



MODELAGEM DO SETOR AGROPECUÁRIO DENTRO DE MODELO DE
ANÁLISE INTEGRADA BRASILEIRO

Gerd Brantes Angelkorte

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Planejamento Energético.

Orientadores: Alexandre Salem Szklo

Alexandre de Carvalho Koberle

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2019

MODELAGEM DO SETOR AGROPECUÁRIO DENTRO DE MODELO DE
ANÁLISE INTEGRADA BRASILEIRO

Gerd Brantes Angelkorte

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Examinada por:

Prof. Alexandre Salem Szklo, D.Sc.

Dr. Alexandre de Carvalho Koberle, D.Sc.

Prof. Pedro Rua Rodriguez Rochedo, D.Sc.

Prof. Angelo Costa Gurgel, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
FEVEREIRO DE 2019

Angelkorte, Gerd Brantes

Modelagem do Setor Agropecuário Dentro de Modelo de Análise Integrada Brasileiro/ Gerd Brantes Angelkorte – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019.

XIV, 123 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Alexandre Salem Szklo

Alexandre de Carvalho Koberle

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 109-122.

1. Modelagem Integrada. 2. Uso do Solo. 3. Mudanças Climáticas. I. Szklo, Alexandre Salem *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

Minha amada esposa Hannah Caldeira Angelkorte por todo apoio,
carinho e dedicação ao longo de tantos
anos que passamos juntos.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, Nossa Senhora, Jesus Cristo e São Judas Tadeu, pelas graças alcançadas ao longo da minha trajetória acadêmica e pela ajuda espiritual que me foi concedida ao longo de toda a minha vida.

Aos meus orientadores Alexandre Szklo e Alexandre Köberle por toda paciência, dedicação e comprometimento a essa pesquisa.

Ao professor e amigo Pedro Rochedo pela sua incrível e fundamental dedicação e ajuda para o desenvolvimento dessa pesquisa e sem o qual não teria conseguido chegar até esse ponto.

Ao professor Ângelo Gurgel por aceitar participar da banca.

Ao CNPq e o Greenpeace Brasil pelo apoio financeiro sem o qual este trabalho não seria possível.

Aos amigos do CENERGIA, Bruno, Camilo, Cindy, Eduardo, Eveline, Francielle, Fabio, Isabela, Mariana, Rafael e Rebeca pelo magnífico convívio, incríveis trocas de experiência e constantes risadas.

Aos funcionários do PPE, em especial Sandrinha, Paulo e Fernando.

Aos amigos da vida, Tadeu, Luiz, Bia, Daniel, Carol, Nick, Sabrina, Bruna, Luca, Telles, Juliana Brauns, Juliana Conrado, Lívia, Jonathan, Vitor, Soy, Everton e Juninho que me ajudam a superar as adversidades da vida.

A minha nova e “antiga” família, Douglas, Cláudio, Fátima, Savas, Sinis, Nilton, Glauce, Nilma, Gerlane, Nina, Vivian, Rafael, minhas avós Maria Gentil e Maria das Neves, meu avô Nilton e meus afilhados Nicolas e Murilo.

Aos meus pais, Maria Lúcia Brantes Angelkorte e Gunter de Moura Angelkorte pela paciência, tolerância, amizade, compreensão e amor que me deram desde o momento do meu nascimento até o dia de hoje.

A minha esposa que eu tanto amo, que é o meu porto seguro, que sempre esteve presente em toda a minha luta para me tornar o homem que sou hoje em dia e me ensinou que nossos sonhos estão limitados apenas pelos nossos próprios medos.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção de grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

MODELAGEM DO SETOR AGROPECUÁRIO DENTRO DE MODELO DE ANÁLISE INTEGRADA BRASILEIRO

Gerd Brantes Angelkorte

Fevereiro/2019

Orientadores: Alexandre Salem Szklo

Alexandre de Carvalho Koberle

Programa: Planejamento Energético

O setor agropecuário brasileiro é um dos maiores do mundo e apresenta grande potencial de produção de fontes bioenergéticas de baixo carbono. Porém, com esse potencial, existem preocupações com os meios produtivos, quantidades de fertilizantes, defensivos químicos, água para irrigação e dessedentação animal, além das emissões de GEE do setor. O objetivo desse estudo foi aperfeiçoar a modelagem agropecuária brasileira existente no modelo BLUES, implementando alto nível de detalhamento através da elaboração de novas tecnologias agrícolas capazes de retratar o estado atual do setor, propiciando a análise de potenciais *trade-offs* entre produtividade agrícola e intensidade energética, hídrica e no uso de insumos químicos. Foram implementadas no modelo três novas tecnologias agrícolas (Padrão Histórico, Alta Produtividade e Verde+), as tecnologias pecuárias foram atualizadas integrando dados de dessedentação animal e consumo de alimentos da agricultura, foram elaboradas novas restrições hídricas, área propícia para a expansão agrícola e produção de insumos orgânicos. Também se compararam os modelos antes e após à implementação do novo módulo agropecuário em diferentes cenários de aquecimento global. Identificou-se que o alto nível de detalhamento foi fundamental para a redução das emissões de GEE e do uso de BECCS e que com a implementação de novas tecnologias de alta produtividade, o modelo migrou para esse tipo de tecnologia ao invés de abrir novas fronteiras agrícolas em áreas de floresta nativa. Além disso, houve melhorias significativas nos SDGs referentes a pobreza (1), fome (2), água (6), emissões de GEE (13) e degradação do solo e biodiversidade (15).

