção de açúcar e etanol, e ocupou uma área de 10 milhões de hectares, segundo a PAM/IBGE. Com relação ao setor pecuário, o rebanho bovino brasileiro foi o maior do mundo em 2020, com 218,2 milhões de cabeças (Aragão e Contini, 2020),² exportando 1,7 milhão de toneladas de carne bovina desossada e vitela no mesmo ano.³

Modelos de mudanças de uso da terra, combinados com aplicação de choques nas produtividades de *commodities* do agronegócio, podem direcionar investimentos e planejamentos a longo prazo em regiões onde essas culturas agrícolas possuem maior ou menor risco de sofrerem os impactos das mudanças do clima com reflexos nas suas produções. Neste contexto, utilizamos o modelo econômico de equilíbrio

1. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>.

2. Ver também a Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM) do IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html>.

3. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data>.

parcial Globiom-Brasil⁴ (Soterroni *et al.*, 2018; Soterroni *et al.*, 2019; Zilli *et al.*, 2020) para determinar os impactos de mudanças climáticas no setor agropecuário e as possíveis adaptações do setor em termos do deslocamento da produção no território nacional. Mais detalhes sobre o modelo e suas últimas atualizações podem ser vistos em Ruivo *et al.* (2025). Além disso, neste trabalho foram utilizadas diferentes narrativas que descrevem um conjunto de futuros relacionados às mudanças climáticas que abordam desafios socioeconômicos distintos, denominados cenários socioeconômicos compartilhados (*shared socioeconomic pathways* – SSPs), conforme O’Neill *et al.* (2017). Cinco cenários de mudanças climáticas foram analisados utilizando diferentes narrativas socioeconômicas.

Este texto, que descreve as análises dos cenários de mudanças nos usos do solo, está organizada em cinco seções, contando com esta introdução. Na seção 2, são apresentadas as narrativas socioeconômicas (SSPs) utilizadas na construção dos cenários climáticos, os quais estão descritos na seção 3. Os resultados são apresentados na seção 4, com destaque para a análise das projeções das três culturas agrícolas mais plantadas no país (soja, milho e cana-de-açúcar) e do rebanho bovino. Por fim, na seção 5, são apresentadas as principais conclusões dos impactos futuros das mudanças climáticas no setor agropecuário utilizando diferentes narrativas socioeconômicas simuladas no modelo Globiom-Brasil.

2 NARRATIVAS SOCIOECONÔMICAS

Nos últimos anos, pesquisadores de diferentes grupos de modelagem desenvolveram um conjunto de trajetórias que examinam como a sociedade global, a economia e a demografia podem mudar até o fim do século. Estas trajetórias para o futuro são conhecidas como SSPs (O’Neill *et al.*, 2014; O’Neill *et al.*, 2017). O desenvolvimento dos SSPs envolve cinco passos principais (Riahi *et al.*, 2017):

- criação de narrativas socioeconômicas, com o objetivo de fornecer descrições mais amplas das condições do futuro relevantes não só para a análise de estratégias de mitigação, mas também para a análise de vulnerabilidades sociais às mudanças climáticas, impactos climáticos e medidas para adaptação;

4. Modelo Global de Gestão da Biosfera (Global Biosphere Management Model – Globiom), desenvolvido e gerido pelo International Institute for Applied Systems Analysis (Iiasa). Disponível em: <https://iiasa.ac.at/models-tools-data/globiom/>; e <https://globiom.org/introduction.html>.

TEXTO para DISCUSSÃO

- extensão destas narrativas, descrevendo em termos quantitativos as principais características de cada SSP e as hipóteses de cada cenário;
- elaboração dos elementos básicos dos SSPs em termos de indicadores demográficos e econômicos usando modelos quantitativos;
- desenvolvimento dos cenários referenciais de cada SSP, com a definição do sistema de energia, do uso do solo e das emissões de gases de efeito estufa (GEEs), usando um conjunto de modelos de avaliação integrada (*integrated assessment models* – IAMs); e
- construção destes elementos via IAMs para cenários de mitigação usando SSPs.

Existem cinco diferentes narrativas que descrevem um conjunto de futuros possíveis que se estendem ao longo de duas dimensões relacionadas às mudanças climáticas:

- SSP1 – desafios socioeconômicos para mitigação e adaptação, em que, de modo geral, os SSPs refletem um mundo de crescimento e igualdade com foco na sustentabilidade (Vuuren *et al.*, 2017);
- SSP2 – um mundo em que as tendências seguem amplamente seus padrões históricos (Fricko *et al.*, 2017);
- SSP3 – um mundo fragmentado, com competição entre países (Fujimori *et al.*, 2017);
- SSP4 – um mundo de desigualdades cada vez maiores (Calvin *et al.*, 2017); e
- SSP5 – um mundo de crescimento rápido e irrestrito na produção econômica e no uso de energia, com predominância do uso de combustíveis fósseis (Kriegler *et al.*, 2017).

O quadro 1 contém uma descrição de cada uma das narrativas dos cinco SSPs. Mais detalhes sobre as cinco narrativas são encontrados em (O'Neill *et al.*, 2017).

QUADRO 1**Descrição das narrativas socioeconômicas**

SSP	Narrativa
	Sustentabilidade (baixos desafios para mitigação e adaptação)
SSP1	Gradativa e generalizadamente, o mundo muda em direção a um caminho mais sustentável, com um desenvolvimento mais inclusivo, e investimento em tecnologias e práticas de políticas ambientais. Os custos sociais, culturais e econômicos da degradação ambiental e da desigualdade são evidenciados pelos países, com a desigualdade sendo reduzida tanto entre países quanto dentro deles. Há cooperação e colaboração cada vez mais eficazes e duradouras entre organizações públicas e instituições locais, nacionais e internacionais, o setor público e a sociedade civil. Os investimentos em bem-estar, educação e saúde acarretam um crescimento populacional baixo. Há ênfase no bem-estar humano, mesmo às custas de um crescimento econômico um pouco mais lento em longo prazo. O aumento do investimento e dos incentivos financeiros em tecnologias ambientais aumentam o consumo de energias renováveis. O consumo é orientado para uma demanda de energia relativamente baixa.
	Meio do caminho (desafios médios para mitigação e adaptação)
SSP2	Os padrões sociais, econômicos e tecnológicos seguem as tendências históricas. A desigualdade de renda persiste ou melhora muito pouco, e o desenvolvimento econômico prossegue de forma desequilibrada, com o aumento em alguns países em detrimento de outros. Os mercados estão globalmente conectados e funcionam de forma imperfeita, com a maioria das economias politicamente estáveis. Há um progresso lento em relação aos objetivos de boas políticas ambientais e práticas sustentáveis, incluindo melhores condições de vida e acesso à educação e bem-estar. A evolução tecnológica avança em ritmo acelerado nos países de alta renda, mas sem grandes avanços nos países de baixa renda, com médio crescimento econômico e populacional. Não há relutância em usar recursos fósseis, embora a dependência de combustíveis fósseis diminua lentamente. Em geral, há uma redução da demanda de energia e da intensidade do uso de recursos.
	Competição regional (desafios altos para mitigação e adaptação)
SSP3	Um mundo onde existem preocupações com competitividade e segurança. Conflitos regionais levam os países a se concentrar cada vez mais em questões domésticas ou, no máximo, regionais. A coordenação e a cooperação entre países são desiguais para abordar questões ambientais e outras preocupações globais. As políticas mudam ao longo do tempo e são orientadas para questões de competição regional, incluindo barreiras ao comércio, particularmente nos mercados de recursos energéticos e agrícolas. A demanda de energia e o uso de recursos são elevados, com grande dependência de combustíveis fósseis. As desigualdades persistem ou pioram, em especial nos países em desenvolvimento. O investimento em educação diminui, e os desenvolvimentos tecnológico e econômico são baixos. Os países dão ênfase em alcançar metas de segurança energética e em alimentar a população de suas próprias regiões às custas de um desenvolvimento mais amplo e, em várias regiões, adotam formas de governo mais autoritárias. Existem bolsões de pobreza extrema ao lado de bolsões de riqueza moderada, com muitos países lutando para manter níveis razoáveis em relação à saúde, ao saneamento básico e ao bem-estar. Os países em desenvolvimento têm crescimento populacional alto, enquanto o crescimento é baixo nos países industrializados. A preocupação ambiental é limitada e resulta em pouco progresso em direção à sustentabilidade.

(Continua)

TEXTO para DISCUSSÃO

(Continuação)

SSP	Narrativa
SSP4	Desigualdade (desafios baixos para mitigação, desafios altos para adaptação)
	Há grande desigualdade e estratificação social intra- e interregional, com disparidades crescentes em oportunidades econômicas e poder político. As políticas ambientais se concentram em questões locais em torno de áreas de média e alta renda. O crescimento econômico é médio nos países industrializados e de renda média, e baixo nos países de baixa renda. Em muitos casos, os países mais pobres esforçam-se arduamente para fornecer acesso adequado à água, saneamento e cuidados de saúde para os mais pobres. O poder fica mais concentrado em uma elite política e empresarial relativamente pequena, mesmo em sociedades democráticas, enquanto grupos vulneráveis têm pouca representação nas instituições nacionais e globais. O desenvolvimento tecnológico é alto apenas nos países mais ricos, que detêm setores de tecnologia de ponta. A incerteza nos mercados de combustíveis fósseis leva a um pequeno incentivo em novos recursos em muitas regiões do mundo, com investimentos em combustíveis intensivos em carbono, como carvão e petróleo não convencional, mas também em fontes de energia renováveis.
SSP5	Desenvolvimento movido a combustíveis fósseis (desafios altos para mitigação, desafios baixos para adaptação)
	Um mundo impulsionado pelo alto crescimento tecnológico, com mercados competitivos, globais e cada vez mais integrados. Há um alto investimento em saúde, bem-estar e educação. O desenvolvimento econômico e social é alto e é fortemente dependente do uso de combustíveis fósseis, com uma alta demanda de energia e uso de recursos em todos os países. Existe relativamente pouco esforço para evitar possíveis impactos ambientais globais, embora os impactos locais sejam tratados de forma eficaz por soluções tecnológicas. A população global atinge picos e declínios no decorrer do século. A mobilidade internacional aumenta e a desigualdade de renda diminui.

Fonte: O'Neill *et al.* (2017).

Elaboração dos autores.

A partir das narrativas, são criados os elementos básicos dos SSPs em termos de indicadores demográficos e econômicos usando modelos quantitativos. No processo de criação dos elementos, os países foram categorizados em três grupos de acordo com a taxa de fertilidade ou o nível de renda: i) fertilidade alta (FA), definida para os países com taxa de fertilidade maior que 2,9 em 2005-2010; ii) fertilidade baixa (FB), incluindo todos os países com taxa de fertilidade igual ou inferior a 2,9 e que não estão inclusos na terceira categoria; e iii) R-OECD, grupo composto pelos países da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE) definidos como de alta renda pelo Banco Mundial. A lista completa dos países em cada categoria pode ser encontrada em Kc e Lutz (2017). Os quadros 2, 3 e 4 sintetizam as hipóteses acerca dos elementos-chave para cada narrativa SSP.

QUADRO 2
Sumário das hipóteses relacionadas aos elementos dos cinco SSPs de demografia e desenvolvimento humano

Elemento SSP	SSP1		SSP2		SSP3		SSP4		SSP5			
	Grupos de países categorizados por fertilidade (KC e Lutz, 2017) para os elementos demográficos e de desenvolvimento humano											
	FA	FB	R-OECD	FA	FB	R-OECD	FA	FB	R-OECD	FA	FB	R-OECD
Demografia												
População												
Crescimento	Relativamente baixo		Médio	Alto	Baixo	Relativamente alto		Baixo	Relativamente baixo			
Fertilidade	Baixa	Média	Média	Alta	Baixa	Alta	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Alta	
Mortalidade	Baixa	Baixa	Média	Alta	Alta	Média	Média	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	
Migração	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Alta	
Urbanização												
Nível	Alto	Médio	Médio	Baixo	Baixo	Alto	Médio	Médio	Alto	Alto	Alto	
Tipo	Bem gerenciado	Continuação dos padrões históricos	Mal gerenciado	Desigualdade entre cidades e dentro delas								Gerenciamento melhora no decorrer do tempo, em alguns casos com expansão da urbanização
Desenvolvimento humano												
Educação	Alta	Média	Baixa	Baixa	Baixa	Muito baixa, desigual	Baixa, desigual	Média e desigual	Alta	Alta	Alta	
Investimento em saúde	Alto	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Desigual dentro das regiões, mais baixo em países de baixa renda, médio em países de alta renda						
Acesso à saúde e saneamento	Alto	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Desigual dentro das regiões, mais baixo em países de baixa renda, médio em países de alta renda						
Igualdade de gênero	Alta	Média	Baixa	Baixa	Baixa	Desigual dentro das regiões, mais baixa em países de baixa renda, média em países de alta renda						
Igualdade social	Alta	Média	Baixa	Baixa	Baixa	Média						
Coesão social	Alta	Média	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa, estratificada						
Participação na sociedade	Alta	Média	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa						

Fonte: O'Neill et al. (2017).
 Elaboração dos autores.

QUADRO 3**Sumário das hipóteses relacionadas aos elementos dos cinco SSPs de economia e estilo de vida**

Elemento SSP	SSP1	SSP2	SSP3	SSP4	SSP5
Economia e estilo de vida					
Crescimento econômico <i>per capita</i>	Alto em países de baixa e média renda; médio em países de alta renda	Médio, desigual	Lento	Baixo em países de baixa renda, médio nos outros países	Alto
Desigualdade	Reduzida entre e dentro dos países	Moderadamente desigual entre e dentro dos países	Alta, especialmente entre os países	Moderada	Fortemente reduzida, especialmente entre países
Comércio internacional	Moderado	Moderado	Fortemente restrito	Moderado	Alto, com especialização regional em produção
Globalização	Mercados conectados, produção regional	Economia globalizada semiaberta	Desglobalização (reversão da troca cultural vista recentemente), segurança regional (retorno aos blocos regionais)	Elites conectadas globalmente	Forte globalização, aumentando gradativamente
Consumo e dieta	Baixa demanda em matéria-prima para consumo, redução de carne nas dietas verificada primeiramente nos países de alta renda.	Alta demanda de matéria-prima para consumo, consumo de carne médio.	Alta demanda de matéria-prima para consumo.	Elites: estilo de vida de alto consumo. Restante: baixo consumo e baixa mobilidade.	Materialismo, consumo por <i>status</i> , turismo, mobilidade, dietas ricas em carne.
Políticas e instituições					
Cooperação internacional	Efetiva	Relativamente fraca	Fraca, desigual	Efetiva para economias globalmente conectadas, o que não ocorre para as populações vulneráveis	Efetiva com o intuito de alcançar as metas de desenvolvimento, limitadas para metas ambientais

(Continua)

(Continuação)

Elemento SSP	SSP1	SSP2	SSP3	SSP4	SSP5
Políticas e instituições					
Políticas ambientais	Gerenciamento melhorado de problemas locais e globais; boa regulamentação de poluidores	Preocupação com poluidores locais, mas apenas com sucesso moderado na implementação	Baixa prioridade para políticas ambientais	Foco em políticas locais em países de média e alta renda, pouca atenção para áreas mais vulneráveis e problemas globais	Foco em políticas locais com ênfase em benefícios de bem-estar, pouca preocupação com problemas globais
Orientação política	Em busca de um desenvolvimento sustentável	Pouco foco em sustentabilidade	Orientada para a segurança nacional	Em busca de benefícios para o negócio e a política das elites	Em busca de desenvolvimento, livre-comércio e capital humano
Instituições	Efetivas em nível nacional e internacional	Desiguais, efetividade modesta	Instituições globais fracas, governos dominam as tomadas de decisão da sociedade	Efetiva para o negócio e a política das elites, em detrimento do restante da sociedade	Gradativamente efetiva, orientada para a redução de mercados competitivos

Fonte: O'Neill *et al.* (2017).

Elaboração dos autores.

QUADRO 4**Sumário das hipóteses relacionadas aos elementos dos cinco SSPs de tecnologia, meio ambiente e recursos naturais**

Elemento SSP	SSP1	SSP2	SSP3	SSP4	SSP5
Tecnologia					
Desenvolvimento	Rápido	Médio, desigual	Lento	Rápido em economias com tecnologia de ponta, lento nas outras	Rápido
Transferência	Rápida	Lenta	Lenta	Pequena transferência dentro de países para população mais pobres	Rápida

(Continua)

TEXTO para DISCUSSÃO

(Continuação)

Elemento SSP	SSP1	SSP2	SSP3	SSP4	SSP5
Mudança de energia para tecnologia	Em busca de fontes renováveis e eficientes	Algum investimento em energias renováveis, mas com uso contínuo de combustíveis fósseis	Mudança lenta, orientada para fontes de energia domésticas	Investimentos diversificados, incluindo fontes de baixo carbono	Orientado a combustíveis fósseis, fontes alternativas não são utilizadas
Intensidade de energia	Baixa	Média	Alta em regiões com amplos recursos de combustíveis fósseis	Baixa-média	Alta
Intensidade de carbono	Baixa	Desigual, alta em países de baixa renda	Alta	Baixa-média	Alta
Meio ambiente e recursos naturais					
Restrições fósseis	Preferências se distanciam dos combustíveis fósseis	Não há relutância no uso de recursos não convencionais	Recursos não convencionais para a demanda doméstica	Antecipação das restrições eleva os preços com alta volatilidade	Nenhuma
Meio ambiente	Condições vão melhorando com o decorrer do tempo	Degradação continuada	Degradação severa	Gerenciamento alto e avançado próximo a áreas de residentes de alta e média renda, em detrimento da baixa renda	Uso de tecnologia de ponta para os serviços, ótimo gerenciamento para resolver problemas locais
Uso do solo	Regulamentação rígida para evitar compensações ambientais	Regulamentação mediana que conduz a um leve declínio na taxa de desmatamento	Praticamente não há regulamentação, desmatamento contínuo devido à competição da terra e à expansão rápida da agropecuária	Regulamentação rígida em países de alta e média renda; gerenciamento fraco em países de baixa renda, levando ao desmatamento de regiões tropicais	Regulamentação mediana que conduz a um leve declínio na taxa de desmatamento

(Continua)

(Continuação)

Elemento SSP	SSP1	SSP2	SSP3	SSP4	SSP5
Setor agropecuário	Avanços na produtividade das culturas agrícolas e do setor pecuário, rápida difusão de boas práticas	Ritmo médio de mudança tecnológica no setor, barreiras de entrada no setor agropecuário são reduzidas lentamente	Desenvolvimento tecnológico baixo, comércio restrito	Produtividade alta para agricultura de larga escala, e baixa para agricultura de baixa escala	Setor altamente gerenciado com uso intensivo de recursos, aumento rápido na produtividade

Fonte: O'Neill *et al.* (2017).

Elaboração dos autores.

As narrativas e os elementos para cada SSP são traduzidos em projeções quantitativas para os principais indicadores socioeconômicos, tais como população, produto interno bruto (PIB), dieta e urbanização (Riahi *et al.*, 2017). Em seguida, ambas as narrativas e as projeções associadas aos indicadores socioeconômicos são elaboradas usando um conjunto de IAMs, de forma que sejam derivadas projeções quantitativas de energia, uso do solo e emissões associadas a cada SSP.

O modelo Globiom-Brasil utiliza as estimativas de PIB e população projetadas pelos SSPs.⁵ Os impactos das futuras mudanças de tecnologia na produtividade das culturas agrícolas foram calculados a partir de observações históricas da relação entre a produtividade das culturas e o PIB. O mesmo ocorre para os impactos da eficiência de conversão alimentar na pecuária⁶ (Herrero *et al.*, 2014). Além disso, as preferências globais do consumidor no futuro são capturadas a partir das elasticidades de renda de funções de demanda (Elbehri, 2015), que foram calibradas para as projeções da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO) em Alexandratos e Bruinsma (2012).

3 MÉTODOS E CENÁRIOS DE ESTUDO

Neste estudo, o cenário referencial foi construído para capturar as tendências históricas em termos de mudança no uso do solo e na produção, consumo e exportação de produtos agrícolas no Brasil, utilizando as projeções de população e PIB do cenário SSP2. A conversão do uso da terra é motivada, principalmente, pela produção de

5. Disponível em: <https://tntcat.iiasa.ac.at/SspDb/dsd?Action=htmlpage&page=10#pastreleases>.

6. Conversão alimentar: indicador que mede o ganho de peso de um animal em proporção à quantidade de ração que este consome.

commodities para satisfazer as demandas nacionais e de outros 29 países ou regiões. Dessa forma, o desmatamento não é imposto ao modelo com base no padrão histórico, mas é resultado dos sinais de mercado combinados aos custos de produção, às características biofísicas do solo e dos sistemas de manejo, e às restrições de políticas públicas e privadas. O cenário referencial, ou Base-SSP2, fundamenta-se nos cenários *IDCImperfect2* e *IDCImperfect3* de Soterroni *et al.* (2018), no qual o controle do desmatamento ilegal é imperfeito (ou parcial) nos biomas Amazônia e Cerrado, e segue uma probabilidade de cumprimento do Código Florestal. Essa probabilidade foi calculada com base em informações georreferenciadas da ocorrência de multas, autuações e embargos realizados pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais (Ibama), entre 2000 e 2014, e no orçamento dessa agência destinado às ações de comando e controle neste período. Logo, o cenário Base-SSP2 deste texto para discussão segue o cenário *IDCImperfect3*, de 2000 até 2020, e o *IDCImperfect2*, de 2021 em diante, em que a probabilidade de cumprimento do Código Florestal é reduzida em 25% (Soterroni *et al.*, 2018). Ainda na Amazônia, a conversão de florestas em áreas de cultivo de soja não é permitida após 2005 respeitando a Moratória da Soja que foi assinada em 2006 e continua vigente. Dessa forma, no cenário Base-SSP2, toda a soja produzida na Amazônia, entre 2006 e 2050, é livre de desmatamento direto. Na Mata Atlântica, o desmatamento legal e ilegal é banido após 2005, uma vez que esse bioma possui lei específica e mais restritiva que o Código Florestal (Lei nº 11.428/2006 – Lei da Mata Atlântica).

Vale ressaltar que, no modelo Globiom-Brasil, a classe agricultura representa a área de dezoito culturas (soja, milho, cana-de-açúcar, cevada, milheto, arroz, sorgo, trigo, amendoim, granola, girassol, palma, mandioca, grão-de-bico, feijão, batata, batata-doce e algodão). As culturas restantes são agregadas, e totalizam uma área de 0,83 milhões de hectare (Mha), sem transição com outras classes do modelo.

Os cenários climáticos são definidos a partir do cenário Base-SSP2 e consideram fatores que alteram a produtividade das culturas agrícolas simuladas no modelo. Esses fatores (*shifters*) foram utilizados nas trinta regiões representadas pelo Globiom-Brasil em nível de grade (células de 0,5 ° x 0,5 ° – ver Ruivo *et al.*, 2025). A metodologia para criação dos *shifters*, denominada de metodologia DD, é baseada na métrica dias de temperatura extrema (*extreme degree days* – EDD). Com relação à metodologia DD, os *shifters* procuram estimar a resposta da produtividade das culturas agrícolas às mudanças de temperatura (ΔT), decorrentes de mudanças na vegetação e emissões de GEEs:

$$\Delta T_{it} = \Delta T_{it}^{GEE} + \Delta T_{it}^{SOLO}$$

onde:

i equivale ao índice da célula;

t , ao passo de tempo;

ΔT , à mudança de temperatura média;

ΔT_{it}^{GEE} à mudança de temperatura média relacionada ao clima, estimada a partir de dez modelos climáticos globais diferentes (CC-CSM2-MR, MIROC6, CAMS-CSM1-0, MRI-ESM2-0, FGOALS-g3, CESM2-WACCM, CanESM5, CESM2, IPSL-CM6A-LR e GFDL-CM4), participantes do Coupled Model Intercomparison Projects Version 6 (CMIP6); e

ΔT_{it}^{SOLO} , à mudança de temperatura induzida pela cobertura e pelo uso do solo, que leva em consideração um efeito local e um não local.

Enquanto o efeito local procura capturar a mudança de temperatura observada no lugar onde a vegetação nativa foi substituída por agricultura ou pastagem (Alkama e Cescatti, 2016), o efeito não local corresponde às mudanças de temperatura que acontecem devido à conversão de vegetação nativa para pastagem ou agricultura, na região situada entre 1 km e 50 km do local onde as culturas agrícolas estão crescendo (Cohn *et al.*, 2019). Os impactos na produtividade agrícola das mudanças locais da cobertura da terra (basicamente, desmatamento) variam espacialmente em função da cobertura de vegetação nativa local. Esse impacto é tanto maior quanto mais densa e úmida for a vegetação. Em termos quantitativos, podemos falar em variações da ordem de até 5% além dos impactos das mudanças climáticas globais. Um estudo mais detalhado desses impactos está no escopo de pesquisas futuras.

A métrica EDD mensura quantos dias uma cultura agrícola é exposta a uma temperatura máxima acima de um certo limiar de temperatura extrema. Para um dado ano e cultura agrícola, a EDD é estimada:

$$EDD_{id} = \sum_{\text{dia do plantio}}^{\text{dia da colheita}} D_{id},$$

onde:

$$D_{id} = \begin{cases} 0, & \text{se } T_{id} \leq T_{critico}, \\ T_{id} - T_{critico}, & \text{se } T_{id} > T_{critico}. \end{cases}$$

TEXTO para DISCUSSÃO

Na equação, D equivale ao dia juliano; T é a temperatura; e $T_{crítico}$ representa o limiar de temperatura. Para milho e soja, foram utilizados os valores de 29 °C e 30 °C para o limiar de temperatura, respectivamente, baseados em Schlenker e Roberts (2009).

As mudanças de temperatura são utilizadas para calcular as mudanças de EDD (ΔEDD) e relacionar estas mudanças às produtividades agrícolas. A métrica EDD usada para a fase de crescimento foi estimada usando o calendário agrícola da base de dados Agritempo,⁷ além de dados de temperatura máxima e mínima fornecidos por Xavier, King e Scanlon (2016). As mudanças de EDD são, então, calculadas em resposta às mudanças homogêneas incrementais na temperatura. A partir do relacionamento entre ΔEDD e ΔT em cada célula i , calculam-se as mudanças EDD (ΔEDD) de forma iterativa a partir de um modelo polinomial de terceira ordem:

$$\Delta EDD_i = \alpha_{1i} \cdot \Delta T + \alpha_{2i} \cdot (\Delta T)^2 + \alpha_{3i} \cdot (\Delta T)^3,$$

onde α_1 , α_2 e α_3 são os coeficientes para cada célula e cultura agrícola.

Como cálculo final, a partir dos relacionamentos entre as produtividades da soja e do milho e os valores de ΔEDD obtidos por Schlenker e Roberts (2009), as mudanças das produtividades ($\Delta Prod$) das dezoito culturas agrícolas são estimadas:

$$\Delta Prod_{it} = e^{\beta \cdot \Delta EDD} - 1,$$

onde β é a sensibilidade da produtividade para uma cultura (soja ou milho) sem considerar o sistema de manejo. O coeficiente β não é calculado para todas as dezoito culturas. Os impactos da soja aplicam-se para os outros grãos e oleaginosas do modelo, enquanto os do milho aplicam-se às gramíneas (Flach *et al.*, 2021). Para o feijão, o efeito do *shifter* da soja foi utilizado considerando apenas 50% dos efeitos negativos para a soja. Os impactos do milho foram mapeados para a cana-de-açúcar de forma integral, enquanto o efeito do *shifter* do milho foi usado considerando apenas 50% dos efeitos negativos para milho e sorgo. Mais detalhes sobre a metodologia DD podem ser encontrados em Flach *et al.* (2021). Neste estudo, todos os cenários que consideram mudanças climáticas utilizam a metodologia DD. À medida que novos dados sobre a produtividade de cada cultura surjam, os parâmetros aqui considerados podem ser recalibrados. Um provável aprimoramento é o relativo à produtividade da

7. Sistema de monitoramento agrometeorológico desenvolvido e mantido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br/br/>.

cana-de-açúcar, de grande representação na agricultura brasileira, mas para a qual foi necessário utilizar os dados relativos ao milho.

O quadro 5 sintetiza os cenários climáticos que consideram a metodologia DD e as cinco diferentes narrativas socioeconômicas (SSP1, SSP2, SSP3, SSP4 e SSP5).

QUADRO 5

Definição dos cenários climáticos

Cenários	Narrativa socioeconômica	Shifters de produtividade agrícola
Base-SSP2	SSP2	Não
DD-SSP1	SSP1	Sim
DD-SSP2	SSP2	Sim
DD-SSP3	SSP3	Sim
DD-SSP4	SSP4	Sim
DD-SSP5	SSP5	Sim

Elaboração dos autores.

4 RESULTADOS

Nesta seção, serão descritas as análises das projeções dos cenários referencial e de mudanças climáticas (seção 3) geradas pelo Globiom-Brasil. Na subseção 4.1, é apresentada a evolução do uso da terra projetada pelo modelo para o cenário de linha de base (Base-SSP2), que não considera o efeito das mudanças climáticas. A subseção 4.2 descreve a tendência da produção agropecuária, com destaque para soja, milho, cana-de-açúcar e rebanho bovino para o cenário Base-SSP2. As subseções 4.3 e 4.4 contêm a análise de um cenário que considera o efeito das mudanças climáticas (DD-SSP2), além da comparação com o cenário referencial (Base-SSP2), ambos utilizando a mesma narrativa socioeconômica (SSP2). A última subseção apresenta os resultados dos cinco cenários climáticos que utilizam a metodologia DD, os quais se diferenciam pela narrativa socioeconômica (SSP1, SSP2, SSP3, SSP4 e SSP5).

4.1 Mudanças do uso da terra para o cenário referencial

As mudanças das principais classes de uso do solo no cenário referencial, Base-SSP2, durante o período 2020-2050, estão ilustradas no gráfico 1.⁸ Com relação à vegetação

8. As ilustrações constantes neste texto para discussão não tiveram seu leiaute e textos padronizados e revisados pelo Editorial do Ipea, por se tratar de imagens não editáveis elaboradas pelos autores utilizando-se o *software* R.

