**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Impactos econômicos da redução do hiato de produtividade da pecuária de
corte no Brasil**

Leandro Stocco

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

**Piracicaba
2018**

Leandro Stocco
Bacharel em Ciências Econômicas

**Impactos econômicos da redução do hiato de produtividade da pecuária de corte
no Brasil**

Orientador:
Prof. Dr. **JOAQUIM BENTO DE SOUZA FERREIRA FILHO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências.
Área de concentração: Economia Aplicada

Piracicaba
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Stocco, Leandro

Impactos econômicos da redução do hiato de produtividade da pecuária de corte no Brasil / Leandro Stocco. - - Piracicaba, 2018.

73 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Hiato de produtividade 2. Pecuária 3. Uso do solo I. Título

DEDICATÓRIA

Ao meu pai.

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo imenso apoio que sempre me deu,

À Carol por seu carinho e compreensão,

Aos meus amigos, professores e funcionários que compartilharam do meu dia-a-dia,

Ao meu orientador pela oportunidade e pelos ensinamentos,

À República Xibiu pelos momentos de alegria e inspiração,

À CAPES e FEALQ pelo apoio financeiro,

Obrigado!

EPÍGRAFE

“A única vitória que perdura
é a que se conquista
sobre a própria ignorância.”
Jigoro Kano.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Contexto e Problema de Pesquisa	9
1.2 Objetivos	11
1.3 Estrutura do Trabalho	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Evolução da pecuária no Brasil	13
2.1.1 Dinâmica e produtividade da pecuária	13
2.1.2 Produtividade da pecuária e mudança do uso do solo	16
2.2 O hiato da produtividade na pecuária	23
2.2.1 Cálculo e dimensão das diferenças de rendimento	23
2.2.2 Erros de medida e tratamento de valores extremos	28
2.2.3 Estimativa para o hiato da produtividade no Brasil	30
2.2.4 Redução do hiato da produtividade	33
3 METODOLOGIA	34
3.1 Dados	34
3.2 O Modelo TERM-BR	36
3.3 Organização e configuração das informações	37
3.4 Estrutura da produção e sistema de equações da demanda	40
3.5 Dinâmica multi-período	43
3.6 Desenvolvimento e aplicação no Brasil	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1 Estratégia de Simulação	52
4.2 Impactos Macroeconômicos	53
4.3 Consequências Regionais	55
4.4 Implicações Microeconômicas	58
5 CONCLUSÃO	66
REFERÊNCIAS	70

RESUMO

Impactos econômicos da redução do hiato de produtividade da pecuária de corte no Brasil

O Brasil está adotando políticas agrícolas, florestais e ambientais, como o Novo Código Florestal e o Acordo de Paris sobre Mudança Climática, com base no pressuposto de que o aumento da produtividade da pecuária irá liberar terras para expandir a produção agrícola, diminuir a pressão do desmatamento, contribuir para a recomposição florestal, e reduzir emissões de gases do efeito estufa provenientes de mudanças do uso do solo. Um modelo computável de equilíbrio geral, denominado TERM-BR, configurado, desenhado e desenvolvido para a economia brasileira foi utilizado para simular os impactos resultantes da redução do hiato de produtividade da pecuária de corte no Brasil, que foi calculado com dados recentes da pecuária produzidos a partir de técnicas de geoprocessamento. Verificou-se que a intensificação da pecuária realmente libera terras para agricultura e evita desmatamento futuro na região da Amazônia e Cerrado, e libera terras para produção agrícola nos demais locais do país, ainda que não tenha implicações sobre suas áreas de florestas, que já estão definidas e consolidadas. Constatou-se também que o aumento da produtividade da pecuária contribui para diminuir as emissões do setor agrícola e florestal, devido a mudanças do uso do solo que favorecem a redução do desmatamento futuro, no entanto essa política eleva o total de emissões da economia brasileira, pois impulsiona a atividade econômica.

Palavras-chave: Hiato de produtividade; Pecuária; Uso do solo

ABSTRACT

Economic impact of cattle yield gap closing in Brazil

Brazil is adopting agricultural, environmental, and forest policies, like the New Forest Code and the Paris Climate Agreement, based on the hypothesis that the increase of cattle productivity will release land for agricultural production, contribute for forest recover, and reduce greenhouse gas emissions derived from land use change. A computable general equilibrium model, named TERM-BR, designed and developed for the Brazilian economy, was employed to simulate the impacts produced by closing the cattle yield gap, which was estimated with recent data generated by geoprocessing methods. Indeed, it was verified that the intensification of cattle raising can release additional land for agriculture, it is able to avoid future deforestation in the Amazon and Brazilian Savanna, and at the same time it also releases land for agricultural production in other places of the country, but without consequences for its forests, since their areas already are well delimited and consolidated. It was also verified that the increase of cattle productivity contributes to reduce emissions in the agricultural and forest sectors, due to land use change that help to diminish future deforestation, however this policy enhances the total emissions of the Brazilian economy, because it increases economic activity.

Keywords Yield gap; Cattle; Land use

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto e Problema de Pesquisa

O Brasil está desenhando e adotando políticas no setor agrícola e florestal, como o Novo Código Florestal e estratégias de mitigação de emissões de gases do efeito estufa de mudanças do uso do solo, da agricultura e florestas, com base no pressuposto de que a pecuária vai liberar terras para a expansão da agricultura e para áreas de reposição florestal. Contudo, na verdade, essa ideia é uma hipótese, levantada por Norman Borlaug (2007), que ainda não é consensual na literatura científica, e depende muito dos resultados de estudos empíricos aplicados em diferentes países e regiões para aceitação ou rejeição dessa suposição. Um grande obstáculo que se apresenta para a efetivação de estudos sobre a hipótese de Borlaug para pecuária é a dificuldade de se obter dados sobre o uso do solo para a criação bovina.

Recentemente, o país inseriu em suas propostas para o Acordo sobre Mudanças Climáticas de Paris meta relacionada à pecuária: restauração adicional de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas até 2030 (BRASIL, 2015). Presume-se implicitamente que a melhoria da produtividade da pecuária não vai interferir em políticas de combate ao desmatamento, pois não demandará mais área para expansão de pastagens. Além disso, assume-se também que o aumento da produtividade da criação bovina não irá subtrair terras da agricultura, ou seja, a produtividade da pecuária somente ocorreria de forma intensiva, e não extensivamente, o que não resultaria em maior demanda por terras para gado no Brasil. Adicionalmente, pode-se entender que a intensificação da pecuária pode liberar mais terras, que irão aliviar a pressão sobre o desmatamento e, até mesmo, contribuir com a recomposição florestal, portanto ajudando a diminuir as emissões de gases do efeito estufa.

De modo similar, o Novo Código Florestal exige que um montante em torno de 20 milhões de hectares de vegetação seja recomposto em áreas de preservação permanente e reserva legal, que estão presentes em propriedades privadas¹. Dada a magnitude dessa operação e a importância dos ecossistemas brasileiros, em especial a Amazônia e o Cerrado, políticas desenhadas para cumprir esse propósito podem ter um grande impacto nacional e global. Em adição, a recomposição florestal requerida varia de acordo com a extensão e localização geográfica das propriedades, já que as exigências mudam conforme o ecossistema onde as propriedades estão situadas. Para conseguir atingir os objetivos propostos das novas leis florestais sem impactar o setor agrícola, sem subtrair terra de plantações, e a produção de carne,

¹ A aplicação e validação do Novo Código Florestal também está entre as propostas brasileiras efetuadas no Acordo de Paris.

seria necessário intensificar a pecuária, alternativa que pode ser a solução para viabilizar e acomodar todas as exigências ambientais com as demandas agrícolas e pecuárias.

Análises dos censos agropecuários realizadas por Martha et al. (2012) indicam que a partir dos anos 80 a pecuária começou a aumentar a produção com crescente intensificação, e antes desse período o setor bovino cresceu de modo extensivo. No primeiro caso, pode-se concluir que o aumento da produtividade demandou menos áreas para produção do que anteriormente, período em que a quantidade de cabeças de gado e carne se elevou através da absorção de mais hectares em detrimento de florestas. De qualquer maneira, o fato da produção ter sido aumentada no segundo período sem a necessidade de utilizar a mesma quantidade de terras mobilizada anteriormente não significa necessariamente que esse padrão permanecerá ao longo do tempo.

Tanto a proposta brasileira relacionada à pecuária para o Acordo de Paris como a necessidade de intensificação da criação de gado para viabilizar mais facilmente a aplicação do Novo Código Florestal não trazem esclarecimentos a respeito dos mecanismos de mercado que deverão prevalecer no setor da pecuária para que as políticas entrem em vigor, funcionem e sejam bem sucedidas ao longo tempo, assim como não fazem menção sobre os impactos econômicos que serão gerados durante o processo de transição. Pressupõe-se trajetórias de produtividade entre produtos agrícolas e florestal, mas não leva em conta o comportamento dos preços que regem a demanda e oferta dos setores. É fundamental levar em consideração a dinâmica dos preços, a relação entre as quantidades e os preços dos diversos produtos comercializados nos setores agrícolas e florestal.

As consequências econômicas podem contribuir com a aceleração, lentidão ou até mesmo inviabilização de políticas territoriais, geográficas e biofísicas, pois elas são essências para se conseguir apoio político que incentive a execução das políticas públicas. Por isso, é importante compreender a magnitude e extensão das implicações econômicas que estão inseridas implícita ou explicitamente em políticas agrícolas e florestais. Dadas as dimensões continentais do Brasil e as consideráveis diferenças regionais e de desenvolvimento agrícola e econômico prevalentes no país, assim como a diversidade de ecossistemas presentes por todo o território, características naturais e dotações de recursos naturais muito particulares, é de se esperar que os impactos de políticas nacionais sejam distintos pelos estados e regiões de todo o país.

A intensificação da pecuária é vista como uma alternativa para ajustar e equilibrar políticas climáticas, ambientais e alimentares porque a sua produtividade atual se encontra abaixo de suas possibilidades em termos de número de animais por hectare e produção de carne, ou seja, ainda possui características extensivas. Além disso, a produtividade da pecuária brasileira está

marcada por acentuadas desigualdades tecnológicas entre estados e regiões, em linha com as diferenças de desenvolvimento econômico existente no país. Essa situação pode ser analisada e mensurada através do hiato de produtividade, que é uma medida capaz de quantificar a diferença de produtividade entre regiões e propriedades mais produtivas e as de média e baixa produtividade.

É essencial entender essas discrepâncias tanto em termos político-administrativos como ambientais e geográficos para traçar formas de amenizar esse problema. Em outras palavras, o hiato da produtividade da pecuária brasileira tem aspectos particulares em cada região brasileira que devem ser levadas em consideração no momento em que políticas forem formuladas com o intuito de reduzir as diferenças de produtividade.

1.2 Objetivos

Diante do exposto, o **objetivo geral** deste trabalho é investigar as possíveis implicações para o setor agrícola, florestal e a economia brasileira como um todo resultantes da redução do hiato da produtividade da pecuária brasileira. Como foi ressaltado anteriormente, políticas nacionais agrícolas, florestas, climáticas e ambientais relacionadas à mudança do uso do solo estão se alicerçando no pressuposto de que a intensificação da pecuária pode ser a via necessária para que haja uma acomodação das necessidades e obrigações com as quais o país se defronta.

Neste sentido, esta pesquisa tem como **objetivos específicos**, em conjunto e/ou individualmente, as seguintes medidas: i) cálculo do hiato da produtividade da pecuária brasileira, por estados e/ou regiões; ii) analisar os possíveis impactos econômicos e agrícolas resultantes de cenário de redução do hiato da produtividade da pecuária; iii) analisar se políticas direcionadas para intensificação da pecuária tendem a diminuir ou aumentar as áreas de floresta. Para o atingimento dos objetivos será utilizado um modelo computável de equilíbrio geral, o modelo TERM-BR, que será descrito adiante nessa tese.

1.3 Estrutura do Trabalho

O primeiro capítulo se ateu à explicação do contexto no qual o problema de pesquisa está inserido, que foi identificado, delineado e definido na sequência, para com isso traçar o objetivo geral e os específicos de modo claro e direto. O segundo capítulo se voltou à revisão de literatura, com foco na dinâmica e desenvolvimento da pecuária no Brasil, a sua medida de eficiência e produtividade, conhecida como hiato da produtividade da pecuária, assim como a explicação dos fatores que o influenciam. O terceiro capítulo justificou a escolha e aplicação da metodologia usada na pesquisa, e descreveu os dados coletados e utilizados no trabalho. O

quarto capítulo apresentou os resultados obtidos com as simulações realizadas, dividindo-as em 3 partes: impactos macroeconômicos, consequências regionais e implicações microeconômicas. O último capítulo apresenta a conclusão da pesquisa e procura fazer um balanço entre os objetivos estabelecidos no trabalho e os resultados alcançados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Evolução da pecuária no Brasil

2.1.1 Dinâmica e produtividade da pecuária

A quantidade de cabeças de gado aumentou de 102 milhões de cabeças em 1975 para 207 milhões em 2005, um crescimento de 102%, conforme dados dos censos agropecuários do IBGE². As regiões Norte e Centro-Oeste foram as mais dinâmicas nesses anos, com um expressivo crescimento de 1683% e 189%. Em contraste, nessas três décadas, a atividade bovina foi mais modesta nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, com taxas de crescimento do número de cabeças de gado de 9%, 28% e 47%, respectivamente. A maior força da pecuária bovina nas regiões Norte e Centro-Oeste ampliou as suas participações no rebanho nacional, que aumentou de 2,1% e 24,3% em 1975 para 19,0% e 34,1% em 2007 (VALENTIM; ANDRADE, 2009).

As regiões Sudeste, Sul e Nordeste perderam força na atividade bovina e as suas parcelas no rebanho nacional se reduziram em 15, 8 e 3 pontos percentuais, respectivamente, no mesmo período. Em contraste, a parcela da Amazônia Legal no rebanho nacional saltou de 6,8% para 35,1% no mesmo período em questão, quando as taxas de crescimento anual do rebanho bovino na Região Norte foram levemente superiores do que as da Amazônia Legal, e aproximadamente três vezes maior do que as do Brasil. Dos estados da Amazônia Legal, as taxas mais elevadas de crescimento acumulado entre 1975 e 2005 foram atingidas por Rondônia (21.934,8%), Acre (1.838,3%) e Pará (1.163,1%), ao passo que as menores aconteceram em Tocantins (43,6%) e Amapá (51,4%) (VALENTIM; ANDRADE, 2009).

McMANUS et al. (2009) estudaram a dinâmica da produção da atividade bovina no Brasil em uma escala municipal para identificar áreas potenciais de estrangulamento para o crescimento contínuo da produção, assim como reconhecer variáveis que poderiam limitar o crescimento da produção e produtividade da pecuária no Brasil, usando métodos de geoprocessamento para identificar áreas que são mais propícias para a expansão da produção, gerando mapas dos municípios com taxas de crescimento do números de animais ao longo do tempo, de 1977 a 2011.

Verificaram que a quantidade de cabeças de gado cresceu em todas as regiões no período estudo, sendo que o crescimento mais expressivo ocorreu na região Nordeste e Centro-Oeste,

² O último censo agropecuário realizado foi em 2005/2006. A análise focará especialmente nos anos nos quais foram realizados censos agropecuários, que possuem tanto informação sobre tamanho do rebanho bovino como sobre áreas de pastagens. Cabe ressaltar que a Pesquisa Municipal da Pecuária (PAM) fornece dados sobre o número de cabeças de gado, no entanto não tem informação sobre áreas de pastagens.

que manteve o crescimento no período, apesar desse crescimento ter sido mais lento nos últimos anos. O principal ponto de produção da pecuária brasileira se deslocou do centro do Estado de Minas Gerais para o norte do Estado de Goiás. A região Nordeste passou por uma desaceleração nos anos 90, similar ao que ocorreu com o Sudeste no final desse período. Já as regiões Sul e Sudeste apresentaram as menores taxas de crescimento nesses períodos.

Segundo Valentim e Andrade (2009), a área total de pastagens do Brasil cresceu somente 4% entre 1975 e 2006 (último censo agropecuário realizado), de 165,6 para 172,3 milhões de hectares. A região norte obteve um aumento de 518% de sua área de pastagens no período em questão, já no Nordeste o crescimento foi de apenas 7%, enquanto nas outras regiões ocorreu uma diminuição da área total de pastagens, especialmente no Sudeste, com queda de -32%, e no Sul, com diminuição de -14%. As reduções foram consequência, essencialmente, da expansão das áreas agrícolas, da urbanização e da destinação de parcela das áreas rurais para finalidades não agrícolas.

A região Centro-Oeste obteve a maior parcela da área de pastagens do Brasil, com 33,3%, enquanto as regiões Norte e Nordeste participaram com 18,9% cada uma, como se pode observar na Tabela logo abaixo. Além disso, a dinâmica das pastagens brasileiras foi marcada por forte substituição do uso de pastagens naturais por pastagens cultivadas, constituídas por gramíneas exóticas, essencialmente dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum*. Essa mudança aconteceu fundamentalmente como resultado da conversão de áreas de vegetação nativa dos biomas Cerrado e Amazônia em pastagens cultivadas.

Tabela 1 – Dinâmica da área de pastagens nas regiões do Brasil entre 1975 e 2006

Região	1975		1985		1996		2006		Var. 1975-2006
	Hectares	%	Hectares	%	Hectares	%	Hectares	%	%
Norte	5.281.440	3,2%	20.876.442	11,7%	24.386.621	13,7%	32.630.532	18,9%	518%
Nordeste	30.624.044	18,5%	35.148.125	19,6%	32.076.339	18,1%	32.648.537	18,9%	7%
Sudeste	47.276.785	28,5%	42.487.399	23,7%	37.777.049	21,3%	32.071.529	18,6%	-32%
Sul	21.159.758	12,8%	21.432.343	12,0%	20.696.549	11,6%	18.145.573	10,5%	-14%
Centro-Oeste	61.310.221	37,0%	59.244.117	33,1%	62.763.912	35,3%	56.836.902	33,0%	-7%
Brasil	165.652.250	100,0%	179.188.431	100,0%	177.700.472	100,0%	172.333.073	100,0%	4%
Amazônia Legal	20.333.743	12,3%	42.727.369	23,8%	51.149.235	28,8%	61.602.246	35,7%	203%

Fonte: IBGE (2009, 2017), Valentim e Andrade (2009)

Nas últimas duas décadas, o processo de conversão de áreas de pastagens em áreas agrícolas está acontecendo também nas regiões Centro-Oeste e Norte, portanto na Amazônia Legal. Essas mudanças foram mais marcantes nas regiões de fronteiras agropecuárias mais consolidadas, que possuem uma infraestrutura mais desenvolvida, com melhor acesso dos produtores aos insumos e o escoamento da produção, com diminuição dos custos de produção,

melhoria da rentabilidade e da competitividade das atividades agrícolas no mercado nacional e internacional.