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

AGRICULTURAL SECTOR MODELLING INSIDE A BRAZILIAN INTEGRATED
ASSESSMENT MODEL

Gerd Brantes Angelkorte

February/2019

Advisors: Alexandre Salem Szklo

Alexandre de Carvalho Koberle

Department: Energy Planning

The Brazilian agricultural sector is one of the largest in the world and presents a great potential for production of low carbon bioenergetics supplies. However, there are concerns with productive means, fertilizers quantities, chemical defensives, water for irrigation and animal use, besides the GHG emissions. The purpose of this study was to improve the current Brazilian agricultural modelling inside BLUES, establishing a high level of detail through the creation of new agricultural technologies capable of representing the current state of the sector, enabling the analysis of potential trade-offs between agricultural productivity and energy, hydro and chemical inputs intensities. Three new agricultural technologies were developed (Historic Pattern, High Productivity and Green+), the livestock technologies were updated by integrating data from water for animal use and agriculture food consumption, it was developed new hydro restraints, area for agriculture expansion and organic inputs production. The models were also compared before and after the implementation of the new agricultural module in different scenarios of global warming. It was perceived that the high level of detail was essential for reducing GHG emissions and the use of BECCS, also with the implementation of high productivity technologies, the model identified as advantageous this kind of technology, instead of opening new agriculture frontiers in native forest areas. Moreover, there were significant improvements on SDGS concerning poverty (1), hunger (2), water (6), GHG emissions (13) and land degradation and biodiversity (15).

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.2. Objetivo	5
1.2.1. Objetivos específicos	5
2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA	6
2.1. Agropecuária Brasileira	6
2.2. Principais Insumos Agrícolas do Brasil	9
2.3. Modelos de Avaliação Integrada (<i>Integrated Assessment Models – IAMs</i>)	12
2.3.1. Brazilian Land Use and Energy System model – BLUES	14
3. METODOLOGIA	22
3.1. Tecnologias Agrícolas	26
3.1.1. Detalhamento das tecnologias agrícolas	27
3.1.1.1. Desenvolvimento da tecnologia de cultivo de acordo com o padrão histórico (Padrão Histórico)	27
3.1.1.1.1. Algodão – Padrão Histórico	30
3.1.1.1.2. Arroz – Padrão Histórico	31
3.1.1.1.3. Café – Padrão Histórico	33
3.1.1.1.4. Cana-de-açúcar – Padrão Histórico	34
3.1.1.1.5. Capim-elefante – Padrão Histórico	35
3.1.1.1.6. Eucalipto – Padrão Histórico	36
3.1.1.1.7. Feijão – Padrão Histórico	37
3.1.1.1.8. Milho – Padrão Histórico	38
3.1.1.1.9. Pinus – Padrão Histórico	39
3.1.1.1.10. Soja – Padrão Histórico	39
3.1.1.1.11. Trigo – Padrão Histórico	40
3.1.1.2. Desenvolvimento da tecnologia de cultivo com alta produtividade (Alta Produtividade)	41
3.1.1.2.1. Algodão – Alta Produtividade	42
3.1.1.2.2. Arroz – Alta Produtividade	43
3.1.1.2.3. Café – Alta Produtividade	44
3.1.1.2.4. Cana-de-açúcar – Alta Produtividade	45
3.1.1.2.5. Capim-elefante – Alta Produtividade	45
3.1.1.2.6. Eucalipto – Alta Produtividade	46

3.1.1.2.7.	Feijão – Alta Produtividade.....	47
3.1.1.2.8.	Milho – Alta Produtividade.....	48
3.1.1.2.9.	Pinus – Alta Produtividade.....	48
3.1.1.2.10.	Soja – Alta Produtividade.....	49
3.1.1.2.11.	Trigo – Alta Produtividade.....	50
3.1.1.3.	Desenvolvimento da tecnologia de cultivo verde avançado (Verde+).....	51
3.1.1.4.	Tabela de custos de produção.....	54
3.2.	Tecnologias Pecuárias	58
3.3.	Uso da Água	60
3.4.	Restrições	64
3.4.1.	Restrição de área.....	65
3.4.2.	Restrição de insumo.....	65
3.4.3.	Restrição hídrica	67
3.5.	Cenários.....	71
4.	ESTUDO DE CASO	73
4.1.	Cenários simulados antes e após as modificações no modelo BLUES	73
4.1.1.	Energia primária, geração de energia elétrica e biocombustíveis.....	73
4.1.2.	Mudança no uso do solo	77
4.1.3.	Produção agrícola	79
4.1.4.	Insumos agropecuários	91
4.1.5.	Emissões agropecuárias	97
4.1.6.	Custos dos cenários.....	102
5.	CONCLUSÃO	104
5.1.	Contribuições do desenvolvimento do modelo agropecuário.....	104
5.2.	Limitações do estudo e sugestões de desenvolvimento futuro	108
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
	APÊNDICE I.....	123
	APÊNDICE II.....	123
	APÊNDICE III	123

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Integração dos SDGs.....	3
Figura 2: Crescimento do rebanho de gado de corte no estado do Mato Grosso e na Amazônia Legal (1970-2015).....	7
Figura 3: Emissões de GEE do setor agropecuário brasileiro (1970-2014)	8
Figura 4: Evolução do consumo aparente de NPK no Brasil entre 2000 e 2017	9
Figura 5: Evolução do consumo de agrotóxico no Brasil entre 2000 e 2014.....	11
Figura 6: Participação dos principais ingredientes ativos no Brasil em 2014.....	11
Figura 7: Repartição das 6 regiões do modelo brasileiro BLUES.....	15
Figura 8: Transições de uso da terra modeladas no BLUES	18
Figura 9: Exemplo transição de floresta em pasto degradado	19
Figura 10: Cadeia de produção de gado de corte.....	20
Figura 11: Cadeia produtiva de cana-de-açúcar	20
Figura 12: Fluxograma do projeto	24
Figura 13: Estrutura de desagregação tecnológica do projeto	25
Figura 14: Planilha de custos de mecanização agrícola	29
Figura 15: Coeficiente de retirada e consumo municipais por mês.....	61
Figura 16: Percentual de disponibilidade de área para a entrada das tecnologias Alta Produtividade e Verde+	64
Figura 17: Produção de biocombustíveis em 2050.....	75
Figura 18: Mudança de uso do solo acumulada em 2050.....	78
Figura 19: Produção total acumulada de soja, floresta plantada e gramínea em 2050...	80
Figura 20: Produção total acumulada de cana-de-açúcar em 2050	81
Figura 21: Trajetória da produção com tecnologia de alta produtividade no cenário LB_Novo_H	82
Figura 22: Trajetória da produção com tecnologia de alta produtividade no cenário 2D_Novo_H	82
Figura 23: Trajetória da produção com tecnologia de alta produtividade no cenário 1D_Novo_H	83
Figura 24: Distribuição por região brasileira dos cultivos agrícolas nos cenários LB (Antigo e Novo_H) em 2015	85
Figura 25: Distribuição por região brasileira dos cultivos agrícolas nos cenários LB (Antigo e Novo_H) em 2050	86