TEXTO para DISCUSSÃO

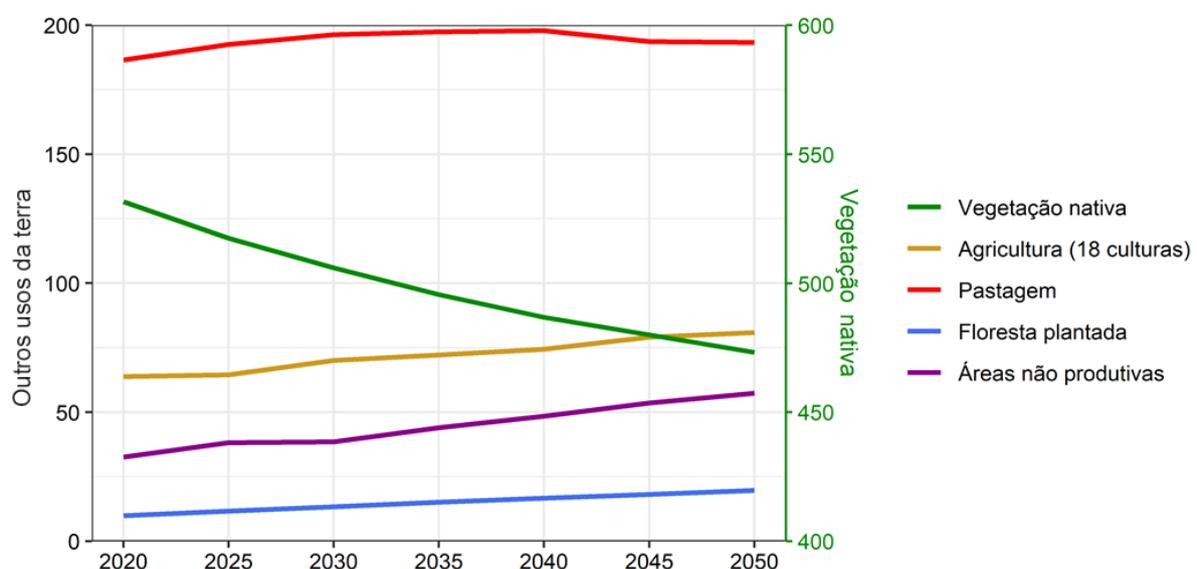
nativa, as projeções indicam um desmatamento acumulado de 58,4 Mha no Brasil entre 2021 e 2050, com 41% deste total (24,2 Mha) projetados para ocorrerem no bioma da Amazônia e 40% no Cerrado (23,3 Mha). Nesta década (2021-2030), o modelo projeta um desmatamento anual de 1,02 Mha na Amazônia e de 1,17 Mha no Cerrado (gráfico 2B). Por fim, as áreas destinadas à classe floresta plantada dobraram durante o mesmo período, de 10 Mha para 20 Mha, e as áreas não produtivas vão de 32 Mha para 57 Mha durante o período 2020-2050. As áreas não produtivas referem-se a áreas que já foram antropizadas no passado, com produção nula ou muito baixa. O crescimento das áreas não produtivas ao longo do tempo indica um aumento das áreas de pastagem degradadas com baixíssima produtividade.

A figura 1 ilustra a distribuição espacial do desmatamento acumulado nos períodos 2021-2030 e 2021-2050. As áreas com perda de vegetação nativa concentram-se na região do sul do Pará; no norte de Mato Grosso; nos entornos do rio Amazonas no bioma Amazônia; na região do Matopiba, constituída por áreas majoritariamente do bioma Cerrado nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia; no Pantanal; em algumas áreas da Caatinga; e na parte leste do bioma Pampa. A figura 2 exhibe as áreas de vegetação nativa em 2020 (figura 2A) e 2050 (figura 2B) no cenário Base-SSP2.

GRÁFICO 1

Evolução do uso da terra das principais classes do Globiom-Brasil no cenário Base-SSP2

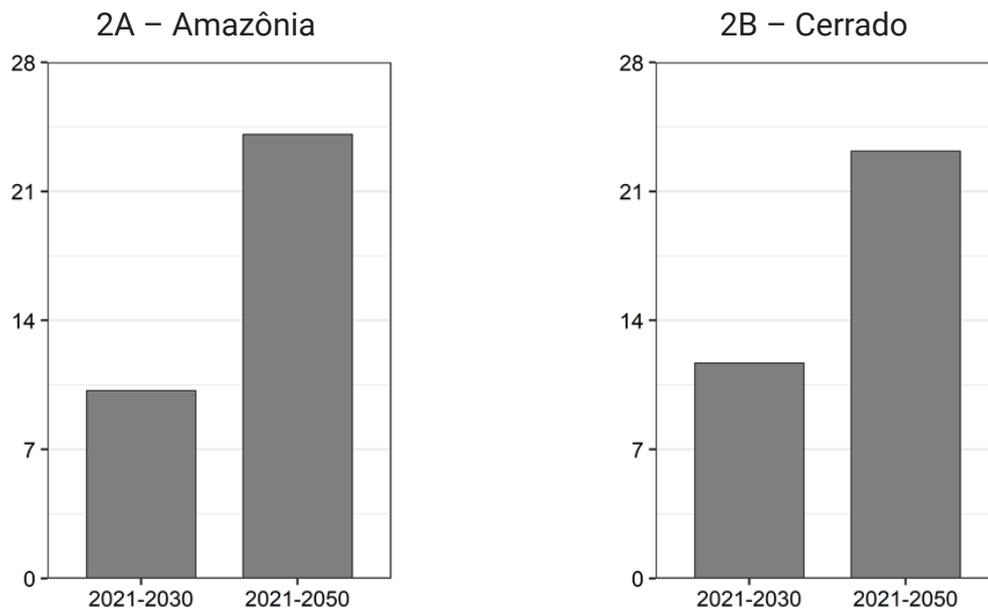
(Em Mha)



Elaboração dos autores.

GRÁFICO 2

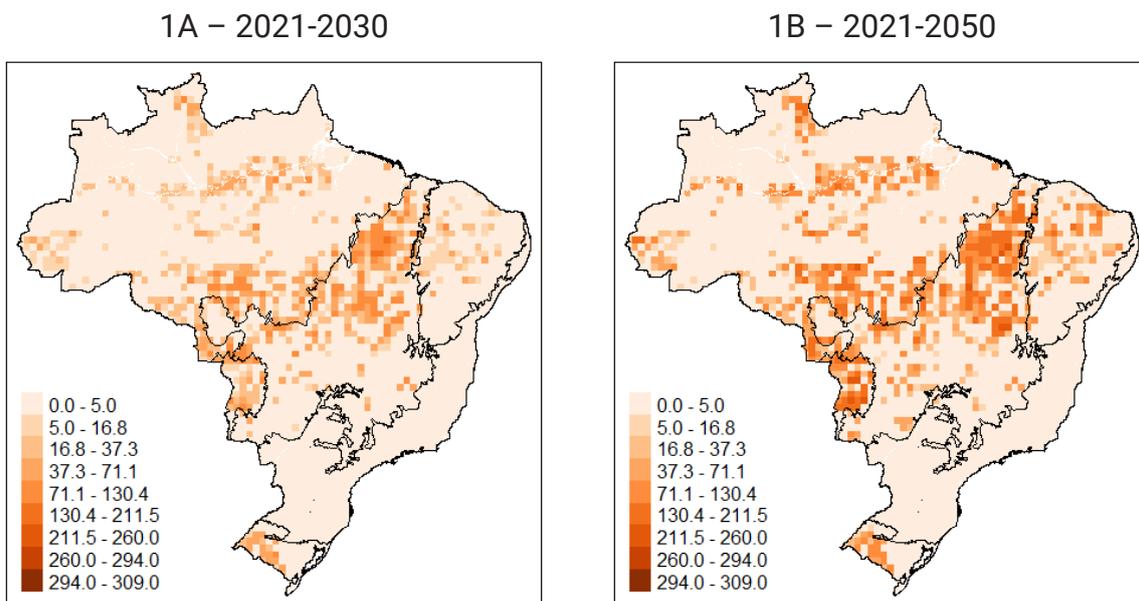
Desmatamento acumulado na Amazônia e no Cerrado no cenário Base-SSP2
(Em Mha)



Elaboração dos autores.

FIGURA 1

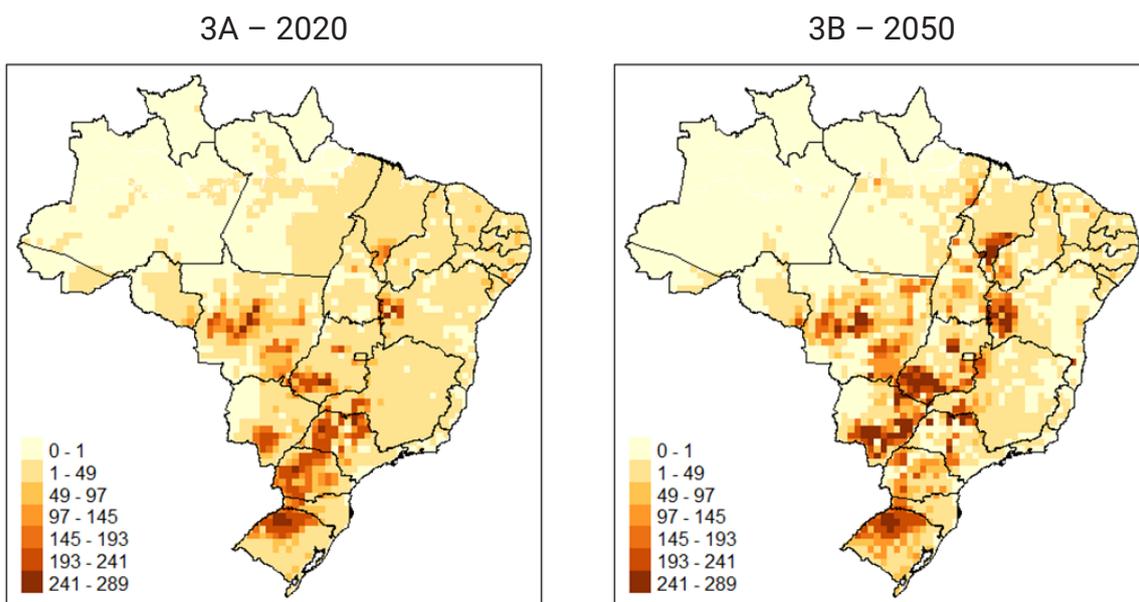
Desmatamento acumulado no cenário Base-SSP2
(Em 1.000 ha)



Elaboração dos autores.

FIGURA 3

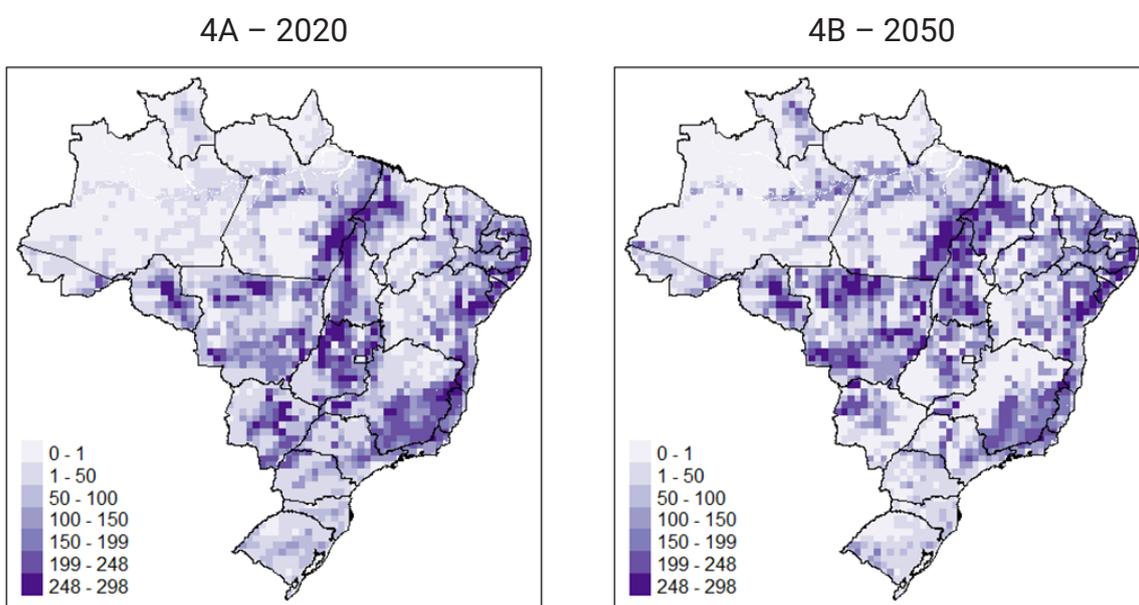
Distribuição espacial da classe agricultura (dezoito culturas) no cenário Base-SSP2
(Em 1.000 ha)



Elaboração dos autores.

FIGURA 4

Distribuição espacial da classe pastagem no cenário Base-SSP2
(Em 1.000 ha)



Elaboração dos autores.

4.2 Tendência de produção agropecuária para o cenário referencial

Nesta subseção, serão apresentadas análises das projeções de área e produção para as três culturas agrícolas que demandam a maior quantidade de terras no Brasil (soja, milho e cana-de-açúcar) e o rebanho bovino para o cenário referencial, Base-SSP2.

4.2.1 Soja

O Brasil alcançou a partir de 2021 o primeiro lugar em produção de soja, com 126 milhões de toneladas produzidas e 84 milhões exportadas. O país responde hoje por 50% do comércio mundial de soja (Balbinot Junior *et al.*, 2022). Até novembro de 2021, o complexo agroindustrial da soja exportou US\$ 45,8 bilhões, de um total de US\$ 110,7 bilhões exportados pelo agronegócio nacional, sendo responsável por mais de 41% desse total (Balbinot Junior *et al.*, 2022). Em 2020, a cultura ocupou uma área de 37,2 milhões de hectares, o que totalizou uma produção de 121,8 milhões de toneladas, de acordo com a PAM/IBGE.

Segundo Eusebio *et al.* (2021), entre 2006 e 2017, o número de estabelecimentos com lavoura de soja teve um aumento de aproximadamente 9%, enquanto a produção de soja em toneladas mais do que dobrou no mesmo período. Em 2017, os estabelecimentos com lavoura de soja concentraram-se nos biomas Mata Atlântica (79,2%), Cerrado (11,3%) e Pampa (7,3%). O bioma Cerrado concentrava a maior parte da produção, cerca de 46%, seguido pelo bioma Mata Atlântica (31,2%) e pelo Pampa (7,2%) (Eusebio *et al.*, 2021).

Comparando os cenários Base-SSP2 para os anos 2020 e 2050, os estados ou porções de estados onde se observa um aumento de área do cultivo são: Mato Grosso, sul do Maranhão, sul de Goiás, sul de Mato Grosso do sul e oeste da Bahia (figura 5). As projeções indicam que a produtividade média da soja no Brasil aumenta 18% entre 2020 e 2050. Ao observarmos a produtividade no estado de Mato Grosso neste mesmo período, esta aumenta para 24%, enquanto no Matopiba a produtividade sofre um acréscimo de 16%, menor que a média do Brasil.

O cenário Base-SSP2 projeta para o bioma Cerrado um aumento de 92% na área de soja (gráfico 3A), bem como aumento de 130% na produção da mesma *commodity* (gráfico 3B). O resultado da análise para o bioma Mata Atlântica apresenta uma redução de 50% de área e produção de soja.

TABELA 1**Área e produção de soja nas regiões mais relevantes no cenário Base-SSP2**

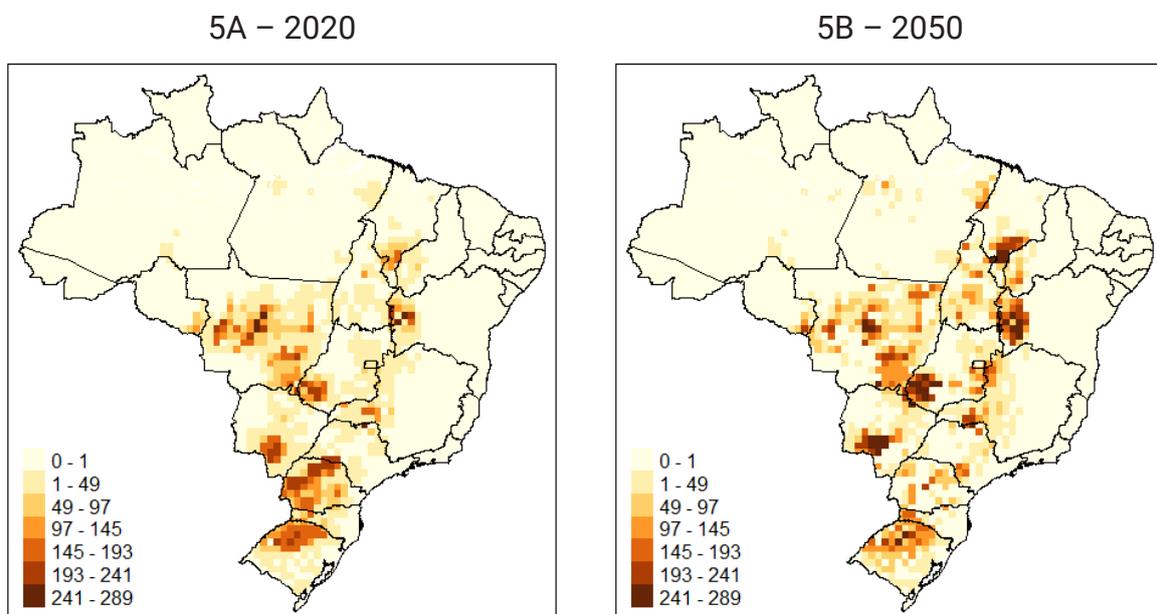
Região	2020		2050	
	Área (Mha)	Produção (Mt)	Área (Mha)	Produção (Mt)
Brasil	37,1	120,0	51,0	194,0
Mato Grosso	10,8	40,6	13,1	61,2
Matopiba	4,3	13,7	12,1	44,2
Goiás	2,7	8,8	5,6	23,0
Mato Grosso do Sul	3,1	7,9	5,0	17,2
Rio Grande do Sul	5,5	13,0	6,2	17,2
Paraná	7,0	24,3	2,0	6,8

Elaboração dos autores.

Obs.: Mt – milhões de toneladas.

FIGURA 5**Área de soja para o cenário Base-SSP2**

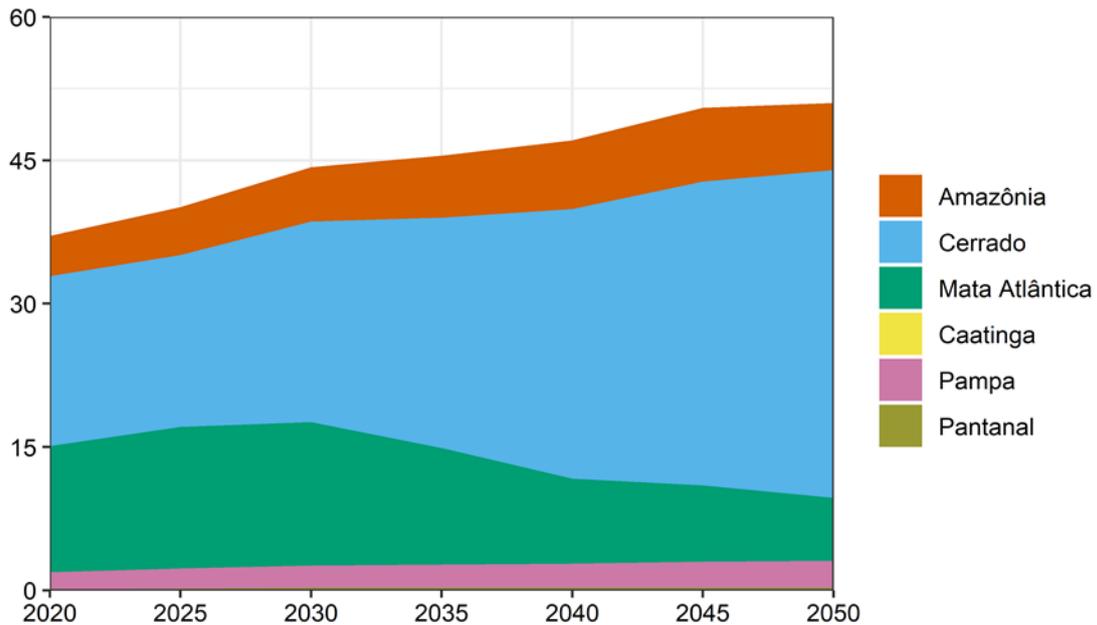
(Em 1.000 ha)



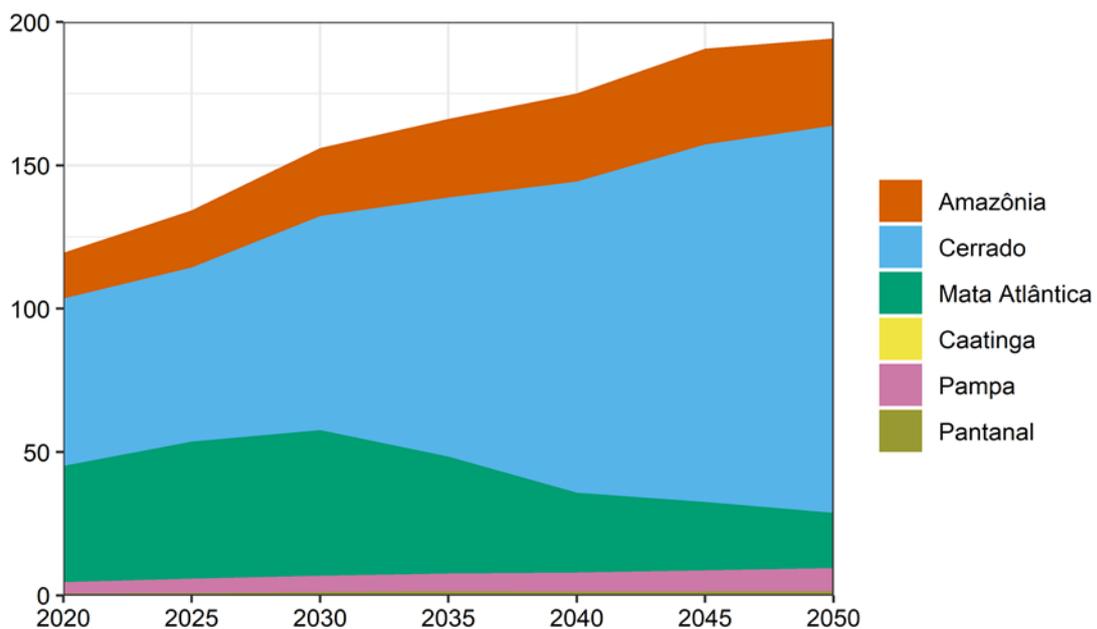
Elaboração dos autores.

GRÁFICO 3**Evolução da área e da produção de soja, por bioma, no cenário Base-SSP2**

3A – Área (Mha)



3B – Produção (Mt)



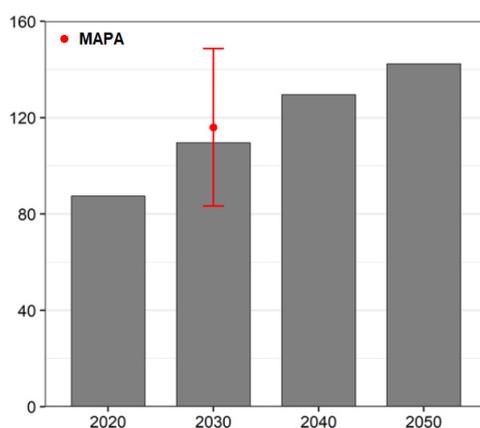
Elaboração dos autores.

O gráfico 4 mostra que a projeção de exportação de soja para 2030 está dentro do intervalo previsto pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). Além disso, as exportações de soja no Brasil aumentarão em torno de 65% de 2020 a 2050. Vale ressaltar que o modelo estima que 61% da soja produzida em 2020 será destinada para exportação. Para 2050, serão exportados 73% do total de soja produzido.

GRÁFICO 4

Exportação total de soja no cenário Base-SSP2

(Em Mt)



Elaboração dos autores.

Obs.: As estimativas de exportação do Mapa (Brasil, 2021) para os limites superior e inferior e o valor projetado para 2030 estão em vermelho.

4.2.2 Milho

A cultura do milho, um dos principais cereais utilizados no Brasil, apresenta grande importância econômica e social para o país (Silva Pinheiro *et al.*, 2021). A cultura ocupou uma área de 4,97 Mha na primeira safra, o que totalizou uma produção de 26,6 Mt em 2020. Na segunda safra, a área colhida e o total produzido foram 13,42 Mha e 11,35 Mt.⁹

Analisando os mapas para o cenário Base-SSP2 entre 2020 e 2050 (figura 6), observa-se um aumento da área do cultivo, com concentração em Mato Grosso, sul de Goiás, sul de Mato Grosso do Sul, e na divisa entre Goiás e Minas Gerais em 2050. Os mapas mostram também que praticamente não haverá cultivo de milho na região Sul em 2050. A tabela 2 contém os valores de área e produção de milho nas regiões com os resultados mais relevantes projetados pelo modelo.

9. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>.

TEXTO para DISCUSSÃO

As projeções da área de milho para 2050 no cenário Base-SSP2 indicam grande aumento nos biomas Cerrado (180%) e Amazônia (100%) em relação a 2020 (gráfico 5A). Comportamento semelhante se observa na projeção da produção da cultura, com aumento de 330% no Cerrado e 228% na Amazônia (figura 5B). Na Mata Atlântica, as projeções de área e produção da cultura de milho para 2050 ficam próximas de zero.

TABELA 2

Área e produção de milho nas regiões mais relevantes no cenário Base-SSP2

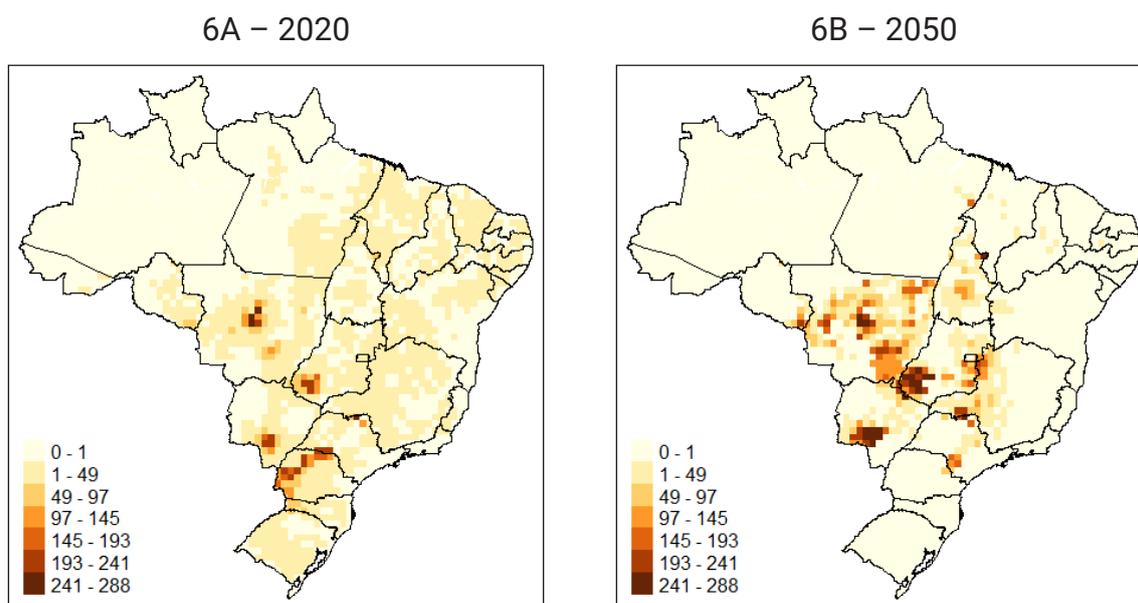
Região	2020		2050	
	Área (Mha)	Produção (Mt)	Área (Mha)	Produção (Mt)
Brasil	18,60	97,30	29,10	239,00
Mato Grosso	4,50	21,40	12,50	90,90
Matopiba	0,70	2,30	1,60	8,70
Goiás	2,10	16,10	5,30	60,60
Mato Grosso do Sul	1,92	9,90	4,50	35,90
Rio Grande do Sul	0,70	3,30	0,00	0,00
Paraná	4,00	24,00	0,10	0,50

Elaboração dos autores.

FIGURA 6

Área de milho para o cenário Base-SSP2

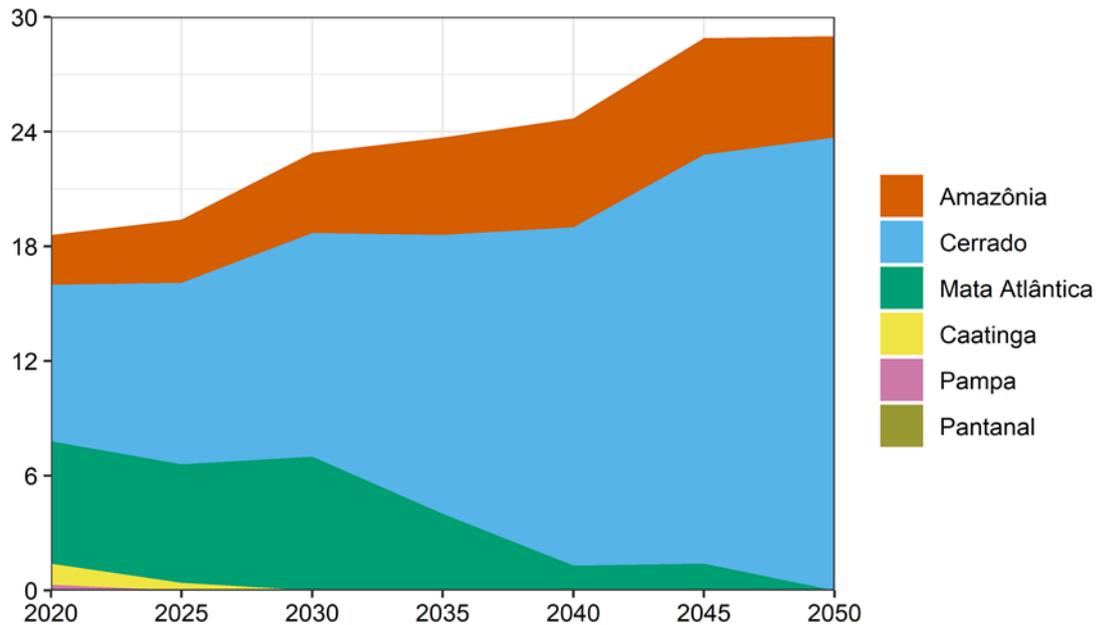
(Em 1.000 ha)



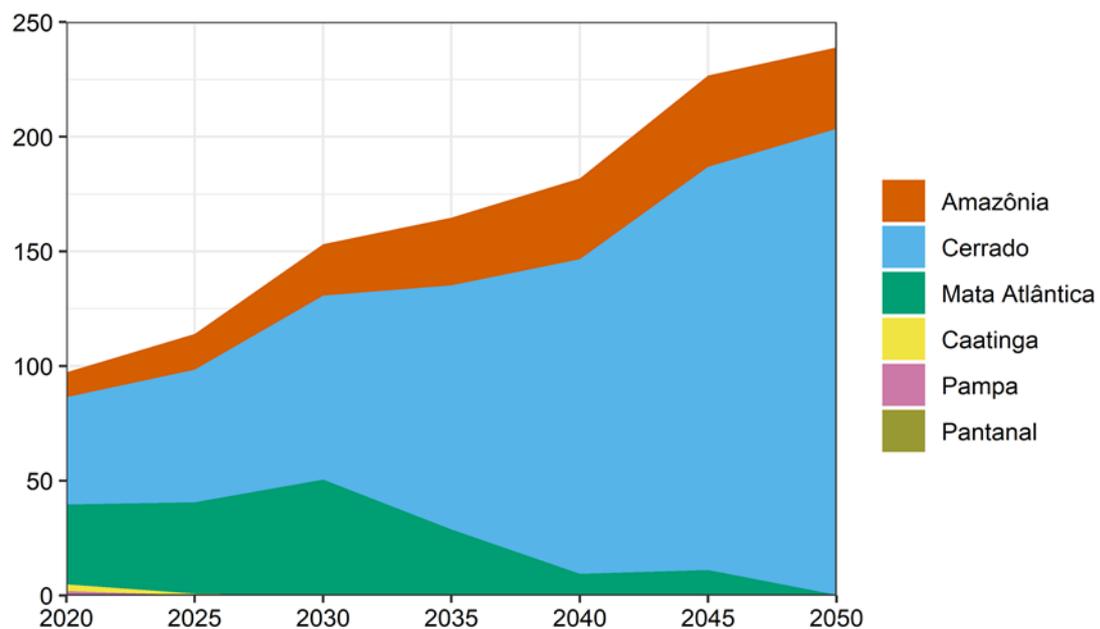
Elaboração dos autores.