Uma vez realizadas as análises sobre as dinâmicas dos rebanhos e das áreas de pastagens ao longo do tempo, o próximo passo é compreender o comportamento da taxa de lotação das pastagens, que é definido como a razão entre o rebanho e área de pastagem em uma determinada região, podendo ser um país, estado, município ou propriedade. A taxa de lotação das pastagens pode ser empregada como um indicador de eficiência na atividade bovina, porém em casos específicos pode estar vinculada a situações de superlotação, que ocasionam em degradação das pastagens e do solo, e conseqüentemente queda da produtividade e diminuição da rentabilidade.

De acordo com Valentim e Andrade (2009), a taxa de lotação das pastagens no Brasil cresceu 83% entre 1975 e 2006, mudando de 0,51 para 0,94 unidade animal por hectare, como é possível observar na Tabela logo abaixo³. As regiões Nordeste, Sudeste e Sul tinham as maiores taxas de lotação do país em 1975, no entanto seus respectivos indicadores foram os que tiveram o menor crescimento, ao passo que as regiões Norte e Centro-Oeste triplicaram as suas taxas de lotação no período. Em 2006, último censo agropecuário brasileiro, somente as regiões Sul e Norte obtiveram taxas de lotação maiores do que a média brasileira.

Tabela 2 – Evolução da taxa de lotação das pastagens nas regiões do Brasil

Região	1975	1985	1996	2006	Variação 1975-2006
	UA/ha				%
Norte	0,34	0,35	0,55	0,97	187%
Nordeste	0,60	0,62	0,68	0,81	35%
Sudeste	0,57	0,66	0,73	0,94	64%
Sul	0,88	0,96	1,01	1,18	34%
Centro-Oeste	0,30	0,45	0,59	0,91	201%
Brasil	0,51	0,58	0,68	0,94	83%
Amazônia Legal	0,30	0,36	0,54	0,91	203%

Fonte: Fonte: IBGE (2009, 2017), Valentim e Andrade (2009)

A região Norte possui um clima mais adequado à produtividade das pastagens em comparação ao restante do país, por causa do regime e da quantidade de suas chuvas e a permanência de elevadas temperaturas ao longo do ano. Isso, por sua vez, contribuir para que os intervalos de restrição ao crescimento do pasto sejam mais curtos, característica mais importante que explica porque as suas taxas de lotação são superiores à média brasileira, ainda que tenham ocorrido avanços tecnológicos nas décadas que se passaram.

³ Valentim e Andrade (2009) consideraram todas as espécies animais que têm como base alimentar as pastagens naturais e cultivadas para calcular a taxa de lotação das pastagens no Brasil.

2.1.2 Produtividade da pecuária e mudança do uso do solo

Existe uma ideia abrangente e consolidada na literatura de que um aumento de produtividade na pecuária⁴ irá liberar terras para a produção agrícola e, até mesmo, para ampliar as áreas de florestas no país, podendo evitar maiores pressões por desmatamento na Amazônia. Nicholas Stern, o economista britânico, responsável pelo influente relatório “Stern Review” sobre economia das mudanças climáticas expressa a hipótese de Borlaug para pecuária de forma muito particular, pois afirma que ao se dobrar a quantidade de animais por hectare no Brasil, com taxa de lotação aproximada de um animal por hectare, seria possível salvar a floresta amazônica (CGIAR, 2012).

Uma diversidade de estudos foi realizada para se compreender a relação entre produtividade pecuária e desmatamento, tanto em termos globais como para determinados países, o chamado efeito poupador de terra, conforme será verificado nessa seção⁵. Não se pode verificar a existência de um consenso bem estabelecido sobre esse tema na literatura científica, portanto pode-se dizer que ele ainda está em debate. Essa pesquisa tem o intuito de contribuir para a compreensão dos impactos da produtividade pecuária sobre as florestas no Brasil, país com enormes reservas florestas, de expressão global, e, ao mesmo tempo, um dos maiores produtores e exportadores de carne bovina no mundo, portanto uma nação de extrema relevância para essa questão que ainda está pendente.

Cohn, A.S. et al. (2014) investigaram políticas que pudessem estimular a intensificação da pecuária no Brasil de maneira que ela pudesse reduzir emissões de gases do efeito estufa ao poupar terra de desmatamento, isto é, ao aliviar pressões para conversão de áreas de florestas em pastos. Os autores empregaram um modelo global de uso do solo para o período que se estende de 2010 a 2030 para analisar os resultados da agricultura global, das mudanças do uso do solo, e da diminuição das emissões de gases do efeito estufa derivadas de duas políticas brasileiras em potencial: i) um imposto sobre a pecuária convencional, e ii) um subsídio para a pecuária semi-intensiva⁶.

Eles chegaram à conclusão de que sob as duas alternativas o país seria capaz de poupar quantidade relevante de áreas de florestas e, por conseguinte, reduzir significativamente emissões de GEE. Descobriram que a área de terra poupada é bem menor em termos

⁴ Basicamente, o conceito de produtividade se refere aqui à taxa de lotação, isto é, a quantidade de animais por hectare.

⁵ Efeito poupador de terra foi traduzido do inglês *land sparing*.

⁶ Foi utilizado um modelo econômico de otimização, denominado GLOBIOM, com representação de atividades de uso do solo na agricultura, florestas e bioenergia.

proporcionais do que a elevação na produtividade, especialmente no cenário do imposto. No entanto, a aplicação do imposto produz uma economia um pouco maior de florestas e abatimento de gases do efeito estufa do que o subsídio, apesar de implicar em menos adoção de uma pecuária semi-intensiva. Isso ocorre devido à associação da elevação do desmatamento com um aumento no consumo de carne ao se introduzir o subsídio e a diminuição do desflorestamento vinculado à redução do consumo de carne quando se aplica um imposto.

A implementação de políticas complementares para restringir diretamente o desmatamento pode contribuir significativamente para limitar esses efeitos. Além disso, o abatimento de gases do efeito estufa mostrou ter baixos custos em ambas as políticas, contudo o imposto parece mais barato do que o subsídio ao longo do tempo. Chega-se à conclusão de que uma combinação neutra dessas políticas pode ser um elemento importante de uma estratégia de desenvolvimento sustentável para o Brasil e outros países em desenvolvimento que estão em busca de uma conciliação entre desenvolvimento agrícola e proteção florestal.

Explica-se, ainda, que o mecanismo de funcionamento de políticas de economia de terra deve elevar a produção de sistemas de alta produtividade de maneira que os preços das *commodities* agrícolas diminuam de tal forma que torne inviável tipos de agricultura de baixa produtividade. Entretanto, a diminuição dos preços de produtos compostos de *commodities* agrícolas pode também atuar como um incentivo gerado a partir de políticas de economia de terra, desencadeando uma elevação do consumo. Esse efeito adverso, conhecido como *leakage*⁷, pode enfraquecer políticas de economia de terra, e os benefícios de redução de emissões de gases do efeito estufa por consequência.

O modelo empregado possui a capacidade de captar a adoção de um modelo alternativo semi-intensivo de pecuária sobre as áreas de pastagens. De acordo com Cohn, A.S. et al. (2014), a união de componentes de manejo dos pastos com o do gado pode elevar a produção de gado por unidade de pastagem em até 2,5 vezes além dos sistemas convencionais. O modelo utiliza imagens de satélite do Brasil com uma resolução de aproximadamente 50km², com sistemas de produção detalhadas, geográficas, do tipo Leontief. Mudanças nas características tecnológicas da produção de produtos primários podem ocorrer por causa de múltiplos tipos de produção para cada produto. Nos sistemas de produção da pecuária, o modelo distingue entre sistemas leiteiros e de gado, três zonas climáticas, e entre sistemas baseados em pasto e sistemas mistos com diversas exigências de alimentação animal, produção de produtos e emissões diretas de gases do efeito estufa.

⁷ Em português, vazamento.

É importante notar que a pesquisa em questão não levou em consideração a dificuldade de se aplicar impostos no Brasil, tendo em vista que uma reforma tributária esteve na agenda de muitos governos, mas nunca chegou a ser executada, fundamentalmente pela dificuldade de se encontrar um acordo político viável para isso. Além disso, o estudo não considerou os impactos das políticas propostas sobre a disposição dos consumidores em aceitar ou rejeitar as ideias investigadas, dado que a imposição de um imposto ou subsídio traria consequências sobre a qualidade dos alimentos produzidos e também sobre o sistema de produção.

Segundo De Oliveira Silva et al. (2016), o recente debate sobre mitigação de gases do efeito estufa provenientes da agricultura realça os dilemas existentes no modo de se produzir e consumir alimentos, com especial atenção em produtos de pecuária que são intensivos em emissões. Os pesquisadores focam suas análises em interações sistêmicas resultantes da diminuição da produção de carne ao nível regional⁸, tendo em vista que ainda não foram investigados, apesar da maior parte das pesquisas terem focado em mitigação por aumento de produtividade. Desenvolveram um modelo de otimização da produção de carne bovina que engloba degradação de pastagens e processos de recomposição, emissões de desmatamento e de animais, dinâmicas de carbono orgânico do solo e inventários de ciclo de vida para o cerrado brasileiro⁹.

Os impactos econômicos foram levados em consideração conforme dois diferentes cenários: i) descolamento do vínculo pecuária *versus* desmatamento, ao se pressupor uma linha de base com taxas de desflorestamento controladas por uma política de controle efetiva, e ii) conexão entre desmatamento e pecuária, isto é, mudanças na demanda por carne influenciam as taxas de corte das florestas. No primeiro cenário, foi possível observar que uma redução do consumo trouxe como consequência um sistema de produção da carne bovina menos produtiva, e também intensidades de emissões mais acentuadas, assim como maiores emissões totais. Enquanto um aumento de produção gera um sistema mais eficiente, com elevações no estoque de carbono orgânico dos solos e redução das emissões totais e por quilograma.

No segundo cenário, uma expansão da produção eleva em 60% as emissões em comparação com o primeiro cenário, e os números encontrados nas simulações mostram a extensão da contribuição do controle sobre os desmatamentos em uma política de intensificação sustentável no sistema da carne bovina no cerrado e também como abordagens analíticas

⁸ O estudo foca sua análise dentro do cerrado brasileiro, nesse bioma.

⁹ Modelo EAGGLE, que significa em português: Modelo de Análise Econômica de Gases do Efeito Estufa das Emissões da Pecuária. Em inglês: *Economic Analysis of Greenhouse Gases for Livestock Emissions Model*. É um modelo de programação linear multi-período do estilo *bottom-up* que simula a produção do sistema da carne bovina sujeito ao comportamento da demanda e da área de pastagem.

distintas de ciclos de vida implicam em relevantes discrepâncias nos valores dos cálculos de emissões. As descobertas da pesquisa contribuem significativamente para a literatura sobre intensificação sustentável da pecuária, que, segundo a visão dos autores, ainda está limitada, apesar de sua consistência, em suas ilustrações sobre os *trade-offs* ambientais e econômicos que podem surgir ao se desenhar e implementar medidas em um sistema de produção de relevância global.

De Oliveira Silva et al. (2016) conseguiram analisar o contra-argumento de que sistemas de produção da carne bovina suportados por alimentação à base de pasto podem ter níveis mais baixos de emissões ao se levar em consideração a absorção de dióxido de carbono atmosférico efetuada por extensas pastagens ao promover maior armazenagem de carbono no solo. Esse sistema poderia ter uma importância fundamental para a estabilização de gases do efeito estufa, além disso sistemas específicos como esse podem compensar diretamente as emissões da pecuária. De acordo com os pesquisadores, aproximadamente 90% da pecuária brasileira são alimentados somente por pasto, especificamente pastagens de um tipo determinado: *Brachiaria*.

Um grande diferencial da pesquisa acima mencionada foi afirmar e verificar a ideia de que a restauração das pastagens é uma grande oportunidade para os planos nacionais de mitigação, sendo que os resultados encontrados mostraram que depois de evitar o desmatamento, a recomposição de 15 milhões de hectares entre 2010 e 2020 é a principal medida com participação possível de 40% da meta de redução das emissões em 2020. Esse estudo diverge dessa proposta de pesquisa em um ponto essencial: ele se concentra somente no cerrado brasileiro.

Goulart et al. (2016a) criticam fortemente os resultados da pesquisa anterior, por ela sugerir que se pode reduzir emissões de gases do efeito estufa e, simultaneamente, aumentar o consumo de carne bovina, caso seja descolado do desmatamento. Assim como a sugestão de que a redução do consumo de carne pode não necessariamente implicar em alterações das emissões. Eles afirmam que o estudo parte de pressupostos não realistas e desconsidera um conjunto de análises anteriores alicerçadas em dados históricos, fatores que afetam a robustez das conclusões. Assegura-se que a pesquisa sofre de falta de sólidos mecanismos empíricos, e não leva em consideração aspectos de governança local e equidade que devem ser inerentes ao tópico de pesquisa.

Goulart et al. (2016a) discorda completamente do cenário em que o desmatamento é desassociado de mudanças nas áreas de pastagens, pois atestam que isso nunca aconteceu nos dados históricos do cerrado brasileiro. Isso está baseado na ideia de que uma elevação da eficiência da produtividade trará uma economia de terra que, por sua vez, pode retornar ao seu

estado natural. No entanto, historicamente, aumentos da produtividade agrícola são acompanhados pela expansão de áreas agrícolas para acomodar uma demanda crescente, fato conhecido como paradoxo de Jevons pelos economistas agrícolas¹⁰. Ademais não se concorda com o pressuposto de que o cerrado pode se comportar conforme uma grande fazenda maximizadora de lucros, pois isso não tem relação com a diversidade socioeconômica de todos os detentores da terra ou com a presença da imensa variedade de ecossistemas.

Questiona-se também o pressuposto de que a pastagem recuperada pode vir acompanhada de fertilização na maioria do cerrado, algo implausível de acontecer até mesmo antes de se contabilizar efeitos negativos sobre os solos, água e emissões. Além disso, presume-se que a recuperação das áreas de pastagens ocorrerá com o uso de um capim exótico, apesar disso poder ter consequências profundas sobre o funcionamento e biodiversidade do cerrado. O modelo utilizado também não leva em consideração a recomposição de vegetação lenhosa quando a pastagem é tirada de produção.

Goulart, Barioni e Moran (2016b) refutam os questionamentos feitos sobre sua pesquisa e ressaltam ainda que os pressupostos adotados foram conservadores, não irrealistas ou enganosos, já que eles poderiam ser mais acentuados. Eles ressaltam que se deram conta da natureza contestável do conceito de intensificação sustentável da agricultura geralmente encontrada em pesquisas granulares sobre mitigação, quando se inclui análises que levam em consideração *trade-offs* sobre governança e equidade. Lembram, entretanto, que as suas contribuições pretendem fornecer um exemplo matemático de um cenário de intensificação sustentável da agricultura plausível desenvolvido em uma escala de tamanho significativo.

Os pesquisadores esperam ter parcialmente preenchido essa notável lacuna na literatura, que está amplamente ocupada por artigos normativos e conceituais ao invés de serem empiricamente baseados em mecanismos que podem produzir evidências que contribuam para a formulação e desenho de políticas. Nesse sentido, o trabalho dessa investigação a ser desenvolvido está em linha com a proposta de Goulart, Barioni e Moran (2016b), pois se propôs a fazer uma análise para todas as regiões do Brasil, com um nível de detalhamento menos aprofundado, apesar de abranger todo o território nacional.

De qualquer maneira, Goulart, Barioni e Moran (2016b) realçam que os cenários utilizados estão alicerçados em sólida evidência empírica, e os dados estão disponíveis para consulta. Os autores argumentam que o cenário de descolamento da pecuária em relação ao

¹⁰ O paradoxo de Jevons, em referência a economista inglês William Stanley Jevons, ocorre quando um aumento do progresso técnico ao elevar a eficiência com a qual um recurso é usado, aumenta a taxa de consumo do mesmo por causa de um aumento da demanda.

desmatamento está baseado em observações recentes, quando se pode verificar um controle mais rigoroso do desmatamento e mudanças no ambiente mercadológico. Esse cenário contrasta fortemente com aquele em que há uma forte ligação entre pecuária e desflorestamento, que engloba os piores pressupostos sobre como o desmatamento reage a demanda proveniente da pecuária, quando ocorre a acomodação do potenciais efeitos do paradoxo de Jevons.

Merry e Soares-Filho (2016) questionam a possibilidade de a intensificação da produção de carne bovina gerar resultados favoráveis para a conservação da amazônia brasileira, tendo em vista que essa ideia se tornou uma meta de proteção ao meio ambiente. Para compreender melhor a questão os autores fazem um paralelo histórico da evolução da produtividade bovina nos Estados Unidos, um sistema de produção completamente intensivo, com a situação brasileira, que estão caminhando na mesma direção. Entendem que a comparação entre os dois países sugere que a intensificação da pecuária acontecerá como um resultado para manter investimentos, através de redução de capital e subsídios agrícolas, ao invés de intensificação como uma preocupação para alcançar metas de conservação ambiental.

Ao se assumir que tal comparação tem validade, pode-se acreditar que um novo sistema intensivo de produção continuará se expandir para adquirir grande quantidade de insumos provenientes de recursos naturais, subsídios governamentais, com fortes problemas sociais e de conservação ambiental. Isso ocorrerá através da liderança de poucas empresas processadores de grande dimensão, que tem a capacidade de exercer significativa influência sobre produtores e consumidores. Os pesquisadores realçam a necessidade de se ver com muita cautela a ideia de que a intensificação da produção de carne bovina pode resultar em alívio de pressão sobre a derrubada de florestas.

Vale (2015) realiza a primeira análise econométrica para avaliar a influência da intensificação do uso do solo na pecuária sobre o desmatamento e encontra resultados em linha com estudos que confirmam o efeito positivo da economia de terra sobre a conservação de florestas. O pesquisador foca especialmente na compreensão de como decisões de uso do solo impactam o desmatamento em terras marginais, com o intuito de verificar se o aumento da produtividade da terra impulsiona ou freia o desmatamento em locais mais distantes. O estudo utilizou um modelo em forma reduzida alicerçado numa abordagem espacial com defasagem junto com dados em painel de municípios brasileiros¹¹. O autor estimou que um aumento de 10% da produtividade entre 1996 e 2006 teria levado a uma queda de 4.5% na dinâmica do

¹¹ Abordagem espacial com defasagem foi traduzido de *spatial lag of X*.

desmatamento entre 2007 a 2012, equivalente a 226,8 km² a menos de áreas derrubadas de floresta.

Explica-se que apesar da lógica de que um aumento da produção de alimentos em uma mesma área poderia enfraquecer a demanda por mais terra, por causa de efeitos secundários pode ocorrer o oposto. O uso mais intensivo de terra em determinadas áreas pode impactar positivamente a demanda por terra em florestas marginais com defasagem no tempo, levando a mais desmatamento no longo prazo¹². Segundo Vale (2015), esse mecanismo está relacionado com alterações na renda que advêm da intensificação em áreas consolidadas e a maneira como isso impacta a migração na fronteira.