Figura 26: Distribuição por região brasileira dos cultivos agrícolas nos cenários 2D (Antigo e Novo_H) em 2015	87
Figura 27: Distribuição por região brasileira dos cultivos agrícolas nos cenários 2D (Antigo e Novo_H) em 2050	88
Figura 28: Distribuição por região brasileira dos cultivos agrícolas nos cenários 1D (Antigo e Novo_H) em 2015	89
Figura 29: Distribuição por região brasileira dos cultivos agrícolas nos cenários 1D (Antigo e Novo_H) em 2050	90
Figura 30: Trajetória do consumo de fertilizante por cenário	91
Figura 31: Trajetória do consumo de glifosato por cenário.....	93
Figura 32: Trajetória do consumo de defensivo químico por cenário	93
Figura 33: Trajetória da retirada de água para irrigação e dessedentação animal por cenário	95
Figura 34: Trajetória da retirada de água outorgável por região para o cenário LB_Novo_H	96
Figura 35: Trajetória da retirada de água outorgável por região para o cenário 2D_Novo_H	96
Figura 36: Trajetória da retirada de água outorgável por região para o cenário 1D_Novo_H	97
Figura 37: Trajetória da emissão de GEE por cenário.....	98
Figura 38: Emissões acumuladas de CO ₂ energético por cenário	99
Figura 39: Emissões acumuladas de CO ₂ de processo por cenário	99
Figura 40: Emissões acumuladas de CO ₂ de uso do solo por cenário.....	100
Figura 41: Emissões acumuladas de CH ₄ por cenário.....	101
Figura 42: Emissões acumuladas de CH ₄ de uso do solo por cenário.....	101
Figura 43: Emissões acumuladas de N ₂ O por cenário.....	102
Figura 44: Custo total da função objetivo dos cenários.....	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Consumo aparente de fertilizantes em 2017.....	10
Tabela 2: Tecnologias agropecuárias do modelo BLUES.....	16
Tabela 3: Projeções das demandas do setor agropecuário do BLUES.....	17
Tabela 4: Culturas implementadas.....	26
Tabela 5: Coeficientes desenvolvidos.....	27
Tabela 6: Tecnologia Verde+ vs. Tecnologia Alta Produtividade.....	54
Tabela 7: Tabela de custos de produção.....	55
Tabela 8: Peso gado de corte vs. consumo de água.....	58
Tabela 9: Fase gado leiteiro vs. consumo de água.....	59
Tabela 10: Fase frango vs. insumo.....	60
Tabela 11: Coeficiente de retirada e consumo de água estaduais por ano.....	61
Tabela 12: Coeficientes de retirada e consumo de água estaduais por ano.....	61
Tabela 13: Coeficientes regionais médios de retirada de água para irrigação ($l.s^{-1}.ha$ plantado).....	63
Tabela 14: Coeficientes regionais médios de consumo de água para irrigação ($l.s^{-1}.ha$ plantado).....	63
Tabela 15: Bacias e regiões do BLUES.....	67
Tabela 16: Retiradas não-energéticas e rurais e vazão máxima outorgável ANA.....	68
Tabela 17: Taxa média de crescimento da demanda hídrica.....	69
Tabela 18: Porcentagem de água disponibilizada para agropecuária em 2010 e 2015 por bacia.....	70
Tabela 19: Disponibilidade hídrica de 2010 a 2050.....	70
Tabela 20: Cenários propostos.....	72

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

ANA	Agência Nacional de Águas
ANDA	Associação Nacional para Difusão de Adubos
ATJ	Alcohol-To-Jet
BECCS	Bioenergy Carbon Capture and Storage
BTL	Biomass-To-Liquids
C/N	Relação carbono nitrogênio
CCS	Carbon Capture and Storage
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
CO _{2eq}	Dióxido de carbono equivalente
CONAB	Compania Nacional de Abastecimento
DAP	Fosfato diamônico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FBN	Fixação biológica de nitrogênio
GEE	Gases de efeito estufa
Gha	Giga hectare
Gt	Giga tonelada
ha	Hectare
IAM	Integrated Assessment Model
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ILPF	Integração lavoura-pecuária-floresta
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
K ₂ O	Óxido de potássio
kg	Kilograma
l	Litro
m ³	Metro cúbico
MAP	Fosfato monoamônico
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MESSAGE	Model for Energy Supply System Alternatives and their General Environmental impacts

Mha	Mega hectare
ml	Mililitro
mm	Milímetro
Mm ³	Mega metro cúbico
Mtep	Mega tonelada equivalente de petróleo
N ₂ O	Óxido nitroso
NDC	Contribuições Nacionalmente Determinadas (Nationally determined contributions)
NPK	Nitrogênio, fósforo e potássio
PIB	Produto interno bruto
PJ	Pico Joule
Q95	Vazão com permanência de 95%
SDG	Sustainable Development Goals
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
t	Tonelada
TEEB	The Economics of Ecosystem and Biodiversity
TWh	Terawatt-hora
UNEP	United Nations Environment Programme
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
ZARC	Zoneamento agrícola de risco climático

1. INTRODUÇÃO

A influência da atividade humana no balanço energético global tem gerado grandes debates sobre a real importância do homem para o equilíbrio climático do planeta. Entretanto, grandes organizações, como o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), têm destacado que nas últimas décadas a influência da humanidade tem sido inequivocamente prejudicial causando aumentos constantes da temperatura terrestre desde a era pré-industrial (IPCC, 2014; ROCHEDO, 2016). Segundo IPCC (2014) os níveis de emissões antropogênicas¹ de gases de efeito estufa (GEE) entre 1983 e 2012 foram responsáveis pelo mesmo aquecimento ocorrido nos últimos 1400 anos (cerca de 0,85°C).