GRÁFICO 5

Evolução da área e da produção de milho, por bioma, no cenário Base-SSP2
5A – Área (Mha)



5B – Produção (Mt)



Elaboração dos autores.

4.2.3 Cana-de-açúcar

O Brasil é o principal produtor de cana-de-açúcar do mundo, que é essencialmente utilizada como matéria-prima na produção de açúcar e etanol. A cana-de-açúcar é considerada uma das grandes alternativas para o setor de biocombustíveis, devido ao grande potencial na produção de etanol e seus respectivos subprodutos (Conab, 2022). Segundo Dias (2021), a cana-de-açúcar é uma monocultura cujo cultivo tem exigido áreas cada vez maiores, devido ao aumento da demanda por etanol e açúcar, tanto para o mercado interno quanto para o externo, principalmente para exportação de açúcar. Em 2020, segundo a PAM/IBGE, a área colhida e a produção de cana-de-açúcar no Brasil totalizaram 10 Mha e 757,1 Mt, respectivamente.¹⁰

Os valores projetados pelo Globiom-Brasil referem-se à cana-de-açúcar equivalente que é transformada em açúcar e etanol. Todavia, vale ressaltar que a demanda de etanol é definida exogenamente no modelo, com variações na produção até 2030, sendo constante a partir deste ano. Além disso, todo o etanol produzido no Brasil é consumido internamente. As projeções de etanol em petajoules (PJ)¹¹ para o cenário Base-SSP2 estão ilustradas na tabela 3.

TABELA 3
Projeções de etanol para o cenário Base-SSP2
(Em PJ)

Ano	2020	2025	2030 em diante
Etanol produzido	850,05	1000,33	1150,62

Elaboração dos autores.

Observando-se a evolução projetada de área e produção de cana-de-açúcar para 2050, nota-se um aumento de 109% na área e 130% na produção no bioma Cerrado, conforme ilustrado no gráfico 6. Os resultados do gráfico apresentam também uma redução de 17% da área e de 11% da produção para o bioma Mata Atlântica. Vale destacar o crescimento da área de cana-de-açúcar na região Centro-Oeste de 2020 a 2050 (figura 7). Além disso, também é observada uma redução de área no oeste do estado de São Paulo em 2050, comparativamente a 2020.

O modelo projeta um aumento de 153% nas exportações de açúcar durante o período 2020-2050, correspondendo a um crescimento de 382 Mt de cana-de-açúcar

10. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>.

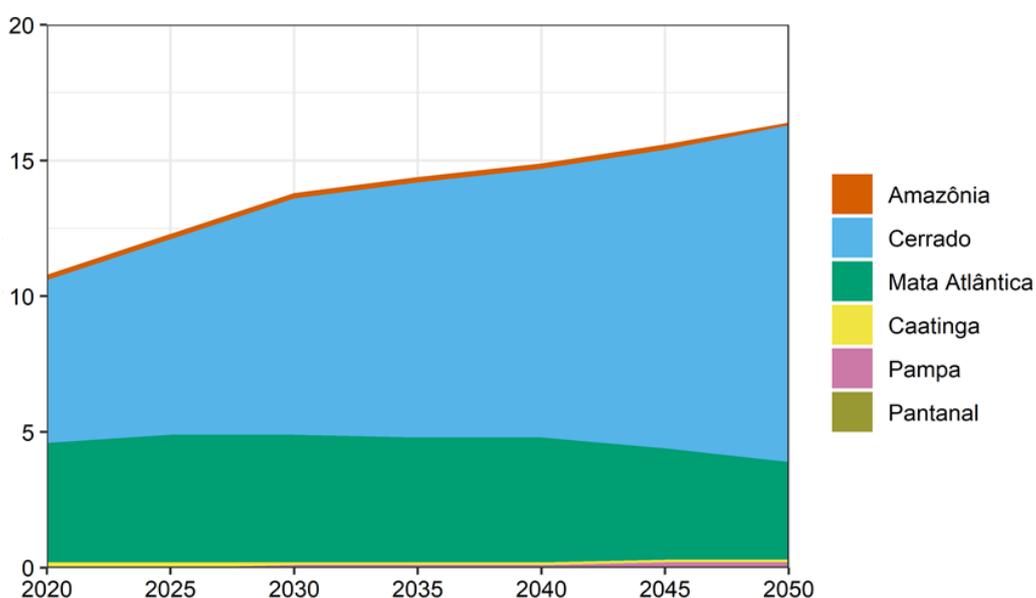
11. Unidade de medida de energia; 1 PJ é igual a 1×10^{15} joules, ou 1 quatrilhão de joules.

equivalente (gráfico 7). As projeções indicam que 45% da cana-de-açúcar produzida em 2050 será destinada para as exportações de açúcar.

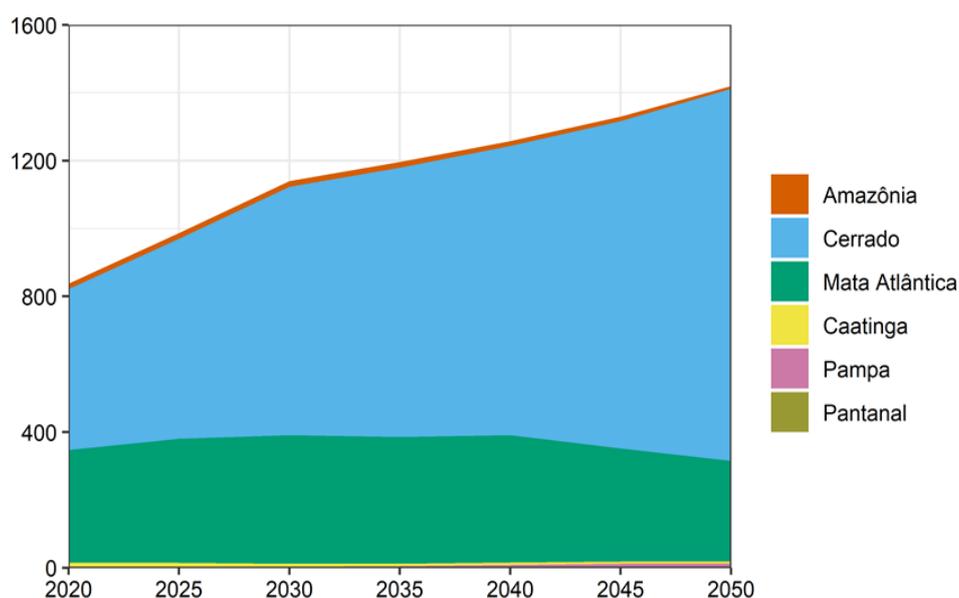
GRÁFICO 6

Evolução da área e da produção de cana-de-açúcar, por bioma, no cenário Base-SSP2

6A – Área (Mha)



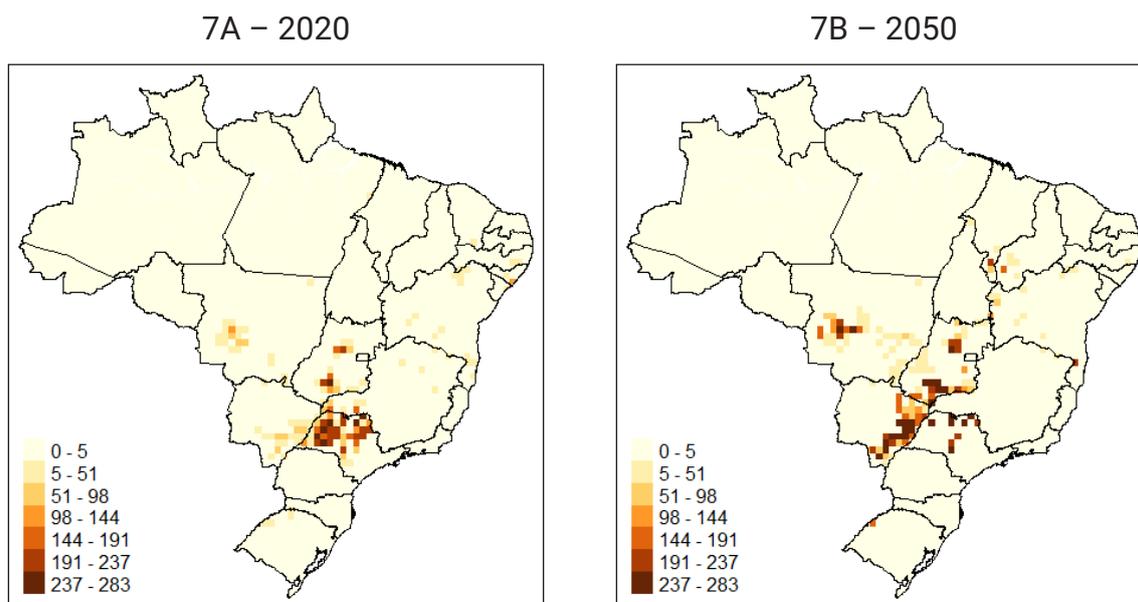
6B – Produção (Mt)



Elaboração dos autores.

FIGURA 7**Área de cana-de-açúcar para o cenário Base-SSP2**

(Em 1.000 ha)

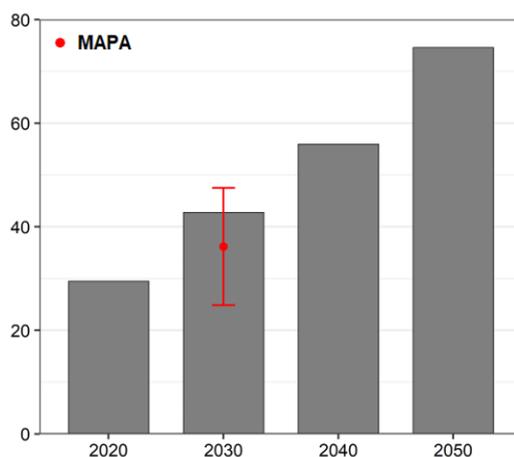


Elaboração dos autores.

Vale ressaltar que o modelo não considera a localização atual das usinas de processamento da cana-de-açúcar no processo de decisão para que cultura alocar em cada local. Apenas o retorno da produção agropecuária é considerado, em função dos custos de insumos, da produtividade dos fatores e do preço de faturamento – no próprio local, sem os custos de transporte para outros locais –, o que é razoável dado o horizonte de análise, em que as usinas atuais já estarão depreciadas, e a reposição desses ativos pode ser feita em qualquer local.

GRÁFICO 7**Exportação total de açúcar no cenário Base-SSP2**

(Em Mt)



Elaboração dos autores.

Obs.: As estimativas de exportação do Mapa (Brasil, 2021) para os limites superior e inferior e o valor projetado para 2030 estão em vermelho.

4.2.4 Carne bovina

Em 2020, o rebanho bovino brasileiro foi o maior do mundo, com 218,2 milhões de cabeças, representando 14,3% do rebanho mundial, seguido pela Índia, com 190 milhões de cabeças (Balbinot Junior *et al.*, 2022).¹² O Brasil é um dos mais importantes produtores e exportadores de carne bovina no mundo. Conforme dados do Comex Stat,¹³ as exportações de carne bovina fresca, refrigerada ou congelada somaram US\$ 7,4 bilhões, registrando uma quantidade de 1,72 milhão de toneladas exportadas em 2020, valor 80% superior ao exportado em 2010.¹⁴

Analisando-se a projeção de cabeças de gado para 2020-2050, vale destacar, na Amazônia, o aumento de 88% no número de cabeças de gado (gráfico 8A) e de 116% de produção de carne bovina (gráfico 8B). Observa-se também, no Cerrado, um aumento de 27% no número de cabeças de gado e de 51% de carne bovina. Especialmente,

12. Consulte-se também a PPM/IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html>.

13. Sistema oficial para extração das estatísticas do comércio exterior brasileiro de bens, criado e mantido pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC). Disponível em: <https://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vis>.

14. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data>.

TEXTO para DISCUSSÃO

observam-se valores elevados para a concentração de rebanhos bovinos na região norte de Mato Grosso e na região do Matopiba, com crescimento acentuado no oeste dos estados do Maranhão e do Tocantins (figura 8).

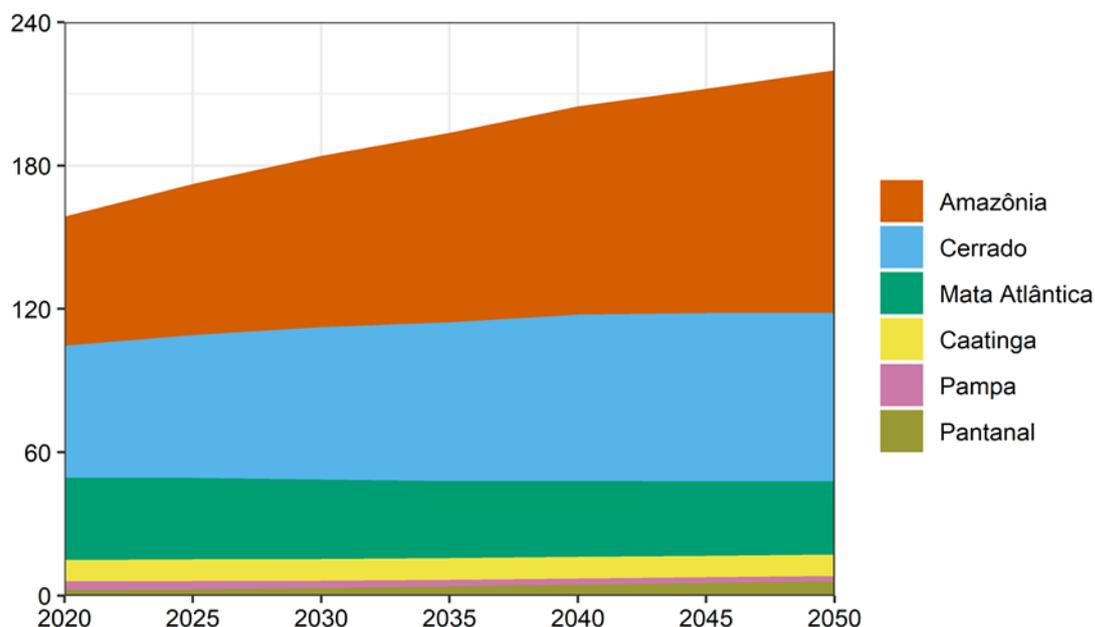
O modelo projeta um rebanho no Brasil de 220 MTLUs¹⁵ e produção de carne de 17,2 Mt em 2050, um aumento de 61 MTLUs e 6,8 Mt em relação ao ano de 2020. O estado de Mato Grosso e a região do Matopiba, somados, resultam em um aumento de 45,3 MTLUs e de 3,9 Mt durante este período.

A exportação de carne bovina estimada em 2030 aumenta gradativamente, chegando a triplicar o valor em 2050 em relação a 2020 (gráfico 9). A quantidade exportada de carne bovina projetada pelo modelo corresponde a 23% do total produzido em 2020, e a 41% em 2050.

GRÁFICO 8

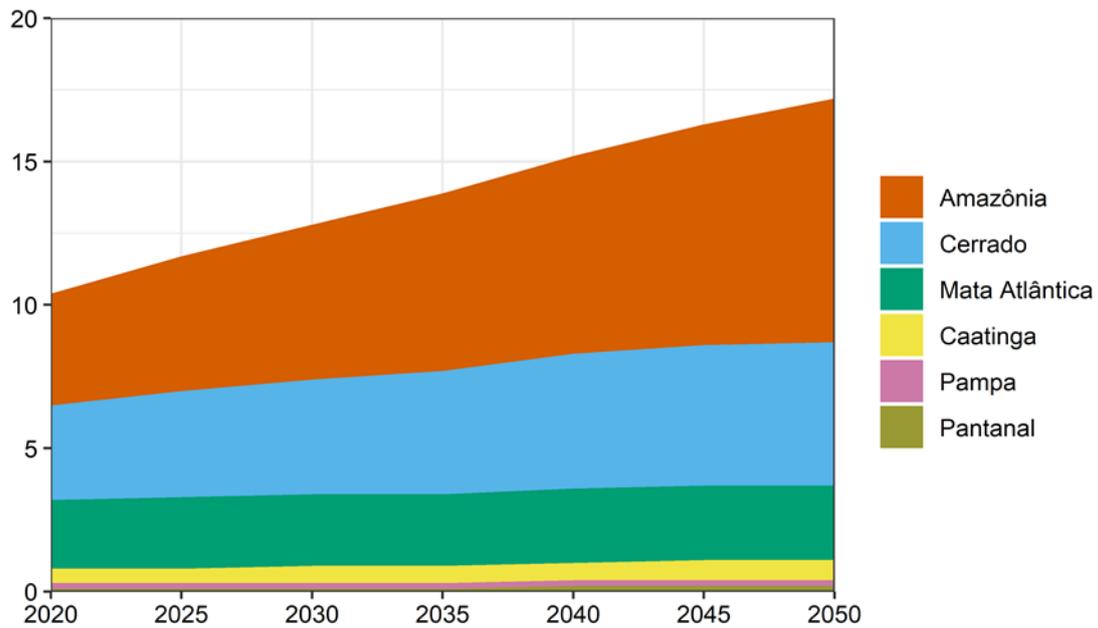
Evolução do rebanho bovino e da produção de carne bovina, por bioma, no cenário Base-SSP2

8A – Rebanho bovino (MTLUs)



15. Trata-se de unidade de medida para contabilizar rebanhos, sendo que 1 MTLU equivale a 1 milhão de *tropical livestock units* (TLUs). Uma cabeça de gado é igual a 0,7 TLU.

8B – Produção de carne bovina (Mt)



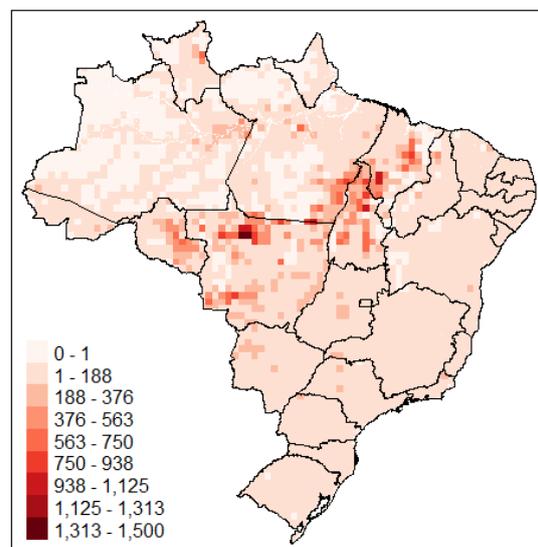
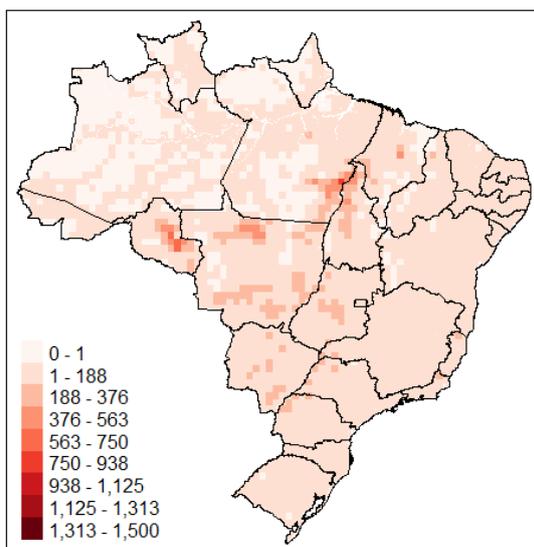
Elaboração dos autores.

FIGURA 8

Distribuição espacial do rebanho bovino no cenário Base-SSP2
(Em 1.000 ha)

8A – 2020

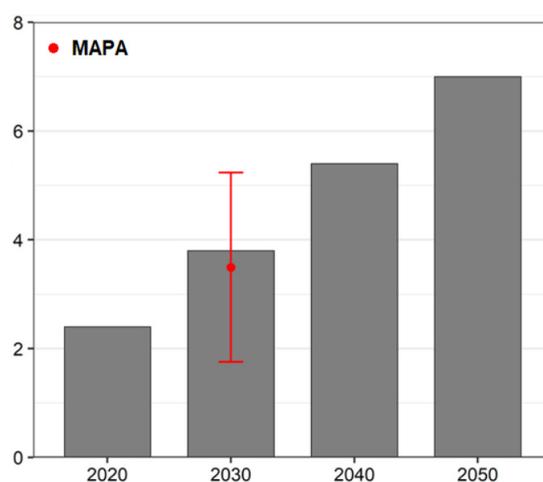
8B – 2050



Elaboração dos autores.

GRÁFICO 9**Exportação total de carne bovina no cenário Base-SSP2**

(Em Mt)



Elaboração dos autores.

Obs.: As estimativas de exportação do Mapa (Brasil, 2021) para os limites superior e inferior e o valor projetado para 2030 estão em vermelho.

4.3 Impactos das mudanças climáticas no uso da terra

Nesta subseção, são analisadas as projeções resultantes do cenário que considera o impacto das mudanças climáticas, denominado DD-SSP2, utilizando a mesma narrativa socioeconômica que o cenário referencial (Base-SSP2). A construção do cenário DD-SSP2 está descrita na seção 3. Além disso, são feitas comparações entre as projeções dos cenários DD-SSP2 e Base-SSP2.

O gráfico 10 ilustra os impactos no uso da terra ao considerar mudanças climáticas durante o intervalo 2020-2050. As projeções indicam um desmatamento acumulado de 58,3 Mha no Brasil entre 2021 e 2050. Deste total, o modelo projeta 24,5 Mha de áreas desmatadas na Amazônia (43% do total desmatado), e 26,1 Mha no Cerrado (45%). Se observamos o desmatamento para esta década (2021-2030), as projeções indicam um desmatamento anual de 1,03 Mha na Amazônia e de 1,29 Mha no Cerrado (gráfico 11).

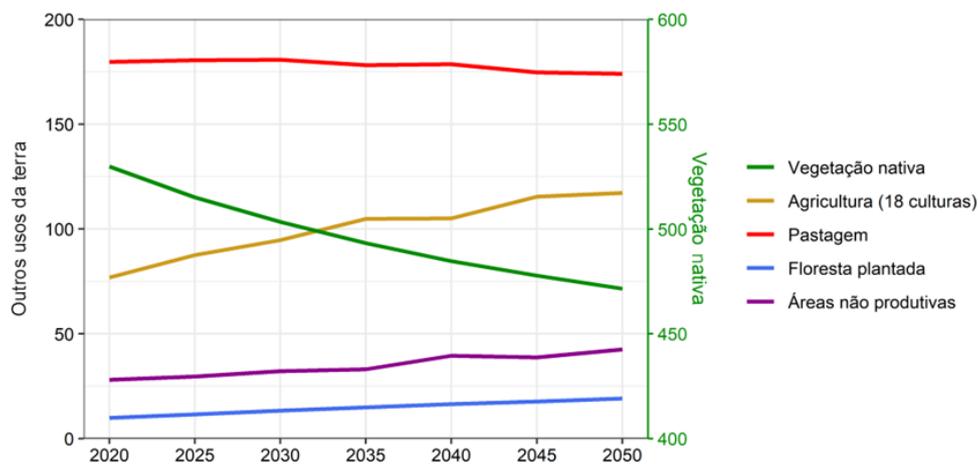
A partir dos mapas de desmatamento acumulado (figura 9) e de área de vegetação nativa (figura 10), nota-se um aumento acentuado do desmatamento no período 2021-2150 no Matopiba, em Mato Grosso do Sul e em Mato Grosso. Em Mato Grosso e no Matopiba, regiões com grandes concentrações de áreas de soja e milho, há uma perda de vegetação nativa de 15,2 Mha e 16,7 Mha, respectivamente, entre 2021 e 2050.

Ao observarmos a diferença entre os cenários DD-SSP2 e Base-SSP2 para o ano de 2050, o valor total de vegetação nativa para o Brasil é similar em ambos os cenários (diferença de 1,7 Mha). Especialmente, notam-se perdas pontuais no noroeste de Minas Gerais e no norte de Mato Grosso do Sul. Um ganho de área mais expressivo pode ser observado na região Nordeste do Brasil no cenário DD-SSP2 em relação ao Base-SSP2 (figura 11).

GRÁFICO 10

Trajórias de uso da terra das principais classes do Globiom-Brasil no cenário DD-SSP2

(Em Mha)

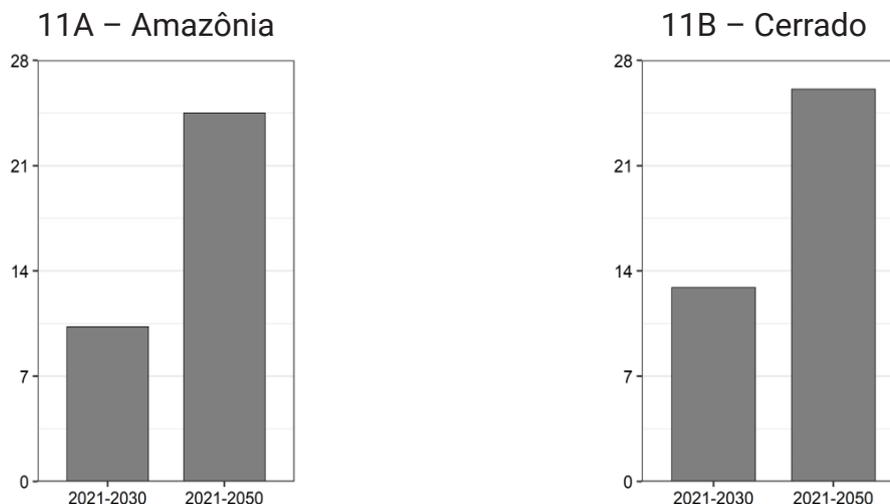


Elaboração dos autores.

GRÁFICO 11

Desmatamento acumulado, na Amazônia e no Cerrado, no cenário DD-SSP2

(Em Mha)

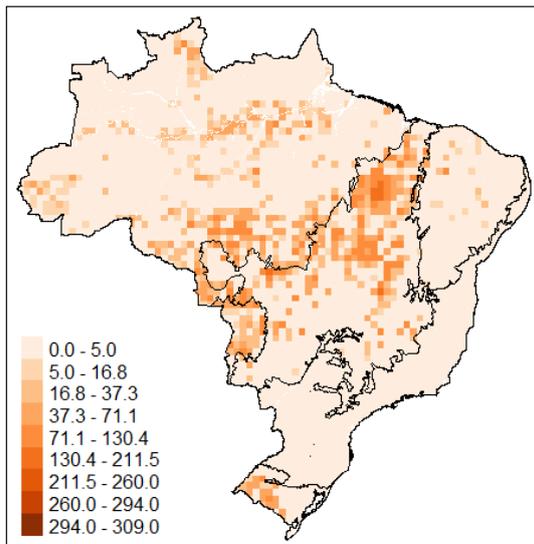


Elaboração dos autores.

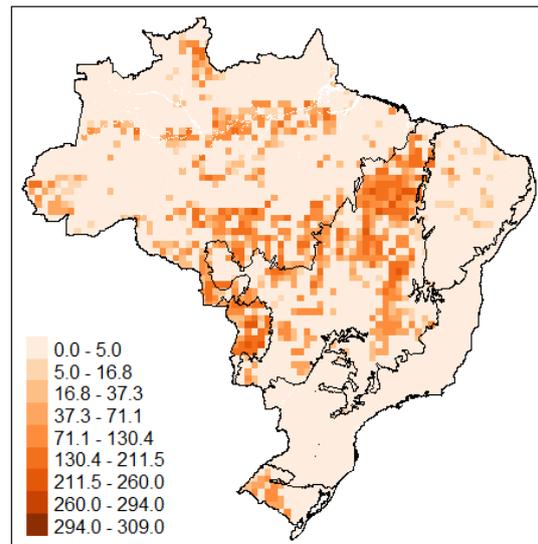
FIGURA 9**Desmatamento acumulado no cenário DD-SSP2**

(Em 1.000 ha)

9A – 2021-2030



9B – 2021-2050

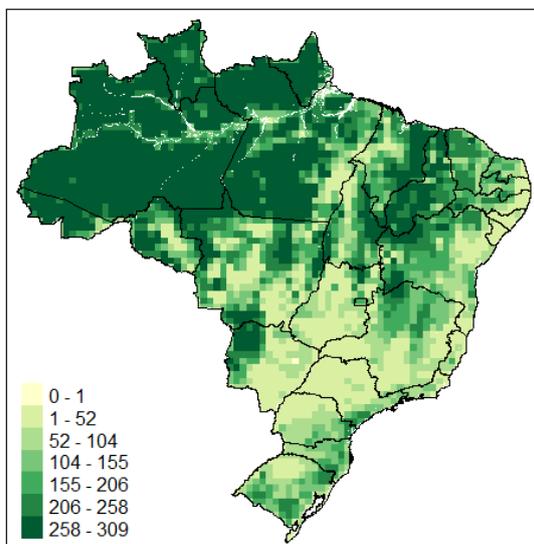


Elaboração dos autores.

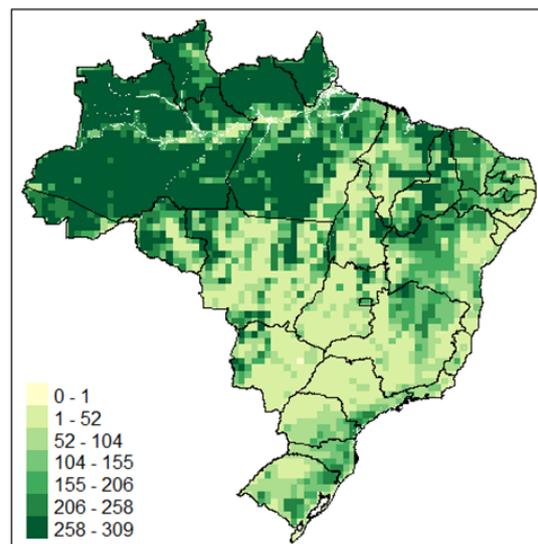
FIGURA 10**Distribuição espacial da classe vegetação nativa no cenário DD-SSP2**

(Em 1.000 ha)

10A – 2020



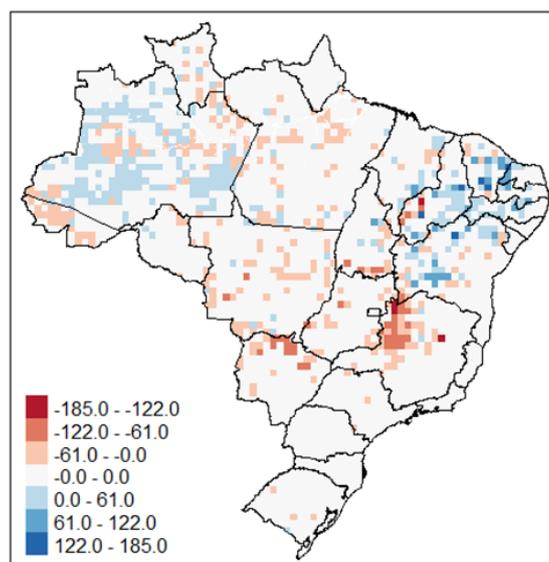
10B – 2050



Elaboração dos autores.

FIGURA 11**Diferença da área de vegetação nativa em 2050 entre os cenários DD-SSP2 e Base-SSP2**

(Em 1.000 ha)



Elaboração dos autores.