Construiu-se um caso teórico e específico sobre mudanças indiretas do uso do solo de intensificação da pecuária sobre o desmatamento da Amazônia brasileira. Migração de agricultores de áreas consolidadas podem ser relacionadas com a produtividade da terra ocupada pela pecuária, com degradação de pastagens e o mercado de terras atuando de forma crítica ao pressionar agricultores marginalizados para se mudarem para áreas onde o solo é naturalmente fértil e a média de preços da terra são mais baixos. No caso de tal processo ter como consequência uma intensa migração dentro do meio rural, seria de se esperar, portanto, um típico aumento do desmatamento nos municípios de fronteira. No entanto, o desflorestamento na fronteira deve ser reduzido se efeito poupador de terra for prevaiente sobre outros fatores¹³.

Martha et al. (2012) afirmam que é possível permitir que uma parcela da área atual de pastagem seja empregada para alocar o crescimento da produção de alimentos e biocombustível ao se intensificar sistemas pastorais já existentes e, ao mesmo tempo, impedir pressões sobre a vegetação natural. Porém, segundo os autores, existe uma percepção equivocada e comum de que a trajetória do crescimento da produção brasileira de carne bovina esteve essencialmente alicerçada em uma ampliação de pastagens extensivas. Os autores mostram que isso não se verifica necessariamente em todos os períodos históricos recentes.

Eles apresentam evidência em sua pesquisa de que entre 1950 e 1975 a expansão da pecuária realmente ocorreu de maneira extensiva, foi o padrão predominante, no entanto o sistema de produção da carne bovina mudou profundamente desde então. Constataram que os aumentos de produtividade explicaram 79% do crescimento da produção de carne bovina no Brasil durante o período que compreende os anos de 1950 a 2006, e isso contribuiu para um

¹² Vale (2015) usa o termo efeito rebote ou ricochete, em inglês *rebound effect*, como sinônimo para o paradoxo de Jevons, que foi explicado anteriormente.

¹³ Efeito poupador de terra foi traduzido do inglês *land sparing*.

efeito de economia de terra na magnitude de 525 milhões de hectares. Portanto, isso significa que uma área adicional de pastagem que é maior do que 25% do bioma amazônico no Brasil seria necessária para produzir a mesma quantidade atual de carne bovina no país caso o efeito de economia de terra não tivesse ocorrido.

Os pesquisadores utilizaram dados oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para decompor analiticamente os fatores de crescimento da produção da carne bovina para as últimas cinco décadas. Desenvolveram um modelo simples que é capaz de vincular as variáveis que influenciam a produção de carne, como área de pastagem, produção de carne por animal e estoque de gado. Entretanto, não precisaram fazer uso de uma função de produção e, portanto, se alicerçar diretamente na teoria econômica da produção. A partir dessa simples estrutura analítica construíram algebricamente o efeito de economia de terra.¹⁴

Depois de se decompor os fatores que influenciaram o crescimento da produção de carne bovina no período de 1950 a 1975, descobriu-se que a produtividade é responsável por uma parte muito pequena dela, em torno de 14%. Ao passo que o crescimento da área de pastagem foi o vetor mais importante a contribuir com o crescimento da produção de carne bovina até 1975, com participação de aproximadamente 86%, lembrando ainda que isso está fortemente vinculado à expansão da fronteira agrícola. A área de pastagem se comporta preponderantemente conforme o custo de oportunidade de sistema pastoris em relação a alternativas de uso do solo (a um determinado nível de risco e incentivo governamental), e também de acordo com outras variáveis como: oportunidades no setor imobiliário, preços da carne, tecnologia de mecanização e termos de troca com insumos modernos.

2.2 O hiato da produtividade na pecuária

2.2.1 Cálculo e dimensão das diferenças de rendimento

Análises sobre o hiato da produtividade geralmente são realizadas com o objetivo de se calcular em que medida a produção agrícola pode ser expandida em determinada fazenda ou região, e para identificar os fatores que estão restringindo a produção. O hiato da produtividade é estimado frequentemente para sistemas de produção agrícola em uma escala de campo (propriedades agrícolas), ou experimentos em campos, no entanto raramente é possível encontrar cálculos para sistemas de produção da pecuária, apesar de serem de grande relevância, já que os animais são um vetor importante no meio rural (MAYBERRY et al., 2010).

¹⁴ Traduzido do inglês *land-saving effect*. Outra possível tradução é: efeito poupador de terra.

Van der Linden (2015) fez um trabalho inovador ao calcular minuciosa e profundamente o hiato da produtividade da pecuária para fazendas francesas da região de Charolais, com um método capaz de avaliar como a produção da pecuária pode ser expandida de maneira sustentável. Segundo Sikkema (2017), esse foi o primeiro trabalho desenvolvido sistematicamente para estimar o hiato da produtividade para pecuária, lembrando que pesquisadores da Universidade de Wageningen na Holanda estão pesquisando e analisando hiatos de produtividades para diversos tipos de plantações, mas ainda nunca isso tinha sido efetuado para o sistema da pecuária. Basicamente, foi desenvolvido um método genérico para avaliar o objetivo de se aumentar a produção no sistema da pecuária, que foi vinculado posteriormente a uma análise de pastagem de modo a produzir um hiato de produtividade de carne bovina por hectare.

De acordo com Van de Ven et al. (2003), já foi demonstrado que um conjunto similar de conceitos de produção ecológica utilizados na produção agrícola podem igualmente ser aplicados na produção pecuária. Essas definições podem quantificar de maneira abrangente os níveis potenciais e limitados da produção na pecuária, apesar dos efeitos separados do genótipo, clima, e quantidade e qualidade da ração na produção não poderem ser quantificados. O trabalho de van der Linden (2015) preenche uma lacuna na literatura científica ao construir um arcabouço para analisar e quantificar a produção na pecuária com base em conceitos da produção ecológica.

Segundo Fischer, Byerlee e Edmeades (2014), as terminologias sobre medida de produtividade, hiato de produtividade, e progresso de produtividade estão muito difusas na literatura de produção agrícola, e estão sendo usadas de maneira vaga e pouco precisa, apesar da rica quantidade de estudos e pesquisas sobre o assunto. Tendo isso em vista, os autores definiram com clareza os principais termos e exploraram suas respectivas interpretações com base nos estudos de Byerlee (1992), Evans (1993), van Ittersum e Rabbinge (1997), Evans e Fischer (1999), e Connor, Loomis e Cassman (2011).

Uma extensa e sistemática revisão de pesquisas sobre o hiato da produtividade agrícola para diferentes culturas e em diversos países também pode ser encontrada no trabalho de Fischer, Byerlee e Edmeades (2014), onde é possível verificar que a maioria dos métodos aplicados são de experimentos em campo, modelagem de simulação, *survey* de especialistas e estabelecimento de um limite superior percentual a partir de uma média de produtividade de fazendas. Contudo, essa minuciosa pesquisa não abarca estudos sobre o hiato de produtividade na pecuária, tema ainda pouco explorado na literatura, apesar de servir de fundamento para se compreender os conceitos, definições e medidas usados na construção do hiato da

produtividade, que também pode ser empregado para análises na pecuária, conforme explicado anteriormente¹⁵.

Os pesquisadores explicam que o melhor caminho para se compreender a discussão sobre o hiato da produtividade parte das definições de produtividade da fazenda (em inglês, *farm yield*) e produtividade potencial (*potencial yield*, em inglês), pois a partir dessas variáveis é que se calcula a principal medida que se pretende construir, a diferença de produtividade. A produtividade da fazenda é um conceito chave que pode ser empregado tanto em campo, como em termos de distrito, de região ou nacionalmente, medido em quilogramas ou toneladas; ela geralmente pode ser encontrada em *surveys* e/ou estatísticas nacionais e internacionais em frequência anual. A produtividade da fazenda é mensurada com base na área colhida, lembrando que essa área costuma ser menor do que a área plantada em determinadas situações, principalmente nas culturas de inverno, quando ocorre muita perda, mais frequente em regiões frias.

A produtividade potencial é produtividade a ser esperada com a variedade melhor adaptada, geralmente a mais recente, com os melhores insumos e práticas agronômicas, e na ausência de estresses bióticos e abióticos administráveis. Em outras palavras, a produtividade potencial se encontra no topo mais alto da escala da produtividade. De acordo com Fischer, Byerlee e Edmeades (2014), existem diversas complicações escondidas nessa aparente simples definição, no entanto a produtividade potencial permanece como um padrão chave para a compreensão da mudança na produtividade. Pode ser difícil medir essa variável, entretanto a produtividade potencial e seus substitutos ou similares frequentemente são relatados na ampla literatura de ciências agrícolas, apesar de muitas vezes sem o cuidado adequado com as complicações que podem surgir.

A produtividade potencial é geralmente determinada com base em uma área estipulada no campo, mas pode ser aplicável ao distrito ao redor, ainda que a base de recursos naturais (como clima, tipo de solo e topografia) das áreas precisam ser comparáveis a do distrito, e nem mesmo superior. Isso significa levar em consideração todo e qualquer tipo de melhoria em manejos de longo prazo, como por exemplo calagem ou drenagem¹⁶. Além disso, o fornecimento de água tem que ser adequado para a produtividade potencial, do contrário seria necessário contabilizar o potencial de produtividade sob limitação de água¹⁷.

¹⁵ Essa seção do trabalho está alicerçada na pesquisa de Fischer, Byerlee e Edmeades (2014).

¹⁶ A expressão calagem foi traduzida do inglês *liming*, e a palavra drenagem do termo em inglês *tile drainage*.

¹⁷ Esse tema é conhecido em inglês na literatura como: “water-limited potential yield (PY_w)”. Apesar de ser um tópico importante, ele não se enquadra diretamente no escopo dessa pesquisa.

A quantidade adequada de água pode ser proveniente de ciclos de chuvas bem distribuídas na área de plantio de maneira que seja suficiente para a maioria ou toda a evapotranspiração potencial das plantações, desde o início do plantio até a colheita, ou que haja irrigação total ou suplementar. Do mesmo modo, pestes, pragas e doenças precisam ser mantidas a um nível insignificante, através do uso de produtos agroquímicos ou biológicos, caso seja necessário. Ademais, plantações que sofreram algum dano por causas meteorológicas são excluídas da mensuração da produtividade potencial.

Fischer, Byerlee e Edmeades (2014) ressaltam que a produtividade potencial, como definida anteriormente, é obtida de duas origens: experimentos comparativos de variedades e experimentos simples de variedades. A primeira fonte de dados para a produtividade potencial (experimentos com variedades) geralmente se baseia na comparação de experimentos muito bem administrados já desenhados com o intuito de comparar novas variedades com aquelas que eram líderes anteriormente. Produtividade de experimentos com variedade somente podem ser aceitos como uma medida correta de produtividade potencial quando estão sendo utilizadas proteções nas plantações.

A outra origem de dados da produtividade potencial é proveniente de experimentos em campo executados de maneira muito cuidadosa por fisiologistas especializados em sementes que pretendem calibrar ou validar modelos de simulação de plantio, guiados por radiação solar, temperatura e oferta de água utilizados em importantes processos fisiológicos de sementes. Fischer, Byerlee e Edmeades (2014) ressaltam sua preferência por dados de produtividade medidos em detrimento de valores simulados para construir uma medida de produtividade potencial.

Produtividade alcançável, denominada em inglês *attainable yield*, é outra importante medida padrão situada entre a produtividade da fazenda e a produtividade potencial em uma determinada região. Ela pode ser definida como a produtividade alcançada por um agricultor através de recursos naturais médios quando práticas e nível de utilização de insumos estejam sendo adotados de modo economicamente ótimo. Ressalta-se que esse conceito difere um pouco da definição de produtividade potencial, como é possível notar a partir da explicação anterior. Ademais, a produtividade alcançável deve ponderar otimização da produção com uma cautelosa atenção ao risco, que pode trazer perda financeira e precisa fazer parte das decisões de investimento do agricultor em novas insumos e equipamentos.

Fischer, Byerlee e Edmeades (2014) explicam ainda que a produtividade alcançável reflete as circunstâncias econômicas das plantações e da região, e as experiências mostram evidências de que ela oscila entre 20 e 30% abaixo da produtividade potencial em locais onde

os preços regionais estão atrelados aos mundiais e os custos de transporte são razoáveis. A produtividade alcançável geralmente é muito mais baixa em regiões onde estas condições não imperam, com mecanismos de mercado falhos ou deficientes, caracterizados frequentemente por pobre infraestrutura e instituições fracas, e muito mais próximas da produtividade potencial onde existe fortes políticas de subsídios agrícolas. Essa mesma análise também pode ser utilizada para Brasil, país de dimensão continental marcado por extremas desigualdades regionais.

É mais fácil compreender e discutir o conceito de hiato da produtividade em termos da produtividade da fazenda e da produtividade potencial, lembrando ainda que mesmo produções agrícolas de alto desempenho guiadas por preços internacionais em países desenvolvidos possuem uma produtividade da fazenda expressivamente inferior à produtividade potencial, devido a fatores econômicos dos empreendimentos agrícolas que impactam o desempenho da produtividade alcançável, gerando incertezas e instabilidade.

O ideal é expressar o hiato da produtividade como uma porcentagem da produtividade da fazenda, pois temas e questões relacionadas à segurança alimentar, como quantidade produzida de alimentos e capacidade de expansão da produção normalmente estão vinculadas diretamente à produtividade da fazenda, e não à produtividade potencial. A literatura científica sugere que existe um hiato de produtividade mínimo que ocorre quando a produtividade da fazenda se equipara à produtividade alcançável, dependendo essencialmente da dinâmica dos preços.

Com base em estudos para diversas culturas agrícolas e diferentes países, Fischer, Byerlee e Edmeades (2014) avaliam que o mínimo hiato da produtividade é de 30% da produtividade da fazenda, o que se traduz em produtividade alcançável de 23% abaixo da produtividade potencial. Isto é, se a produtividade da fazenda é igual a 100, e o mínimo hiato da produtividade de 30% em relação à produtividade da fazenda, então a produtividade potencial tem que ser igual a 130. Logo, a diferença como termos percentuais da produtividade potencial é de 23%, ou seja, 30 dividido por 130. Qualquer hiato maior do que esse valor é definido como um hiato de produtividade economicamente explorável, que pode ser compreendido como uma oportunidade a ser melhor aproveitada pelos governos nacional, estaduais e municipal, assim como pelos próprios agricultores.

Dias et al. (2016) construíram uma análise padrão sobre o hiato da produtividade alicerçada na relação entre a produtividade média e o topo da produtividade dos municípios brasileiros para soja, milho, cana-de-açúcar e gado¹⁸. Eles investigaram a dinâmica histórica do

¹⁸ Matematicamente, tem-se que:

uso agrícola do solo entre 1940 e 2012 e a produtividade no Brasil entre 1990 e 2012 usando metodologia de geoprocessamento com uma reconstrução espacialmente explícita de alta resolução, aproximadamente 1 km². Os pesquisadores usaram uma medida denominada área mínima de comparação como unidade para reconstrução histórica, e ela consiste do menor conjunto de municípios com limites estáveis ao longo do tempo.

O hiato da produtividade estimado utiliza a média dos municípios mais produtivos (5%) em relação à média geral de todos os municípios de uma determinada região, que foi aplicado para o bioma cerrado, bioma amazônico, região do MATOPIBA, região sul, sudeste, nordeste e centro oeste, e para alguns estados, dependendo da importância da produção agrícola de certo produto para o local. É importante ressaltar que as agregações das regiões tiveram como fundamento o bioma e a divisão político administrativa do Brasil. O bioma por apresentar determinado nível de homogeneidade em termos de macroclima, fitofisionomia, solo e altitude, que configura um tipo de ecossistema. Enquanto a organização federativa do país contribui para se compreender as diferenças de desenvolvimento econômico e agrícola entre as regiões, que é de fundamental relevância para o desenho de políticas públicas.

Dias et al. (2016) estimaram que o hiato da produtividade para o gado bovino em 2010 foi maior na região sul, que foi 52% mais baixo do que o potencial, sendo que o topo 5% obteve uma média de 4,1 cabeças por hectare, e a média do estoque de gado foi de 1,97 de cabeça por hectare. Em comparação, o menor hiato da produtividade calculado foi encontrado na região sudeste, 40% mais baixo do que o topo 5%, de 2,6 cabeças por hectare, dada a média de 1,56 cabeça por hectare. No bioma amazônico, o hiato foi estimado em 44% abaixo do topo 5%, de 2,8 cabeças de gado por hectare, para uma média de 1,56 cabeça de gado por hectare. No bioma cerrado e na região centro-oeste, a média de cabeças de gado por hectare foi 45% mais baixa do que o topo 5%, de 2,3 cabeças por hectare em ambas áreas. A média de 1,13 cabeça por hectare do MATOPIBA foi 48% inferior ao topo 5% de 2,2 cabeças de gado por hectare em 2010.

2.2.2 Erros de medida e tratamento de valores extremos

O último censo agropecuário realizado pelo Brasil ocorreu em 2005/2006, onde seria possível obter dados detalhados sobre o setor agrícola brasileiro, até o nível de propriedades agrícolas, entretanto essas informações estão distantes no tempo e podem não corresponder à realidade atual do meio rural do país. Devido a isso, optou-se por utilizar dados de 2014 gerados

hiato da produtividade = (municípios com a pecuária mais produtiva (topo do ranking decrescente) – média da produtividade da pecuária de todos os municípios de uma determinada região).

por métodos de geoprocessamento, compilados e produzidos pelo LAPIG para a Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República para estimar áreas de pastagens no Brasil, com o intuito de radiografar, planejar e traçar políticas para a pecuária brasileira^{19,20}.

Como os dados utilizados foram estimados a partir de informações geradas por imagens de satélite, é de fundamental importância verificar e analisar a existência de erros de medida na amostra a ser utilizada, pois isso irá impactar fortemente os cálculos do hiato da produtividade da pecuária do Brasil e, por conseguinte, os resultados da simulação do modelo. Neste direcionamento, fez-se necessário buscar e analisar métodos de detecção e tratamento de valores extremos existentes na literatura científica para averiguar a qualidade dos dados utilizados nesse trabalho. Dias et al. (2016) não explicitaram exatamente os métodos de identificação de valores extremos da amostra utilizada em sua análise para o Brasil, apesar de deixar claro que foram excluídos de seus mapas as observações de quantidade de cabeças de gado quando a área de pastagem era inferior a 100 hectares.

Seo (2002) fez uma revisão e comparação de métodos de detecção de *outliers* em conjuntos de dados univariados, com testes e simulações que foram usadas para verificar a eficiência e sensibilidade das metodologias a valores extremos. Os métodos escolhidos pelo autor foram os seguintes: método do desvio padrão, Z-Score, Z-Score Modificado, de Tukey, de Tukey Ajustado, MADe, e a Regra da Mediana^{21,22}. O processo de escolha do método mais adequado aos dados da pesquisa seguiu inicialmente o ordenamento realizado pelo autor, isto é, dos procedimentos mais simples (que são mais fáceis de aplicar, mas que possuem maior dificuldade de detectar com precisão anomalias nos dados) para métodos mais complexos e robustos.