Entre 1750 e 2011 foram emitidas 2040 ± 310 Gt de dióxido de carbono (CO₂) antropogênico, sendo metade deste montante emitido apenas durante os últimos 40 anos (IPCC, 2014). Aproximadamente 60% do CO₂ emitido nesse período foi removido da atmosfera e estocado no solo e/ou nos oceanos, gerando o processo de acidificação da água e, o restante, permaneceu na atmosfera (IPCC, 2014), alterando a sua composição química, o que auxilia no processo de aprisionamento da radiação de baixa frequência no globo, elevando a temperatura do planeta (GOUDIE, 2018).

Os danos causados por essa constante elevação da temperatura dos oceanos e da atmosfera terrestre são extremamente preocupantes, visto a possibilidade de haver elevação dos oceanos, perda de biodiversidade (devido a perturbação do frágil equilíbrio dos ecossistemas) e o consequente risco da segurança alimentar advindo da perda de terras produtivas, além das condições climáticas inapropriadas para a produção agropecuária (FAO, 2016).

Conforme exposto por Hasegawa et al. (2018), as mudanças climáticas têm relação direta com os níveis de insegurança alimentar devido às condições de escassez hídrica em regiões importantes para a agricultura e aos impactos causados pelo aquecimento atmosférico, como mudança da flora e fauna local e aumento no consumo de água de cultivares chaves (soja, arroz e trigo) em virtude de uma maior demanda

¹ Emissões antropogênicas – são emissões provenientes da atividade humana como indústrias, carros, agropecuária e outros.

proveniente de elevadas taxas de evapotranspiração (URBAN et al., 2017). Além disso, apresentam relação indireta, proveniente dos impactos nos preços dos alimentos e *commodities* agrícolas, causando grandes impactos nos níveis de desnutrição e fome em países situados nas regiões mais vulneráveis como África, Ásia, América Latina e Caribe (HASEGAWA et al., 2018; FAO., 2017a).

Em 2015, com o objetivo de desenvolver proposições de políticas para a redução das emissões de GEE antropogênico, ocorreu em Paris a 21ª Conferência das Partes das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas – UNFCCC (COP21 ou Acordo de Paris). O acordo teve como objetivo determinar metas de contribuições nacionais (NDCs) de longo prazo para mitigação de emissões de carbono e manter o aquecimento global abaixo de 2°C em 2100 em relação era pré-industrial (KOBERLE, 2018; KRIEGLER et al., 2018).

Além disso, foi desenvolvida a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, que é um plano de ação com 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável (SDGs) e 169 metas a serem desenvolvidas até 2030 com o intuito de melhorar as condições de vida da humanidade e o futuro do planeta (UNITED NATIONS, 2015). Entre os 17 SDGs, estão inseridos objetivos sociais como a erradicação da pobreza (SDG 1) e da fome (SDG 2), ambientais como diminuição das emissões de GEE (SDG 13), redução de áreas de degradação do solo e aumento da biodiversidade (SDG 15), e universais como direito a saneamento básico, água de qualidade (SDG 6) e acesso a fontes renováveis e modernas de energia (SDG 7). Desta maneira, a integração entre os SDGs é uma premissa de suma importância para a segurança alimentar, a sustentabilidade de sistemas agrícolas, a estabilidade ecológica à longo prazo e diversidade cultural (UNITED NATIONS, 2015; KOBERLE, 2018; TEEB, 2018), Figura 1.

Nesse contexto, os modelos de avaliação integrada (sigla em inglês IAMs – *Integrated Assessment Models*) se destacam como uma ferramenta de grande importância para desenvolvimento de políticas públicas e determinação de cenários futuros com o intuito de atingir a integração dos SDGs, mitigação de emissões de GEE e avaliações de longo prazo das transformações provenientes da relação entre energia, uso do solo, economia e sistemas climáticos (HUPPMANN et al., 2018; KRIEGLER et al., 2018).