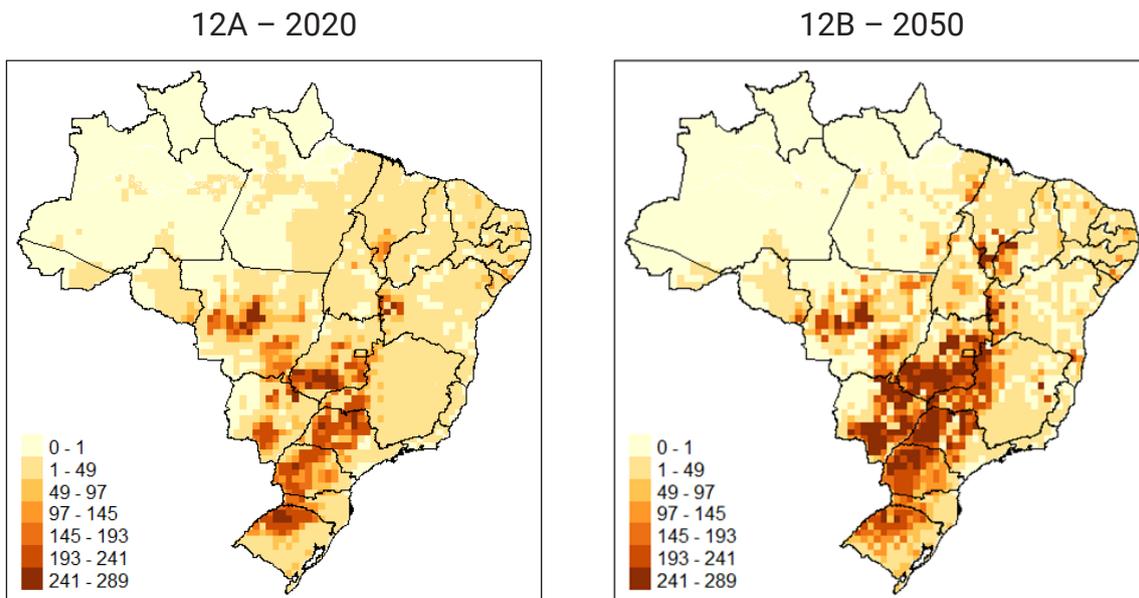
Com relação à área destinada à agricultura referente às dezoito culturas simuladas, o modelo indica uma expansão de 40 Mha no cenário DD-SSP2 entre 2020 e 2050. Esta expansão concentra-se na região Centro-Oeste, e no oeste dos estados de Minas Gerais, São Paulo e Paraná (figura 12).

Analisando-se a diferença entre os cenários DD-SSP2 e Base-SSP2 em 2050, observa-se um aumento de área agricultável de 36 Mha no Brasil (de 81 Mha para 117 Mha). Na figura 13, esta diferença pode ser observada pelos ganhos expressivos nos estados de São Paulo, Paraná, Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul. Há uma redução de área no Matopiba (2 Mha), mais acentuada no sul do Maranhão e no oeste da Bahia.

Esta expansão de 36 Mha no cenário DD-SSP2 pode ser justificada pelo uso dos *shifters* de produtividade da metodologia DD que são aplicados em cada uma das dezoito culturas agrícolas. A soja e o milho, as duas principais *commodities* do agronegócio brasileiro, sofrem perda de produtividade a partir do uso desses *shifters*, o que ocasiona esta demanda maior de área agricultável se compararmos com o resultado projetado pelo cenário Base-SSP2. Mais detalhes sobre a produção da agricultura das principais *commodities* brasileiras podem ser vistos na subseção 4.4.

FIGURA 12

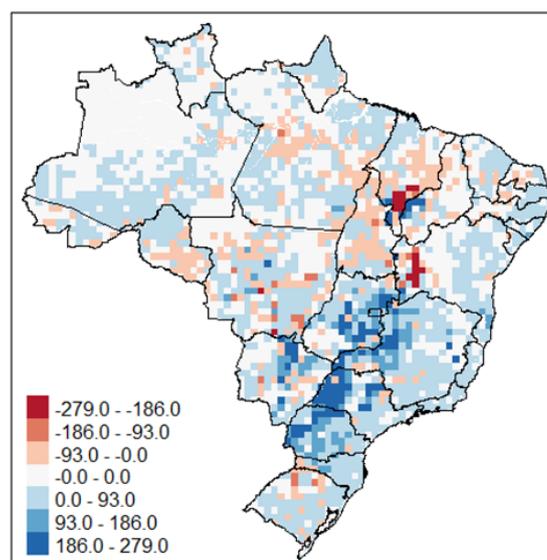
Distribuição espacial da classe agricultura (dezoito culturas) no cenário DD-SSP2
(Em 1.000 ha)



Elaboração dos autores.

FIGURA 13

Diferença da área de agricultura em 2050 entre os cenários DD-SSP2 e Base-SSP2
(Em 1.000 ha)



Elaboração dos autores.

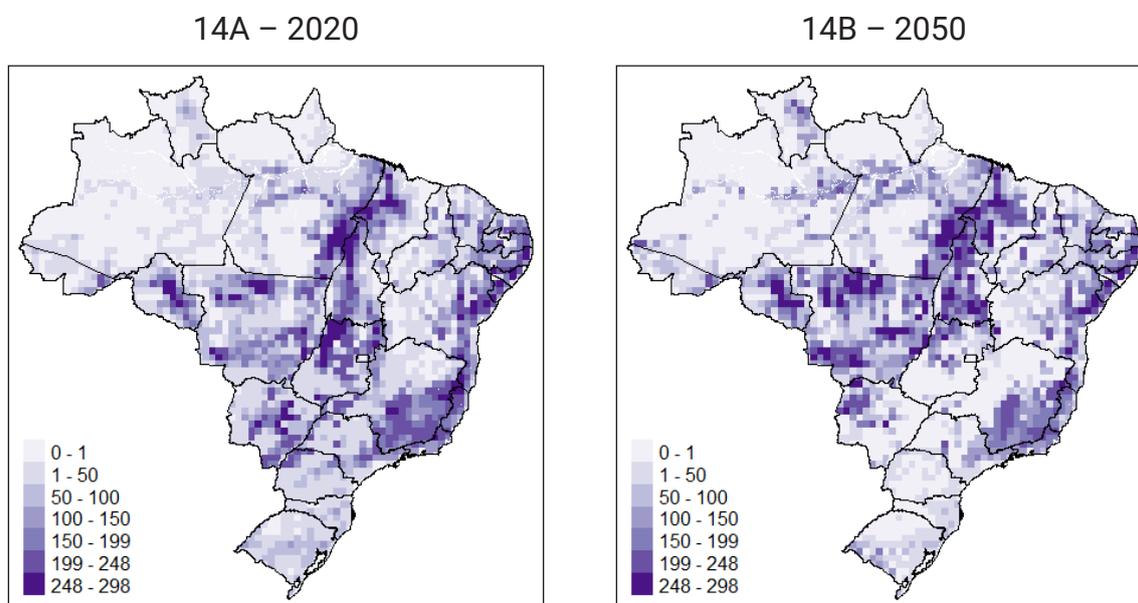
A área de pastagem projetada no cenário DD-SSP2 sofre uma pequena redução de 6 Mha entre 2020 e 2050. As maiores perdas podem ser observadas nos estados do Paraná, de São Paulo, Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul (figura 14). Contudo, observa-se um aumento de área no Matopiba (7 Mha) e em Mato Grosso (9,6 Mha). As projeções indicam um aumento da área de pastagem de 19,8 Mha na Amazônia em 2020-2050. Esta expansão das pastagens é uma das principais causas do desmatamento neste bioma.

Se compararmos os resultados dos cenários DD-SSP2 e Base-SSP2 em 2050 (figura 15), nota-se uma redução de 20 Mha no cenário que considera as mudanças climáticas. Entretanto, é importante salientar que os efeitos das mudanças climáticas não são considerados pelo Globiom-Brasil no setor pecuário. A diferença entre as áreas nos dois cenários se dá por consequência da estratégia de transição de classes do uso do solo do modelo.

FIGURA 14

Distribuição espacial da classe pastagem no cenário DD-SSP2

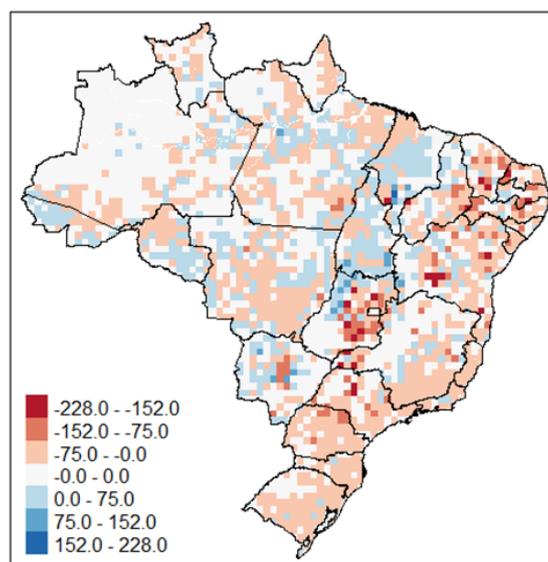
(Em 1.000 ha)



Elaboração dos autores.

FIGURA 15

Diferença da área de pastagem em 2050 entre os cenários DD-SSP2 e Base-SSP2
(Em 1.000 ha)



Elaboração dos autores.

Em relação à classe floresta plantada, as projeções comportam-se de maneira similar ao cenário Base-SSP2 em 2050, com diferença de apenas 0,6 Mha entre os dois cenários. De outro modo, o valor projetado da classe áreas não produtivas no cenário DD-SSP2 em 2050 equivale a 42,5 Mha, enquanto o cenário Base-SSP2 projeta 57,4 Mha no mesmo ano.

4.4 Impactos das mudanças climáticas na produção agropecuária

Nesta subseção, serão descritos os principais impactos das mudanças climáticas na área utilizada e na produção de soja, milho e cana-de-açúcar, assim como no tamanho do rebanho bovino e na produção de carne bovina.

4.4.1 Soja

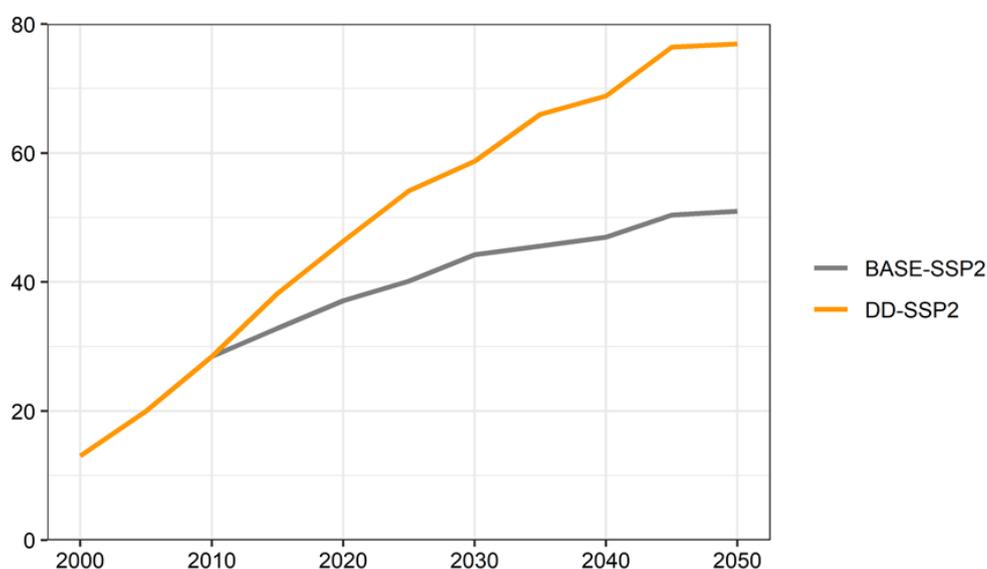
Ao considerar-se o impacto das mudanças climáticas, a produtividade da soja projetada pelo Globiom-Brasil em 2050 diminui no cenário DD-SSP2 (média de 3,82 para 2,58 t/ha para o país). Para atingir a demanda, a área de soja aumentará no cenário DD-SSP2 se comparada com o cenário Base-SSP2 durante o período 2020-2050 (gráfico 12A). As projeções indicam um acréscimo de 51% da área em 2050 no cenário DD-SSP2 em

relação ao Base-SSP2. Contudo, apesar do deslocamento das áreas de soja para zonas mais meridionais do país, a produção nacional de soja praticamente não sofre diferença entre os dois cenários durante o mesmo período (gráfico 12B).

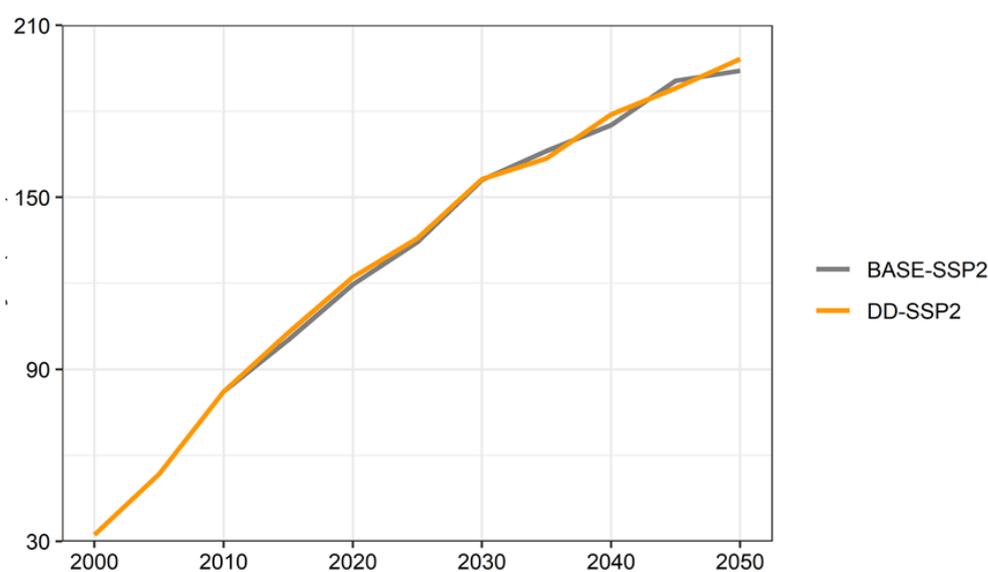
GRÁFICO 12

Evolução da área e da produção de soja nos cenários Base-SSP2 e DD-SSP2

12A – Área (Mha)



12B – Produção (Mt)



Elaboração dos autores.

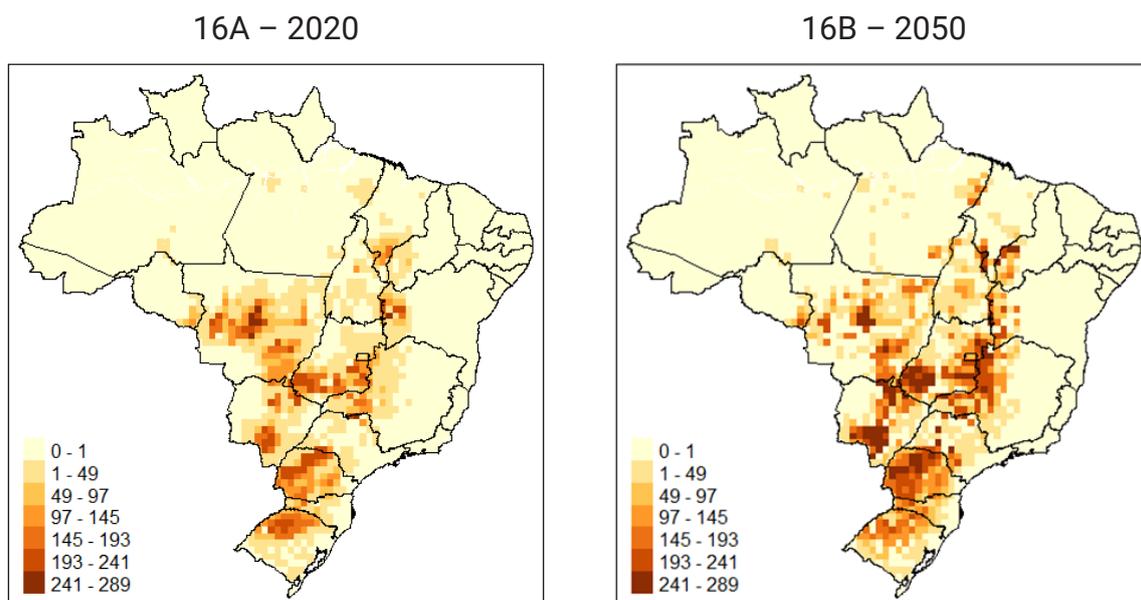
TEXTO para DISCUSSÃO

Se compararmos a evolução da soja entre os anos 2020 e 2050 no cenário DD-SSP2 (figura 16), nota-se uma perda média de produtividade de 0,06 t/ha. A evolução da área mostra uma expansão nas porções interioranas e meridionais do país, e uma retração na região do Matopiba. Durante este período, o Matopiba sofre uma redução de 2,23 t/ha para 1,95 t/ha, e o estado do Rio Grande do Sul apresenta um aumento de produtividade de 0,29 t/ha. No estado do Paraná, ocorre um ganho na produtividade de soja de 0,54 t/ha no mesmo período. Se observarmos o estado de Mato Grosso, a produção de soja reduz-se durante este período. Esta redução é consequência dos *shifters* aplicados na cultura a partir da metodologia DD.

FIGURA 16

Distribuição espacial da área de soja no cenário DD-SSP2

(Em 1.000 ha)

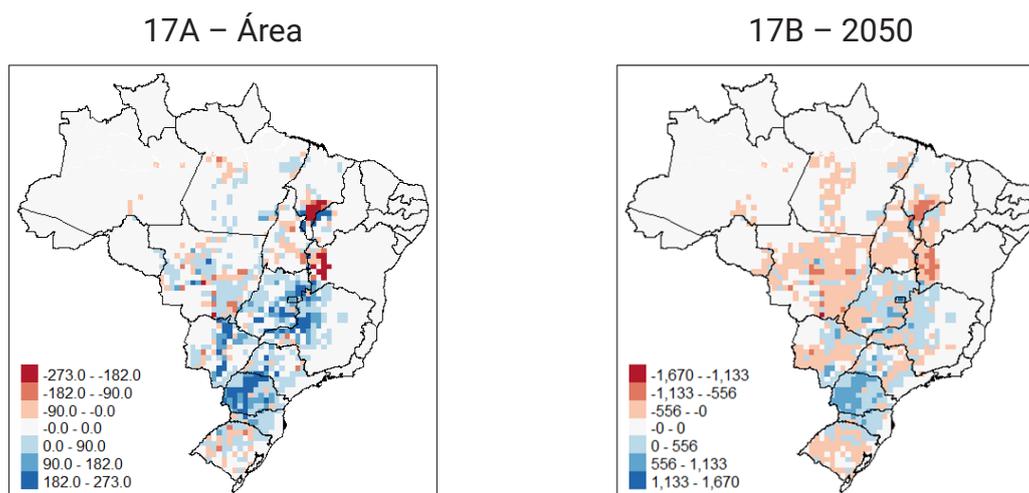


Elaboração dos autores.

Ao analisarmos a diferença de área e produção em 2050 entre os cenários DD-SSP2 e Base-SSP2 (figura 17), há uma redução da área na região do Matopiba, com aumento da área e da produção de soja no sentido sul do país, com destaque para o estado do Paraná, Santa Catarina e oeste de Minas Gerais. O estado de Mato Grosso apresentou uma perda de produtividade de 2,53 t/ha em 2050 no cenário DD-SSP2, se comparado com o Base-SSP2. Esta migração da área de soja no sentido sul do país pode ser explicada pelo aumento da temperatura e pela intensificação dos episódios de estiagem projetados para essas regiões.

FIGURA 17**Diferença da área e da produção de soja em 2050 entre os cenários DD-SSP2 e Base-SSP2**

(Em 1.000 ha)

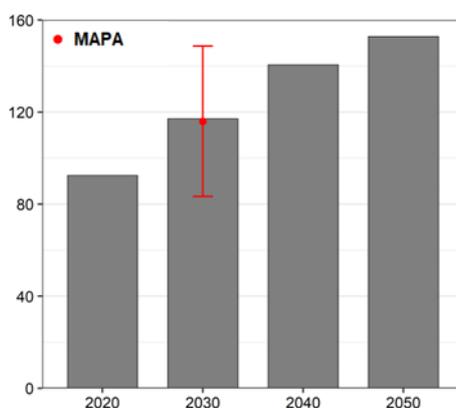


Elaboração dos autores.

O gráfico 13 exibe as projeções de exportação de soja para os anos de 2020, 2030, 2040 e 2050 no cenário DD-SSP2. O valor indicado pelo modelo em 2030 difere menos de 1% do valor projetado pelo Mapa (Brasil, 2021). De acordo com as projeções, 77% da soja produzida em 2050 será destinada para exportação. Além disso, as exportações de soja no Brasil cresceram 64% de 2020 a 2050.

GRÁFICO 13**Exportação total de soja para 2020, 2030, 2040 e 2050 no cenário Base-SSP2**

(Em Mt)



Obs.: As estimativas de exportação do Mapa (Brasil, 2021) para os limites superior e inferior e o valor projetado para 2030 estão em vermelho.

4.4.2 Milho

Com relação ao milho, a produtividade reduz-se quase pela metade ao considerarem-se as mudanças climáticas (DD-SSP2). A área experimentalizará um aumento no cenário DD-SSP2 em 2020-2050, em comparação ao cenário Base-SSP2, com uma diferença de 12 Mha em 2050 entre os dois cenários (gráfico 14A). Não obstante, o aumento da área não será suficiente para compensar a perda de produtividade, e a produção poderá ser afetada negativamente nas próximas décadas, de acordo com o cenário DD-SSP2 (gráfico 14B).

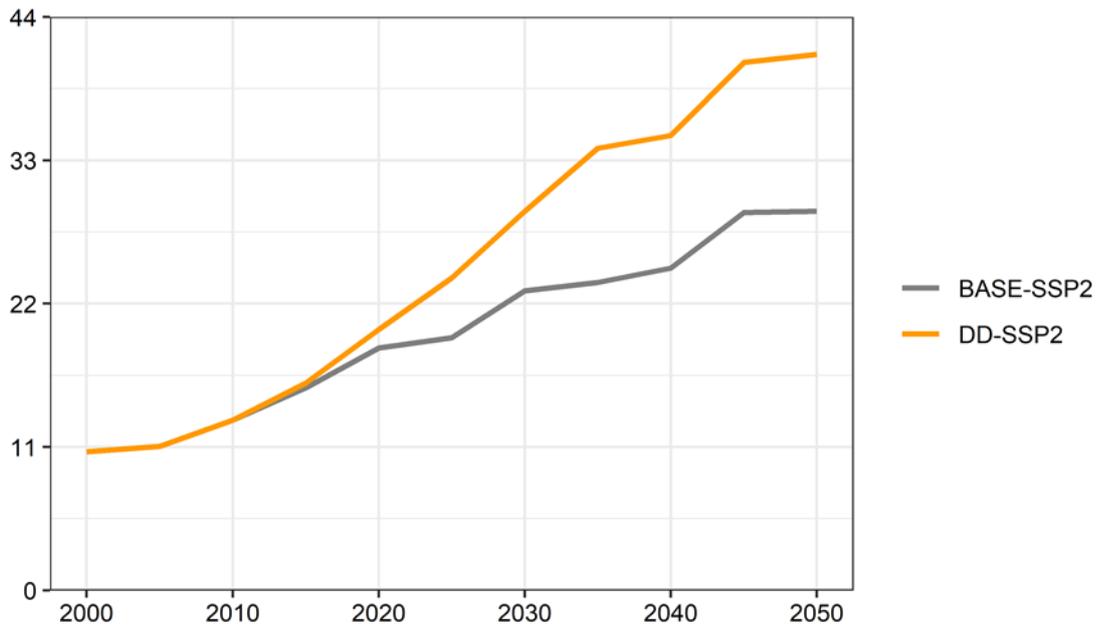
Ao observar-se a evolução da área de milho no cenário DD-SSP2 entre 2020 e 2050 (figura 18), as projeções sugerem uma queda na área de milho nos biomas Amazônia e Caatinga, na região do Matopiba e nos estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul. No estado do Paraná, há um ganho de produtividade de 1,57 t/ha neste período. Por sua vez, há um aumento da área de milho no estado do Paraná, no oeste de Minas Gerais e na região Centro-Oeste. A partir da diferença de área e produção entre os cenários com e sem impactos das mudanças climáticas, nota-se que, assim como a soja, a cultura de milho sofrerá um deslocamento no sentido sul do país, o que pode ser consequência do aumento da temperatura e da mudança do regime de chuvas (figura 19). A produtividade média do milho no Brasil em 2050 é de 4,8 t/ha no cenário DD-SSP2, enquanto as projeções indicam uma produtividade de 8,21 t/ha no cenário Base-SSP2.

De acordo com a PAM/IBGE, 73% da área de milho em 2020 no Brasil é de segunda safra. Em estados como Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, o milho de segunda safra equivale a 99% da área dessa cultura no mesmo ano. No cenário DD-SSP2, os valores projetados em 2020 indicam uma área de milho de segunda safra no Brasil equivalente a 63%. Em 2050, esta área chega a 99%, seguindo a tendência do que já acontece nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul em 2020, segundo estatísticas oficiais.

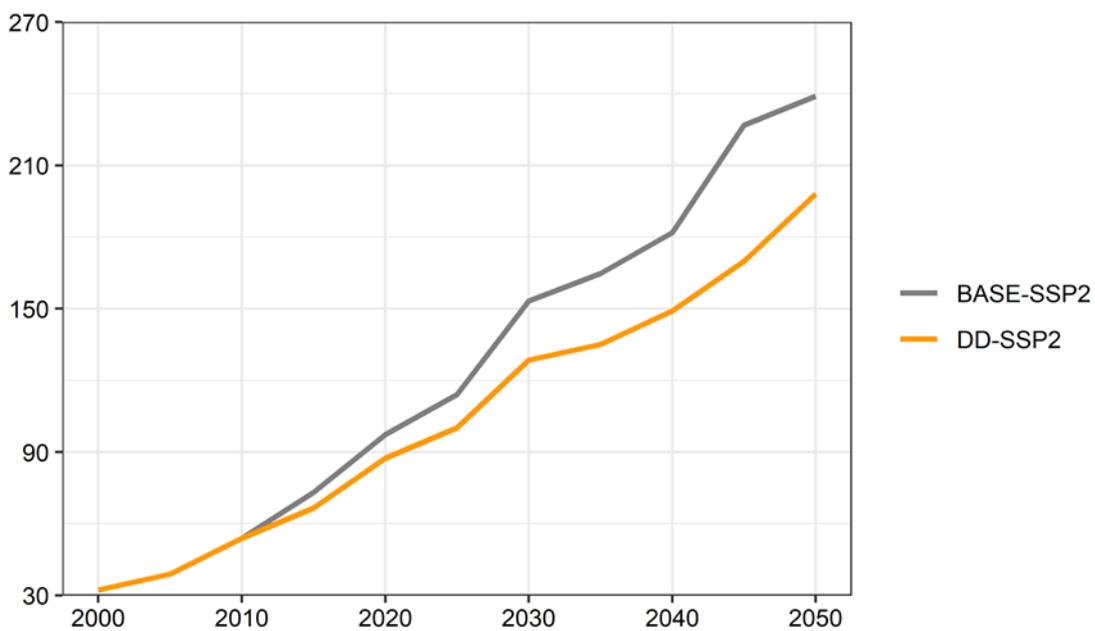
É importante salientar que o milho comporta-se de forma similar à soja quando comparamos a produção: há expansão de área em consequência da redução da produtividade da cultura no cenário DD-SSP2. O modelo projeta um aumento médio de 49% do valor da produção em 2050, em comparação com 2020. Em Mato Grosso, por exemplo, apesar da alta expansão da área, o valor da produção sobe 63% nestes trinta anos.

GRÁFICO 14

Evolução da área e da produção de milho nos cenários Base-SSP2 e DD-SSP2
14A – Área (Mha)



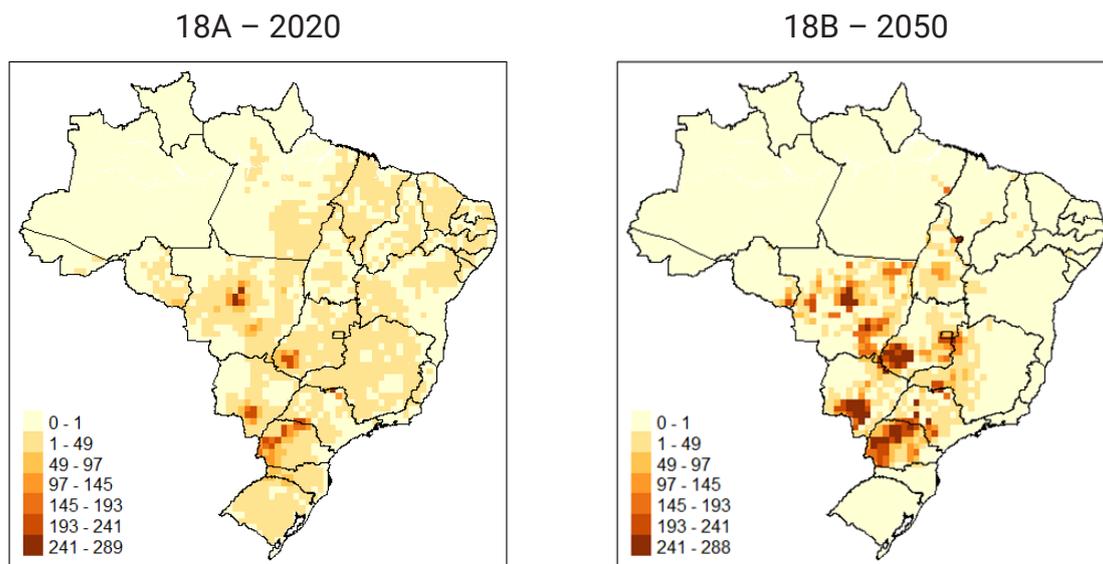
14B – Produção (Mt)



Elaboração dos autores.

FIGURA 18**Distribuição espacial da área de milho no cenário DD-SSP2**

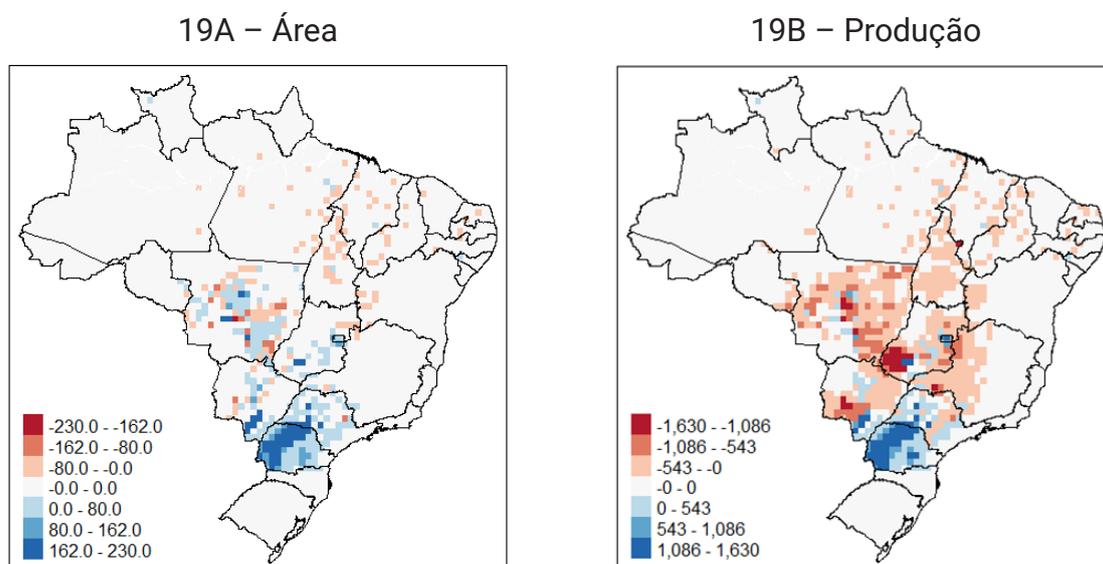
(Em 1.000 ha)



Elaboração dos autores.