Aplicou-se primeiramente o método do desvio padrão sobre produtividade da pecuária, ou seja, cabeças por hectare, para os dados de cada estado do país e para cada agregação de estados construída. Observou-se que esse método tinha dificuldade de captar valores extremos quando estão num mesmo conjunto que valores ainda mais discrepantes, que eram os únicos a serem detectados pelo método, mas que uma vez tratados, abriam espaço para a metodologia identificar *outliers* que não foram encontrados anteriormente. Esse problema é conhecido como

¹⁹ LAPIG: Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás

²⁰ A descrição pormenorizada dos dados pode ser encontrada na seção 3.1 desse trabalho. Ao passo que a estimativa para o hiato da produtividade está próxima seção.

²¹ O método de Tukey também é conhecido como Boxplot ou Interquantil.

²² Uma descrição minuciosa dos métodos pode ser encontrada no trabalho de Seo (2002). Nesse trabalho, será explicado especificamente o processo de escolha do método que mais se ajustou aos dados da pesquisa e foi capaz de solucionar os problemas que eles continham.

problema de mascaramento, ou *masking problem*, quando um valor mais extremo encobre a existência de outro menos extremo, ainda que seja um valor discrepante.

O método do Z-Score foi aplicado aos dados, no entanto ele apresentou problemas similares à metodologia do desvio padrão, isto é, problema de mascaramento, portanto dificuldade para detectar todos os valores discrepantes da amostra. Tendo isso em vista, testou-se também o método do Z-Score modificado, que utiliza a mediana como parâmetro ao invés da média, por isso mais robusto e menos suscetível a falhas. Esse método obteve um bom desempenho para detectar *outliers* quando os dados empregados seguiam uma distribuição normal, caso contrário apresentou resultado não foi tão assertivo. Como nem todas as bases de dados dos estados podem ser caracterizadas como distribuições normais, e a preferência é escolher e utilizar uma única metodologia para todas as bases de dados, optou-se por buscar outro método.

Os últimos quatro métodos são robustos e capazes de lidar com problemas de mascaramento e problemas relacionas a grandes distâncias de outliers em relação ao restante dos dados, conhecido como *large gap*. Todos conseguem ser eficientes tanto em amostras simétricas como não-simétricas, ainda que o método de Tukey Ajustado consiga levar em consideração a curvatura das distribuições dos dados sob análise, que está além do escopo dessa pesquisa. Sendo assim, o método MADe, de Tukey, e da Regra da Mediana foram utilizados como as principais metodologias para detecção e tratamento de valores extremos nesse trabalho.

Os três métodos de detecção de outliers selecionados foram aplicados nas bases de dados de cada estado (e agregação) de todo o país para a variável produtividade da pecuária (cabeças por hectare), sendo possível verificar que os seus respectivos desempenhos foram muito semelhantes, ao encontrar uma quantidade similar de *outliers*, e na maioria dos casos encontradas as mesmas observações discrepantes. Tendo isso em vista, optou-se por seguir os resultados da análise de valores extremos produzidos pelo método de Tukey, que é amplamente conhecido e aplicado na literatura científica²³.

2.2.3 Estimativa para o hiato da produtividade no Brasil

Uma vez tratados os valores extremos da amostra, optou-se por construir uma forma modificada do hiato de produtividade da pecuária calculado por Dias et al. (2016), tendo em vista que esse método possui grande flexibilidade para organizar os dados e seus respectivos cálculos de maneira que pode suprir as necessidades e objetivos da pesquisa, já que possibilita

²³ A formula é definida do seguinte modo: $IQR = 3^o\text{Quartil} - 1^o\text{Quartil}$; Limite Superior = $3^o\text{Quartil} + (1,5)*IQR$; e Limite Inferior = $1^o\text{Quartil} - (1,5)*IQR$.

redimensionar escalas ou regiões de modos diferentes, respeitando, obviamente, os biomas e os limites políticos administrativos.

Decidiu-se aqui por selecionar os municípios mais produtivos situados no quantil estatístico superior de um conjunto de municípios de determinada região para construir a média do topo dos mais produtivos, ao invés de utilizar a escala simples dos municípios para se chegar aos mais produtivos. Isto é:

$$H = \frac{\alpha - \beta}{\beta}, \quad (1)$$

onde:

H é o hiato de produtividade da pecuária de corte,

α é a média da produtividade da pecuária dos municípios de uma região situados no quantil superior de 10% da amostra,

β é a média da produtividade da pecuária de todos os municípios de uma região.

Pode-se verificar os cálculos do hiato da produtividade da pecuária para os estados e as agregações na Tabela 3 logo abaixo, onde é possível observar também as estimativas para a produtividade média, produtividade do quantil de 10% e uma variável denominada ponderação, que foi definida como a razão entre a quantidade de terras de alta e muito alta aptidão para pastagem (fora de áreas de preservação permanente) e a quantidade total de terras para pastagem de determinada região^{24,25}. Essa ponderação teve por objetivo indicar que a redução do hiato da produtividade somente pode ocorrer em áreas onde a terra possui alta aptidão para suportar atividade bovina de maior produtividade, sendo assim o hiato da produtividade da pecuária foi multiplicado por essa ponderação, que resultou nos valores da coluna hiato da Tabela 3 abaixo.

Tabela 3: Hiato da produtividade da pecuária^{26,27} (continua)

Estado	Produtividade media	Produtividade dos 10% mais produtivos	Parcela das áreas de alta e muita produtividade	Hiato ponderado pela parcela das áreas de
---------------	----------------------------	--	--	--

²⁴ Os dados para criação dessa variável foram fornecidos pelo IMAFLORA e pelo GEOLAB da ESALQ/USP, em linha com Sparovek et al. (2018).

²⁵ A seção 4.1 Estratégia de Simulação explica que as agregações de Estados foram feitas com base nas localizações e distribuição da pecuária pelo país, levando em conta as divisas dos Estados e as áreas que abrangem os Biomas.

²⁶ Produtividade média = número de cabeças por hectare

²⁷ Na última coluna, o hiato da produtividade da pecuária de corte foi multiplicado pela parcela das áreas de pastagens de alta e muito alta produtividade em relação ao total de pastagens. Isso indica que a produtividade da pecuária pode aumentar nas áreas que oferecem condições ideais para que isso ocorra.

			no total de áreas de pastagem	de pastagens de alta e muito alta produtividade
AcreRond	1,96	2,73	0,66	0,26
AmazRor	1,38	4,66	0,41	0,98
ParaAmap	1,47	5,38	0,51	1,36
Tocantins	1,08	1,81	0,33	0,22
Maranhao	0,95	2,08	0,14	0,17
RestNe	0,89	3,42	0,14	0,41
Bahia	0,60	2,03	0,23	0,54
MinasG	0,81	1,59	0,42	0,41
RestSE	1,17	3,76	0,35	0,78
SaoPaulo	1,07	2,73	0,71	1,10
Sul	0,79	4,90	0,42	2,18
MtGrSul	1,07	1,68	0,48	0,27
MtGrosso	1,22	1,88	0,50	0,27
GoiasDF	1,44	2,52	0,41	0,31

Fonte: Elaboração própria com dados de LAFIG (2017)

É possível verificar na Tabela que Pará e Amapá, Amazônia e Rondônia, São Paulo e agregação da região Sul apresentam os maiores hiatos de produtividade em relação aos 10% mais produtivos. Ao passo que Maranhão, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Acre e Rondônia obtiveram o menor hiato de produtividade. Percebe-se que os estados localizados no centro-oeste possuem os menores hiatos de produtividade, enquanto os estados do sul e alguns da região amazônica apresentaram as diferenças de produtividade mais expressivas.

Sparovek et al. (2018) traçaram um guia apontando caminhos para o planejamento e as políticas públicas direcionadas ao crescimento do setor agrícola, que não implique em desmatamento, através da intensificação e expansão da agricultura em áreas adequadas para a agricultura, mas que atualmente estão sendo ocupadas pela pecuária. Ou seja, a intensificação da pecuária pode ser compreendida como uma transição até que as culturas agrícolas avancem sobre áreas propícias e adequadas ao seu desenvolvimento, que estão sendo ocupadas pela atividade bovina. Sendo assim, as áreas de pastagens tendem a decrescer até que sejam limitadas somente por terras marginais que não podem ser usadas pela agricultura. Portanto, justifica-se ponderar o hiato da produtividade por um fator que indique as áreas onde a pecuária tende a ocupar e permanecer ao longo do tempo, ao mesmo tempo em que se intensifica.

2.2.4 Redução do hiato da produtividade

A evolução da produtividade pode ser avaliada pelo desempenho da produtividade da fazenda e também da produtividade potencial. Os fatores que impulsionam mudanças na produtividade da fazenda ao longo do tempo estão condicionados a cada região e tipo de cultura. Fischer, Byerlee e Edmeades (2014) pressupõem em sua pesquisa que o principal determinante do progresso da produtividade da fazenda é a adoção de tecnologias de melhorias recorrentes, como: novas variedades, novas técnicas agrônômicas ou administrativas, e melhores decisões e previsões tomadas pelos agricultores. Além disso, experimentos de produtividade potencial são realizados com os melhores manejos e tendem a indicar os progressos técnicos mais inovadores e recentes.

Eles propõem em sua análise que o progresso da produtividade da fazenda pode ser decomposto em dois fatores: aumento da produtividade potencial e fechamento do hiato da produtividade entre a produtividade da fazenda e da produtividade potencial. De outra perspectiva, a taxa de aumento da produtividade da fazenda por ser vista como a soma da taxa de elevação da produtividade potencial e da taxa de fechamento do hiato da produtividade. Preferencialmente, pode-se adotar uma taxa relativa em termos percentuais ao invés de uma absoluta para expressar o aumento da produtividade potencial nos campos agrícolas.

Um pressuposto essencial é que a mudança relativa na produtividade da fazenda se baseia na adoção completa de variedades e práticas de produtividade potencial, que corresponde a mudanças relativas na produtividade potencial. Isso tem sido verificado por experimentos executados nos campos agrícolas onde se pode averiguar os ganhos relativos de produtividade com novas tecnologias, especialmente novas variedades, que tendem a se manter mesmo quando ocorrem deficiências nos manejos agrícolas. No entanto, caso haja grandes e significativas deficiências de manejo, como em técnicas de controle de pragas, pode ser que o cenário desenhado anteriormente não se verifique.

Fischer, Byerlee e Edmeades (2014) assumem ainda que o progresso da produtividade potencial é medida independentemente de qualquer fator que possa mudar ao longo do tempo, como tendências do clima e emissões de gás carbônico. Enquanto a produtividade da fazenda está sujeita a todos os fatores que se alteram ao longo do tempo, e as tendências temporais podem ser utilizadas para ajustar mudanças na produtividade da fazenda com o intuito de se conhecer a contribuição da adoção de tecnologias para a evolução da produtividade.

3 METODOLOGIA

3.1 Dados

A coleta e utilização do conjunto de dados selecionados para essa pesquisa podem ser caracterizadas de acordo com três diferentes finalidades: i) fornecimento de dados necessários para a estrutura principal do modelo computável de equilíbrio geral TERM-BR, importante para o seu funcionamento básico, como será explicado mais adiante; ii) escolha e definição dos parâmetros empregados nas equações da produção e no sistema de demanda, fundamentais para o refinamento e ajuste do modelo; assim como para a confiança nas previsões e resultados gerados; iii) informações sobre cobertura e uso do solo, com especial ênfase no gado bovino, desagregado por estados e regiões, essenciais para testar a hipótese de Borlaug para pecuária no Brasil. Essa forma de dividir e explicar os dados utilizados está em linha com estudos anteriores que optaram pela metodologia de equilíbrio geral computável e o modelo TERM-BR (MORAES, 2010; SANTOS, 2013; DINIZ, 2012; SILVA, 2014).

Os dados centrais exigidos para a estrutura principal do modelo são provenientes da matriz de insumo produto de 2005 do Brasil, elaborada e publicada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Ela é formada originalmente por 110 produtos, 55 indústrias e 7 usuários finais, sendo que é viável classificar os produtos conforme duas origens, domésticos e importados, além de diferentes tipos de impostos (ICMS, IPI, impostos de importação e outros impostos) e margens de transporte e de comércio. Em adição, a matriz possui as remunerações recebidas pelos fatores primários da economia.

Dados complementares provenientes da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) serviram de base para se obter a alocação do fator trabalho entre os setores da matriz de insumo produto, assim como entre os estados brasileiros e as classes de ocupações; ao passo que a Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) contribuiu para estimar a demanda das famílias, a forma de consumo e o entendimento das preferências. A Pesquisa Agrícola Municipal e da Pesquisa Pecuária Municipal foram empregados para refinar a análise e focar na agricultura e pecuária, tendo em vista o tema de pesquisa desse trabalho. A utilização dessas informações não se restringiu somente à estrutura principal do modelo, foram usadas também para elaborar as extensões regionais do modelo.

A maneira como o modelo reage a mudanças de preços está relacionada com os parâmetros das equações comportamentais que modelam as atitudes tomadas pelos agentes econômicos e por mudanças estruturais de diversas naturezas. Sendo assim, a escolha e definição do conjunto de parâmetros a serem inseridos no modelo são de crucial importância para que o modelo opere de modo adequado. Essencialmente, os principais coeficientes estão disponíveis nos trabalhos

de Tourinho et al. (2003) e GTAP²⁸ (2008), contudo MORAES (2010) e SILVA (2014) detalham minuciosamente os parâmetros adicionais que foram utilizados no modelo.

Os dados para cobertura e uso do solo foram extraídos do banco de dados do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG/UFG) da Universidade Federal de Goiás, que foram utilizados no relatório denominado “Radiografia das Pastagens do Brasil”, pesquisa executada por demanda da Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE) da Presidência da República (LAPIG, 2014). As informações sobre a pecuária e as desagregações por estados e regiões também foram extraídas dessa mesma fonte. Os dados compilados pelo LAPIG têm por objetivo suprir uma lacuna sobre a extensão e condições das pastagens brasileiras, que possuem informações dispersas, pouco detalhadas e desatualizadas, com sérias implicações negativas sobre a formulação de estratégias e definição de prioridades, podendo causar distorções ineficientes na alocação de recursos.

O mapa da área de pastagem para o território brasileiro produzido pelo LAPIG se alicerçou em pesquisas realizadas anteriormente para todos os biomas brasileiros, que foram atualizadas conforme o tempo de defasagem, importância em termos de tamanho de área e extensão do desmatamento. A composição e a compilação das informações se estruturaram da seguinte maneira:

- i) Bioma Pantanal teve como fonte o mapeamento da Bacia do Alto Paraguai de 2014;
- ii) Bioma Caatinga foi mapeado pelo LAPIG para as áreas de pastagem cultivada e degradada (solo exposto) de 2014;
- iii) Bioma Mata Atlântica foi formado a partir de um conjunto de mapeamentos: PROBIO Mata Atlântica de 2002 para os estados de MG, RJ, ES, BA, SE, AL, PE, PB e RN; mapeamento do IBGE de 2012 para o estado de SE e de 2013 para Alagoas; e mapeamento original do LAPIG para SP, MS, PR, SC e RS de 2014;
- iv) Bioma Pampa foi mapeado pelo IBGE para o estado do RS em 2012;
- v) Bioma Amazônia com mapeamento do TerraClass Amazônia de 2012;
- vi) Bioma Cerrado foi mapeado pelo projeto TerraClass Cerrado de 2013;

O mapa da área de pastagem do LAPIG produziu informações ao nível municipal que puderam ser cruzadas com o número de cabeças de gado bovino da Pesquisa Pecuária Municipal de 2014 para produzir a produtividade pecuária por município para todo o país.

²⁸ GLOBAL TRADE ANALYSIS PROJECT

3.2 O Modelo TERM-BR

O TERM é um modelo de equilíbrio geral computável (CGE) desenvolvido no Centro de Estudos em Políticas²⁹ (COPS), que atualmente está sediado na Universidade de Vitória³⁰, Austrália, um polo de excelência e vanguarda em modelagem reconhecido mundialmente, através de décadas de inovação e atuação. Horridge, Madden e Wittwer (2005) e Horridge (2012) descrevem detalhadamente o desenho e a estrutura do modelo, explicam o seu funcionamento e a sua forma de atuação, assim como discorrem sobre a sua procedência e história. Esses trabalhos são as principais e únicas referências que documentam pormenorizadamente o TERM, portanto serão a base para descrição da metodologia nesse capítulo.

A tradição australiana em modelagem de equilíbrio geral computável de larga escala se inicia com a construção e operação do modelo ORANI³¹, descrito em Dixon et al. (1982), que detalha mais de 100 setores da economia, do qual o modelo TERM descende. O algoritmo de solução do modelo ORANI uni a eficiência da álgebra linear com a acurácia de soluções multi-passos, possibilitando o desenvolvimento de maiores desagregações e modelos mais complexos, com detalhes setoriais, regionais, temporais e sociais. Esses avanços permitiram que formuladores de políticas aprofundassem análises das consequências de choques externos ou de políticas.

O desenvolvimento de um módulo regional *top-down*³² do modelo ORANI viabilizou a realização de simulações de impactos regionais provenientes de mudanças da economia nacional, através da decomposição por região de resultados nacionais de variáveis de quantidade usando técnicas e recursos derivados da análise de insumo-produto (DIXON; PARMENTER; VINCENT, 1978 apud HORRIDGE, 2012). Os mecanismos de funcionamento e operação do modelo estão baseados nos seguintes pressupostos: i) a tecnologia de produção (a proporção dos custos) é uniforme em cada setor e em todas as regiões; ii) a parcela de cada região do produto interno é fixa ou exógena para commodities que são substancialmente comercializadas entre regiões, as commodities nacionais; iii) enquanto que a produção em cada região tem que se igualar a demanda para commodities pouco comercializadas entre as regiões.

Em modelos CGE multi-regionais do estilo *bottom-up*, os resultados nacionais se comportam como consequência da soma de resultados regionais, além disso modelos mais

²⁹ Em inglês, Centre of Policy Studies.

³⁰ Em inglês, Victoria University.

³¹ ORANI é um modelo multi-setorial da economia australiana

³² A expressão *top-down* significa justamente que resultados nacionais conduzem os regionais e não são influenciados por seus subsistemas.

avancados foram acrescidos de dinâmica multi-período, isto é, conseguem construir a trajetória dos pontos de equilíbrio ao longo do tempo. A grande vantagem dessa família de modelos *bottom-up* reside na possibilidade de executar simulações de políticas que possuem impactos sobre preços em uma determinada região. No entanto, estes modelos derivados do ORANI apresentaram problemas complexos de serem solucionados em termos computacionais e de dados, impondo sérias restrições à descrição pormenorizada de setores e regiões.