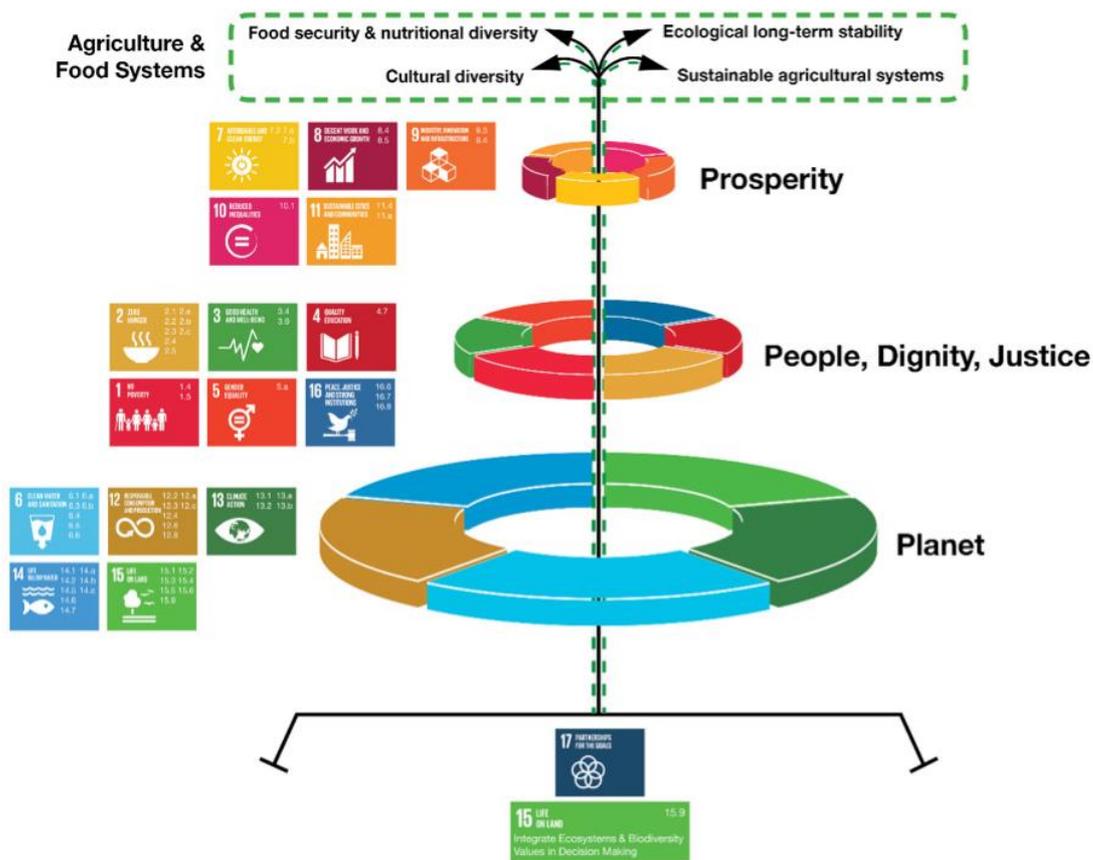


Figura 1: Integração dos SDGs
 Fonte: TEEB, 2018

Os IAMs foram inicialmente desenvolvidos de modo a possibilitar a vinculação e o entendimento entre as relações das atividades humanas e suas emissões antropogênicas de GEE com as mudanças climáticas e possíveis impactos referentes a políticas públicas sobre projeções de mudanças climáticas futuras (WEYANT, 2017). Ultimamente os IAMs possuem diversos tipos de aplicações e níveis de complexidade, desde avaliações de mudanças climáticas a nível global decorrente de implementações de novas políticas públicas, até determinação dos impactos sobre a mudança de dieta e segurança alimentar regional decorrente diferentes cenários de aquecimento global (HASEGAWA et al., 2018; KOBERLE, 2018; WEYANT, 2017).

Nos modelos mundiais, há uma divisão em inúmeras sub-regiões, sendo alguns mais detalhados como o COFFEE² e o IMAGE³, em que o Brasil é representado como uma região distinta do restante da América Latina. Em outros modelos, há uma

² COFFEE – Computable Framework For Energy and Environment (ROCHEDO, 2016).

³ IMAGE – Integrated Model to Assess the Global Environment (DOELMAN et al., 2018).

representação menos desagregada, como é visto no MESSAGE-GLOBIOM⁴ e o REMIND⁵, os quais representam o Brasil como parte de uma única região juntamente com os demais países da América Latina (KOBBERLE, 2018). Segundo o Integrated Assessment Modeling Consortium (IAMC), existem 46 grupos de pesquisa que possuem modelos mundiais do tipo IAM e dentre esses apenas um possui o modelo regional brasileiro, o BLUES (*Brazil Land Use and Energy Systems model*).

O modelo BLUES é regionalizado e representa dados das 5 macrorregiões brasileiras, retratando as estruturas regionalizadas da matriz energética, bem como os dados específicos das principais *commodities* agropecuárias do país (KOBBERLE, 2018). Entretanto, o BLUES possui uma limitação comum aos principais IAMs regionais que é o baixo nível de detalhamento das tecnologias de produção agropecuária e as cadeias de insumos do setor, o que dificulta uma melhor avaliação das possíveis soluções de compromisso (*trade-off*) entre o uso do solo, demanda por água, fertilizantes e defensivos, produtividade, energia e emissões de GEE. Assim, dificultando a determinação das possibilidades socioeconômicas da matriz energética brasileira em cenários futuros de aquecimento global.

Além disso, conforme exposto por Koberle (2018) e IPCC (2014), o Brasil possui grandes chances de aproveitar a necessidade de penetração da bioenergia com potencial de emissões negativas de GEE nos setores da agropecuária e do uso do solo na matriz energética mundial, o que será fundamental para que seja possível alcançar a meta de aquecimento global máximo de 1,5°C e 2,0°C até 2100. Devido às condições edafoclimáticas favoráveis e grande *expertise* e *know-how* no setor agropecuário brasileiro, o Brasil nos próximos anos poderá se tornar a grande potência no setor de produção de bioenergéticos de baixo carbono mundial (DENG et al., 2015; FGV, 2014; GOUVELLO et al., 2010; LUCON et al., 2015; OECD/FAO, 2018).

Dessa forma, caracteriza-se o grau de importância do detalhamento em modelos do tipo IAM, a fim de introduzir as possibilidades tecnológicas e as interações entre as cadeias de insumos necessárias para alcançar os objetivos.

⁴ MESSAGE-GLOBIOM – Modelo global multi-regional desenvolvido pelo IIASA (KREY et al., 2016; FRICKO et al., 2017).

⁵ REMIND – Modelo global multi-regional desenvolvido pelo Potsdam Institute for Climate Impact Research (LEIMCACH et al., 2010).

1.2. Objetivo

O objetivo desse estudo foi aprimorar a modelagem de otimização do setor agropecuário brasileiro existente no modelo BLUES de forma regionalizada, através da elaboração de novas tecnologias agropecuárias capazes de retratar o estado atual e futuro do setor, bem como determinar a partir disso as possíveis soluções de compromisso entre energia, água e uso do solo.