FIGURA 19**Diferença da área e da produção de milho em 2050 entre os cenários DD-SSP2 e Base-SSP2**

(Em 1.000 ha)



Elaboração dos autores.

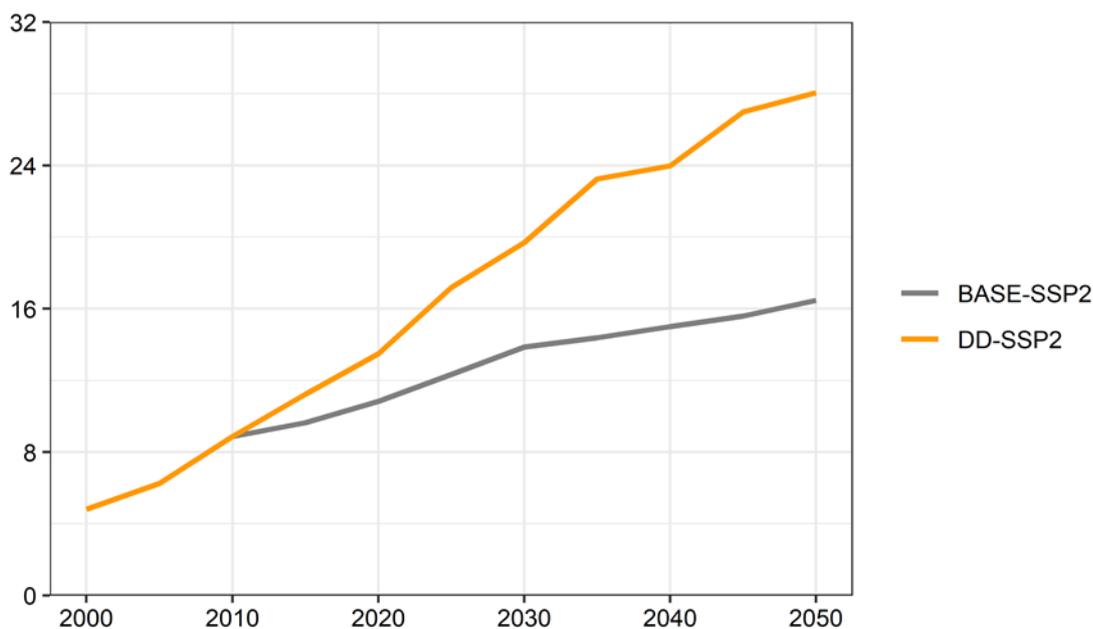
4.4.3 Cana-de-açúcar

Há uma redução na produtividade da cana-de-açúcar ao se considerarem mudanças climáticas (48,4 t/ha), se compararmos com o cenário Base-SSP2 (86,2 t/ha). As projeções indicam que a cana-de-açúcar terá um aumento na área durante o período 2020-2050 no cenário DD-SSP2 (gráfico 15A) em relação ao Base-SSP2. Todavia, a produção praticamente permanecerá a mesma durante o mesmo período nos dois cenários. As maiores diferenças ocorrem em 2045 e 2050, mas continuam sendo menores que 1% (gráfico 15B). Observando-se a evolução no cenário DD-SSP2 entre 2020 e 2050, as áreas onde a cana-de-açúcar se expande estão concentradas nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Goiás (figura 20). Ao compararmos os dois cenários (figura 21), há uma expansão da área e da produção no estado de São Paulo e em regiões circunvizinhas em 2050 no cenário DD-SSP2 em relação ao Base-SSP2.

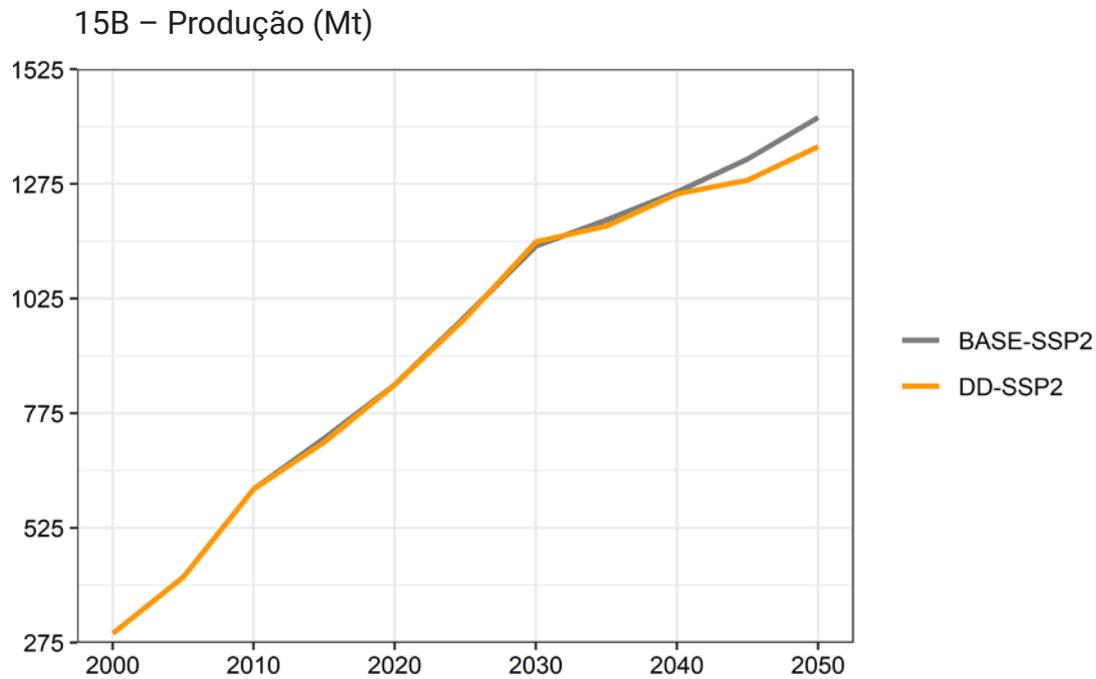
GRÁFICO 15

Evolução da área e da produção de cana-de-açúcar nos cenários Base-SSP2 e DD-SSP2

15A – Área (Mha)



TEXTO para DISCUSSÃO

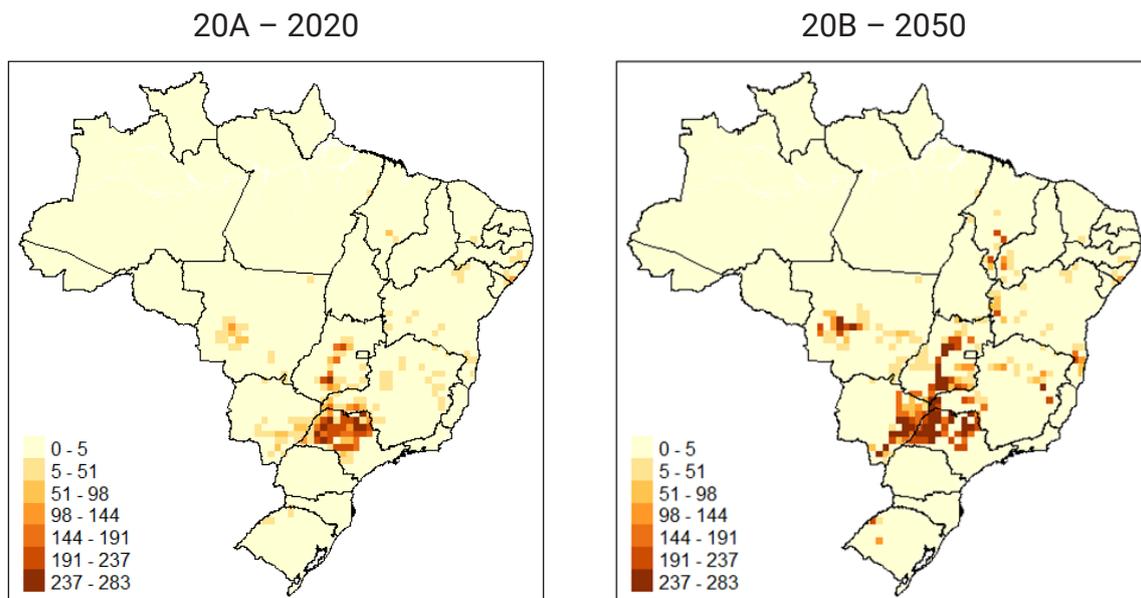


Elaboração dos autores.

FIGURA 20

Distribuição espacial da área de cana-de-açúcar no cenário DD-SSP2

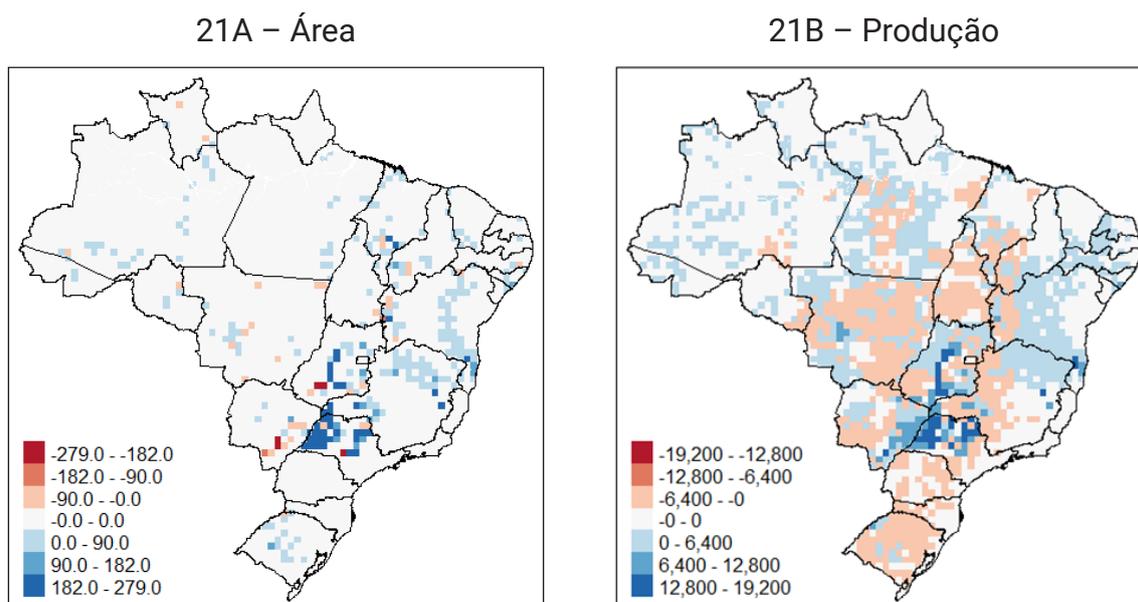
(Em 1.000 ha)



Elaboração dos autores.

FIGURA 21**Diferença da área e da produção de cana-de-açúcar em 2050 entre os cenários DD-SSP2 e Base-SSP2**

(Em 1.000 ha)



Elaboração dos autores.

4.4.4 Rebanho bovino

Os resultados apresentados no gráfico 16 são referentes à comparação do rebanho bovino e da produção de carne projetados por intermédio do modelo Globiom-Brasil para os cenários Base-SSP2 e DD-SSP2. Vale ressaltar que os efeitos das mudanças climáticas não são considerados pelo Globiom-Brasil no setor pecuário. Com isso, as principais mudanças que ocorrem neste setor são derivadas das mudanças ocorridas nas culturas agrícolas, como o milho e a soja. O cenário que considera mudanças climáticas não apresentou mudanças em relação ao tamanho do rebanho bovino em escala nacional, se comparado com o cenário referencial durante todo o período analisado, com diferenças relativas próximas a zero (gráfico 16A). Alterações no rebanho bovino implicam variações na produção de carne bovina. Como não ocorreram mudanças significativas no tamanho do rebanho nos cenários DD-SSP2 e Base-SSP2, a produção de carne bovina manteve-se praticamente a mesma nos dois cenários analisados (gráfico 16B).

No cenário DD-SSP2, o rebanho aumenta com mais intensidade em Mato Grosso, no Tocantins, no Maranhão e no sudeste do Pará em 2050, se compararmos com 2020

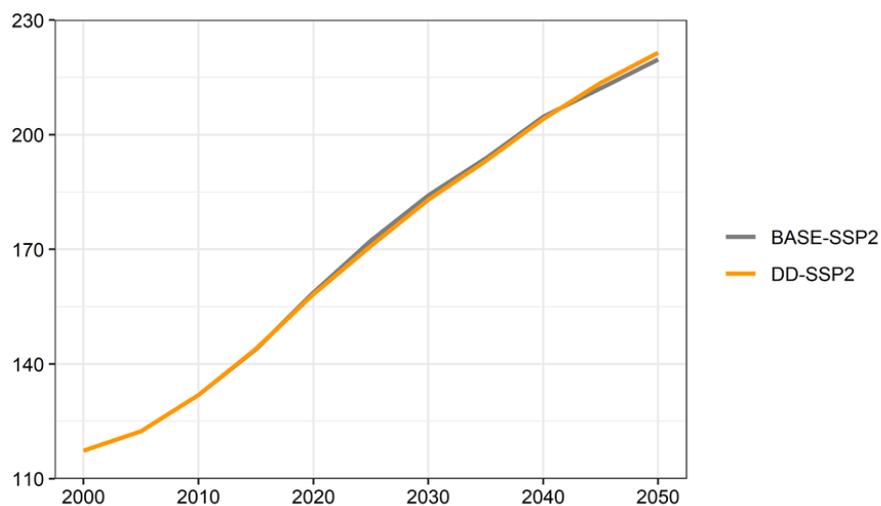
TEXTO para DISCUSSÃO

(figura 22). Com relação à distribuição espacial do rebanho e da produção de carne (figura 23), a maioria das mudanças em nível de célula de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ está no intervalo de -10 mil a +10 mil TLUs (figura 23A), o que implica uma variação baixa do tamanho do rebanho em nível de célula. Pode-se observar que o estado de São Paulo e a área do Cerrado dos estados de Mato Grosso e Goiás apresentam perdas em 2050, enquanto algumas áreas da Amazônia, de Mato Grosso e Rondônia, além de parte da Caatinga, apresentam ganhos no tamanho do rebanho bovino.

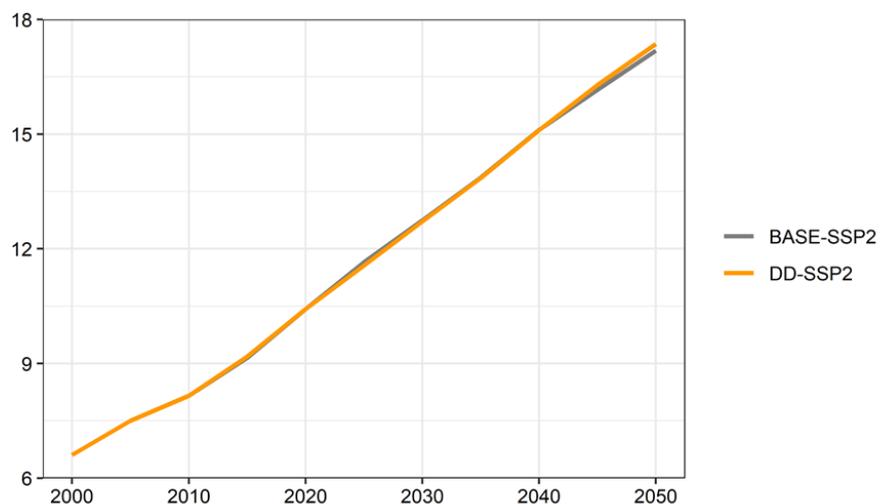
GRÁFICO 16

Evolução do rebanho bovino e da produção de carne bovina nos cenários Base-SSP2 e DD-SSP2

16A – Rebanho bovino (MTLUs)



16B – Produção de carne bovina (Mt)

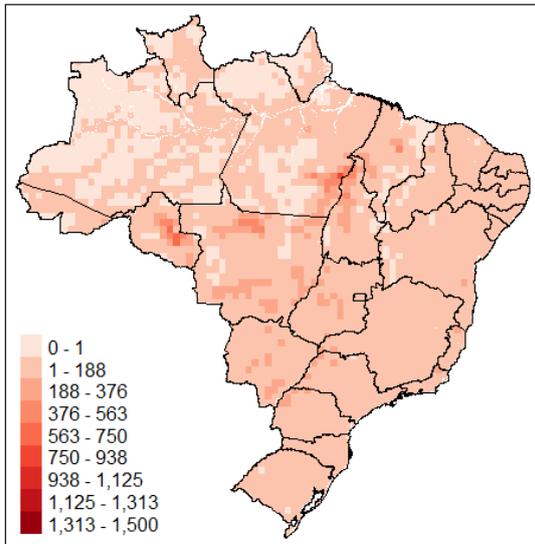


Elaboração dos autores.

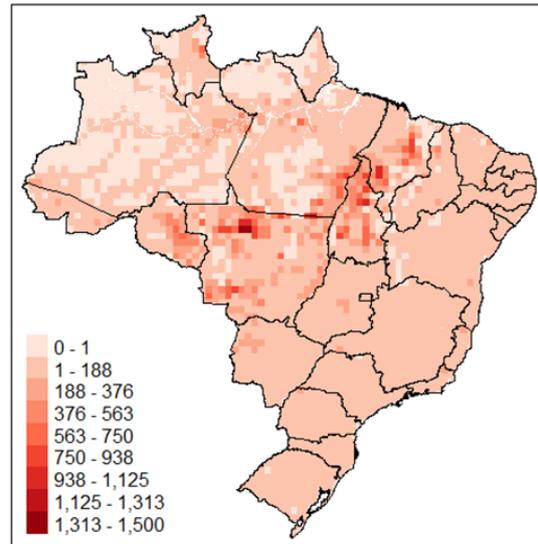
FIGURA 22**Distribuição espacial do rebanho bovino no cenário DD-SSP2**

(Em 1.000 ha)

22A – 2020



22B – 2050

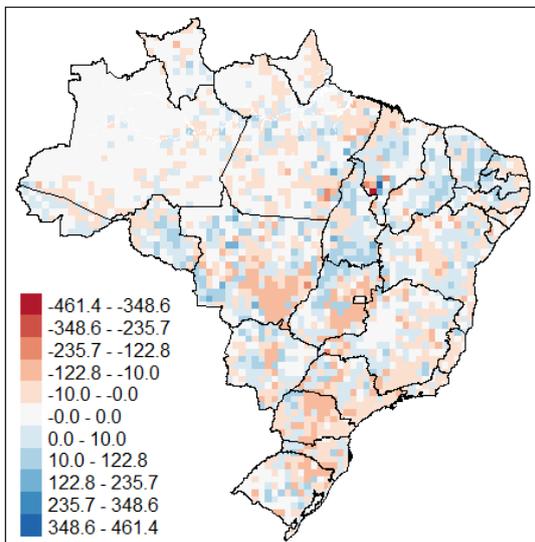


Elaboração dos autores.

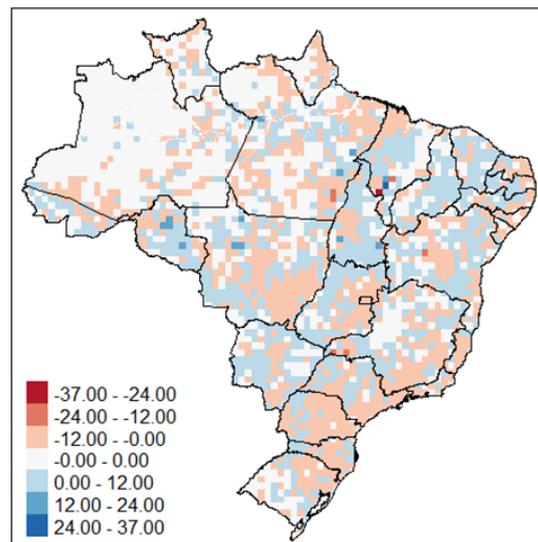
FIGURA 23**Diferença do rebanho bovino e da produção de carne bovina em 2050 entre os cenários DD-SSP2 e Base-SSP2**

(Em 1.000 ha)

23A – Rebanho bovino (1.000 TLUs)



23B – Produção de carne bovina (1.000 t)



Elaboração dos autores.

4.5 Variações das narrativas socioeconômicas para o cenário com mudanças climáticas

Nesta subseção, é feita a análise de cinco cenários que consideram os impactos das mudanças climáticas (DD-SSP1, DD-SSP2, DD-SSP3, DD-SSP4 e DD-SSP5). Todos os cenários utilizam a metodologia DD (seção 3) e variam em relação às narrativas socioeconômicas. As próximas subseções apresentarão resultados de três culturas agrícolas (soja, milho e cana-de-açúcar), além de resultados para o rebanho bovino e a produção de carne no período de 2000-2050.

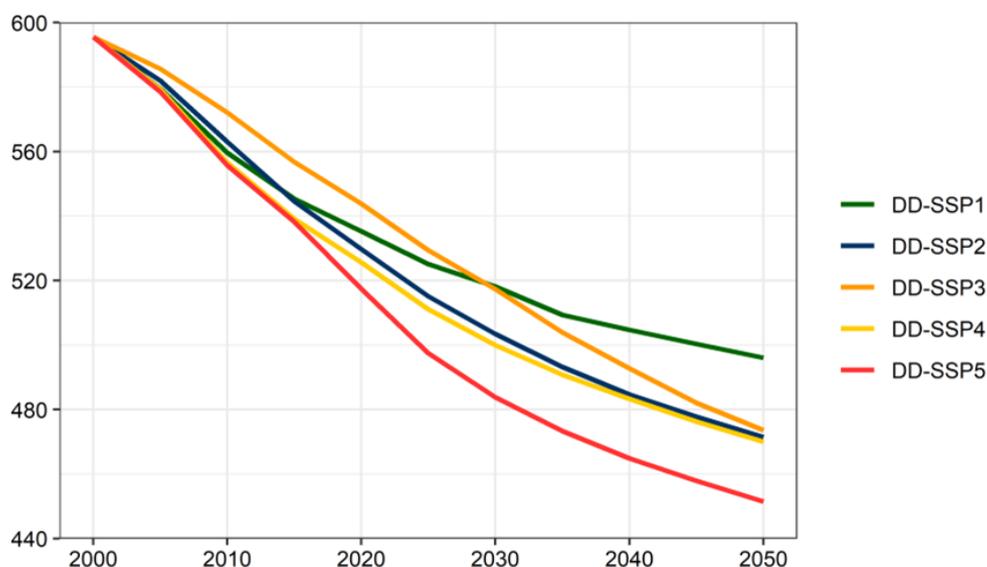
Como o SSP2 descreve a trajetória que segue os padrões históricos em termos demográficos e econômicos, a análise dos resultados será feita observando a comparação dos cenários SSP1, SSP3, SSP4 e SSP5 em relação ao cenário que contém a narrativa SSP2. Os resultados serão apresentados em forma de gráficos de linha, com a evolução das projeções de área e produção durante todo o período; tabelas com os valores de área e produção para os três maiores biomas em 2050; e gráficos do tipo *boxplots* por bioma nos cinco cenários para 2050. Os gráficos do tipo *boxplots* representam a mediana (barra horizontal central), intervalo interquartil (retângulos), mínima e máxima (traços) da diferença percentual entre os cinco cenários com mudanças climáticas.

4.5.1 Mudança do uso do solo

Ao analisarmos a evolução das áreas de vegetação nativa utilizando diferentes narrativas socioeconômicas em 2050 (gráfico 17), o cenário DD-SSP1 apresenta maior área entre os cinco. Isto pode ser justificado com o fato de a trajetória SSP1 tender a um futuro mais sustentável com avanços na produtividade do setor agropecuário e com práticas de políticas ambientais. Além disso, a narrativa propõe uma dieta reduzida de calorias, com pouco consumo de carne vermelha. Em contrapartida, o cenário DD-SSP5 apresenta as maiores taxas de desmatamento em 2050. Apesar do alto crescimento tecnológico, a narrativa sugere um consumo desenfreado de alimentos e um comércio internacional livre, características que estimulam o aumento da produção agropecuária. Como há pouco esforço para evitar problemas ambientais globais nesta narrativa, nela há maior transição de áreas de vegetação nativa para agropecuária do que nos restantes cenários. Os cenários de competição regional (DD-SSP3) e de desigualdade (DD-SSP4) apresentam valores de vegetação nativa similares ao projetado pelo DD-SSP2 em 2050.

GRÁFICO 17

Evolução das áreas de vegetação nativa nos cinco cenários SSP
(Em Mha)



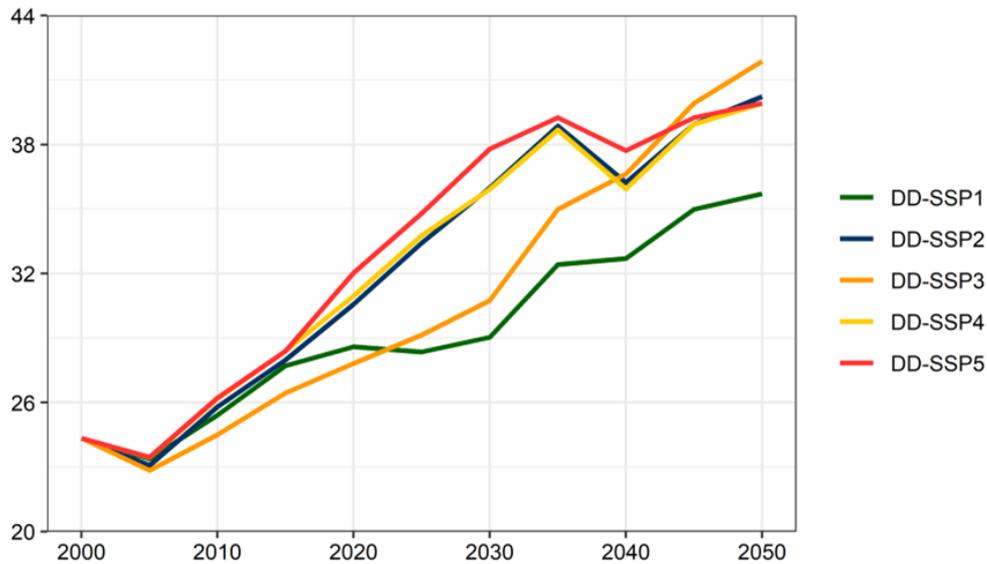
Elaboração dos autores.

Com relação à evolução do valor agregado da área das dezoito culturas consideradas pelo Globiom-Brasil (gráfico 18), os cenários DD-SSP3, DD-SSP4 e DD-SSP5 indicam resultados similares ao DD-SSP2 em 2050. O cenário DD-SSP1 apresenta a maior diferença em relação ao cenário DD-SSP2 entre os quatro. Um futuro com demanda de alimentos reduzida devido a uma dieta de baixo índice calórico, aliada a um crescimento tecnológico alto, pode justificar esta redução na área de agricultura no cenário DD-SSP1. A evolução das principais *commodities* agrícolas (soja, milho e cana-de-açúcar) estão analisadas em mais detalhes nas subseções 4.5.2, 4.5.3 e 4.5.4, respectivamente.

A evolução das projeções da área de pastagem para os cinco cenários está exibida no gráfico 19. O cenário DD-SSP5 indica a maior quantidade de área requerida para o setor pecuário, enquanto o cenário DD-SSP1 projeta o menor valor em 2050. Tais projeções podem estar atribuídas às conjecturas de dieta das narrativas SS1 e SSP5, visto que uma está associada a um consumo baixo de carne bovina (SSP1), e a outra a um consumo exagerado desta (SSP5). Se analisarmos o cenário DD-SSP3, a hipótese de crescimento tecnológico baixo da narrativa pode ser a causa de uma demanda maior de área de pastagem, se comparada com o cenário DD-SSP2 em 2050. O cenário DD-SSP4 comporta-se de forma similar ao DD-SSP2.

GRÁFICO 18

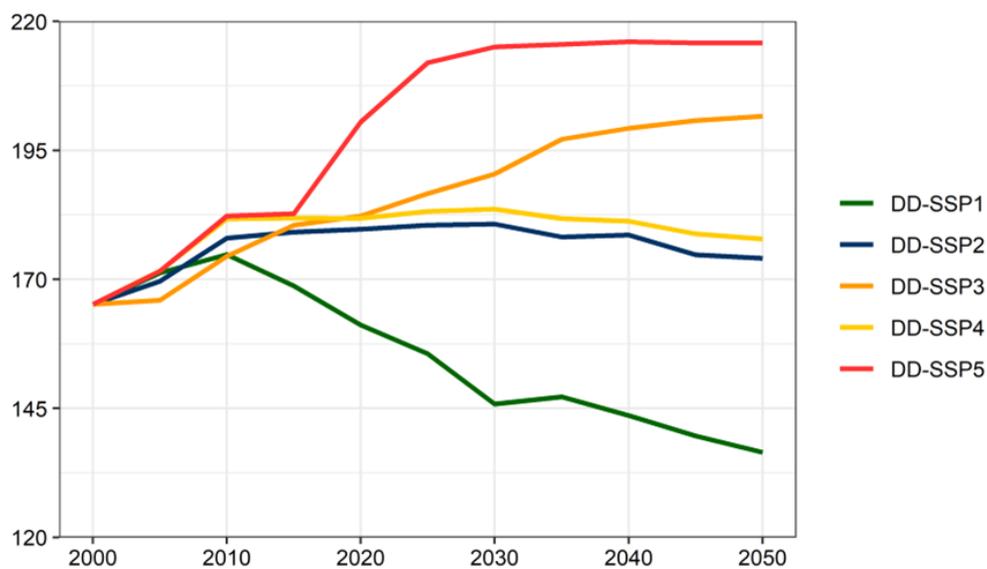
Evolução das áreas de agricultura (dezoito culturas) nos cinco cenários SSP
(Em Mha)



Elaboração dos autores.

GRÁFICO 19

Evolução das áreas de pastagem nos cinco cenários SSP
(Em Mha)



Elaboração dos autores.

4.5.2 Soja

As evoluções de área e produção da soja entre 2000 e 2050 nos cinco cenários estão ilustradas nos gráficos 20A e 20B. Os valores de área e produção para cada um dos cenários em 2050 estão exibidos na tabela 4 para os biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica. Se compararmos os resultados projetados pelo Globiom-Brasil para o cenário DD-SSP1 em relação ao DD-SSP2 (que segue as tendências históricas), observa-se que a área e a produção de soja se reduziram, porém houve um aumento da produtividade da cultura até 2050. Tais mudanças podem ser justificadas, uma vez que a narrativa para o cenário SSP1 é baseada em um crescimento populacional baixo, e com avanços na tecnologia para o sistema agropecuário visando a um desenvolvimento sustentável. Além disso, a mudança na dieta para o SSP1 é baseada na redução do consumo de calorias, em especial na redução da ingestão de carne bovina. Como a soja é um dos principais produtos destinados à alimentação animal, a redução em área pode estar associada a estas características do cenário SSP1. Entre os cinco cenários, este é o que apresenta as menores área e produção de soja.