Um detalhamento mais aprofundado das regiões traz grandes benefícios para análise de impacto de políticas quando o objeto de investigação apresenta expressivas discrepâncias entre territórios que possuem diferentes características e aptidões, como é o caso do Brasil. Neste sentido, pode-se afirmar que adicionar mais regiões e de menor tamanho tornam os modelos CGE mais sensíveis a questões geográficas, especialmente adequados para investigar a fundo temas sobre transporte, energia e mudança do uso do solo, em linha com a proposta desta pesquisa. O modelo TERM foi desenvolvido em face das dificuldades e impossibilidade dos modelos dos quais descende em lidar com maior minúcia as economias regionais e com maior nível de desagregação das informações, que se caracterizam como sua maior virtude.

O modelo TERM pode ser descrito como uma estrutura de modelagem CGE para múltiplas regiões dentro de um país, sendo projetado para solucionar dois dilemas de modelos CGE multi-regionais: i) dificuldade de desenvolver uma base de dados adequada para modelos regionais de equilíbrio geral, devido à grande escassez de dados publicados e disponíveis; ii) excesso de lentidão das simulações ou expressiva demanda por quantidade de memória, consequências do aumento do número de regiões.

As demais características do TERM se assemelham à maioria dos modelos CGE, em especial ao ORANI. As funções de produção da indústria são CES aninhadas: Leontief, com exceção da substituição entre fatores primários e entre a origem dos produtos. As exportações de cada região a partir de seus portos para o resto do mundo (ROW) seguem uma elasticidade constante de demanda. A composição da demanda das famílias se comporta de acordo com um sistema linear de gastos³³, ao passo que a composição da demanda por investimento e despesa governamental são exógenas.

3.3 Organização e configuração das informações

Uma representação esquemática da base de dados de insumo-produto do modelo pode ser verificada na Figura 1 a seguir, que esclarece e descreve a estrutura básica do modelo, a essência para o seu acurado funcionamento. Os retângulos representam as matrizes de fluxo, sendo

³³ Em inglês, *linear expenditure system*.

aquelas em negrito as principais, armazenadas na base de dados, ao passo que as demais podem ser calculadas das matrizes principais. É importante ressaltar que as dimensões das matrizes são representadas por índices (c, s, i, m, etc.) equivalentes aos conjuntos, sendo que os conjuntos DST, ORG e PRD são o mesmo e nomeados de acordo com o contexto no qual estão inseridos.

Horridge, Madden e Wittwer (2005) explicam que as matrizes esquematizadas na Figura 1 exibem os valores dos fluxos conforme três métodos: i) valores básicos são iguais aos preços de produção para as mercadorias fabricadas internamente, ou preços CIF³⁴ para os importados; ii) os valores de entrega correspondem aos básicos mais as margens; e iii) os valores de compra são compostos pelos básicos mais as margens e impostos, o mesmo que valores de entrega somados aos impostos. Os autores ainda ressaltam que as matrizes do lado esquerdo do diagrama se assemelham a uma base de dados de insumo produto padrão para uma única região.

³⁴ CIF significa Cost, Insurance and Freight em inglês, cuja tradução para o português é “Custo, Seguros e Frete”, quando o fornecedor se responsabiliza por todos os custos e riscos para a entrega da mercadoria.

Figura 1: A base de dados de fluxos do TERM

Eles esclarecem detalhadamente e com exemplos a esquematização da Figura 1, explicam primeiramente que a matriz de uso (USE, em inglês) localizada em cima e à direita do desenho representa o valor de entrega da demanda para cada bem (c em COM) seja doméstico ou importado (s em SRC) em cada região de destino (DST) para cada usuário (USER; como indústrias, IND; e quatro demandantes finais: famílias, investimento, governo e exportações). A matriz de uso pode ser decomposta em elementos específicos, como: lã produzida internamente e usada pela indústria têxtil na região norte, denotado por USE ('Lã', 'dom', 'Têxtil', 'Norte'). Os valores da matriz de uso se referem a entregas, isto é, contabilizam margens de comércio ou transporte resultantes do envio de mercadorias aos usuários.

A matriz de impostos sobre os produtos possui um elemento correspondente em cada respectivo elemento da matriz de uso. Ela compõe o custo de produção de cada indústria regional, em conjunto com a matriz de custos de fatores primários e de outros impostos sobre a produção. Pressupõe-se que cada indústria pode fabricar qualquer bem, e a matriz de produção (MAKE, em inglês) na parte inferior da Figura 1 indica o valor da produção de cada *commodity* por indústria e por região. A soma dos valores das indústrias da matriz de produção (MAKE) resulta em subtotal representado pela matriz MAKE_I, onde constam o total da produção de cada produto (c na dimensão COM) em cada região denotada pelo índice "d".

De acordo com Horridge (2012), o modelo TERM consegue reconhecer mudanças de estoques de maneira restrita, sendo que para a produção doméstica elas são consideradas como uma destinação da produção da indústria, ou seja, classificados com a dimensão IND ao invés de COM, ao passo que alterações nos estoques das importações não são levadas em consideração e o remanescente se encaixa na matriz de produção. A matriz mais importante é a de comércio, que tem a capacidade de exibir os valores do comércio inter-regional por origem (índice r na dimensão ORG) e destinação (d em DST) para cada produto (c em COM) seja doméstico ou importado (s em SRC). Esse mecanismo de fornecimento regional pode ser verificado no lado direito da Figura 1.

Decompor o investimento conforme a indústria de destino pode ser muito útil para uma variedade grande de objetivos e a matriz satélite INVEST com subscritos “c” na dimensão COM, “i” em IND, e “d” em DST pode muito bem ser utilizada com o intuito de diferenciar a composição de produtos do investimento para cada indústria. De modo análogo, a base de dados do TERM também dispõe de outra matriz satélite denominada HOUPUR, que possibilita a distinção de vários tipos de família com composições orçamentárias específicas. Essas matrizes satélites pressupõem que a parcela entre importações e exportações e o nível de imposto sobre os produtos são uniformes entre os diversos tipos de família e investidor.

3.4 Estrutura da produção e sistema de equações da demanda

As equações do modelo TERM seguem uma estrutura comum aos modelos computacionais de equilíbrio geral. Os produtores escolhem a quantidade e a combinação de insumos necessários para minimizar os seus custos, restritos por funções de produção aninhadas do tipo CES, como se pode observar na Figura 2. A demanda por fatores primários e insumos intermediários agregados se comportam segundo proporções da produção industrial, como exigem os pressupostos de Leontief.

O agregado do fator primário se forma a partir de uma combinação CES dos fatores de produção capital, terra e trabalho, que também é uma composição CES das subdivisões do fator trabalho organizados em grupos por habilidade do trabalhador. Da mesma forma, o agregado do insumo intermediário se constitui de uma composição CES cujos elementos são igualmente uma combinação de *commodities*, provenientes de uma variedade de origens. A produção industrial segue um mecanismo CET ajustado a partir da matriz de produção para fabricar as *commodities*, conforme ilustrado na Figura 2.

Fig. 2: Árvore de produção aninhada do TERM

O sistema de equações da demanda está estrutura e descrito na Figura 3, para apenas um produto de um único usuário (família) em somente uma região (norte) com o intuito de simplificar a exposição e a explicação, já que essa mesma esquematização pode ser utilizada para qualquer produto, usuário ou região. A estrutura do desenho explicita uma diversidade de bifurcações ou ninhos deixando evidente as alternativas de substituição possíveis dentro do modelo. As caixas com os contornos pontilhados ao lado esquerdo da Figura informam os valores dos fluxos em cada nível do sistema alinhado (HORRIDGE; MADDEN; WINTER, 2005).

As dificuldades computacionais, a funcionalidade e a utilidade do modelo dependem essencialmente das dimensões das variáveis apresentadas anteriormente, que estão indexados pelos subscritos “c”, “s”, “m”, “r”, “d”, e “p”, como consta na parte superior da Figura 3. A

base do modelo TERM com o seu diferencial e suas inovações estão assentadas na Figura 2 e 3, descritas e explicadas sucintamente.

Fig. 3: Fluxo esquemático de demanda do modelo TERM

As equações de demanda se comportam conforme a dinâmica dos preços de compra de usuários específicos, sendo que esses valores estão contidos na matriz PUR, formada a partir da união da matriz de impostos com a de uso, variáveis fundamentais para se calcular a elasticidade de substituição. A procura por um produto específico em uma certa região pode ter a dimensão de usuários agregadas para se obter o valor total USE_U, onde o sufixo “_U” se refere a soma usuário, com subscrito “u”. A matriz USE_U contém valores a preços básicos e

as margens de comércio e transporte, isto é, os valores de entrega, que não incluem os impostos sobre os produtos de um usuário determinado.

A matriz DELIVRD é capaz de demonstrar como ocorre a distribuição e o fornecimento da matriz USE_U entre as regiões, ao reparti-la entre regiões de origem com subscrito “r”, sendo que a respectiva alocação ocorre conforme funções CES, tendo elasticidades de substituição entre 5 e 0.2. A imposição de uma dinâmica comportamental CES significa que regiões com menor custo de produção possuem uma vantagem que pode propiciar uma expansão de suas parcelas de mercado, lembrando ainda que a decisão de distribuição e fornecimento está alicerçada nos preços de entrega, isto é, abrangem transporte e margens.

O desenho e esquema da Figura 3 permite compreender como um produto do Sul se constitui a partir de um produto a preços básicos e uma diversidade de produtos margem, conforme uma função Leontief. Em outras palavras, a parcela de cada margem no preço de entrega é resultado de uma combinação da região de origem, destino, produto, e fornecimento externo ou interno. Além disso, a quantidade de produtos margem está atrelado ao grau de agregação da base de dados do modelo, que pode subsidiar o desenvolvimento de uma configuração alinhada detalhada ao ponto de se poder identificar mecanismos de alternância dos modais de transporte.

Os blocos inferiores da estrutura deixam claro que as margens de um produto podem ser geradas em regiões distintas ao transitar do sul para o norte, por exemplo, e o desenho deixa visível o mecanismo de distribuição e fornecimento para as margens de transporte rodoviário. No que tange às margens do sistema de varejo, pode-se afirmar que a dimensão de suas parcelas está vinculada às regiões de destino. Presume-se ainda que a proporção de margens de transporte rodoviário ofertadas por uma região A para um frete da região B para C permanecem iguais para todos os produtos transportados. Ao mesmo tempo, existe também um sistema de fornecimento e distribuição no modelo para produtos importados, com o qual se pode saber o caminho percorrido pelo produto, desde o porto de entrada.

3.5 Dinâmica multi-período

O modelo TERM possibilita ainda a realização de análises dinâmicas em seus exercícios computacionais, trazendo novos entendimentos e ampliando as perspectivas sobre as implicações que uma linha de base dinâmica pode ter nas simulações de política, e melhorando a acurácia das projeções³⁵. Um modelo dinâmico pode ter sua base de dados atualizada,

³⁵ Essa seção tem como objetivo principal explicar os mecanismos centrais de ajuste inseridos em um modelo dinâmico.

importante característica que lhe confere bastante destaque, já que facilita a inserção e assimilação de novas informações. É possível fazer com que dados mais recentes sejam inseridos no modelo como choques em relação as mudanças observadas nas variáveis da linha de base, como informações sobre comércio internacional, macroeconomia, alterações na produtividade ao nível da indústria e mudanças nas preferências do consumidor ao longo do tempo³⁶ (HORRIDGE, 2012).

A versão dinâmica do modelo TERM se alicerça nas metodologias desenvolvidas por Dixon e Rimmer (2002), que incluem em seu método três diferentes vínculos intertemporais: acumulação física de capital, acumulação de ativos ou passivos e processos de ajustamentos defasados. Os fluxos anuais de investimento para o estoque de capital estão no centro das modificações teóricas necessárias para adicionar dinâmica ao modelo. Os investimentos compõem uma parcela significativa da atividade econômica no lado das despesas, enquanto a renda do capital possui uma participação expressiva no lado da renda da economia. Em linha com a maioria dos modelos CGE, a acumulação do capital nas versões dinâmicas do modelo TERM se comportam de acordo com a seguinte equação:

$$K_{j,t+1} = K_{j,t} (1 - D_{j,t}) + I_{j,t}, \quad (2)$$

onde,

$K_{j,t+1}$ é a quantidade de capital disponível para indústria j no ano t ,

$I_{j,t}$ é a quantidade de investimento, novos capitais, na indústria j no ano t ,

$D_{j,t}$ é a taxa de depreciação.

A taxa de retorno esperada na indústria j define o nível de investimento em uma certa abrangência temporal. Uma curva de oferta de investimento explica como uma determinada taxa de retorno está atrelada a um aumento marginal de recursos, que está vinculado a taxa de crescimento do estoque de capital da indústria j .

A conexão entre dívidas estrangeiras líquidas e os fluxos da conta corrente (balança comercial e pagamentos de juros aos estrangeiros pela detenção de dívidas brasileiras) é um elo essencial no desenho dos mecanismos que compõem a dinâmica do modelo TERM. Esse vínculo reflete na renda disponível líquida e na função de consumo que relaciona os gastos das

³⁶ Como mudanças tecnológicas possuem uma importância muito relevante ao longo do tempo, é crucial pressupor taxas de mudanças tecnológicas para determinar os impactos de cenários por extensos períodos.

famílias com a renda disponível. Segundo Horridge (2012), essa conexão intertemporal é particularmente importante para países que possuem altas dívidas, com passivos estrangeiros líquidos como uma parte substancial do produto interno bruto, já que os pagamentos anuais de juros sobre as dívidas se acumulam ao longo do tempo, impactando a economia, mesmo sem maiores alterações nos fundamentos macroeconômicos, cenário que um modelo dinâmico consegue captar, enquanto uma análise de estática comparativa não.

Processos de ajustamentos defasados englobam ajustes parciais realizados período a período e compõem a última conexão intertemporal fundamental para introduzir dinâmica no modelo TERM. Esse mecanismo pode contribuir para que processos de investimento sejam modelados por ajustamentos parciais, possibilidade que descarta incompatibilidades entre os níveis de investimento e as taxas de retorno, assim como facilita a aderência dos dados à teoria do comportamento do investimento. A versão dinâmica do TERM também leva em consideração a teoria do ajustamento lento do mercado de trabalho ao nível regional, que está sujeito a seguinte equação comportamental:

$$\left(\frac{W_t^r}{Wf_t^r} - 1\right) = \left(\frac{W_{t-1}^r}{Wf_{t-1}^r} - 1\right) + \alpha \left(\frac{EMP_t^r}{EMPf_t^r}\right) - \left(\frac{LS_t^r}{LSf_t^r}\right). \quad (3)$$

Essa equação significa que se um desvio de um determinado choque impacta negativamente o mercado de trabalho na região r e período t em comparação com as projeções, os salários reais W_t^r referentes aos desvios deverão declinar progressivamente em termos relativos ao previsto Wf_t^r . Além disso, haverá em princípio uma maior diferença entre a demanda do mercado de trabalho EMP_t^r e sua correspondente oferta LS_t^r , comparativamente aos patamares de $EMPf_t^r$ e LSf_t^r . Ano após anos, a distância entre demanda e oferta converge gradualmente ao que foi projetado através de uma maior diminuição dos salários reais, sendo que a velocidade do ajustamento do mercado de trabalho é medida pelo parâmetro positivo α (HORRIDGE, 2012).

A equação de oferta do trabalho em termos regionais é expressa da seguinte forma:

$$\left(\frac{LS_t^r}{LSf_t^r}\right) = \frac{\left(\frac{(w_t^r)^y}{\sum_q (w_t^q)^y s_t^q}\right)}{\left(\frac{(w_{f_t}^r)^y}{\sum_q (w_{f_t}^q)^y s_{f_t}^q}\right)} \quad (4)$$

O desvio da oferta de trabalho regional em relação às projeções depende do desvio da razão entre os salários reais regionais e os nacionais em comparação com as projeções. Nessa equação, o termo $\sum_q (W_t^q)^\gamma S_t^q$ se caracteriza como uma medida de reação do trabalho aos salários reais, somados por todas as regiões, sendo que γ é definido como um parâmetro positivo e S_t^q corresponde a participação da região q no emprego nacional. Caso ocorra um desvio dos salários reais em relação ao que foi projetado em uma determinada região em comparação ao desvio nos salários reais em termos nacionais, essa expressão matemática mostra que a oferta de trabalho nessa determinada região cairá, enquanto em outras regiões ela aumentará.

Ao se combinar as duas equações acima pode-se afirmar que um choque negativo no mercado de trabalho em uma certa região irá se caracterizar por um aumento no desemprego e, ao mesmo tempo, uma redução nos salários reais. Os níveis de desemprego tendem a retornar para as taxas de desemprego que imperavam antes do choque negativo, no entanto com salários reais mais baixos. Em paralelo à diminuição nos salários reais em comparação com a linha de base inicial, a oferta de trabalho da região também irá cair. Dentro desse cenário e ao vigorar esse mecanismo, pode-se dizer que o ajustamento de longo prazo do mercado de trabalho acontecerá por duas vias simultâneas: migração inter-regional do trabalho e alterações nos diferenciais regionais de salário real.

3.6 Desenvolvimento e aplicação no Brasil

A metodologia a ser utilizada nesta investigação se fundamenta nos trabalhos de Ferreira Filho e Horridge (2014; 2015), que desenvolveram um modelo de equilíbrio geral computável (CGE) multi-período para o Brasil, denominado TERM-BR, baseado no modelo TERM descrito anteriormente, desenhado para poder analisar mudanças do uso do solo. Ele se caracteriza por dinâmicas recursivas anuais, uma detalhada representação regional *bottom-up*, possui 38 setores, 10 tipos distintos de unidades familiares, 10 gradações do fator trabalho, e um módulo de mudança do uso do solo que capta o comportamento das mudanças do uso do solo em cada estado.

Segundo os autores, o TERM-BR pode ser interpretado como um conjunto de modelos CGE, um para cada região, vinculados pelas transações comerciais e movimentos do fator trabalho entre as regiões. É importante ressaltar também que cada modelo regional CGE segue o padrão convencional, isto é, indústrias e demandantes se caracterizam por um comportamento minimizador de custos de forma que possam otimizar eficientemente uma cesta de *commodities* e fatores primários, apenas para indústrias, que possuem tecnologia de retornos constantes de

escala e preços iguais ao custo marginal. *A priori*, o modelo separa atividades industriais de commodities, ou seja, uma indústria pode fabricar uma série de commodities, contudo os pesquisadores optaram por reportar apenas uma *commodity* em suas simulações.

Em adição, a composição dos fatores primários utilizados por cada indústria se forma a partir de uma combinação industrial específica de capital, trabalho e terra, sendo que o próprio fator trabalho é uma combinação de variados e distintos tipos de trabalho. Embora todos os setores em todas as regiões compartilhem essa estrutura de insumos, elasticidades de substituição, a proporção de insumo é diferente entre setores e regiões. Sistemas aninhados similares, com exceção dos fatores de produção primários, comandam as demandas finais, apesar de esse não ser o caso para as demandas das famílias por bens, conforme o *linear expenditure system*.