1.2.1. Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo desse trabalho, foi necessário o desenvolvimento de tecnologias mais detalhadas que buscassem alcançar a realidade atual e futura da agropecuária brasileira.

Foram utilizados dados de fontes governamentais e privadas, renomadas no ramo da pesquisa agropecuária do país, o que tornou possível o desenvolvimento de três diferentes tipos de tecnologias para as principais culturas existentes no Brasil, sendo todas desenvolvidas de forma regional.

Também foi necessário o desenvolvimento de restrições de áreas disponíveis para a expansão das tecnologias, de disponibilidade de insumos agropecuários no longo prazo e da quantidade de água utilizada por tecnologia para cada região e tipo de cultura ou criação, além do desenvolvimento de um módulo hídrico agropecuário para determinar a possibilidade de expansão do setor até 2050.

Posteriormente, para a implementação das tecnologias e restrições desenvolvidas no trabalho, foi escolhido o modelo BLUES, cuja finalidade é otimizar a matriz energética brasileira, com uma função objetivo de minimização de custo, através de uma modelagem que possui como dados de entrada informações técnico-econômicas futuras perfeitas. Foi escolhido esse modelo visto ser o único modelo brasileiro já criado a permitir o desenvolvimento de análises com o grau de detalhamento e regionalização necessários para o estudo.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Essa seção tem como objetivo contextualizar a importância do setor agropecuário e suas cadeias de suprimento para a economia atual e futura do Brasil. Assim, inicialmente serão expostos dados da agropecuária e sua participação para o desenvolvimento do PIB brasileiro e a sua interligação com o desenvolvimento de novas técnicas e tecnologias agropecuárias. Posteriormente, será realizada a relação entre o crescimento da produtividade agropecuária com o maior aporte de insumos químicos e seus impactos no meio ambiente através de emissões diretas de GEE, retirada de água dos corpos hídricos e também, de grandes aportes de defensivos químicos. Por fim, a revisão dos IAMs e a evolução desse tipo de modelagem para a identificação dos impactos do uso do solo e produção agropecuária sobre o meio ambiente e o desenvolvimento de políticas públicas para a mitigação desses impactos.

2.1. Agropecuária Brasileira

O Brasil é um dos maiores produtores agrícolas do mundo e cerca de 47% de sua área cultivada é usada para produzir *commodities* cujo consumo se dá fora do país (YU et al., 2013; TIRADO et al., 2018). Recentemente, a safra brasileira de 2016/2017 atingiu recorde de produção de grãos, fornecendo insumos para mais de 150 países (EMBRAPA, 2018a). Segundo Agrostat (2017), no ano de 2017 a balança comercial brasileira de agronegócio registrou superávit de US\$81,7 bilhões, entretanto, no mesmo ano o país apresentou superávit de apenas US\$67 bilhões (MDIC, 2018).

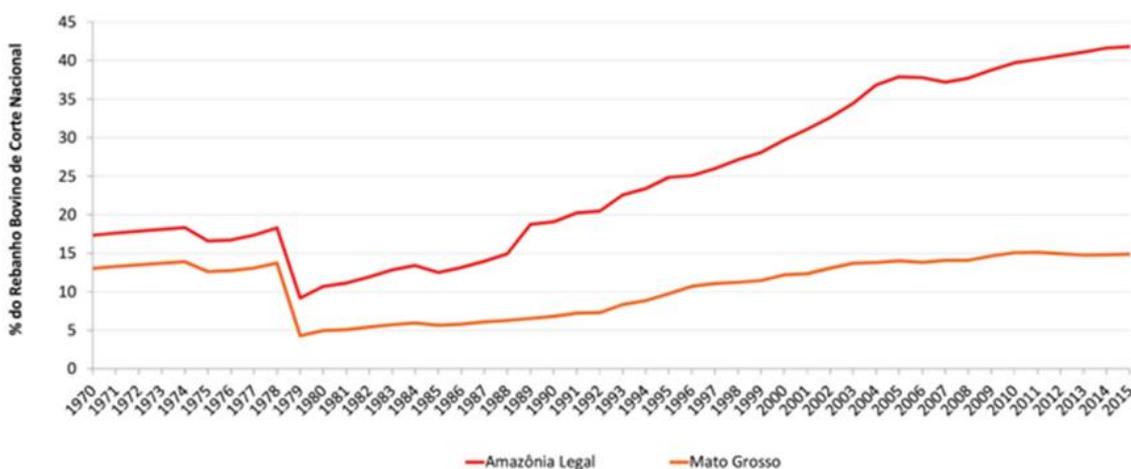
Já no ano de 2016, o agronegócio brasileiro representou cerca de 45,9% das exportações, gerando um saldo positivo de US\$71 bilhões, representando 23,6% do PIB nacional (MAPA, 2017) e empregando 4,12 milhões de pessoas diretamente e outras 227,9 mil indiretamente (BARROS, 2017).

De acordo com CONAB (2018), nos últimos 40 anos, culturas brasileiras como trigo e milho aumentaram em 240% seus rendimentos médios, já o arroz, cerca de 300% e a soja e feijão 100%. Conforme MAPA (2018), a agropecuária nos últimos 22 anos

apresentou crescimento de produtividade médio de 3,8% a.a. e, em 2017, registrou crescimento recorde em faturamento, chegando a 13% de crescimento em relação a 2016.

Essa evolução de produtividade e aumento no faturamento acabam incentivando uma maior ocupação de terras pela agricultura e pecuária. De acordo com o Censo Agropecuário de 2017, os estabelecimentos agropecuários brasileiros ocupam cerca de 41% do território do país (IBGE, 2018).

Assim, as áreas de vegetação nativa que, em geral, ocupam cerca de 50% do território brasileiro (IBGE, 2016), acabam sofrendo pressões em suas fronteiras, principalmente pela pecuária (Figura 2), gerando conflitos pelo uso da terra, principalmente nas áreas da Amazônia Legal (SEEG, 2017).