No cenário DD-SSP3, a área e a produção diminuem em relação ao cenário DD-SSP2, bem como a produtividade. A narrativa do SSP3 é baseada em um crescimento populacional, econômico e tecnológico baixo, o que pode justificar esta queda. A exportação no cenário DD-SSP3 é fundamentada num comércio internacional restrito devido à forte competição regional. Este fator pode estar influenciando a redução na área e na produção de soja, uma das principais *commodities* exportadas do país. No cenário de desigualdade (DD-SSP4), a área e a produção também sofrem uma redução até 2050, mas a produtividade aumenta. O cenário DD-SSP5 tem as projeções mais altas de área e produção em relação aos outros cenários. Comparadas ao DD-SSP2, as hipóteses da narrativa SSP5 consideram um crescimento populacional baixo e um crescimento econômico elevado, com ênfase em um consumo de alimentos elevado, com uma dieta rica em carne vermelha. Além disso, a narrativa propõe um comércio internacional livre e estimulado entre os países, o que também pode reforçar o aumento da produção de soja no país até 2050. Como pode ser observado no gráfico 21, o maior valor de exportação de soja é projetado no cenário DD-SSP5.

Nos resultados apresentados no gráfico 22, para área e produção de soja por bioma nas cinco trajetórias, observa-se que no Cerrado a área de soja é a maior, com maior variabilidade, seguida da Mata Atlântica e da Amazônia. Fazendo-se uma comparação com o cenário DD-SSP2 para o bioma Cerrado, os cenários com as narrativas SSP1, SSP3 e SSP4 apresentam uma redução na área de 74%, 9% e 17%, respectivamente, enquanto

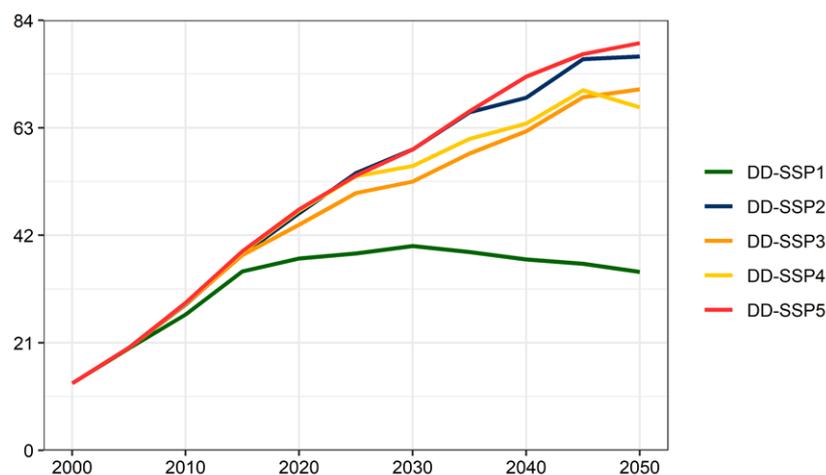
TEXTO para DISCUSSÃO

há um acréscimo de 4% no cenário DD-SSP5 (tabela 4). Situação análoga ocorre com a Amazônia, com reduções de 64%, 8% e 31% nos cenários DD-SSP1, DD-SSP3 e DD-SSP4, e aumento de 10% no cenário DD-SSP5 em relação ao DD-SSP2. Na Mata Atlântica, ocorreram reduções no cenário DD-SSP1 (14%) e DD-SSP3 (7%) e aumento da área dos cenários DD-SSP4 (2%) e DD-SSP5 (3%). A produção de soja também é a maior no Cerrado, seguido dos biomas Mata Atlântica e Amazônia (gráfico 20B). No Cerrado, a produção calculada no cenário DD-SSP5 é 17% superior a DD-SSP2, e no cenário DD-SSP1 é 70% inferior à produção no cenário DD-SSP2 (tabela 4).

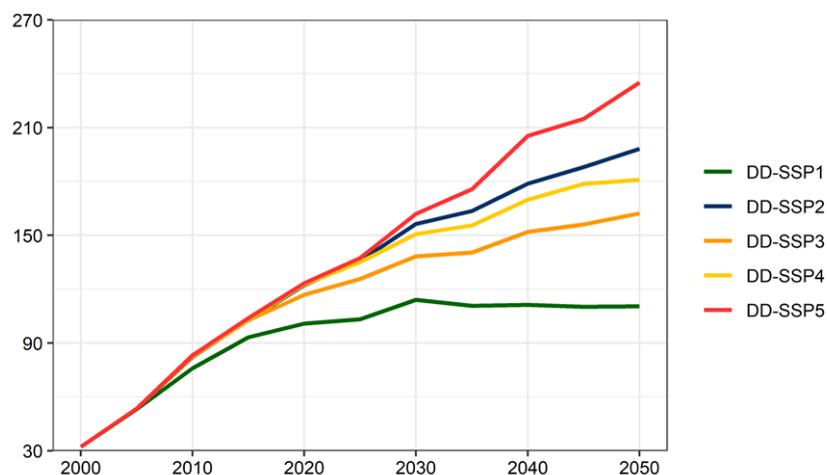
GRÁFICO 20

Gráficos de linha da área e da produção de soja no Brasil

20A – Área (Mha)



20B – Produção (Mt)



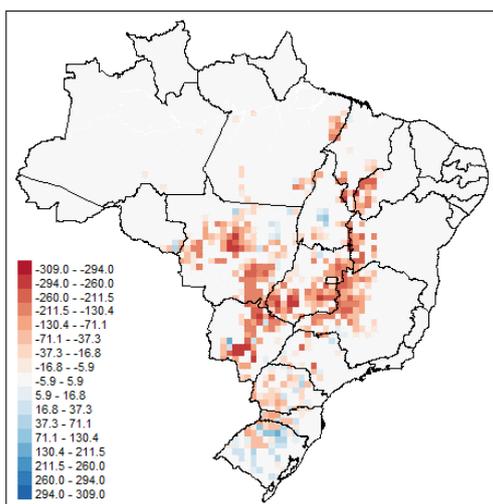
Elaboração dos autores.

Conforme observado nas figuras 24A e 25A, as maiores reduções de área e produção entre os cenários DDD-SSP1 e DD-SSP2 estão distribuídas nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, e no oeste de Minas Gerais. O cenário DD-SSP5 (figuras 24D e 25D) é o único que apresenta maiores ganhos de área em relação ao DD-SSP2, concentrados nos estados de Mato Grosso, do Maranhão e da Bahia.

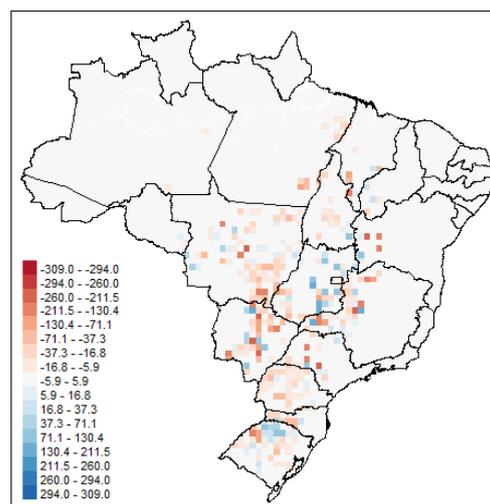
FIGURA 24**Diferenças da área de soja em 2050 entre cenários DD-SSP**

(Em 1.000 ha)

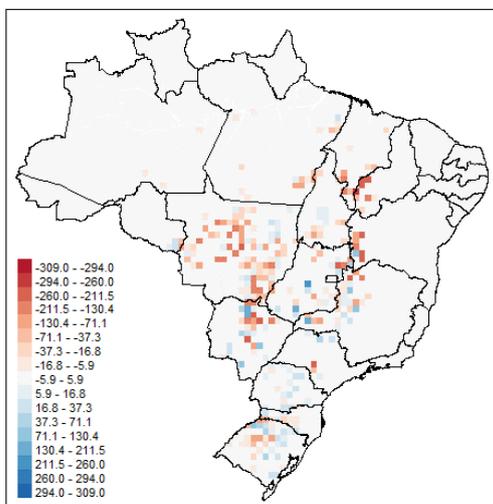
24A – DD-SSP1 e DD-SSP2



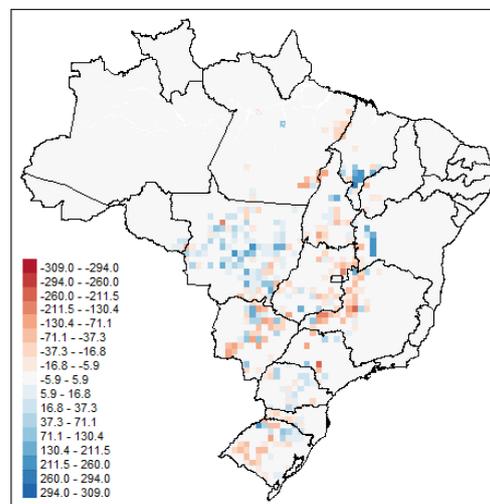
24B – DD-SSP3 e DD-SSP2



24C – DD-SSP4 e DD-SSP2



24D – DD-SSP5 e DD-SSP2

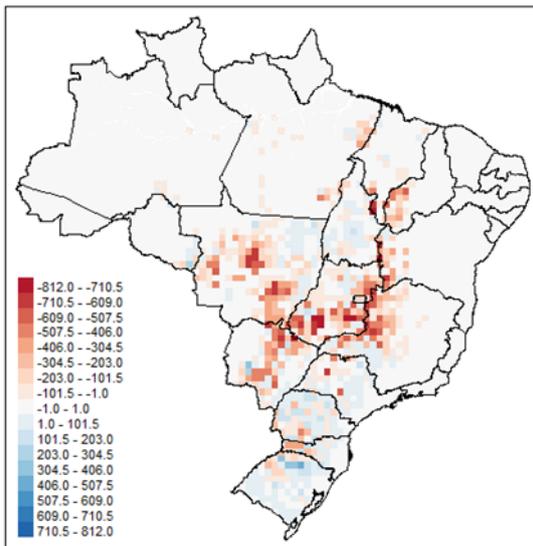


Elaboração dos autores.

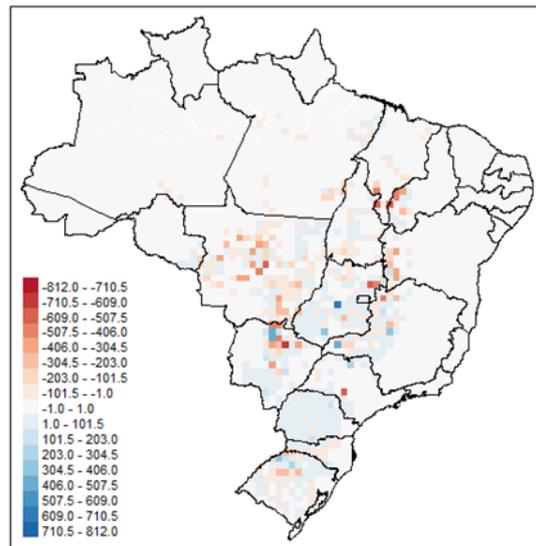
FIGURA 25

Diferença da produção de soja em 2050 entre cenários DD-SSP
(Em 1.000 t)

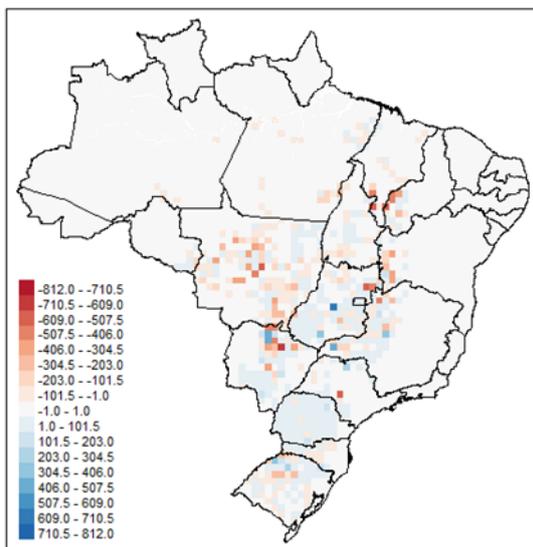
25A – DD-SSP1 e DD-SSP2



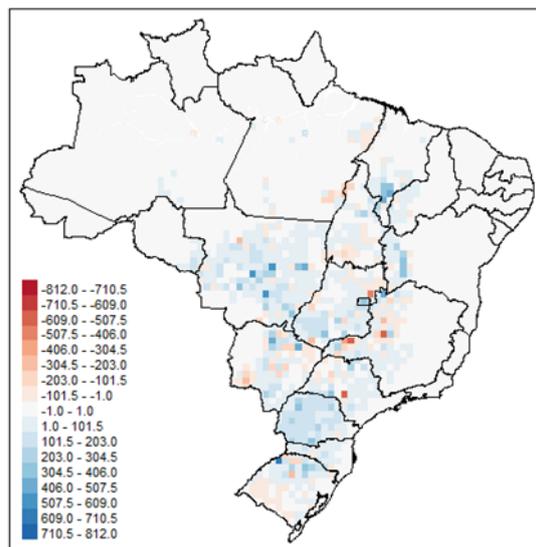
25B – DD-SSP3 e DD-SSP2



25C – DD-SSP4 e DD-SSP2



25D – DD-SSP5 e DD-SSP2



Elaboração dos autores.

TABELA 4

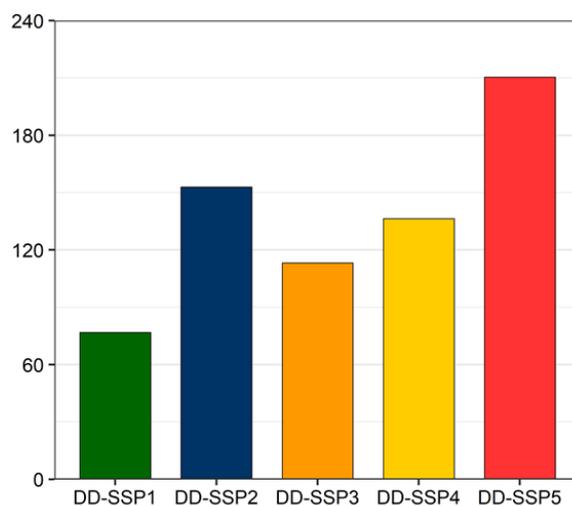
Área e produção de soja nos cinco cenários climáticos para os biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica em 2050

Bioma	Cenário	Área (Mha)	Produção (Mt)
Amazônia	DD-SSP1	2,81	6,44
	DD-SSP2	7,70	15,97
	DD-SSP3	7,07	13,16
	DD-SSP4	5,33	11,18
	DD-SSP5	8,46	19,95
Cerrado	DD-SSP1	11,97	31,77
	DD-SSP2	46,42	107,38
	DD-SSP3	42,10	86,87
	DD-SSP4	38,60	93,37
	DD-SSP5	48,24	125,95
Mata Atlântica	DD-SSP1	17,23	65,47
	DD-SSP2	19,91	68,61
	DD-SSP3	18,58	56,83
	DD-SSP4	20,39	70,56
	DD-SSP5	20,49	83,19

Elaboração dos autores.

GRÁFICO 21

Exportação total de soja em 2050 nos cinco cenários climáticos
(Em Mt)

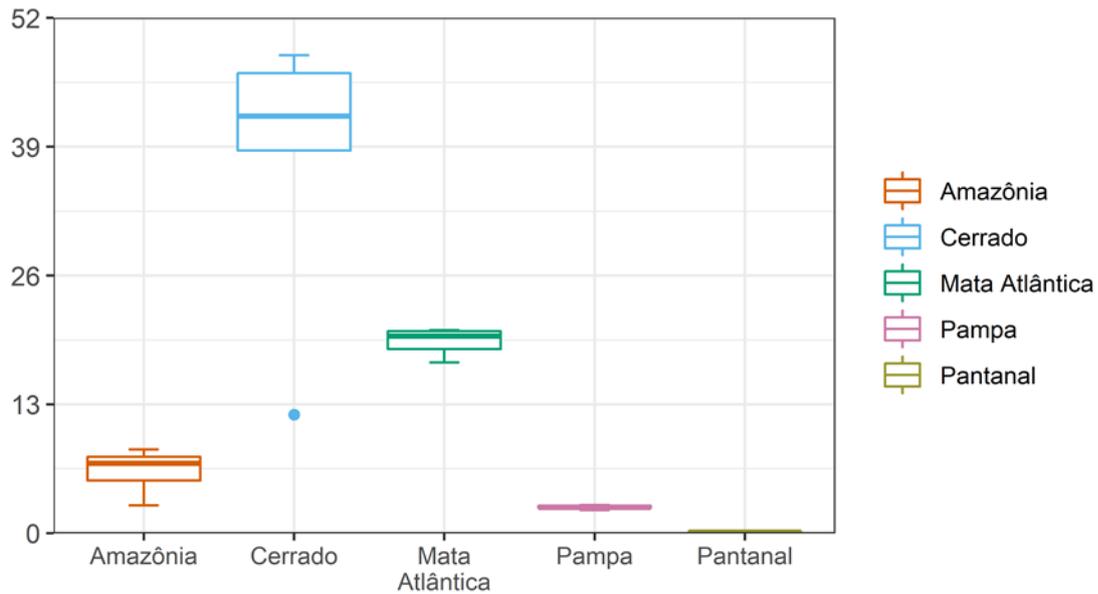


Elaboração dos autores.

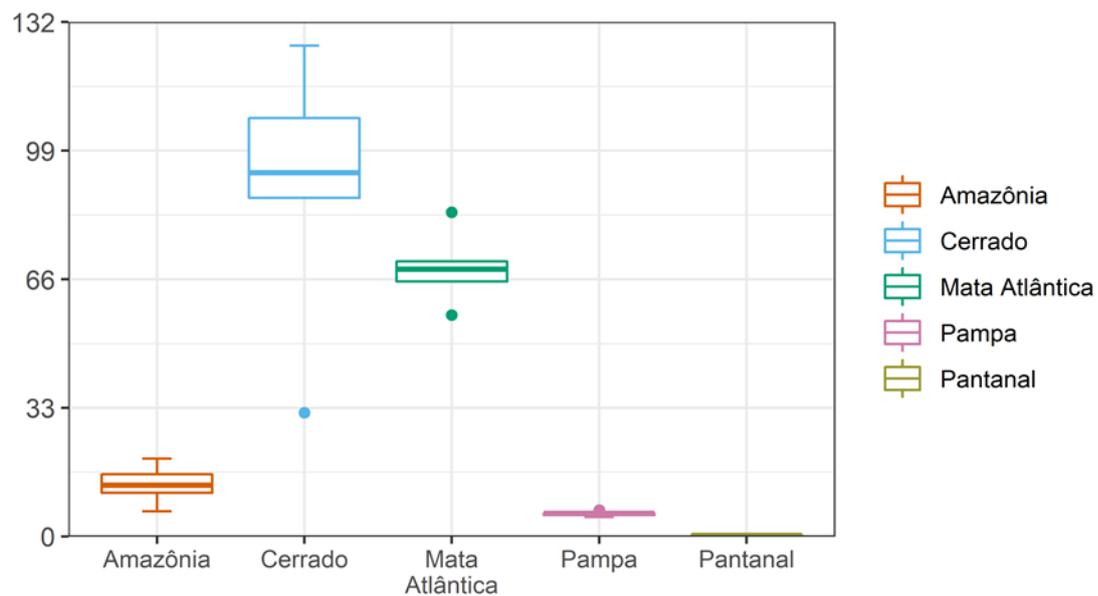
GRÁFICO 22

Boxplots da área e da produção de soja, por bioma, considerando os cinco cenários para 2050

22A – Área (Mha)



22B – Produção (Mt)



Elaboração dos autores.

4.5.3 Milho

O cenário DD-SSP1 estima valores de área e produção de milho menores do que os projetados pelo cenário DD-SSP2, com aumento de produtividade. Os maiores valores de área e produção são projetados pelo cenário DD-SSP5. De forma análoga ao observado nas projeções de soja, os resultados obtidos podem ser justificados a partir das hipóteses de crescimento populacional, econômico e tecnológico das narrativas SSP1 e SSP5, ao observarmos as conjecturas de população, consumo, dieta, avanços na agricultura e comércio internacional. O cenário de competição regional DD-SSP3 também apresentou a menor produtividade em 2050, com redução na produção e na área em relação ao DD-SSP2. As projeções reforçam as hipóteses de alto crescimento populacional e baixo crescimento econômico e tecnológico da narrativa SSP3. Com relação ao cenário DD-SSP4, a área e a produção seguem as tendências do cenário DD-SSP2. As evoluções de área e produção de milho entre 2000 e 2050 nos cinco cenários estão ilustradas no gráfico 23.

Observa-se que as projeções de área e produção para cultivo de milho no cenário DD-SSP1 estão abaixo do cenário DD-SSP2 a partir de 2020. Esta redução pode ser observada espacialmente em Mato Grosso, no sul de Goiás e em Mato Grosso do Sul (figuras 26A e 27A). Se observarmos as diferenças dos cenários DD-SSP3, DD-SSP4 e DD-SSP5 em relação ao DD-SSP2, as maiores diferenças de área para cultivo de milho estão concentradas no estado de Mato Grosso (figuras 26B, 26C e 26D). Analisando-se os mapas de produção de milho, observa-se que há uma pequena queda entre os cenários DD-SSP3 e DD-SSP2 (figura 27B) e um pequeno ganho entre os cenários DD-SSP5 e DD-SSP2 na região Centro-Oeste do Brasil, além dos estados de São Paulo e do Paraná (figura 27D).

Os resultados por bioma apresentados nos gráficos do tipo *boxplot* apontam o Cerrado com a maior variabilidade de área de milho (gráfico 24A). O maior aumento de área ocorre entre a mediana e o terceiro quartil. Em seguida, a Mata Atlântica e a Amazônia apresentam as maiores áreas. A produção de milho é maior e tem a maior variabilidade no bioma Cerrado (gráfico 24B). Em seguida, a Mata Atlântica apresenta maior produção, seguida da Amazônia, ambas com baixa variabilidade.

A área projetada para o Cerrado no cenário DD-SSP1 é reduzida em 56% em relação ao DD-SSP2 em 2050 (tabela 5). Também ocorreram reduções de área nos cenários DD-SSP3 (12%) e DD-SSP4 (10%). Assim como o ocorrido na área de soja, houve apenas acréscimo no cenário DD-SSP5 (5%) em relação ao DD-SSP2. Quanto à Amazônia

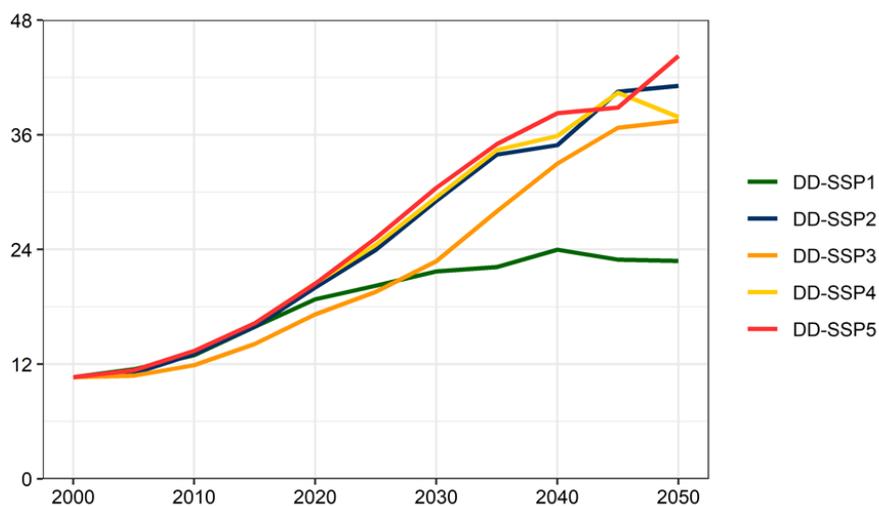
TEXTO para DISCUSSÃO

e à Mata Atlântica, também foram observadas reduções na área de milho no cenário DD-SSP1 (50% e 18%, respectivamente) e aumento no cenário DD-SSP5 (31% e 3%, respectivamente), se comparados com o DD-SSP2. As maiores diferenças de produção de milho são observadas nos cenários DD-SSP1 e DD-SSP5 em relação ao DD-SSP2. Reduções de produção são observadas na Amazônia (-44%) e no Cerrado (-39%) para o cenário DD-SSP1, ao passo que há um aumento nestes biomas (63% e 34%, respectivamente) para o cenário DD-SSP5.

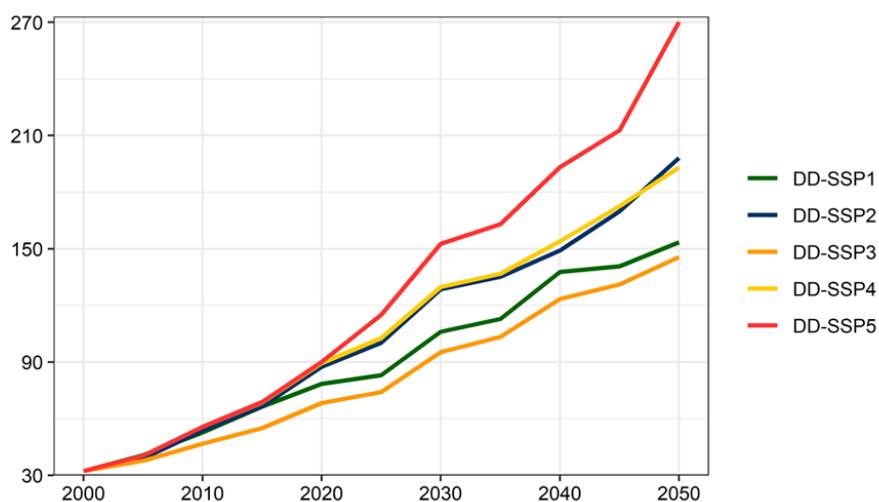
GRÁFICO 23

Gráfico de linha da área e da produção de milho no Brasil

23A – Área (Mha)



23B – Produção (Mt)

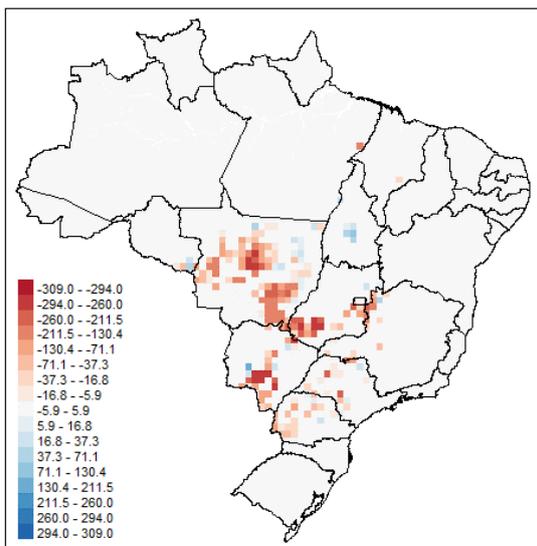


Elaboração dos autores.

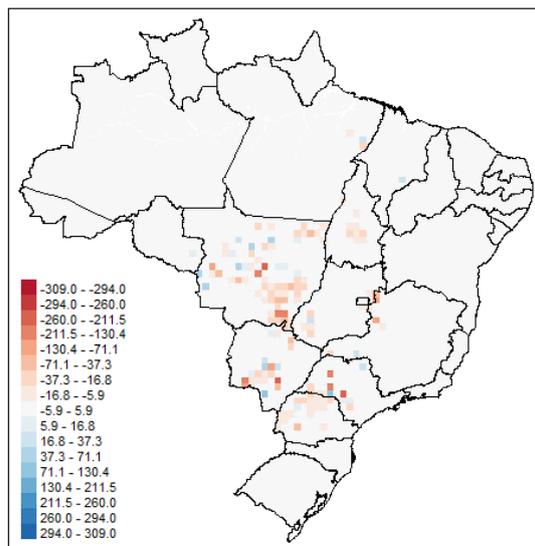
FIGURA 26**Diferença da área de milho em 2050 entre cenários DD-SSP**

(Em 1.000 ha)

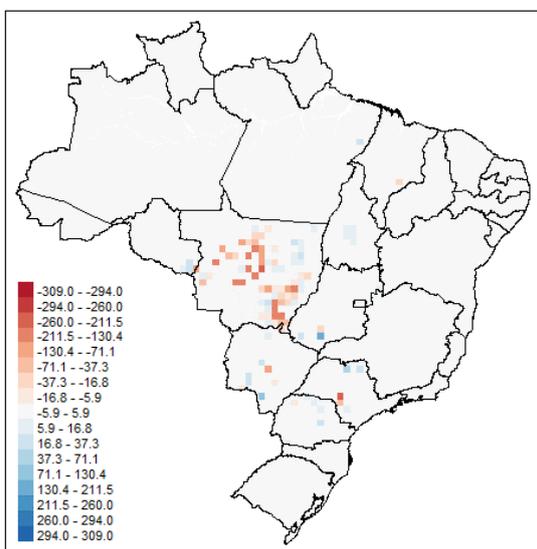
26A – DD-SSP1 e DD-SSP2



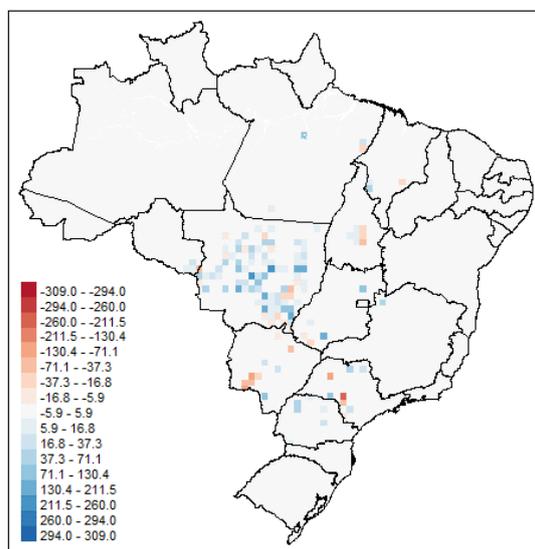
26B – DD-SSP3 e DD-SSP2



26C – DD-SSP4 e DD-SSP2



26D – DD-SSP5 e DD-SSP2

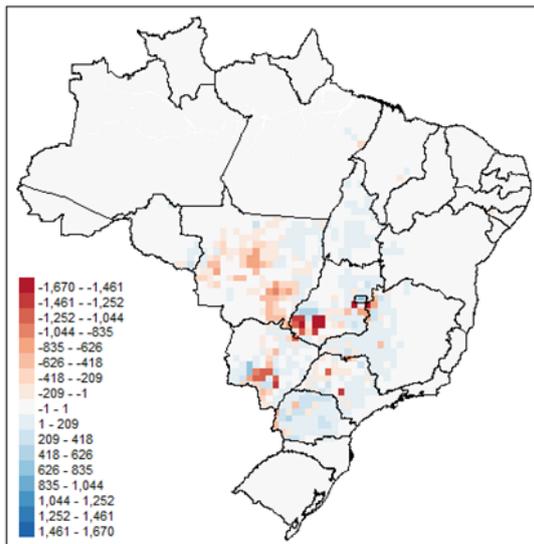


Elaboração dos autores.