Esse modelo recursivo e dinâmico se fundamenta essencialmente em três mecanismos: i) uma relação de estoque-fluxo entre o investimento e o estoque de capital, que pressupõe uma defasagem de 1 ano; ii) uma relação positiva entre investimento e taxa de lucro; e iii) uma relação entre o crescimento dos salários e a oferta regional do trabalho. De acordo com os autores, é possível construir uma base de previsão que seja plausível para o futuro com esses três mecanismos e também uma segunda previsão de políticas, diferentes apenas porque determinados instrumentos de política podem sofrer um choque para distintos valores em relação a base. E essa discrepância pode ser compreendida com uma consequência de mudanças de políticas. Em complemento, o programa RunDynam³⁷ é utilizado para rodar o TERM-BR, já que foi desenhado para resolver modelos CGE dinâmicos e recursivos.

O módulo de mudanças do uso do solo desenvolvido no modelo TERM-BR consegue captar mudanças do uso do solo em cada estado, e se baseia em imagens de satélite de mudanças do uso do solo ocorridas entre 1994 e 2002. Essa informação é utilizada para diferenciar as áreas empregadas por três diferentes tipos de agricultura: plantações, pastos e florestas; assim como um tipo residual denominado “não-usado”, que consiste basicamente de florestas naturais³⁸. Além disso, o uso regional do solo também é diferenciado por estado e dentro de cada um deles 6 solos ou zonas de vegetação denominados biomas. De acordo com os autores, os dados permitem mostrar quantos hectares do bioma Cerrado no Mato Grosso pertenceu a categoria não-usado em 1994, e também quanto disso em 1994 foi alocado em 2002 em

³⁷ Esse programa está inserido no software de modelagem econômica GEMPACK (Harrison e Pearson, 1996).

³⁸ De acordo com os autores, áreas usadas para cidades e rodovias também estão incluídas nesta categoria “não-usado”, contudo eles são responsáveis apenas por uma pequena parcela desta categoria nos estados, onde acontece o maior desmatamento.

plantações ou, ainda, na categoria não-usado. Dentro desse contexto, os dados compõem uma matriz de transição entre as 4 grandes categorias de mudanças do uso do solo para cada uma das 6 zonas de biomas³⁹.

Os valores observados para as transições para dois estados selecionados na fronteira agrícola brasileira, Amazonas e Mato Grosso, e o total nacional pode ser visto na Tabela 4. A coluna final e total em cada sub-Tabela da Tabela 4 mostra os valores iniciais de mudanças do uso do solo em 1994, ao passo que a linha final e total mostra o ano final de mudanças do uso do solo em 2002. Os números dentro da Tabela mostram a transição observada de um tipo de solo para outro de 1994 a 2002. De acordo com os autores, o padrão de transição é bastante diferente entre estados. No estado do Amazonas, por exemplo, 0,67 milhões de hectares de florestas naturais, na categoria não-usado, foram convertidos diretamente em plantações. No entanto, no estado de Mato Grosso 2,08 milhões de hectares foram convertidos diretamente de florestas em plantações, e 5,88 milhões de hectares de florestas em pastagens. Além disso, nenhuma área de pastagem foi transformada em plantação na Amazônia, enquanto 1,3 milhões de hectares de pastagens se tornaram plantações no Mato Grosso. Pode-se observar em termos nacionais e no total que ocorreu um aumento de 9,2 milhões de hectares em áreas de plantações e de 22,7 milhões em áreas de pastagens no período, sendo que 7,7 milhões de hectares da categoria não-usado foi convertido diretamente em plantações e 25,9 em pastagens.

³⁹ Importante ressaltar que os dados são transformados em variação anual.

Tabela 4 - Matrizes de Transição entre diferentes Usos do Solo, 1994-2002, Milhões ha

TRANS	Agricultura	Pastagem	Floresta Plantada	Não-usada	Total 1994
Amazonas					
Agricultura	0,08	0	0	0	0,08
Pastagem	0	3,68	0	0,07	3,74
Floresta Plantada	0	0	0	0	0
Não-usada	0,04	0,67	0	151,19	151,89
Total 2002	0,12	4,35	0	151,26	155,72
Mato Grosso					
Agricultura	7,95	1,61	0	0,04	9,60
Pastagem	1,30	18,28	0	0,27	19,84
Floresta Plantada	0	0	0	0	0,00
Não-usada	2,08	5,88	0	53,23	61,20
Total 2002	11,33	25,77	0,01	53,53	90,64
Brazil					
Agricultura	97,6	3,2	0,1	0,3	101,1
Pastagem	5,1	171,7	0,1	1,3	178,2
Floresta Plantada	0,1	0,1	5,6	0,0	5,8
Não-usada	7,7	25,9	0,1	531,2	564,9
Total 2002	110,3	200,9	5,9	532,8	850,0

Fonte: Ferreira Filho e Horridge (2015)

Os pesquisadores converteram matrizes de transição em parcelas que mostram probabilidades de Markov, como um determinado hectare de terra usado em um ano para certo uso poderia ter outro uso no ano seguinte. No modelo, essas parcelas de matrizes de Markov determinam os movimentos de terra entre usos, portanto definindo a oferta de terra agrícola em cada ano. Apesar de o modelo ter sido calibrado inicialmente com dados observáveis, as matrizes de Markov são posteriormente alteradas endogenamente durante as simulações, em linha com alterações na unidade média de renda de cada tipo de terra em cada região. As mudanças são determinadas pela seguinte regra:

$$S_{pqr b} = \mu_{pr b} \cdot L_{pqr b} \cdot P_{qr}^{\alpha} \cdot M_{qrb} \quad (5)$$

onde os subscritos r e b denotam região e biomas, respectivamente, $S_{pqr b}$ é a parcela do tipo de terra p que se torna tipo q , $\mu_{pr b}$ é uma variável de ajuste para garantir que $\sum_q S_{pqr b} = 1$, $L_{pqr b}$ é uma constante de calibragem que iguala o valor inicial de $S_{pqr b}$, P_{qr} é a unidade média de renda adquirida pelo tipo de terra q , α é um parâmetro de sensibilidade com

valor atribuído igual a 0,28, em linha com acontecimentos históricos recentes, e M_{qrb} é a variável de mudança com valor inicial igual a 1.

De acordo com a equação 5, se a renda adquirida de plantações cresce em relação a renda adquirida de pastagens, a taxa de conversão de pastagens em plantações também irá aumentar. Os autores mostram que a oferta de terra implicada pela matriz de transição do bioma é somada, sobre biomas, de forma a determinar em cada região e ano a área total de cada tipo de mudança de uso do solo. Neste sentido, o modelo otimiza o total entre diversos usos de plantações e áreas de pecuária de acordo com a seguinte regra:

$$A_{jr} = \lambda_r \cdot K_{jr} \cdot R_{jr}^{0,5} \quad (6)$$

onde A_{jr} é a área de terra destinada para plantações na região r utilizada pela indústria j , e $R_{jr}^{0,5}$ é a renda de uma unidade de terra obtida pela indústria j . Adicionalmente, K_{jr} é a constante de calibragem, ao passo que a variável de preço sombra λ_r se ajusta de maneira tal que:

$$\sum_j A_{jr} = A_r \quad (7)$$

onde A_r é a área predeterminada de cada grande tipo de uso do solo, plantação ou pastagem, por exemplo.

É possível utilizar o modelo para construir uma base de previsão para os futuros estados da economia, ao qual distintos cenários de políticas podem ser confrontados. Novos cenários se distinguem da base de previsão somente por choques em variáveis de políticas econômicas, que produzem desvios em relação a essa base e podem ser compreendidos como consequência de uma alteração de política. Em relação ao fechamento do modelo tem-se a seguinte descrição: a oferta nacional de cada tipo especializado do insumo trabalho cresce conforme projeções divulgadas pelo IBGE⁴⁰. Além disso, diferenciais do salário real inter-regional conduz o movimento do fator trabalho entre regiões. Dentro de cada região, o insumo trabalho de cada tipo especializado flui livremente entre as diferentes atividades. O consumo regional das famílias está vinculado à renda regional proveniente do salário. Em termos nacionais, a balança comercial nominal é endógena, ao passo que o consumo nacional das famílias e do governo se ajustam ao mesmo tempo conforme a restrição externa.

⁴⁰ IBGE significa Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Segundo Ferreira Filho e Horridge (2015), em todos os cenários, as áreas de terra da categoria não-usado, ou seja, floresta natural, são exógenos em cada região. Sendo assim, isso traz como consequência a determinação das taxas de desmatamento de maneira externa. Em adição, as regiões são seccionadas em dois extensos grupos: de fronteira e aquele onde o fator terra está sob restrição, de acordo com a proporções de terra pertencentes à categoria não-usado, ou seja, florestas naturais. Todos os cenários impedem que conversões adicionais de terra da categoria não-usado ocorram em regiões onde há restrição de terra. No cenário base, o desmatamento pode se manter nas regiões de fronteira conforme taxas observadas recentemente, ao passo que em cenários alternativos de políticas o desmatamento é reduzido nas regiões de fronteira. De qualquer maneira, em todos os cenários, o fator de produção terra se aloca endogenamente entre as categorias de uso do solo: plantações, pastagens e florestas plantadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estratégia de Simulação

As diferenças de produtividade na atividade bovina foram calculadas para cada estado e agregação de todo o país, com isso foi viável saber com certa precisão a magnitude do hiato da produtividade da pecuária de acordo com as respectivas localizações, tendo em vista que cada uma delas possui característica político-administrativa própria, distinta dotação de recursos naturais, e desenvolvimento agrícola e econômico particulares. Isso implica, por consequência, que alterações na produtividade da atividade bovina terão impactos específicos em cada estado, de acordo com o tamanho e a concentração dos rebanhos nos estados e biomas, como é possível verificar na Figura logo abaixo.

Figura 4 – Áreas de Pastagens nos Biomas e Estados em 2014

Fonte: LAPIG/IBGE, 2014

As discrepâncias tecnológicas de cada região, mensuradas pelo hiato da produtividade da pecuária, indicam o tamanho da mudança tecnológica necessária para ocorrer uma maior

equalização da produtividade da terra da atividade bovina, de regiões mais produtivas para as menos. Sendo assim, a diferença de tecnologia na pecuária calculada pelo hiato da produtividade foi aplicada na produtividade da terra da atividade bovina, para todos os estados e agregações, pois entende-se que ela é capaz de sintetizar as características tecnológicas do setor ou segmento da economia brasileira. Em outras palavras, foi aplicado um choque na produtividade da terra da pecuária de corte em magnitude correspondente ao tamanho do hiato da produtividade da atividade bovina calculada para cada estado ou agregação do país^{41,42}.

4.2 Impactos Macroeconômicos

As simulações indicam que o fechamento do hiato de produtividade da pecuária pode trazer impactos macroeconômicos de grande magnitude para a economia brasileira para o período que se estende até 2030⁴³. O crescimento percentual acumulado do PIB real em 2030 chega a 3,39 em relação linha de base do modelo, uma diferença expressiva para a produção nacional, conforme se pode verificar na Tabela abaixo. A variação percentual acumulada para o investimento real atinge 14,31; um grande montante, e o maior valor entre todas as variáveis macroeconômicas.

Tabela 5 – Impactos Macroeconômicos	
Variáveis	Variação Percentual Acumulada em 2030
Consumo das Famílias	2,94
Investimento	14,31
Gastos do Governo	2,95
Exportações (Volume)	-4,13
Importações (Volume)	5,56
PIB real	3,39
Emprego	0,00
Salário Real	4,79
Estoque de Capital	4,89

Fonte: Resultados do Modelo

O fechamento do hiato da produtividade da pecuária de corte gerou um grande impacto na economia nacional, dada a magnitude do choque aplicado, desencadeando uma grande elevação no PIB brasileiro, cuja absorção interna cresce de modo acentuado, contribuindo para uma

⁴¹ Os parâmetros de mudança tecnológica ficaram endógenos no modelo.

⁴² Este choque é ratificado pela variação endógena da produtividade total dos fatores na pecuária de corte.

⁴³ Os resultados reportados aqui se referem à simulação do fechamento total do hiato de produtividade da pecuária de corte do Brasil, ou seja, um choque equivalente a 100% do hiato foi aplicado. Como os resultados da simulação são proporcionais e lineares ao choque, uma alteração na magnitude do choque será refletido de modo correspondente nos resultados da simulação; por exemplo, um choque de 50% do hiato da produtividade da pecuária de corte, implica em resultados 50% menores do que um choque de 100%.

valorização do câmbio, um aumento do volume das importações, e uma redução das exportações. Além disso, esse cenário favorece uma alteração na composição dos produtos que compõem a balança comercial, como por exemplo um aumento das exportações de carne, e uma diminuição das exportações da soja em grão.

O consumo das famílias apresentou uma mudança percentual mais suave de 2,94 para o acumulado em 2030, assim como os gastos do governo, com uma alteração de 2,95. De modo surpreendente, o volume das exportações obteve um decréscimo de -4,13; ao passo que as importações tiveram um crescimento percentual acumulado de 5,56 em 2030, portanto pode-se presumir que um aumento da produtividade da pecuária tende a deteriorar o saldo da balança comercial. É interessante notar que o nível de emprego na economia não sofre qualquer alteração, pois se está considerando o pleno emprego no modelo, e o salário real atinge uma elevação percentual de 4,79 até 2030. O estoque de capital apresentou uma variação percentual acumulada positiva de 4,89 para o período.

Os impactos da redução do hiato de produtividade da pecuária foram de grande magnitude sobre a produção agrícola, em especial sobre o setor de bovinos, como era de se esperar, tendo em vista à simulação que foi construída, como se pode notar na Tabela abaixo. O setor de bovinos apresentou um crescimento percentual acumulado em 2030 de 46,4; uma variação positiva muito grande, devido ao choque que foi aplicado no modelo. É interessante notar também que o setor leiteiro obteve um crescimento expressivo de 11,88; um resultado proveniente direta ou indiretamente do aumento de produtividade da pecuária de corte, e da alocação de terras das pastagens, favorecidas nesse cenário. Nesse mesmo direcionamento, observa-se a elevação da produção de suínos, aves e pesca na magnitude de 5,63.

A soja sofreu queda em seu percentual acumulado do ano de 2030 da ordem de -4,42, no entanto o trigo amargou uma redução ainda mais brusca de -9,18, porque essa cultura tradicionalmente produzida no estado do Rio Grande do Sul perdeu espaço para a pecuária, que ganhou acentuadamente em produtividade na região. A cultura do arroz obteve um crescimento percentual acumulado expressivo de 7,37; ao passo que o milho apresentou um resultado mais suave de 1,05. A produção de café teve uma diminuição marcante de -4,09; enquanto a cultura do algodão expandiu em 3,96 e o setor de frutas cítricas cresceu 5,18 em termos percentuais e acumulados em 2030.

Tabela 6 – Impactos sobre a produção setorial e agrícola

Variáveis	Crescimento Percentual Acumulado em 2030
Arroz	7,34
Milho	1,05
Trigo	-9,18
Cana de açúcar	2,75
Soja	-4,42
Outras culturas	-1,3
Mandioca	4,81
Fumo	-1,01
Algodão	3,96
Frutas Cítricas	5,18
Café	-4,09
Florestas e Silvicultura	-4,15
Bovinos	46,4
Leite de vaca	11,88
Suíno, Aves e Pesca	5,63

Fonte: Resultados do Modelo

4.3 Consequências Regionais

A simulação do fechamento do hiato da produtividade da pecuária resultou em um crescimento percentual acumulado em 2030 de 7,27 no PIB real da região norte, que foi a mais favorecida no cenário construído, seguida pelo centro-oeste do país com uma variação positiva acumulada de 6,3 em sua produção real. A região sul apresentou uma elevação percentual acumulada do PIB da ordem de 4,32; magnitude um pouco superior ao obtido pelo Nordeste, de 3,42. O Estado de São Paulo e o resto do Sudeste foram as regiões menos beneficiadas na política executada, e ainda sim detiveram um crescimento percentual acumulado significativo de 2,68 e 1,99 respectivamente.

O investimento real aumentou bastante em todas as regiões dentro do período simulado, especialmente na região sul e centro-oeste, com crescimento percentual acumulado de 17,17 e 17,52. O Estado de São Paulo também atingiu um elevado valor percentual acumulado de investimento real de 15,63; enquanto a região norte e nordeste obtiveram resultados menores, apesar de ainda relevantes, de 10,43 e 12,53 para cada região respectivamente. Importante notar também que o nível agregado de emprego obteve uma variação acumulada percentual em torno de zero em todas as regiões, e logicamente isso não indica uma expansão da quantidade de pessoas ocupadas na economia.

O volume de exportações caiu drasticamente em todas as regiões, com exceção da região sul, que obteve uma variação percentual positiva de 5,54 em 2030, associada a exportações de carnes e óleos. Em contraposição, as exportações do Sudeste se reduziram em -11,12; da região

norte -9,78; do nordeste -6,22; do centro-oeste -6,38; e do Estado de São Paulo -4,62. As importações aumentaram em todas as regiões em montante similar, com pequenas diferenças de impactos, sendo o maior volume de importações do sul do Brasil, com uma oscilação percentual positiva de 6,23, e a menor variação da quantidade de importações da região norte, que chegou a 4,7.

Tabela 7 – Impactos ($\Delta\%$) sobre variáveis macroeconômicas por macrorregião em 2030

Variáveis	Norte	Nordeste	São Paulo	Sudeste	Sul	Centro-oeste
Consumo das Famílias	1,41	2,95	3,28	1,94	4,21	3,29
Investimento	10,43	12,53	15,63	11,03	17,17	17,52
Gastos do Governo	1,41	2,96	3,28	1,94	4,21	3,3
Exportações (Volume)	-9,78	-6,22	-4,62	-11,12	5,54	-6,38
Importações (Volume)	4,7	5,71	5,83	4,81	6,23	5,75
PIB real	7,27	3,42	2,68	1,99	4,32	6,3
Emprego	-0,09	0	0,02	-0,06	0,05	0,05
Salário Real	3,88	4,85	5,01	3,79	5,7	4,92
Estoque de Capital	2,85	4,2	5,59	3,59	5,83	5,78

Fonte: Resultados do Modelo

Ao se examinar os impactos do fechamento do hiato da produtividade da pecuária sobre as variáveis macroeconômicas de cada região, pode-se notar que o estado do Pará e Amapá (a respectiva agregação) são os maiores beneficiados da adoção de uma política desenhada para melhorar a produtividade da atividade bovina, conforme a simulação executada, tendo em vista que eles obtiveram um crescimento percentual acumulado de 11,21 em 2030, um valor de elevada magnitude, como é possível observar na Tabela abaixo. Nesse mesmo direcionamento, o estado de Mato Grosso do Sul atingiu uma variação positiva de 9,59; Mato Grosso 7,52; Tocantins 7,3; e Acre e Rondônia (a respectiva agregação) 7,04.