* Nota: a queda em 1979 refere-se a divisão do estado do Mato Grosso em dois estados (Mato Grosso e Mato Grosso do Sul)

Figura 2: Crescimento do rebanho de gado de corte no estado do Mato Grosso e na Amazônia Legal (1970-2015)
Fonte: SEEG (2017)

Esse relevante crescimento da agropecuária brasileira é acompanhado de perto pelo aumento dos volumes de fertilizantes e defensivos químicos aplicados no setor rural. De acordo com Bombardi (2017), o volume utilizado nas lavouras brasileiras de inseticidas com a substância ativa Malationa pode ser 400 vezes superior aos encontrados nos países da União Europeia. No caso do herbicida glifosato, que é o defensivo mais utilizado no país, o uso por hectare pode ser até 200 vezes superior, no Brasil, se comparado com os países da União Europeia (BOMBARDI, 2017).

O setor agropecuário brasileiro também é responsável por emissões de GEE. Segundo SEEG (2017), em 2015, a agropecuária brasileira foi responsável por aproximadamente 30% das emissões líquidas de dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$)⁶ brasileiras, o que representa cerca de 7% das emissões globais de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ do setor agropecuário mundial, ocupando a terceira posição entre os países que mais emitem GEE provenientes do setor agropecuário, atrás apenas da China e Estados Unidos. Entre 1990 e 2010, as emissões do setor agropecuário aumentaram cerca de 38%. Contudo, melhores práticas de criação de ruminantes, como a adoção de sistemas derivados do agrossilvipastoril (ILPF) fizeram com que a maior parte desse aumento ficasse entre os anos de 1990 e 2005, visto que de acordo com Embrapa (2016a), entre 2005 e 2010 o crescimento das emissões foi de apenas 5%. Conforme a Figura 3, a pecuária é responsável por cerca de 84% das emissões do setor agropecuário, sendo que 75% é proveniente da produção de gado para corte e leite (fermentação entérica e manejo de dejetos de animais).

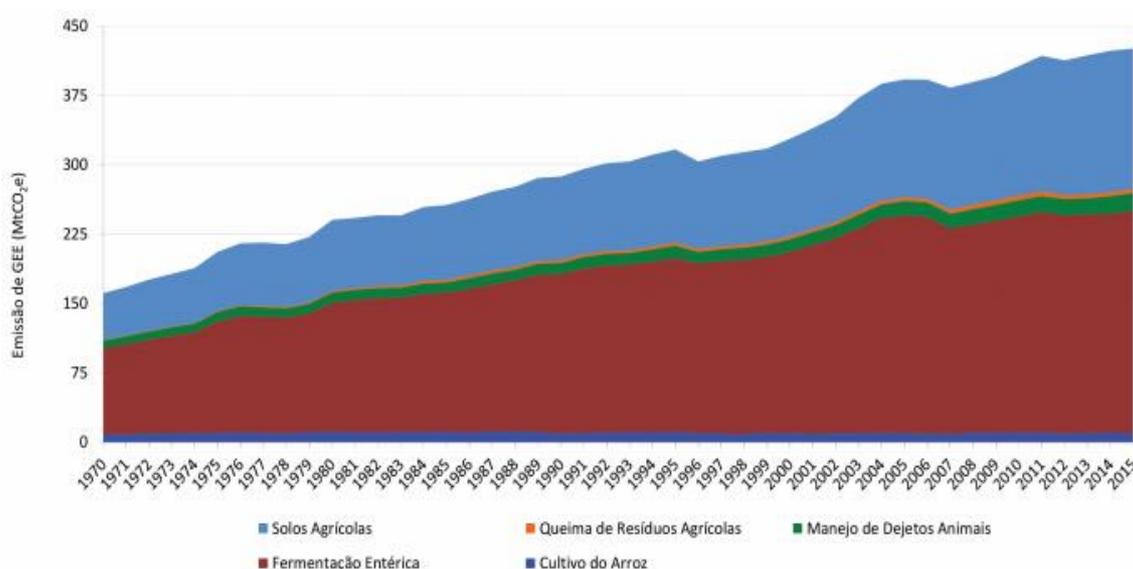


Figura 3: Emissões de GEE do setor agropecuário brasileiro (1970-2014)
Fonte: SEEG (2017)

⁶ $\text{CO}_{2\text{eq}}$ – É uma medida que expressa a quantidade de GEE em termos equivalentes ao CO_2 e leva em consideração o potencial de aquecimento global (GWP) que o gás em questão tem em relação ao CO_2 .

2.2. Principais Insumos Agrícolas do Brasil

O Brasil, apesar de ser um dos maiores produtores de *commodities* agrícolas do mundo e conseqüentemente, um grande consumidor de fertilizantes do tipo NPK, possui grande vulnerabilidade devido à falta de produção desse tipo de insumo no território brasileiro e necessidade de importação do mesmo (ANDA, 2006; ANDA, 2017; RIBEIRO e LEITE, 2017).

Segundo ANDA (2017), em 2017, foi utilizado o montante recorde de aproximadamente 16 milhões de toneladas de fertilizantes do tipo NPK (Figura 4), o que representa cerca de 8% de todo o NPK consumido no mundo (FAO, 2018), entretanto, desse volume, apenas 27,2% foram produzidos no Brasil (Tabela 1).