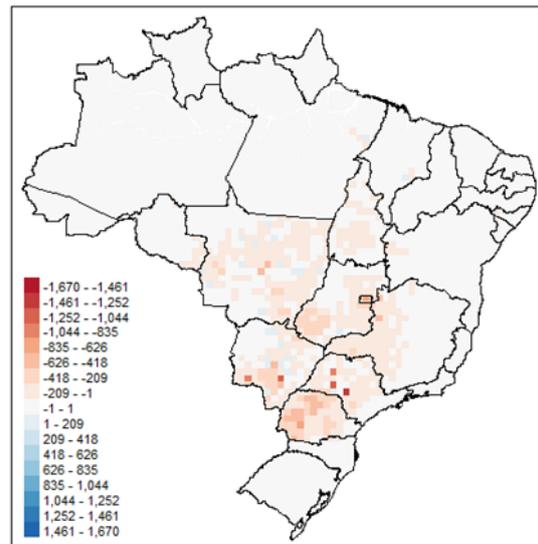
FIGURA 27

Diferença da produção de milho em 2050 entre cenários DD-SSP
(Em 1.000 t)

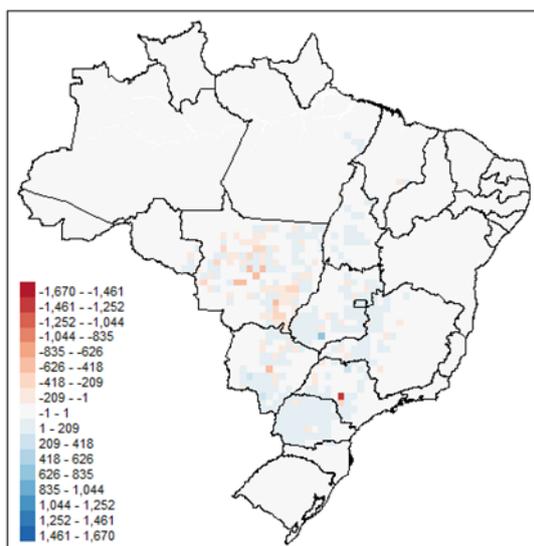
27A – DD-SSP1 e DD-SSP2



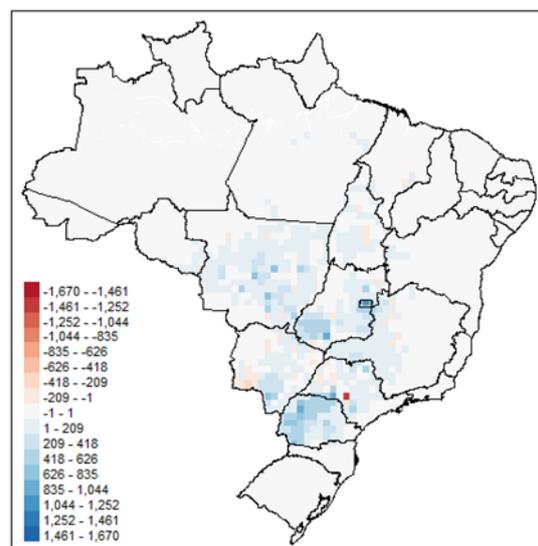
27B – DD-SSP3 e DD-SSP2



27C – DD-SSP4 e DD-SSP2



27D – DD-SSP5 e DD-SSP2

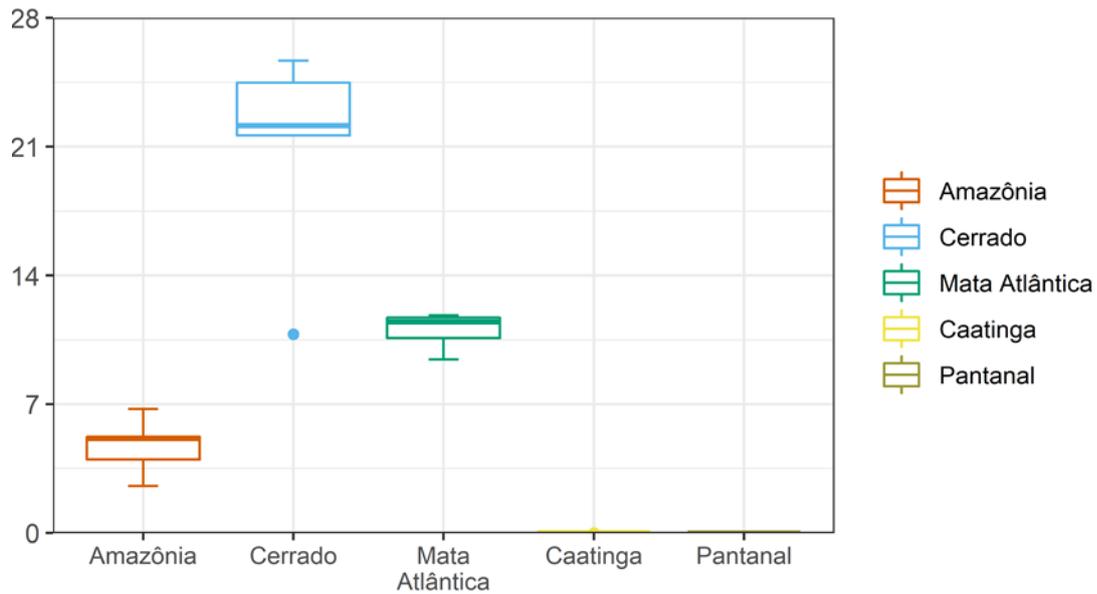


Elaboração dos autores.

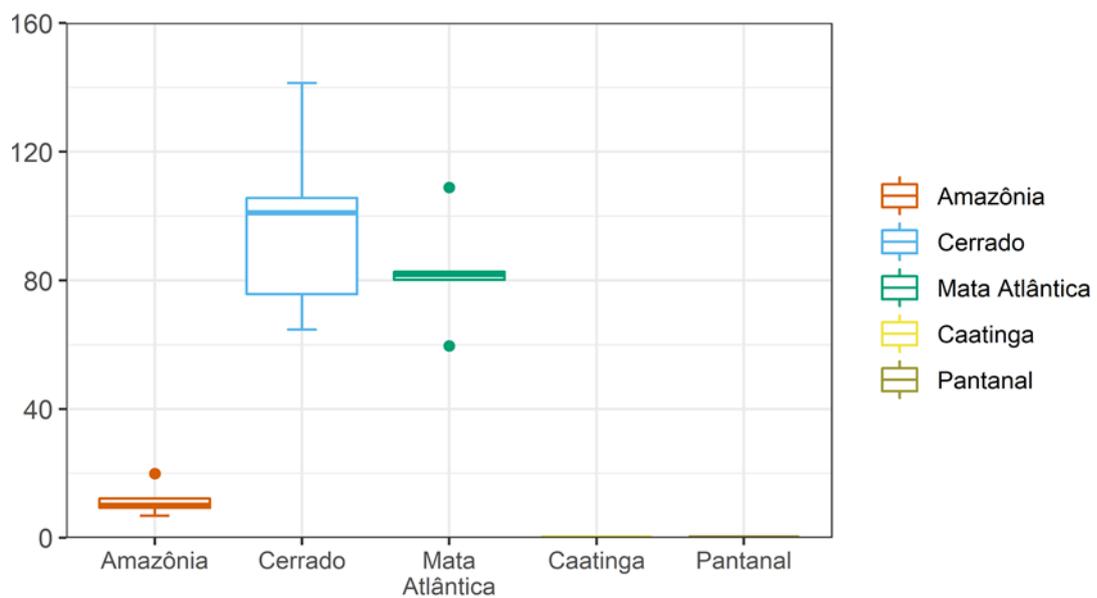
GRÁFICO 24

Boxplots da área e da produção de milho, por bioma, considerando os cinco cenários para 2050

24A – Área (Mha)



24B – Produção (Mt)



Elaboração dos autores.

TABELA 5

Área e produção de milho nos cinco cenários climáticos para os biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica em 2050

Bioma	Cenário	Área (Mha)	Produção (Mt)
Amazônia	DD-SSP1	2,56	6,86
	DD-SSP2	5,14	12,22
	DD-SSP3	5,23	10,11
	DD-SSP4	3,99	9,33
	DD-SSP5	6,74	19,96
Cerrado	DD-SSP1	10,80	64,68
	DD-SSP2	24,47	105,57
	DD-SSP3	21,61	75,77
	DD-SSP4	22,15	101,00
	DD-SSP5	25,67	141,33
Mata Atlântica	DD-SSP1	9,43	81,87
	DD-SSP2	11,49	80,23
	DD-SSP3	10,60	59,69
	DD-SSP4	11,71	82,71
	DD-SSP5	11,83	108,91

Elaboração dos autores.

4.5.4 Cana-de-açúcar

É importante salientar que a demanda de etanol é fixa no Globiom-Brasil e não varia entre os cenários SSPs. Desta forma, as principais mudanças entre os cinco cenários variando as narrativas socioeconômicas decorrem da diferença na demanda de açúcar durante o período analisado.

Observando a figura 28, o cenário DD-SSP1 apresenta uma redução da área a partir de 2040 comparativamente aos demais cenários, mas mantém praticamente a mesma produção durante todo o período analisado em relação ao cenário DD-SSP2. Houve um aumento na produtividade da cana-de-açúcar em 2050, o que pode ser justificado pela hipótese de avanço tecnológico na agricultura da narrativa SSP1. O cenário DD-SSP3 apresenta uma trajetória muito similar ao cenário DD-SSP2 em relação à área durante todo o período. Contudo, a produção de cana-de-açúcar no cenário DD-SSP3 sofre uma redução a partir de 2025. Como o Brasil é um dos principais exportadores de açúcar no mundo e a narrativa SSP3 representa um futuro com comércio internacional restrito, esta redução pode estar associada a esta característica da narrativa. Conforme

ilustrado na figura 28, o cenário SSP3 é o que apresenta a menor quantidade de açúcar exportado entre os cinco cenários. Os cenários DD-SSP2 e DD-SSP4 comportam-se de forma similar em relação à área, à produção e à produtividade. Com relação ao cenário DD-SSP5, as projeções estimam os maiores valores de área, produção, produtividade e exportação de cana-de-açúcar em 2050 entre os cinco cenários, seguindo-se as hipóteses da narrativa.

Analisando a evolução da área e os mapas ilustrados nas figuras 28 e 29, as maiores diferenças entre os cenários DD-SSP1 e DD-SSP2 em 2050 ocorrem no oeste do estado de São Paulo, com perda da área e produção de cana-de-açúcar (figuras 28A e 29A). De outro modo, observando-se as diferenças entre os cenários DD-SSP3 e DD-SSP2, as maiores perdas ocorrem no estado de Goiás (figuras 28B e 29B).

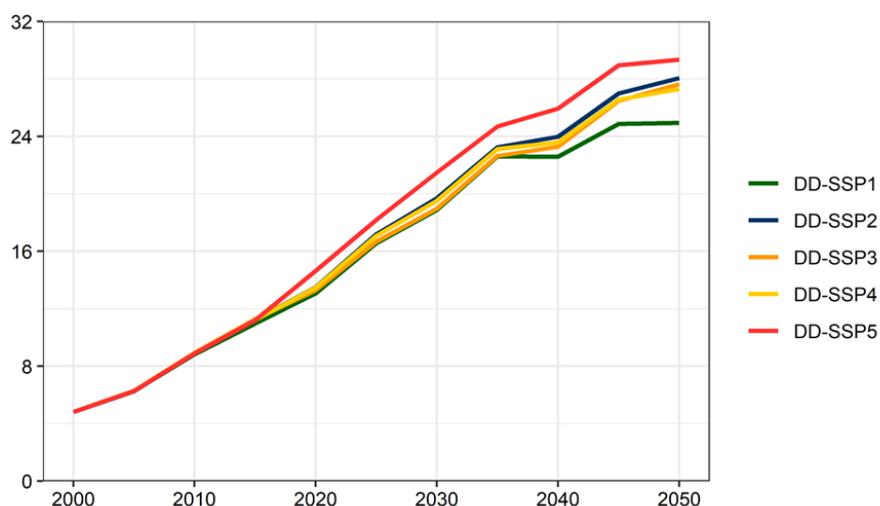
A produção no cenário DD-SSP1 reduz-se em 13% na Mata Atlântica em 2050, enquanto há um aumento de 25% no cenário DD-SSP5 se comparado ao DD-SSP2 (tabela 6). É observado um aumento na produção no Cerrado tanto para o cenário DD-SSP1 (4%) como para o DD-SSP5 (19%).

Os resultados apresentados no gráfico do tipo *boxplot* mostram que o bioma com maior área e maior produção é o Cerrado, seguido pela Mata Atlântica, ambos com baixa variabilidade entre os cenários (gráfico 27). Os demais biomas apresentam baixa produção e variabilidade entre os cenários.

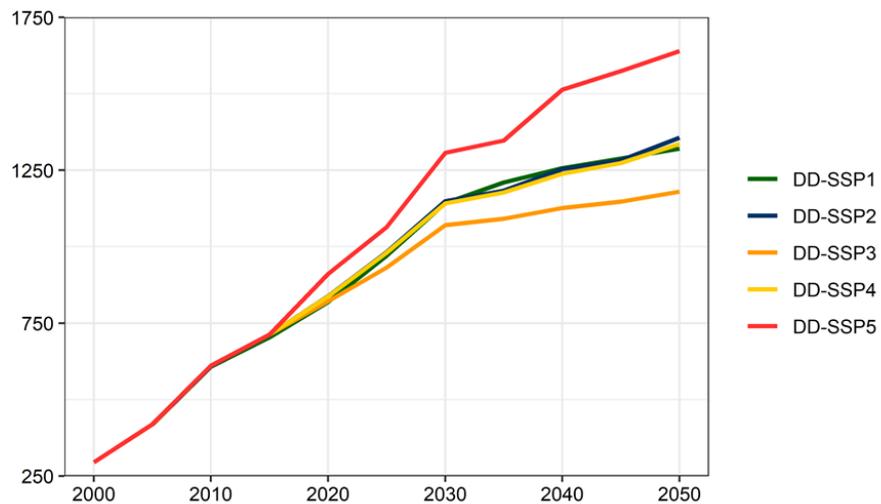
GRÁFICO 25

Gráfico de linha da área e da produção de cana-de-açúcar no Brasil

25A – Área (Mha)



25B – Produção (Mt)

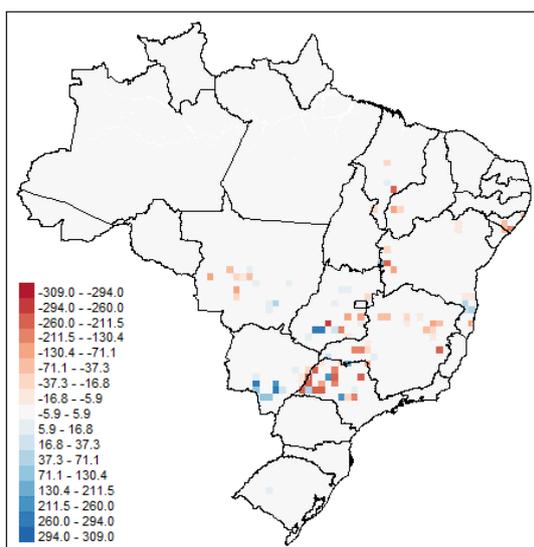


Elaboração dos autores.

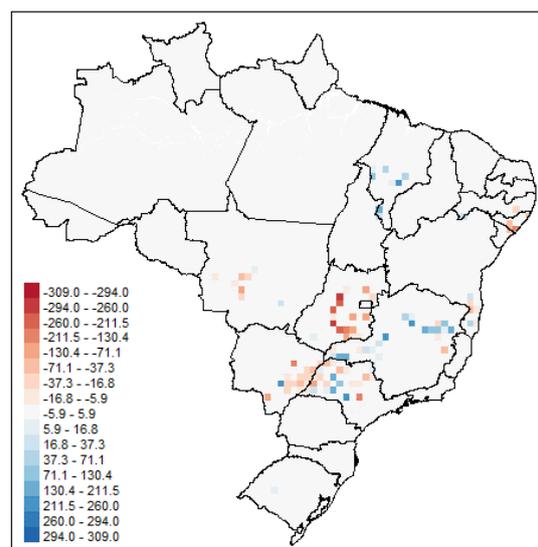
FIGURA 28

Diferença da área de cana-de-açúcar em 2050 entre cenários DD-SSP
(Em 1.000 ha)

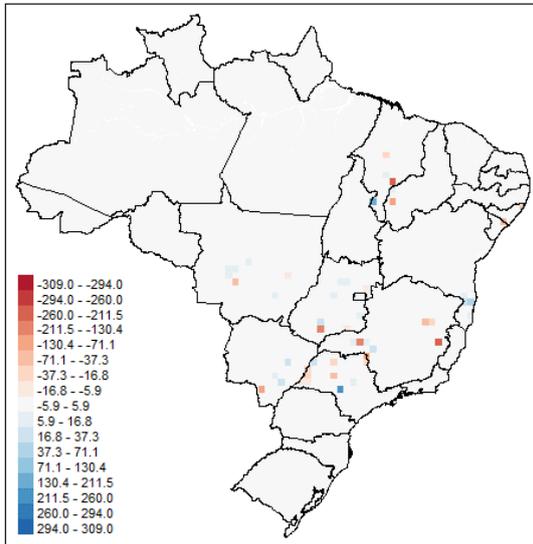
28A – DD-SSP1 e DD-SSP2



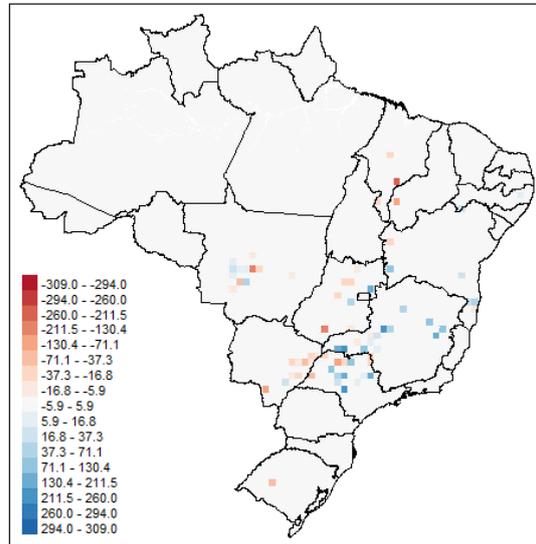
28B – DD-SSP3 e DD-SSP2



28C – DD-SSP4 e DD-SSP2



28D – DD-SSP5 e DD-SSP2

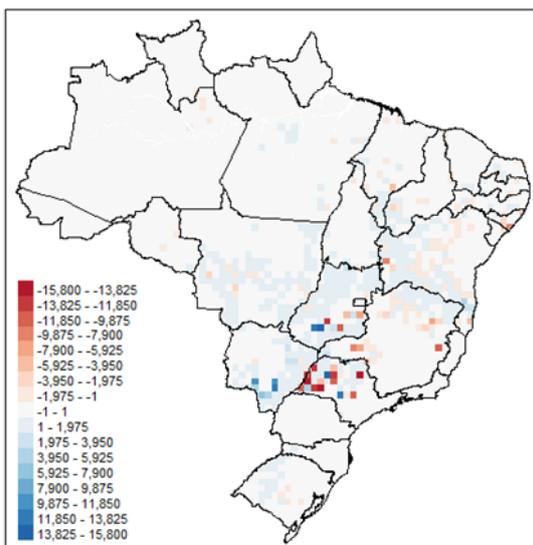


Elaboração dos autores.

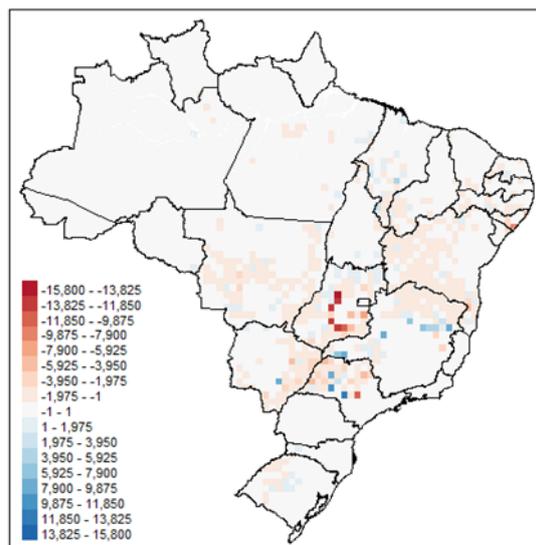
FIGURA 29

Diferença da produção de cana-de-açúcar em 2050 entre cenários DD-SSP
(Em 1.000 t)

29A – DD-SSP1 e DD-SSP2

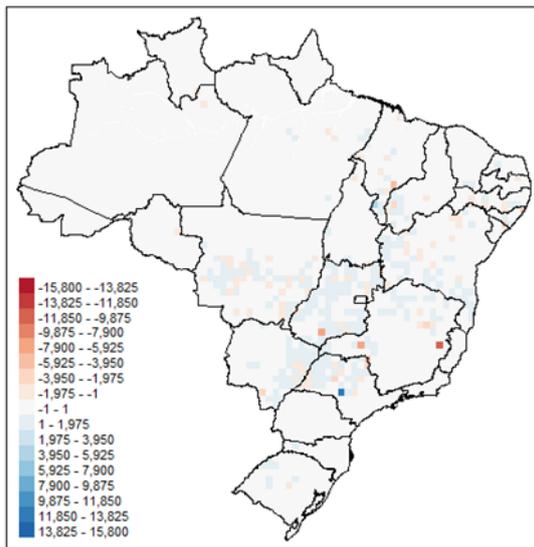


29B – DD-SSP3 e DD-SSP2

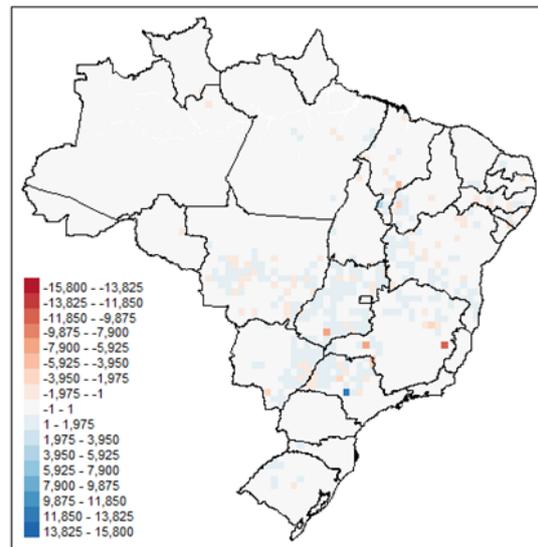


TEXTO para DISCUSSÃO

29C – DD-SSP4 e DD-SSP2



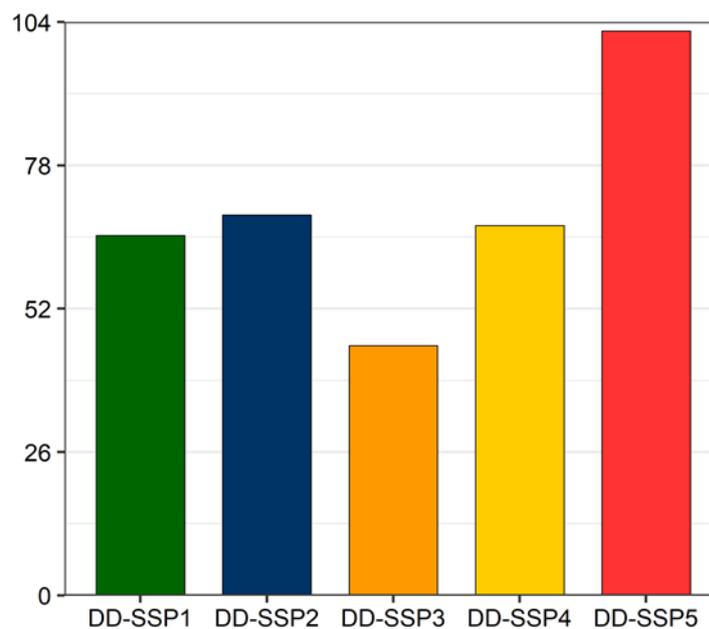
29D – DD-SSP5 e DD-SSP2



Elaboração dos autores.

GRÁFICO 26

Exportação total de açúcar em 2050 nos cinco cenários climáticos
(Em Mt)

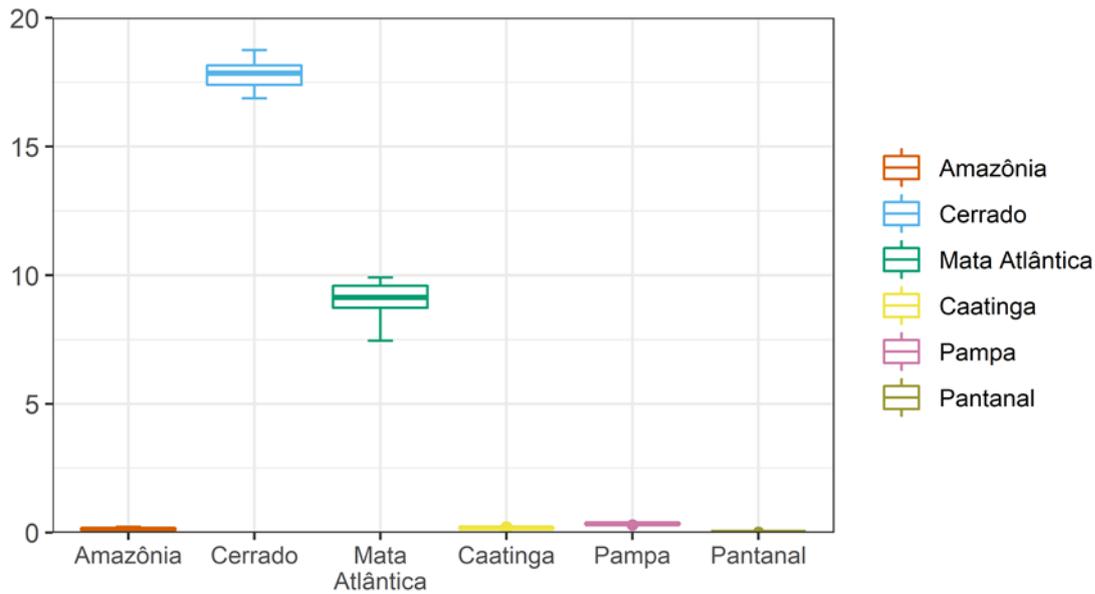


Elaboração dos autores.

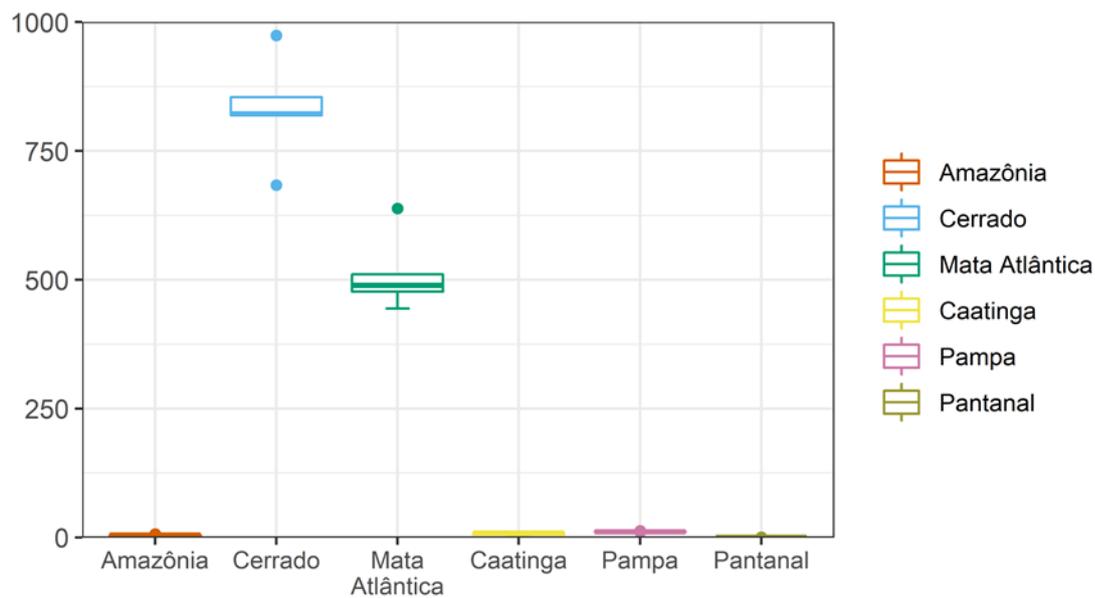
GRÁFICO 27

Boxplots da área e da produção de cana-de-açúcar, por bioma, considerando os cinco cenários para 2050

27A – Área (Mha)



27B – Produção (Mt)



Elaboração dos autores.

TABELA 6

Área e produção de cana-de-açúcar nos cinco cenários climáticos para os biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica em 2050

Bioma	Cenário	Área (Mha)	Produção (Mt)
Amazônia	DD-SSP1	0,11	4,07
	DD-SSP2	0,22	6,56
	DD-SSP3	0,12	3,42
	DD-SSP4	0,16	4,89
	DD-SSP5	0,14	4,95
Cerrado	DD-SSP1	16,88	854,04
	DD-SSP2	18,15	819,37
	DD-SSP3	17,39	683,42
	DD-SSP4	17,85	821,87
	DD-SSP5	18,75	973,87
Mata Atlântica	DD-SSP1	7,46	444,46
	DD-SSP2	9,15	510,79
	DD-SSP3	9,60	476,76
	DD-SSP4	8,74	489,46
	DD-SSP5	9,92	638,44

Elaboração dos autores.

4.5.5 Carne bovina

A evolução das projeções do Globiom-Brasil para os cinco cenários para o rebanho bovino e a produção de carne está ilustrada no gráfico 28. O cenário DD-SSP1 apresenta a menor quantidade de cabeças de gado e de produção bovina entre todos os cenários, enquanto o cenário DD-SSP5 estima os maiores valores para ambas. Estas projeções podem estar associadas à hipótese de uso de dieta com uma quantidade mais baixa de calorias, com baixo consumo de carne vermelha para o cenário DD-SSP1 em relação ao cenário DD-SSP2, e de alto consumo de calorias e de carne vermelha para o cenário DD-SSP5. O cenário DD-SSP3 sofre um aumento do tamanho do rebanho bovino, mas um decréscimo na produção de carne. Esta redução pode estar vinculada às hipóteses de baixo desenvolvimento tecnológico, o que afeta a produtividade do rebanho.