Tabela 8 – Impactos ($\Delta\%$) sobre variáveis macroeconômicas por estado-agregação em 2030

Estados/ Variáveis	Cons.	Inv.	Gast.	Exp.	Imp.	PIB	Emp.	Sal.	Cap.
AcreRond	-1,59	8,87	-1,59	-2,83	-0,16	7,04	-0,52	1,38	0,71
AmazRor	3,07	11,66	3,07	-8,35	5,84	2,77	0,11	5,03	4,15
ParaAmap	2,08	9,42	2,08	-11,13	4,53	11,21	-0,05	3,95	2,44
Tocantins	-0,14	11,99	-0,14	-2,8	3,04	7,3	-0,54	3,14	2,98
Maranhao	-0,07	9,65	-0,07	-9,31	2,71	3,14	-0,23	2,97	2,2
RestNe	3,77	14,06	3,77	8,65	7,45	3,6	0,1	5,52	4,81
Bahia	2,29	10,83	2,29	-10,62	4,31	3,21	-0,11	4,21	3,66
MinasG	2,46	12,41	2,46	6,31	5,7	2,72	-0,04	4,32	3,96
RestSE	1,58	10,16	1,58	-11,14	4,27	1,48	-0,07	3,41	3,35
SaoPaulo	3,28	15,63	3,28	-4,62	5,83	2,68	0,02	5,01	5,59
Sul	4,21	17,17	4,21	5,54	6,23	4,32	0,05	5,7	5,83
MtGrSul	2,82	16,53	2,82	-5,22	3,71	9,59	-0,07	4,5	4,74
MtGrosso	2,41	15,47	2,41	-10,61	2,34	7,52	-0,14	4,22	4,37
GoiasDF	3,62	18,47	3,62	-16,38	7,57	4,85	0,14	5,33	6,54

Fonte: Resultados do Modelo. Obs.: As abreviações se referem às variáveis da Tabela anterior

As regiões menos favorecidas na simulação foram o resto do Sudeste, com uma variação percentual positiva de apenas 1,48; o estado de São Paulo com resultado de 2,68; Minas Gerais com um valor de 2,72; e os estados do Amazonas e Roraima (a respectiva agregação) obtiveram um crescimento percentual acumulado de 2,77. Ao se desagregar os dados, é possível notar que os resultados regionais não são homogêneos entre os estados que os compõem, pois alguns deles apresentaram desempenho muito expressivo nas simulações, ao passo que outros tiveram performance bem inferior à média da região a qual pertencem. Isso ocorre porque o PIB dos respectivos estados depende menos de produtos semi-industrializados ou *in natura* do que os outros, sendo assim essas regiões não obtêm ganhos muito relevantes da redução do hiato de produtividade.

Ao se reorganizar os estados e as agregações em dois grupos, aqueles situados na região da Amazônia e sua respectiva fronteira, e outros (RestNE, SaoPaulo, RestSE e Sul) localizados fora dessa região, é possível verificar como o fechamento do hiato da produtividade da atividade pecuária impacta a produção dos diversos segmentos do setor agrícola, como se pode observar na Tabela abaixo. O enorme aumento da produção bovina se concentrou essencialmente na região situada fora da Amazônia e de sua fronteira, com uma variação percentual acumulada de 96,75; enquanto as áreas localizadas no perímetro da floresta amazônia e suas proximidades obtiveram um crescimento de 29,26 no período simulado.

Tabela 9 – Impactos ($\Delta\%$) sobre produção agrícola⁴⁴

Segmentos	FRONTEIRA	TRADICIONAL
ArrozCasca	11,19	4,87
MilhoGrao	0,67	1,71
TrigoOutCere	-5,94	-9,37
CanaDeAcucar	4,82	2,26
SojaGrao	-3,5	-6,89
OutPrServLav	0,28	-2,37
Mandioca	5,96	2,87
FumoFolha	5,22	-1,08
AlgodHerb	4,03	-1,02
FrutasCitric	7,03	4,65
CafeGrao	-3,53	-5,41
ExplFlorSilv	-2,4	-5,41
BovOutrAnim	29,26	96,75
LeitVacOuAni	13,12	5,93

Fonte: Resultados do Modelo

Situação oposta ocorre com a produção de leite, que apresentou uma variação percentual acumulada de 13,12 na região FRONTEIRA, onde sua produção é pequena, e 5,93 na outra área, pouco menos da metade do valor encontrado para a região da Amazônia. Interessante notar que a produção de soja sofre uma queda mais forte em TRADICIONAL, de -6,89, enquanto a redução na região da floresta amazônia e sua respectiva fronteira atinge -3,5. A cultura da cana-de-açúcar expande sua produção em 4,82 na região FRONTEIRA, e apenas 2,26 nas áreas tradicionais de agricultura, em TRADICIONAL. A produção de arroz aumenta significativamente na região da Amazônia, em 11,19; e 4,87 nos campos fora da região amazônica.

4.4 Implicações Microeconômicas

A mudança de produtividade da terra para todos os segmentos do setor agrícola pode ser verificada na Tabela abaixo, com forte destaque para as elevadas variações percentuais positivas da atividade bovina, como era de se esperar, tendo em vista que os choques de mudança tecnológica foram aplicados sobre a produtividade da terra da pecuária. É importante ressaltar ainda que a produtividade da terra é uma medida de produtividade parcial, e quando alterada, tem consequências sobre a substituição dos fatores de produção. Ainda assim, foi possível observar uma variação percentual positiva extremamente alta para a região Sul, com

⁴⁴ FRONTEIRA = Região da Amazônia e sua respectiva fronteira; TRADICIONAL = RestNE, SaoPaulo, RestSE e Sul.

um valor de 217,72; lembrando que o hiato de produtividade da pecuária é muito grande para esta macrorregião. O estado de São Paulo apresentou na simulação uma acentuada variação percentual acumulada de 111,22 para a atividade bovina em 2030, também possui um enorme hiato de produtividade da pecuária, em linha com o caso anterior.

Importante ressaltar que todos os segmentos do setor agrícola sofreram retração percentual acumulada na produtividade da terra em 2030 no Centro-oeste do país na simulação, uma região chave para o agronegócio brasileiro. Em especial, a soja apresentou uma queda significativa de -5,23 na produtividade da terra; resultado surpreendente, já que ela é um dos principais produtos agrícolas da região e do país, pois está entre os mais exportados, com capacidade de arrecadar altos volumes de receita. Nesse mesmo direcionamento, o milho obteve uma variação percentual acumulada em sua produtividade da terra da ordem de -5,19; e a cana-de-açúcar um valor de -4,23; outra importante cultura agrícola da respectiva macrorregião.

Tabela 10 – Mudança percentual da produtividade da terra por Macrorregião em 2030

Segmentos	Norte	Nordeste	SP	RJ, ES, MG	Sul	Centro-oeste
ArrozCasca	0,75	0,57	0,20	-0,69	0,23	-0,53
MilhoGrao	-3,22	-1,46	0,22	-1,12	-0,41	-5,19
TrigoOutCere	-2,41	-1,44	-3,32	-2,37	-3,96	-8,69
CanaDeAcucar	3,82	0,70	0,45	-0,80	0,42	-4,23
SojaGrao	-4,81	-3,19	-1,87	-2,33	-2,58	-5,23
OutPrServLav	-1,26	-1,27	-0,97	-1,65	-1,43	-3,13
Mandioca	0,59	0,07	0,33	-0,44	-0,03	-4,31
FumoFolha	-0,15	0,40	-0,47	-0,64	-1,25	-3,08
AlgodHerb	0,60	-0,95	-0,30	-0,41	-1,35	-2,79
FrutasCitric	1,00	0,73	1,23	-0,25	0,37	-0,85
CafeGrao	-2,44	-2,55	-1,98	-2,59	-2,53	-4,80
ExplFlorSilv	-0,74	-2,59	-6,72	-3,59	-5,27	-3,85
BovOutrAnim	73,06	39,27	111,22	46,71	217,72	28,10
LeitVacOuAni	-1,68	-3,34	-0,90	-1,12	-0,45	-1,39

Fonte: Resultados da Simulação

Os resultados para o estado de São Paulo não seguiram uma tendência geral como no caso do centro-oeste, pois algumas culturas tiveram uma diminuição percentual acumulada de suas produtividades da terra (como, trigo: -3,32; soja: -1,87; café: -1,98), enquanto outras (como, frutas cítricas: 1,23; cana-de-açúcar: 0,45) obtiveram variações positivas. De modo similar, a região norte apresentou diferentes valores para os segmentos agrícolas, sendo importante realçar a queda acentuada da soja em -4,81 e a expansão da cana-de-açúcar em 3,82 na simulação executada.

É fundamental realçar que a produtividade da terra é determinada pela variação da produção e pela variação da área de cada cultura; sofrendo um processo de intensificação (mais tecnologia, menos terra) quando ocorre um aumento da produção na mesma extensão de área ou, até mesmo, em uma área menor; e um processo inverso, quando há menos tecnologia e mais terra. O choque na produtividade da terra da pecuária produz um cenário de intensificação da atividade bovina no Brasil.

O fechamento do hiato da produtividade da pecuária tem importantes impactos sobre o preço de arrendamento da terra em todos os tipos de uso do solo e por todo o Brasil. Tendo em vista que o foco da análise é atividade bovina, nada mais natural do que começar a verificar o comportamento dos preços para as pastagens, que obtiveram drásticas reduções em todas as regiões, com exceção da sul do país, onde diminuição percentual acumulada em 2030 foi de -3,43. Nas áreas de pastagens, as variações de todos os outros estados foram negativas e acima de dois dígitos, como se pode perceber na Tabela logo abaixo.

Tabela 11 – Impactos ($\Delta\%$) sobre o preço de arrendamento da terra por Estado

Estados	Agricultura	Pastagens	Floresta Plantada
AcreRond	-5,8	-59,62	4,38
AmazRor	6,02	-41,76	-2,53
ParaAmap	1,33	-27,62	-2,1
Tocantins	-4,56	-64,94	-5,3
Maranhao	-5,91	-65,47	6,6
RestNe	5,23	-54,77	-5,98
Bahia	-7,59	-55,89	-11,61
MinasG	-7,88	-26,03	-12,47
RestSE	-3,36	-30,78	-9,83
SaoPaulo	4,32	-24,85	-22,49
Sul	-2,28	-3,43	-17,23
MtGrSul	-34,43	-62,91	-18,33
MtGrosso	-12,35	-55,08	3,22
GoiasDF	-11,61	-42,77	-4,72

Fonte: Resultados da Simulação

Os maiores impactos sobre o preço de arrendamento da terra ocorreram nos Estados do Maranhão (com variação percentual acumulada de -65,47), Tocantins (variação de -64,94), Mato Grosso do Sul (com -62,91) e a agregação de Acre com Rondônia (AcreRond, com um valor de -59,62), estados situados na região amazônica e em sua respectiva fronteira. As menores variações percentuais acumuladas aconteceram no Sul, como ressaltado anteriormente, São Paulo (variação de -24,85), Minas Gerais (-26,03), e resto do Sudeste (-30,78), estados

localizados distantes da Amazônia; a única exceção foi a agregação ParaAmap (Estados do Pará e Amapá, com variação de -27,62), que está situado na Amazônia.

No caso da agricultura, percebe-se que ocorreram reduções do preço de arrendamento da terra para a maioria das culturas, devido à liberação de terra pela pecuária, no entanto essas diminuições foram mais suaves do que aquelas da pecuária, onde o choque da melhoria de produtividade foi aplicado. As variações percentuais acumuladas mais expressivas se concentraram na região centro-oeste (Mato Grosso do Sul, com -34,43%; Mato Grosso, com -12,35%; e GoiásDF, com -11,61%), ao passo que as menores variações de preço aconteceram no sul do país (-2,28%), resto do Sudeste (-3,36%). Os preços de arrendamento das áreas de agricultura tiveram ainda oscilações percentuais acumuladas positivas em algumas localizações (SP: 4,32%; RestNe: 5,23%; AmazRor: 6,02%).

Ao se reconfigurar os dados em apenas duas agregações distintas, como realizado anteriormente, conforme Tabela abaixo, pode-se notar que as variações percentuais acumuladas foram negativas para todos os tipos de uso do solo em todas as duas agregações (com exceção da agricultura em TRADICIONAL, que teve um valor próximo de zero, de 0,10). Interessante observar que o preço de arrendamento da terra destinada a pastagens cai drasticamente para -45,34% na região FRONTEIRA em 2030, e -18,94% na região TRADICIONAL. De modo similar, a variação percentual acumulada do preço de arrendamento da terra para agricultura na região FRONTEIRA também diminui para -10,44; impacto mais suave do que na outra região, apesar de ainda ser de magnitude considerável.

Tabela 12 – Impactos ($\Delta\%$) sobre o preço de arrendamento da terra por agregação			
Agregações	Agricultura	Pastagens	Floresta Plantada
FRONTEIRA	-10,44	-45,34	-2,94
TRADICIONAL	0,10	-18,94	-16,64

Fonte: Resultados da Simulação

Os impactos do fechamento do hiato da produtividade sobre a cobertura e uso do solo podem ser visualizados na Tabela abaixo, onde constam as variações das áreas em milhões de hectares. Interessante notar que a área utilizada pela atividade bovina diminuiu fortemente em FRONTEIRA, região onde estão situados os biomas da Amazônia e do Cerrado, com uma queda acumulada de -9,10 em 2030. O mesmo também aconteceu na região TRADICIONAL, onde não há mais possibilidade de expansão de fronteira agrícola, contudo a redução da área de pecuária nessa localização foi muito pequena, da ordem de -0,83.

Tabela 13 – Impactos ($\Delta\%$) sobre áreas em milhões de hectares

Segmentos	FRONTEIRA	TRADICIONAL
ArrozCasca	0,37	0,10
MilhoGrao	0,60	0,18
TrigoOutCere	0,00	-0,08
CanaDeAcucar	0,27	0,17
SojaGrao	1,06	-0,41
OutPrServLav	0,21	-0,01
Mandioca	0,14	0,02
FumoFolha	0,00	0,01
AlgodHerb	0,14	0,00
FrutasCitric	0,03	0,04
CafeGrao	-0,01	-0,03
ExplFlorSilv	0,00	0,00
BovOutrAnim	-9,10	-0,83
LeitVacOuAni	3,66	0,83
Florestas Naturais	2,63	0,00

Fonte: Resultados da Simulação

Pode-se notar que a redução do uso do solo com atividade bovina foi compensada por um aumento de 2,63 milhões de hectares na categoria Florestas Plantadas na região FRONTEIRA, evidência que indica a liberação de áreas de pecuária para expansão florestal, resultado empírico em linha com os objetivos traçados nessa pesquisa e conforme as possibilidades levantadas pela literatura científica. Observa-se também que ocorre uma expansão da área agrícola em FRONTEIRA para alguns tipos de produção (leite: 3,66%; soja: 1,06%; cana-de-açúcar: 0,27%; milho: 0,60%; arroz: 0,37%), portanto uma parcela da área de pecuária é destinada a produção agrícola, evidência que corrobora a hipótese de que o aumento da produtividade da pecuária também contribui para maior produção de alimentos⁴⁵.

Essa mesma clareza de resultados não ocorre na área TRADICIONAL, pois os valores encontrados na simulação estão mais difusos e sem um padrão mais delineado e estabelecido. Ainda assim, é relevante realçar que a redução da área de gado corresponde a um aumento igual na área com atividade leiteira, e que a área de produção de soja diminui -0,41 milhões de hectares em 2030, ao passo que a área de cana-de-açúcar (0,17), milho (0,18) e arroz (0,10) crescem nas simulações, enquanto a extensão de florestas naturais permanece inalterada. Com isso, é possível concluir que o fechamento do hiato da produtividade da pecuária é capaz de liberar terras para áreas de produção agrícola na região TRADICIONAL, entretanto essa política não tem nenhuma consequência sobre a extensão das florestas naturais nesse território,

⁴⁵ Essa análise também poderia ter sido realizada por Estados (Agregações) ou Biomas, no entanto optou-se aqui por focar em valores mais abrangentes, privilegiando-se assim o resultado geral proveniente da simulação de uma política desenhada para o fechamento do hiato da produtividade na pecuária.

tendo em vista que a fronteira agrícola nessa região está bem delimitada e monitorada, e já não havia desmatamento na base do modelo.

Pode-se perceber pelas análises anteriores que o fechamento do hiato da produtividade da pecuária tem um enorme potencial para liberar terras que podem evitar o desmatamento futuro e, portanto, abater a quantidade de gases do efeito estufa da economia brasileira, sendo assim é oportuno estender a pesquisa e estudar essa questão, já que o modelo TERM-BR permite fazer avaliação de emissões por mudanças do uso do solo. É essencial realçar que apesar da redução da área utilizada pela pecuária, compensada pela expansão das florestas, a produção de bovino cresceu devido à melhoria da produtividade, e isso teve como consequência o aumento de 45,85 das emissões desse segmento agrícola em termos de variação percentual acumulada em 2030.

Tabela 14 – Emissões por usuário	
Segmentos	Variação Percentual Acumulada em 2030
ArrozCasca	7,35
MilhoGrao	0,99
TrigoOutCere	-9,18
CanaDeAcucar	2,79
SojaGrao	-4,41
OutPrServLav	-1,29
Mandioca	4,83
FumoFolha	-0,99
AlgodHerb	3,97
FrutasCitric	5,20
CafeGrao	-4,08
ExplFlorSilv	-4,15
BovOutrAnim	45,85
LeitVacOuAni	11,85

Fonte: Resultados da Simulação

As emissões associadas à produção de leite também tiveram uma variação percentual acumulada positiva em 2030 de 11,85; em linha com o aumento de sua produção, conforme avaliado anteriormente. A soja teve uma redução considerável de suas emissões em -4,41; assim como o café que obteve uma queda de -4,08 para o período simulado. Em contraste, o arroz apresentou uma variação percentual acumulada de 7,35; o milho um crescimento de suas emissões em 0,99; a cana-de-açúcar um valor de 2,79; e as frutas cítricas uma magnitude de 5,20. É importante lembrar que essa análise raramente é levada em consideração quando referências são geralmente feitas em relação à possibilidade de o aumento de produtividade da pecuária poder liberar terra para expansão das áreas de floresta.

O total de emissões por fontes de emissão pode ser verificado na Tabela logo abaixo, onde se pode observar as emissões de modo agregado, e fazer uma análise dos impactos do fechamento do hiato da produtividade da pecuária sobre a economia brasileira de maneira mais abrangente. Nota-se rapidamente que as emissões de provenientes de mudanças do uso do solo (LUC) sofrem uma drástica queda de -19,12 em termos de variação percentual acumulada em 2030, em linha com os argumentos de que a elevação da produtividade da pecuária pode evitar o desmatamento futuro.

Tabela 15 – Total de emissões por fontes de emissão	
Fontes	Variação Percentual Acumulada em 2030
Mineracao	-1,37
Gasolina	-3,12
Gasoalcool	3,07
OleoCombGas	1,57
OleoDiesel	0,42
Petroquimic	1,03
Atividade	27,27
LUC	-19,12

Fonte: Resultados da Simulação

As emissões da atividade produtiva dos setores econômicos tiveram um crescimento percentual acumulado de 27,27 em 2030, sendo que o segmento com maior peso dentro do setor agrícola foi a atividade bovina e leiteira, como mostrado anteriormente. As emissões provenientes de fontes de uso de combustíveis sofrem pequenas alterações em comparação com as duas últimas fontes mencionadas. As emissões de gasolina pura reduziram -3,12 em termos de variação percentual acumulada em 2030, enquanto a gasolina misturada com álcool apresentou um aumento de 3,07 no período simulado.

O total de emissões por fontes de emissão também pode ser avaliado em termos acumulados no período que se estende até o ano de 2030 de acordo com variações por GgCO₂eq. em relação à linha de base, conforme a Tabela abaixo. Interessante notar que as emissões acumuladas provenientes de mudanças do uso do solo (LUC) caem drasticamente com o fechamento do hiato de produtividade da pecuária nesse intervalo de tempo e chegam a -37259,50 GgCO₂eq., como era de se esperar, pois a redução da necessidade de terras para pastagem, libera área para a agricultura e alivia a pressão do desmatamento sobre as florestas.

Tabela 16 – Total de emissões por fontes de emissão

Fontes	Emissões acumuladas em 2030 (Variações do baseline, GgCO ₂ eq.)
Mineracao	-3502,53
Gasolina	-2691,81
Gasoalcool	662,89
OleoCombGas	826,14
OleoDiesel	825,40
Petroquimic	286,96
Atividade	197576,31
LUC	-37259,50
Total	156723,86

Fonte: Resultados da Simulação

As variações das emissões acumuladas da mineração foram de -3502,53 GgCO₂eq. em 2030 em relação à linha de base, magnitude muito próxima das variações das emissões da gasolina pura como fonte de emissão, que atingiu -2691,81 GgCO₂eq. .No entanto, a fonte “Atividade” que considera os segmentos produtivos da economia apresentou a maior variação acumulada de emissões, um montante de 197576,31 GgCO₂eq. em 2030, que impactou fortemente o resultado geral das emissões brasileiras, com um total de 156723,36 GgCO₂eq. para a simulação da redução do hiato da produtividade da pecuária.

Tradicionalmente, as emissões provenientes do desmatamento predominaram as discussões brasileiras sobre políticas climáticas, e um dos argumentos teóricos apresentados como possível solução para essa questão era de que a intensificação da pecuária poderia mudar esse cenário ao reduzir consideravelmente as emissões de CO₂eq. da economia. Entretanto, esse exercício computacional mostra que apesar da redução das emissões de mudanças do uso do solo, a simulação do fechamento do hiato da produtividade da pecuária também gerou incrementos significativos nas emissões do segmento “Atividade”, principal explicação para o aumento das emissões totais acumuladas do país.

5 CONCLUSÃO

O fechamento do hiato da produtividade da pecuária impactou positivamente o produto interno bruto brasileiro na simulação executada nesse estudo, gerando uma variação percentual acumulada de 3,39 em 2030. Isso, contudo, ocorreu concomitantemente com uma deterioração do saldo da balança comercial, pois o volume das exportações diminuiu significativamente em -4,13 no período simulado, enquanto a quantidade de importações aumentou em 5,56. Pode-se esperar que uma forte elevação da produtividade da pecuária gere um aumento do PIB do país, entretanto surpreende o fato de que a melhoria da produtividade da atividade bovina tende a reduzir o volume de exportações e ampliar as importações, pois pode-se presumir que um aumento de produtividade contribua para ganhos de competitividade e alavanque a atividade bovina e seus subprodutos no plano internacional.

Em termos regionais, o maior impacto positivo aconteceu no produto interno bruto da região norte, com um crescimento percentual acumulado de 7,72; onde a atividade bovina tem se expandido nos últimos anos. E o segundo maior impacto ocorreu na região centro-oeste, também uma região onde a criação de gado possui uma grande tradição e a fronteira agrícola ainda não está bem consolidada, com uma variação positiva acumulada de 6,3 de seu PIB. As regiões menos favorecidas na simulação foram o Estado de São Paulo e o resto do Sudeste, com um crescimento percentual acumulado significativo de 2,68 e 1,99 respectivamente, locais onde a pecuária está reduzindo presença e as áreas agrícolas e florestais estão bem definidas e desenhadas.

O crescimento do produto interno bruto brasileiro ocorreu acompanhado de um aumento das importações em todas as regiões em magnitude semelhante, com o Sul apresentando a maior variação percentual acumulada, enquanto o Norte obteve a menor elevação de importações. Em contraste, o volume de exportações reduziu significativamente em todo o país, menos na região sul, sendo que queda no Sudeste foi muito acentuada, em -11,12, assim como na região norte, com -9,78. Como realçado anteriormente, a melhoria de produtividade da atividade bovina pode beneficiar fortemente o setor da pecuária, mas não necessariamente trará ganhos de competitividade para o conjunto dos produtos de exportação do Brasil, conforme se pode notar pela diminuição do volume das exportações.

A pesquisa foi capaz de averiguar os possíveis impactos na produção agrícola das principais culturas do país, separados entre a região onde estão situados os biomas da Amazônia e do cerrado, denominada aqui FRONTEIRA, e a região formada pelo resto do país, designada TRADICIONAL. O fechamento do hiato da produtividade da pecuária resultou em um expressivo aumento da produção bovina, concentrado principalmente fora da Amazônia e de

sua fronteira, com um crescimento acumulado no período de 96,75; ao passo que nas outras regiões a variação percentual acumulada foi de 29,26 em 2030.

Em geral, a maioria dos principais produtos agrícolas apresentou crescimento positivo significativo em 2030 na região FRONTEIRA, com exceção da produção de soja e produtos florestais, ao passo que em TRADICIONAL os resultados foram mais difusos e apenas metade dos segmentos agrícolas obtiveram variação percentual acumulada positiva. É interessante destacar que a produção de soja teve uma acentuada redução em TRADICIONAL, e uma diminuição menor nas outras regiões. A cultura da cana-de-açúcar aumentou 4,82 na região da amazônia e cerrado, e 2,26 nas outras regiões; a produção de arroz expandiu fortemente em FRONTEIRA, e menos em TRADICIONAL; já a produção de leite obteve uma forte variação percentual acumulada de 13,12 na região da amazônia e menos da metade desse valor em TRADICIONAL.

O aumento da produtividade da atividade bovina diminui a demanda por terra para a pecuária, já que propicia maior produção em áreas menores, com impactos sobre o nível dos preços de arrendamento da terra, que reduz -45,34 nas pastagens em FRONTEIRA e -18,94 em TRADICIONAL; e -10,44 nas terras de agricultura em FRONTEIRA. A redução do hiato da produtividade da pecuária também tem consequências sobre a cobertura e uso do solo, tendo em vista que a simulação apontou que a área empregada pela atividade bovina se reduz em FRONTEIRA (localização da Amazônia e Cerrado), com uma variação negativa percentual acumulada de -9,10 em 2030; e apenas -0,83 em TRADICIONAL, onde não a fronteira agrícola já está consolidada.

Na região FRONTEIRA, observou-se que deixaram de ser utilizadas com a atividade bovina foram realocadas na categoria TRADICIONAL (onde estão áreas de florestas naturais), com uma elevação de 2,63 milhões de hectares, resultado que reforça a ideia de liberação de áreas de pecuária para recomposição das florestas, conforme os objetivos propostos nesse trabalho e a hipótese sugerida pela literatura científica. Além disso, uma parcela da área liberada pela pecuária foi direcionada para a produção agrícola no resultado da simulação, propiciando maior produção de alimentos, que seria alavancada pelo aumento da produtividade da pecuária.

Na categoria TRADICIONAL, os números finais gerados na simulação não seguem uma tendência geral explícita e bem estruturada, mas valores heterogêneos e assimétricos. Por exemplo, a diminuição da área de gado implicou em um igual incremento na área com atividade leiteira, no entanto houve uma redução de -0,41 milhões de hectares na quantidade de terras para produção de soja, um aumento na área de cana-de-açúcar (0,17), milho (0,18) e arroz (0,10); ao passo que o uso do solo com florestas permaneceu constante. Ainda assim, pode-se

inferir que o fechamento do hiato da produtividade da pecuária propicia a liberação de terras para áreas de produção agrícola na região TRADICIONAL, apesar de isso não ter nenhum impacto sobre a quantidade de florestas naturais nesse território, lembrando que a fronteira agrícola nessa agregação já está consolidada.

As terras liberadas pela redução do hiato da produtividade da pecuária tendem a ser alocadas parcialmente em áreas de floresta (especificamente em FRONTEIRA), que se ampliaram nas simulações realizadas, abatendo emissões de gases do efeito estufa da economia brasileira. No entanto, a melhoria da produtividade da pecuária aumentou a produção bovina e isso consequentemente implicou em elevação das emissões desse segmento agrícola. Tal análise também pode ser estendida de modo pormenorizado para os demais segmentos do setor agrícola, o que é raramente levado em consideração no debate em torno da capacidade da elevação da produtividade da pecuária em liberar terra para florestas.

Em termos agregados, pode-se verificar que as emissões geradas por mudanças do uso do solo (LUC) foram reduzidas expressivamente em -19,12 em termos de variação percentual acumulada em 2030, reforçando a hipótese de que a política de aumento de produtividade da pecuária tem a capacidade de liberar terras para florestas e de reduzir a pressão sobre áreas de reflorestamento. No entanto, no cenário simulado, as emissões da atividade produtiva dos setores econômicos tiveram um crescimento percentual acumulado de 27,27 em 2030, e os segmentos com maior contribuição dentro do setor agrícola foram a pecuária e a atividade leiteira.

O total de emissões por fontes de emissão mostrou que as mudanças do uso do solo (LUC) tiveram uma drástica redução acumulada de -37259,50 GgCO₂eq. no período simulado, devido à liberação de terras da pecuária para florestas. Em contraste, a fonte “Atividade” que resume os segmentos produtivos da economia gerou uma quantidade de 197576,31 GgCO₂eq. em 2030, com importante implicação para o total geral das emissões brasileiras, que teve uma variação acumulada de 156723,36 GgCO₂eq. em relação à linha de base. A estratégia de intensificação da pecuária brasileira é apresentada como uma solução para as emissões dos setores agrícola e florestal, e de fato isso tem potencial de ocorrer, como esse exercício computacional demonstrou, porém o mesmo não acontece com as emissões totais da economia.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2015.

BORLAUG, N. Feeding a hungry world. **Science**, p. 318-359, 2007.

BYERLEE, D. Technical change, productivity, and sustainability in irrigated cropping systems of South Asia: emerging issues in the post-green revolution era. **Journal of International Development**, v. 4, p. 477–496, 1992.

CGIAR. Will agricultural intensification save our natural ecosystems from farmer invasion? Disponível em: <<https://wle.cgiar.org/thrive/2012/10/02/borlaug-dilemma>>. Acesso em: 2 de out. 2012.

COHN, A.S. et al. Cattle ranching intensification in Brazil can reduce global greenhouse gas emissions by sparing land from deforestation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 20, p. 7236-7241, maio 2014.

CONNOR D.J.; LOOMIS R.S.; CASSMAN K.G. **Crop ecology**: productivity and management in agricultural systems. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2011.

DE OLIVEIRA SILVA, R. et al. Increasing Beef Production Could Lower Greenhouse Gas Emissions in Brazil if Decoupled From Deforestation. **Nature Climate Change**, v. 6, p. 493–497, jan. 2016.

DIAS, L. C. P. et al. Patterns of land use, extensification, and intensification of Brazilian agriculture. **Global Change Biology**, p. 1-16, 2016.

DINIZ, T. B. **Impactos socioeconômicos do Código Florestal Brasileiro: uma discussão à luz de um modelo computável de equilíbrio geral**. 2012. 113 p. Tese (Mestrado em Ciências, Economia Aplicada) – Universidade de São Paulo/ESALQ, Piracicaba, 2012.

DIXON, P. et al. **ORANI: A Multisectoral Model of the Australian Economy**. Amsterdam: North-Holland, 1982.

DIXON, P.; PARMENTER, B.; VINCENT, D. Regional Developments in the ORANI Model. In: SHARPE, R. (Ed.). **Papers of the Meeting of the Australian and New Zealand**, Section Regional Science Association, Third Meeting. Monash University, 1978.

DIXON, P., RIMMER, M. **Dynamic general equilibrium modelling for forecasting and policy: a practical guide and documentation of MONASH**. Amsterdam: North-Holland, 2002.

EVANS, L.T. **Crop evolution, adaptation and yield**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1993.

EVANS, L.T.; FISCHER, R.A. Yield potential: its definition, measurement and significance. **Crop Science**, v. 34, p. 1544–1551, 1999.

FERREIRA FILHO, J.B.S.; M. HORRIDGE. Ethanol Expansion and Indirect Land-use Change in Brazil. **Land Use Policy**, n. 36, p. 595–604, 2014.

FERREIRA FILHO, J.B.S.; RIBERA, L.; HORRIDGE, M. Deforestation control and agricultural supply in Brazil. **American Journal of Agricultural Economics**, n. 97, p. 589–601, 2015.

FISCHER, R. A.; BYERLEE, D; EDMEADES, G.O. 2014. **Crop yields and global food security**: will yield increase continue to feed the world? Monograph No. 158. Australia, Canberra: ACIAR, Australian Centre for International Agricultural Research, 2014. 634 p.

GLOBAL TRADE ANALYSIS PROJECT (GTAP). **Global trade, assistance and production**: the GTAP 8 database. Purdue: Purdue University, Center for Global Trade Analysis, 2008.

GOULART, F. F. et al. Emissions from cattle farming in Brazil. **Nature Climate Change**, v. 6, p. 893–894, oct. 2016a.

GOULART, F. F.; BARIONI, L.G.; MORAN, D. Reply to emissions from cattle farming in Brazil. **Nature Climate Change**, v. 6, p. 894, oct. 2016b.

HARRISON, W.J., PEARSON, K.R. Computing solutions for large general equilibrium models using GEMPACK. **Computational Economics**, n. 9, p. 83–127, 1996.

HORRIDGE, M. The TERM Model and Its Database. In: Wittwer G. (Ed.). **Economic Modeling of Water**. Global Issues in Water Policy, Dordrecht: Springer, v.3, 2012.

HORRIDGE, J.M.; MADDEN, J.R.; G. WITWER G. The impact of the 2002-03 drought on Australia. **Journal of Policy Modeling**, v. 27/3, p. 285-308, 2005.

LABORATÓRIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS E GEOPROCESSAMENTO (LAPIG). Radiografia das pastagens do Brasil. Goiânia: Universidade Federal de Goiânia; Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, 2014. 110 p. Relatório final do projeto de pesquisa.

MARTHA, G. B.; ALVES, E; CONTINI, E. Land-saving approaches and beef production growth in Brazil. **Agricultural Systems**, v. 110, p. 173–177, maio 2012.

MAYBERRY, D. et al. Yield gap analyses to estimate attainable bovine milk yields and evaluate options to increase production in Ethiopia and India. **Agricultural Systems**, v. 155, p. 43–51, Apr. 2017.

MCMANUS, C. et al. Dynamics of Cattle Production in Brazil. **PLoS ONE**, 2016.

MERRY, F.; SOARES-FILHO, B. Will intensification of beef production deliver conservation outcomes in the Brazilian Amazon? **Elementa Science Anthropocene**, v. 5, n. 24, 2017.

MORAES, G. I. **Efeitos econômicos de cenários de mudança climática na agricultura brasileira**: um exercício a partir de um modelo de equilíbrio geral computável. 2010. 267 p. Tese (Doutorado em Ciências, Economia Aplicada) – Universidade de São Paulo/ESALQ, Piracicaba, 2010.

SANTOS, J. A. **Impactos na economia brasileira, pela substituição dos combustíveis fósseis por etanol e biodiesel, no período de 2010 a 2030**. 2013. 111 p. Tese (Doutorado em Ciências, Economia Aplicada) – Universidade de São Paulo/ESALQ, Piracicaba, 2013.

SEO, S. A. **Review and Comparison of Methods for Detecting Outliers in Univariate Data Sets**. 2006. 59 p. Thesis (Master of Science, Graduate School of Public Health) – University of Pittsburgh, Estados Unidos, 2006.

SIKKEMA, A. Yield gap analysis for livestock too. Disponível em: <<http://resource.wur.nl/en/show/Yield-gap-analyses-for-livestock-too-.htm>>. Acesso em: 07 nov. 2017.

SILVA, D. I. **Impactos dos programas de transferência de renda Benefício de Prestação Continuada (BPC) e Bolsa Família sobre a economia brasileira**: uma análise de equilíbrio geral. 2014. 110 p. Tese (Mestrado em Ciências, Economia Aplicada) – Universidade de São Paulo/ESALQ, Piracicaba, 2014.

SOARES-FILHO, B. et al. Cracking Brazil's Forest Code. **Science**, p. 363–364, 2014.

SPAROVEK, G. et al. Asymmetries of cattle and crop productivity and efficiency during Brazil's agricultural expansion from 1975 to 2006. **Elementa Science Anthropocene**, v. 6, n. 25, 2018.

SPAROVEK, G., et al. A revisão do Código Florestal brasileiro. **Novos Estudos**, São Paulo, n. 89, p. 181-205, 2011.

SPAROVEK, G., et al. A Brazilian Agriculture and Environmental legislation: Status and Future Challenges. **Environmental Science & Technology**, Iowa City, v. 44, n. 16, p. 6046-6053, 2010.

STERN, NICOLAS. Stern Review on the Economics of Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2006.

TOURINHO, O.A.F; KUME, H.; PEDROSO, A.C.S. Elasticidades de Armington para o Brasil: 1986-2002, novas estimativas. Rio de Janeiro: IPEA, 2003. 22p. (Texto para discussão).

VALE, P.M. The conservation versus production trade-off: does livestock intensification increase deforestation? The case of the Brazilian Amazon. Fondazione Eni Enrico Mattei. NOTA DI LAVORO. 2015. 37 p.

VALENTIM, J.F.; ANDRADE, C.M.S. Amazônia: Ci. & Desenv., Belém, v. 4, n. 8, jan./jun. 2009.

VAN DE VEN, G.W.J. et al. Concepts in production ecology for analysis and design of animal and plant–animal production systems. **Agricultural Systems**, v. 76, p. 507–525, 2003.

VAN DER LINDEN, A. et al. A framework for quantitative analysis of livestock systems using theoretical concepts of production ecology. **Agricultural Systems**, v. 139, p. 100–109, 2015.

VAN ITTERSUM M. K.; RABBINGE, R. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input–output combinations. **Field Crops Research**, p. 197–208, 1997.