O resultado apresentado na figura 30A ilustra especialmente a perda do rebanho bovino no cenário DD-SSP1 em relação ao DD-SSP2 em Mato Grosso (exceto em parte do sul do estado) e no Tocantins. O mesmo pode ser observado no mapa ilustrado na figura 31A em relação à produção de carne bovina. Os ganhos de produção de carne

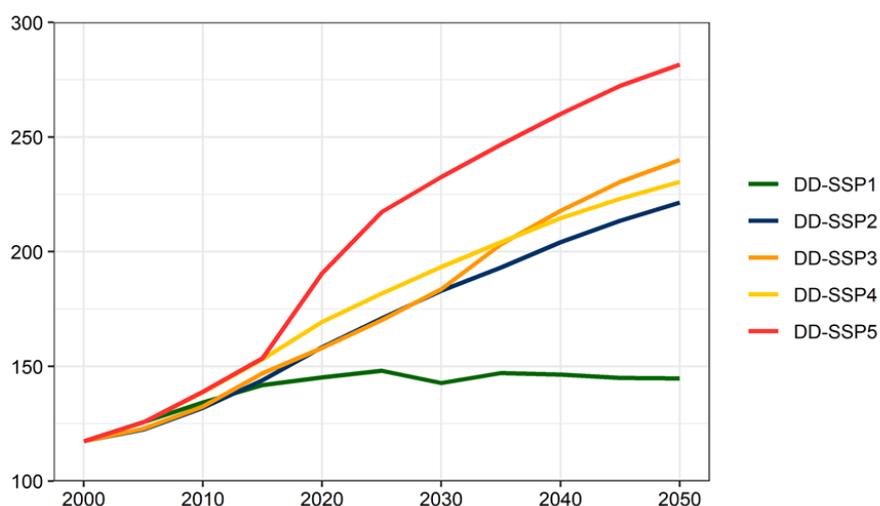
ocorrem no cenário DD-SSP5 em relação ao DD-SSP2 (figura 31D). Com relação à exportação de carne bovina, o cenário DD-SSP5 apresenta o maior valor estimado entre todos os cenários em 2050, o que corrobora as hipóteses da narrativa (gráfico 29).

As projeções do Globiom-Brasil estimam uma redução de 39%, 30% e 25% do tamanho do rebanho bovino no cenário DD-SSP1 para os biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica em relação ao DD-SSP2 em 2050, respectivamente (tabela 7). O cenário DD-SSP5 projeta um aumento do rebanho para a Amazônia (14%), o Cerrado (29%) e a Mata Atlântica (25%) para o mesmo período em comparação ao DD-SSP2. A produção projetada para a Amazônia, o Cerrado e a Mata Atlântica no cenário DD-SSP1 é reduzida em 58%, 56% e 43% em relação ao DD-SSP2 em 2050. O cenário DD-SSP5 aumenta a produção em 9%, 24% e 21% para os três biomas, respectivamente. Reduções de produção nos cenários DD-SSP3 e DD-SSP4 foram observadas para a Amazônia e a Mata Atlântica, apesar de ocorrer um aumento do rebanho nestes dois cenários, o que pode estar ligado com as hipóteses de baixa produtividade das duas narrativas. O resultado apresentado no gráfico 30 para rebanho mostra que a Amazônia é o bioma com maior número de cabeças de gado; a seguir vem o Cerrado, a Mata Atlântica, a Caatinga, o Pantanal e, por fim, o Pampa. Entre eles, o que apresenta maior variabilidade no tamanho do rebanho entre os cinco cenários é o Cerrado (gráfico 30A) em 2050. Analisando-se os resultados do gráfico de produção de carne bovina (gráfico 30B), o bioma com maior produção e maior variabilidade é a Amazônia, seguida dos biomas Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pantanal e Pampa.

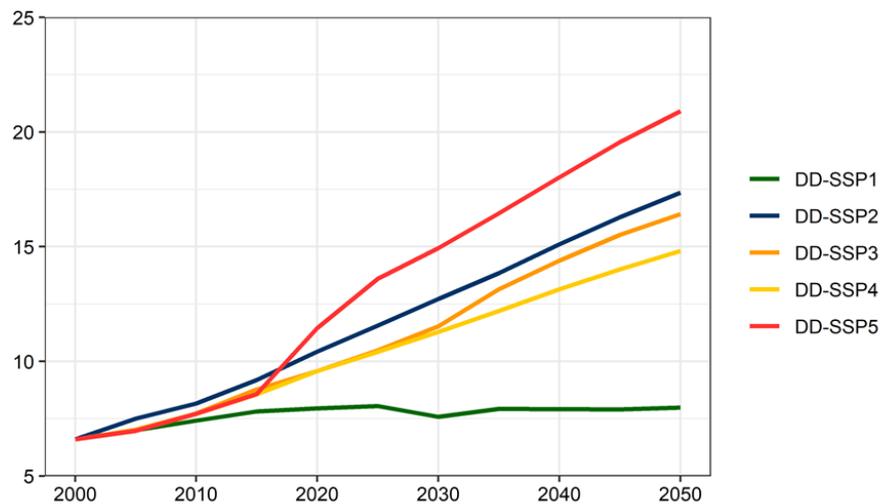
GRÁFICO 28

Gráfico de linha do número de cabeças de gado e da produção de carne bovina no Brasil

28A – Rebanho (MTLUs)



28B – Produção (Mt)

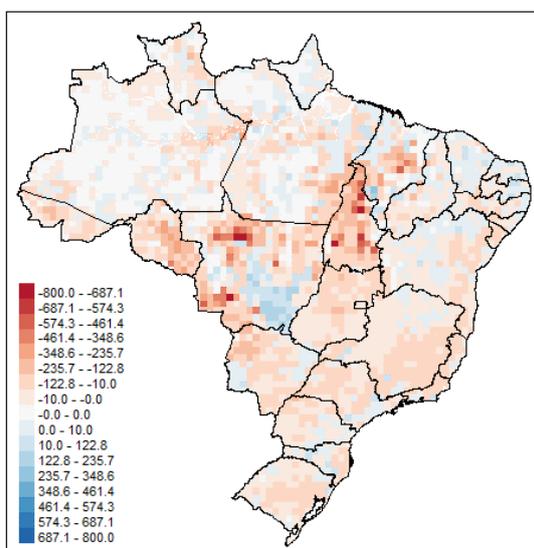


Elaboração dos autores.

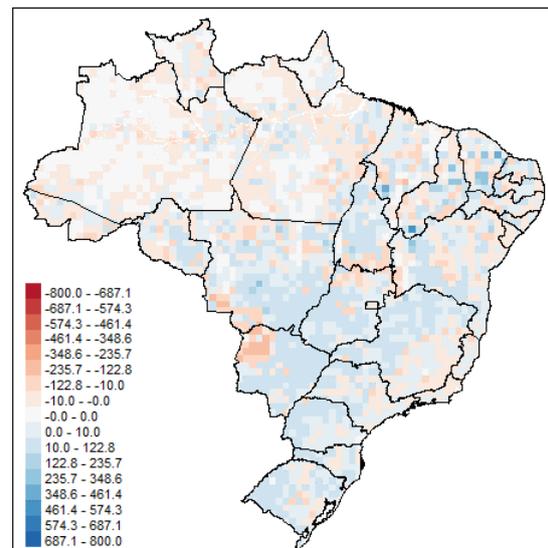
FIGURA 30

Diferença da quantidade de rebanho bovino em 2050 entre cenários DD-SSP
(Em 1.000 ha)

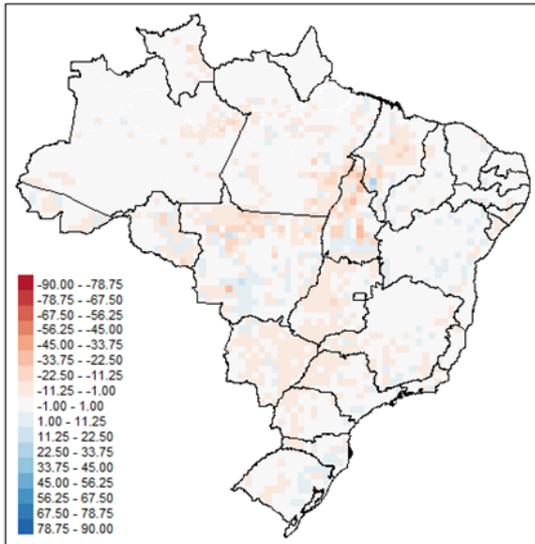
30A – DD-SSP1 e DD-SSP2



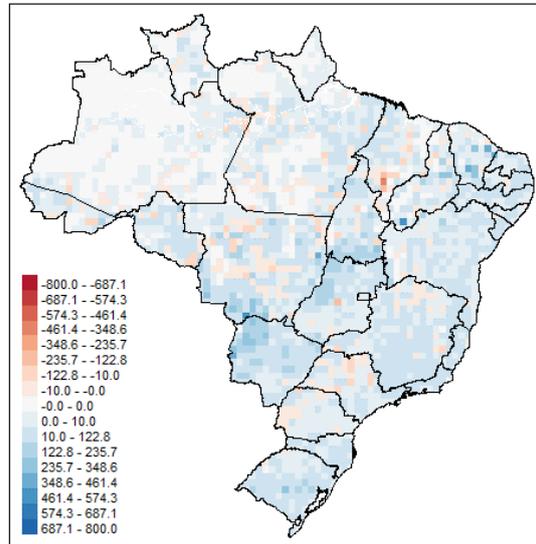
30B – DD-SSP3 e DD-SSP2



30C – DD-SSP4 e DD-SSP2



30D – DD-SSP5 e DD-SSP2

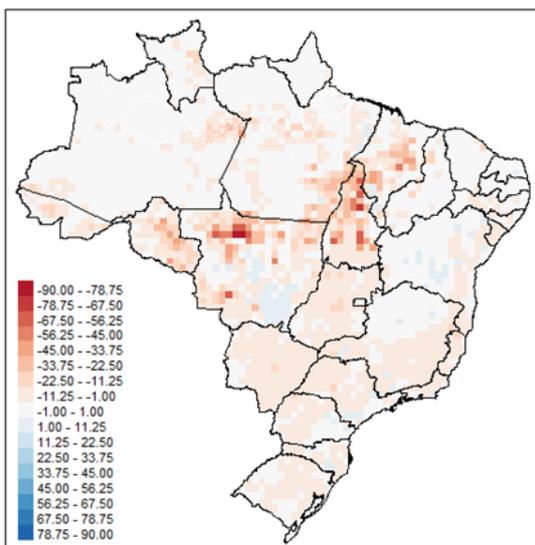


Elaboração dos autores.

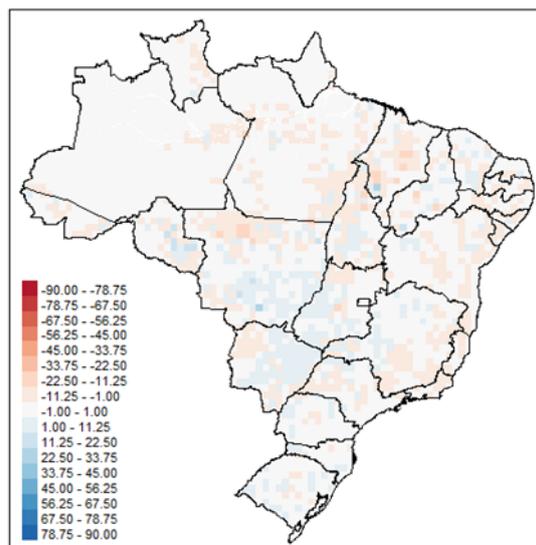
FIGURA 31

Diferença da quantidade da produção de carne bovina em 2050 cenários DD-SSP (Em 1.000 t)

31A – DD-SSP1 e DD-SSP2

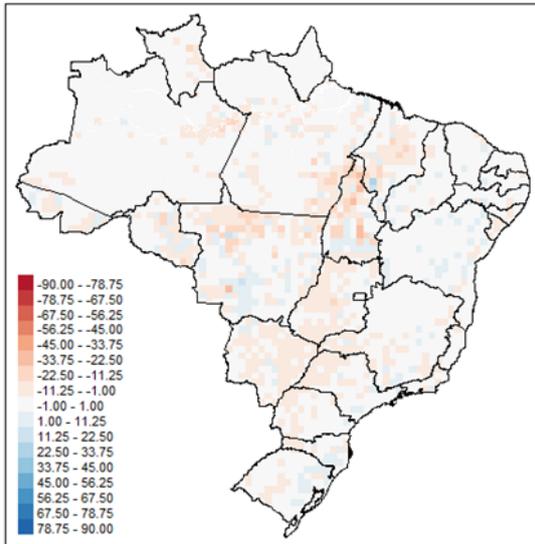


31B – DD-SSP3 e DD-SSP2

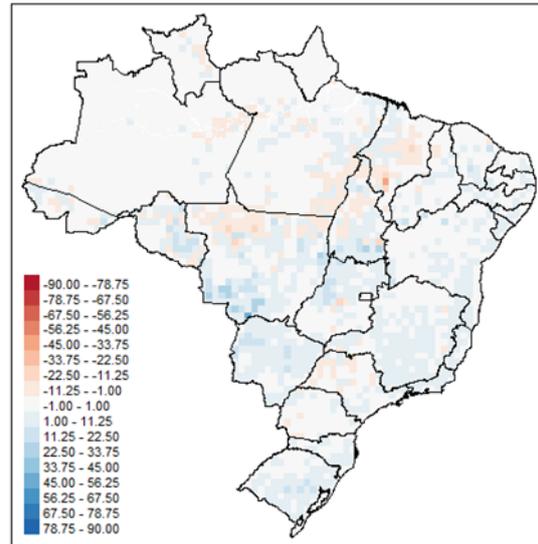


TEXTO para DISCUSSÃO

31C – DD-SSP4 e DD-SSP2



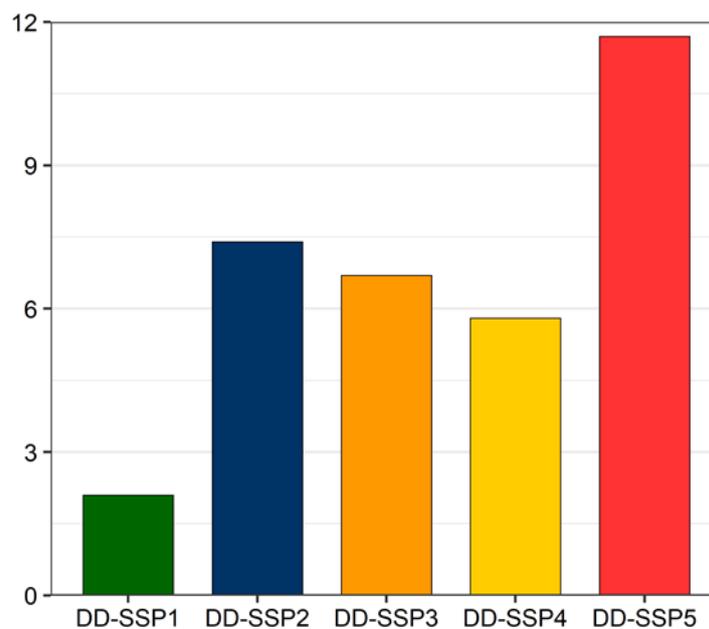
31D – DD-SSP5 e DD-SSP2



Elaboração dos autores

GRÁFICO 29

Exportação total de carne bovina em 2050 nos cinco cenários climáticos (Em Mt)

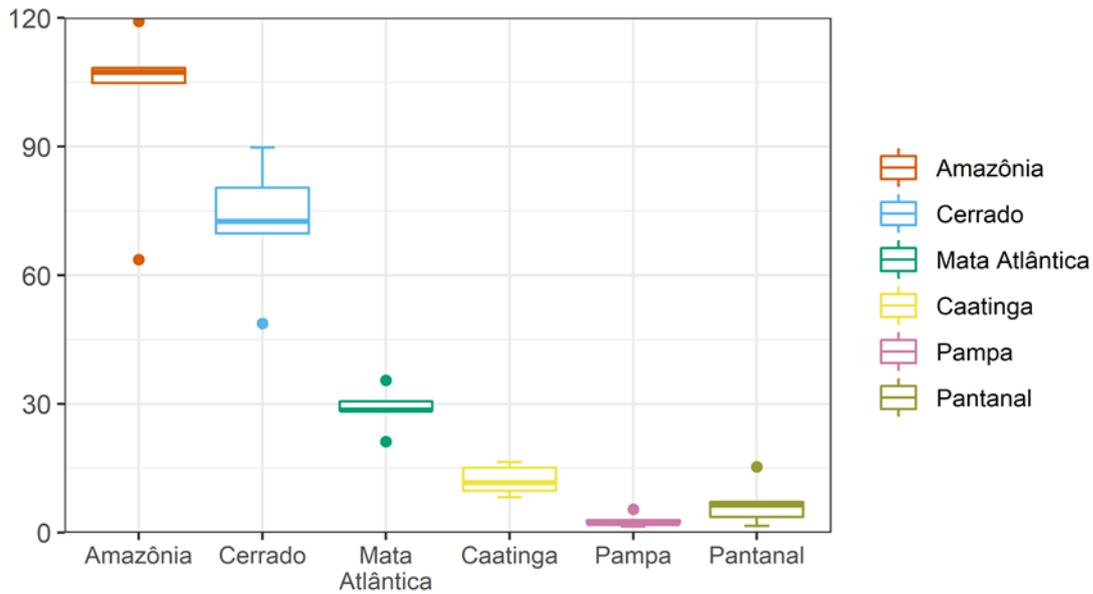


Elaboração dos autores.

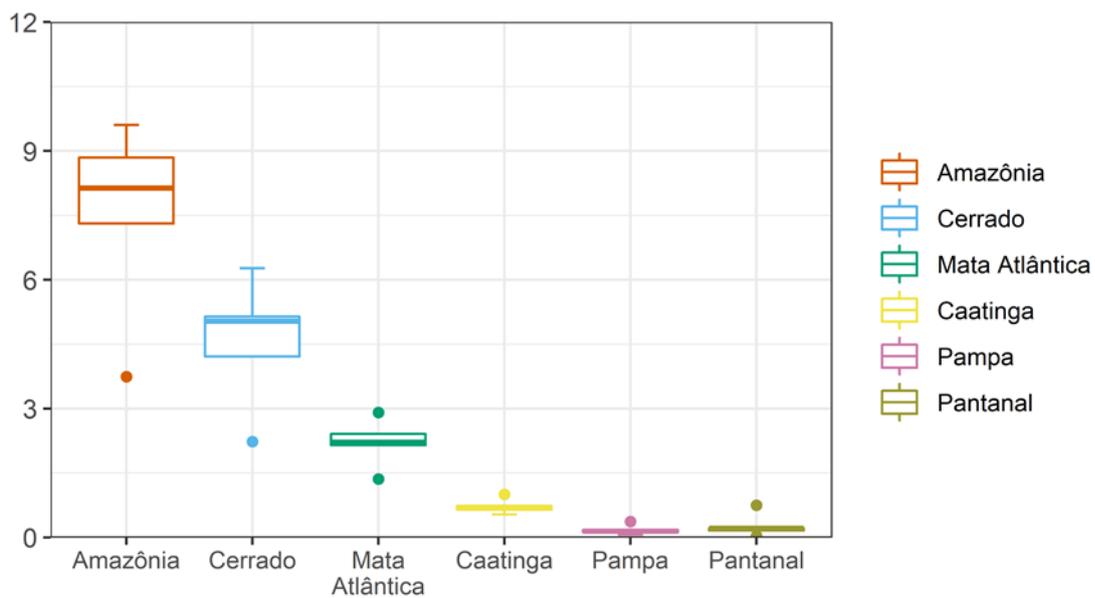
GRÁFICO 30

Boxplots do número de cabeças de gado e da produção de carne bovina, por bioma, considerando os cinco cenários para 2050

30A – Rebanho (MTLUs)



30B – Produção (Mt)



Elaboração dos autores.

TABELA 7

Tamanho do rebanho bovino e produção de carne bovina nos cinco cenários climáticos para os biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica em 2050

Bioma	Cenário	Cabeças de gado (MTLUs)	Produção de carne bovina (Mt)
Amazônia	DD-SSP1	63,63	3,75
	DD-SSP2	104,82	8,85
	DD-SSP3	107,34	8,14
	DD-SSP4	108,36	7,31
	DD-SSP5	119,18	9,61
Cerrado	DD-SSP1	48,75	2,23
	DD-SSP2	69,76	5,04
	DD-SSP3	80,43	5,14
	DD-SSP4	72,57	4,21
	DD-SSP5	89,78	6,27
Mata Atlântica	DD-SSP1	21,23	1,37
	DD-SSP2	28,47	2,41
	DD-SSP3	30,63	2,15
	DD-SSP4	28,56	2,22
	DD-SSP5	35,49	2,91

Elaboração dos autores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste texto para discussão, foram analisados os impactos das mudanças climáticas na produção de carne bovina e nas três culturas agrícolas brasileiras mais importantes em termos de área plantada (soja, milho e cana-de-açúcar). Uma primeira análise foi realizada comparando-se o cenário referencial (Base-SSP2) com um cenário climático (DD-SSP2) que aplica *shifters*, isto é, choques que alteram a produtividade das culturas agrícolas simuladas pelo modelo Globiom-Brasil. Para esta análise, o cenário DD-SSP2 projeta um aumento da área de soja (51%), milho (41%) e cana-de-açúcar (70%), em 2050, comparativamente ao cenário Base-SSP2.

Em comparação ao cenário Base-SSP2, o cenário que considera mudanças climáticas (DD-SSP2) projeta queda de produção de milho (17%) e de cana-de-açúcar (4%) entre 2020 e 2050, apesar da maior expansão em área projetada para o mesmo período. Embora o modelo projete produções de soja similares nestes dois cenários, observou-se um aumento em área no cenário climático para compensar a redução da

produtividade causada pelos *shifters*. Além disso, o modelo projeta um deslocamento da produção de soja e milho no sentido sul do país. Tal resultado indica resiliência da produção agrícola no Brasil, que mesmo com menor produtividade devido às mudanças climáticas – as quais também afetam outras regiões produtoras do mundo – conseguiria manter o volume de produção demandado.

Com relação ao rebanho bovino, vale ressaltar que no modelo Globiom-Brasil os efeitos das mudanças climáticas não são aplicados diretamente no setor pecuário. Com isso, as principais mudanças projetadas pelos cenários para este setor são indiretas e derivadas das mudanças ocorridas nas culturas agrícolas, e suas consequentes compensações com outras classes de uso e cobertura do solo do modelo. Os resultados não indicaram mudanças significativas no tamanho do rebanho e na produção de carne bovina nos cenários Base-SSP2 e DD-SSP2.

Outra análise de resultados foi realizada comparando-se os cinco cenários climáticos que consideram os *shifters* de produtividade e variam as narrativas socioeconômicas (DD-SSP1, DD-SSP2, DD-SSP3, DD-SSP4 e DD-SSP5) em relação ao cenário que contém a narrativa SSP2 – esta, a que descreve um futuro que melhor captura os padrões históricos em termos socioeconômicos. Os resultados obtidos para as culturas de soja e milho comportaram-se de forma análoga em relação às cinco narrativas socioeconômicas, seguindo as hipóteses de cada cenário. O bioma que apresentou maior variabilidade e diferença entre os cenários para estas duas *commodities* foi o Cerrado.

A produção de cana-de-açúcar no modelo Globiom-Brasil está sujeita à demanda de açúcar e etanol. As maiores variações na distribuição espacial de cana-de-açúcar entre os cenários são observadas na Mata Atlântica, no estado de São Paulo. A exportação de açúcar seguiu uma tendência de crescimento no cenário DD-SSP5, seguindo a hipótese da narrativa de grande incentivo às exportações. As projeções para o rebanho bovino e a produção de carne estão alinhadas com as justificativas associadas ao uso de uma dieta com baixo consumo de carne vermelha no cenário DD-SSP1, por exemplo. A exportação de carne bovina no cenário DD-SSP5 também se mostrou a maior entre todos os cenários, indicando um consenso com a narrativa.

Por fim, é importante salientar que o Globiom-Brasil é um modelo em constante desenvolvimento. Especificidades, como a demanda exógena de etanol, e limitações quanto ao impacto das mudanças climáticas no setor pecuário precisam ser levadas em consideração na análise dos resultados apresentados.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, S. *et al.* **Diminuir o calor**: confrontando o novo padrão climático. Washington, D.C.: The World Bank, 2014. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/topic/climatechange/publication/turn-down-the-heat>.
- AGUIAR *et al.*, A. P. D. Modeling the spatial and temporal heterogeneity of deforestation-driven carbon emissions: the INPE-EM framework applied to the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 18, n. 11, p. 3346-3366, 2012.
- ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050**: the 2012 revision. Rome: Food Agriculture Organization, 2012.
- ALKAMA, R.; CESCATTI, A. Biophysical climate impacts of recent changes in global forest cover. **Science**, v. 351, n. 6273, p. 600-604, Feb. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.aac8083>.
- ARAGÃO, A.; CONTINI, E. **O agro no Brasil e no mundo**: uma síntese do período de 2000 a 2020. Brasília: Embrapa, 2021. (Apresentação de *slides*). Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/62618376/O+AGRO+NO+BRASIL+E+NO+MUNDO.pdf/>.
- BALBINOT JUNIOR, A. *et al.* **Análise da produção, área cultivada, produtividade e estabilidade produtiva da soja nos estados brasileiros em 25 safras**: 1996/1997 a 2020/2021. Londrina: Embrapa, mar. 2022. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 27). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1141748/1/Boletim-27-final.pdf>.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio**: Brasil 2020/21 a 2030/31 – projeções de longo prazo. Brasília: Mapa, 2021. (Relatório). Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2020-2021-a-2030-2031.pdf/view>.
- CALVIN, K. *et al.* The SSP4: a world of deepening inequality. **Global Environmental Change**, v. 42, p. 284-296, jan. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.06.010>.
- COHN, A. S. *et al.* Forest loss in Brazil increases maximum temperatures within 50 km. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 8, p. 084047, ago. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab31fb>.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira**: cana-de-açúcar – safra 2021/22, quarto levantamento. Brasília: Conab, abr. 2022.

DIAS, F. M. F. Alguns elementos sobre a cadeia produtiva da cana-de-açúcar no Brasil. **Geosul**, v. 36, n. 79, p. 116-142, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2021.e73805>.

ELBEHRI, A. (Ed.). **Climate change and food systems: global assessments and implications for food security and trade**. Rome: FAO, 2015.

EUSEBIO, G. S. *et al.* Impactos da difusão de sistemas agroflorestais na produção de soja: uma análise a partir dos censos agropecuários 2006 e 2017. 2021. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 59.; ENCONTRO BRASILEIRO DE PESQUISADORES EM COOPERATIVISMO, 6., 2021, Brasília. **Anais**. Brasília: Sober; EBPC. Disponível em: <https://doi.org/10.29327/soberebpc2021.341353>.

FLACH, R. *et al.* Conserving the Cerrado and Amazon biomes of Brazil protects the soy economy from damaging warming. **World Development**, v. 146, p. 105582, out. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105582>.

FRICKO, O. *et al.* The marker quantification of the Shared Socioeconomic Pathway 2: a middle-of-the-road scenario for the 21st century. **Global Environmental Change**, v. 42, p. 251-267, jan. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.06.004>.

FUJIMORI, S. *et al.* SSP3: AIM implementation of shared socioeconomic pathways. **Global Environmental Change**, v. 42, p. 268-283, jan. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.06.009>.

GARRET, R. D.; LAMBIN, E. F.; NAYLOR, R. L. Land institutions and supply chain configurations as determinants of soybean planted area and yields in Brazil. **Land Use Policy**, v. 31, p. 385-396, 2013.

HERRERO, M. *et al.* **African livestock futures: realizing the potential of livestock for food security, poverty reduction and the environment in Sub-Saharan Africa**. Geneva: Unsic, 2014. 118 p. (Report). Disponível em: <https://hdl.handle.net/10568/41908>.

KC, S.; LUTZ, W. The human core of the shared socioeconomic pathways: population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100. **Global Environmental Change**, v. 42, p. 181-192, jan. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.004>.

KRIEGLER, E. *et al.* Fossil-fueled development (SSP5): an energy and resource intensive scenario for the 21st century. **Global Environmental Change**, v. 42, p. 297-315, jan. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.015>.

LAPOLA, D. M. *et al.* Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 8, p. 3388-3393, fev. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.0907318107>.

LAURANCE, W. F. *et al.* The future of the Brazilian Amazon. **Science**, v. 291, n. 5503, p. 438-439, jan. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.291.5503.438>.

LEITE-FILHO, A. T. B. S. *et al.* Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, p. 2591, maio 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22840-7>.

O'NEILL, B. C. *et al.* A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. **Climate Change**, v. 122, n. 3, p. 387-400, 2014.

O'NEILL, B. C. *et al.* The roads ahead: narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. **Global Environmental Change**, v. 42, p. 169-180, jan. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2018**. Paris: OECD Publishing, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1787/agr_pol-2018-8-en.

PEREIRA, P. A. A. *et al.* The development of Brazilian agriculture: future technological challenges and opportunities. **Agriculture & Food Security**, v. 1, n. 1, p. 1-12, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/2048-7010-1-4>.

RIAHI, K. *et al.* The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: an overview. **Global Environmental Change**, v. 42, p. 153-168, jan. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>.

RUIVO, H. M. *et al.* **Principais atualizações no modelo Globiom-Brasil e comparação de resultados usando diferentes cenários de mudanças climáticas**. Rio de Janeiro: Ipea, 2025. (Texto para Discussão, n. 3138) Disponível em: <https://dx.doi.org/10.38116/td3138-port>.

SCHLENKER, W.; ROBERTS, M. J. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to US crop yields under climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 37, p. 15594-15598, 2009.

SILVA PINHEIRO, L. da *et al.* Características agro econômicas do milho: uma revisão. **Natural Resources**, v. 11, n. 2, p. 13-21, 2021.

SOARES-FILHO B. S. *et al.* Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 440, n. 7083, p. 520-523, mar. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature04389>.

SOTERRONI, A. C. *et al.* Future environmental and agricultural impacts of Brazil's Forest Code. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 7, p. 074021, jul. 2018. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aaccbb>.

SOTERRONI, A. C. *et al.* Expanding the soy moratorium to Brazil's Cerrado. **Sci Adv**, v. 5, n. 7, p. eaav7336, jul. 2019. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aav7336>.

SPAROVEK, G. *et al.* The revision of the Brazilian Forest Act: increased deforestation or a historic step towards balancing agricultural development and nature conservation? **Environmental Science & Policy**, v. 16, p. 65-72, fev. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.10.008>.

STRASSBURG, B. B. N. *et al.* When enough should be enough: improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. **Glob Environ Chang**, v. 28, p. 84-97, 2014.

VUUREN, D. P. van *et al.* Energy, land-use and greenhouse gas emissions trajectories under a green growth paradigm. **Global Environmental Change**, v. 42, p. 237-250, jan. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.008>.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, maio 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.4518>.

ZILLI, M. *et al.* The impact of climate change on Brazil's agriculture. **Science of the Total Environment**, v. 740, out. 2020, p. 139384. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139384>.

Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

EDITORIAL

Coordenação

Aeromilson Trajano de Mesquita

Assistentes da Coordenação

Rafael Augusto Ferreira Cardoso

Samuel Elias de Souza

Supervisão

Aline Cristine Torres da Silva Martins

Revisão

Bruna Oliveira Ranquine da Rocha

Carlos Eduardo Gonçalves de Melo

Crislayne Andrade de Araújo

Elaine Oliveira Couto

Luciana Bastos Dias

Vivian Barros Volotão Santos

Luíza Cardoso Mendes Velasco (estagiária)

Editoração

Aline Cristine Torres da Silva Martins

Camila Guimarães Simas

Leonardo Simão Lago Alvite

Mayara Barros da Mota

Capa

Aline Cristine Torres da Silva Martins

Projeto Gráfico

Aline Cristine Torres da Silva Martins

The manuscripts in languages other than Portuguese published herein have not been proofread.

Acesse nossas publicações



Acompanhe nossas redes sociais



Composto em roboto regular 10/12 (texto)
Roboto regular, bold, black 12/14 (títulos)
Roboto regular 10 (gráficos e tabelas)
Rio de Janeiro-RJ

Missão do Ipea
Qualificar a tomada de decisão do Estado e o debate público.



ipea Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

MINISTÉRIO DO
PLANEJAMENTO
E ORÇAMENTO