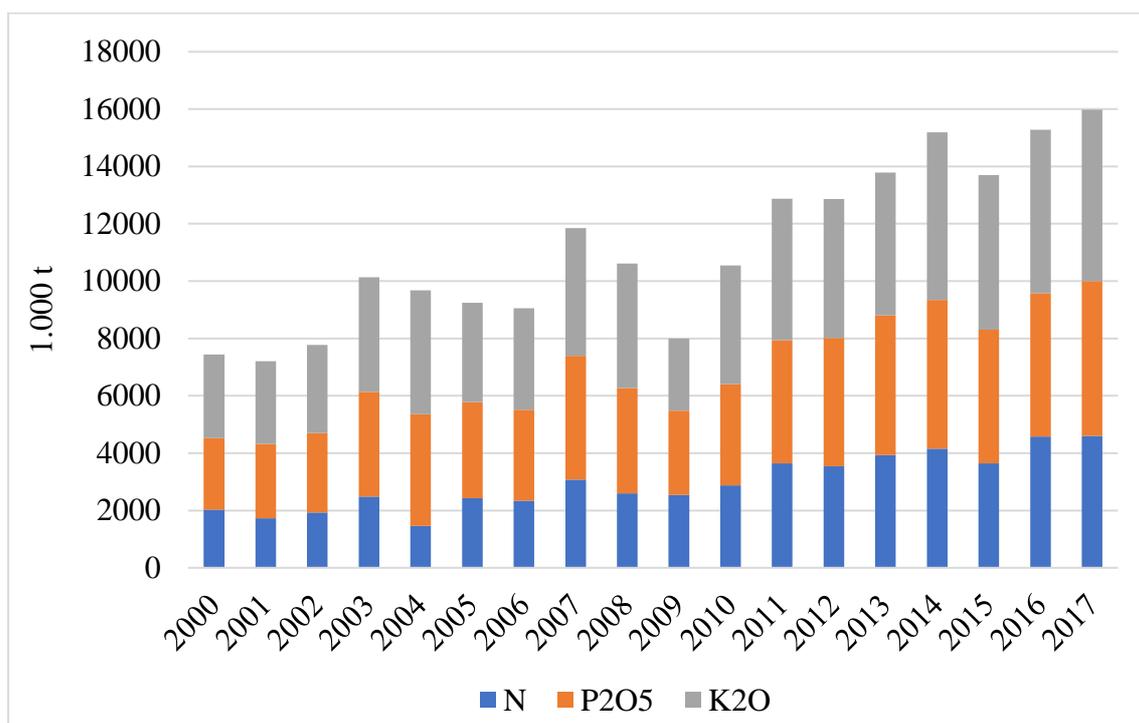


Figura 4: Evolução do consumo aparente de NPK no Brasil entre 2000 e 2017
Fonte: Adaptado de ANDA (2017)

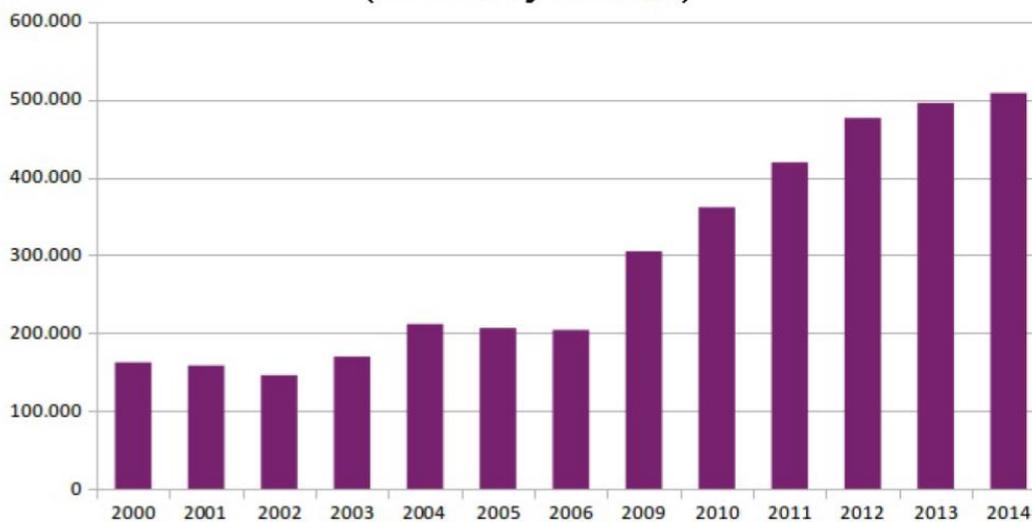
Tabela 1: Consumo aparente de fertilizantes em 2017

Fertilizante	Produção Nacional (t)	Importação (t)	Consumo (t)	Percentual de Importação
Sulfato de Amônio	262.712	1.779.309	2.042.021	87,1%
Ureia	826.424	4.769.793	5.596.217	85,2%
Nitrato de Amônio	407.808	1.378.971	1.786.779	77,2%
Fosfato diamônio - DAP	0	433.711	433.711	100,0%
Fosfato monoamônio - MAP	1.180.393	3.343.693	4.524.086	73,9%
Superfosfato Simples	4.254.296	716.201	4.970.497	14,4%
Superfosfato Triplo	951.833	869.927	1.821.760	47,8%
Termofosfato	117.065	0	117.065	0,0%
Fosfato Natural de aplic. direta	0	166.079	166.079	100,0%
Cloreto de Potássio	475.641	9.203.088	9.678.729	95,1%
Total de Fertilizantes	8.476.172	22.660.772	31.136.944	72,8%

Fonte: Adaptado de ANDA (2017)

Segundo Bombardi (2017), os defensivos químicos são outro tipo de insumo amplamente utilizado e difundido pelo Brasil e que a cada ano bate recordes de utilização (Figura 5), alcançando em 2014 a marca de cerca de 500 mil toneladas de ingrediente ativo utilizado nas lavouras brasileiras. Desse total, aproximadamente 52% foi utilizado para a produção de soja, 10% para cana e outros 10% para milho. O Glifosato é o defensivo mais utilizado no Brasil, chegando em 2014 a 195 mil toneladas ou cerca de 39% do mercado de defensivos no Brasil (Figura 6).

Brasil - Consumo de Agrotóxicos e Afins (2000 - 2014)
(tonelada de ingrediente ativo)



Fonte: IBAMA / Consolidação de dados fornecidos pelas empresas registrantes de produtos técnicos, agrotóxicos e afins, conforme art. 41 do Decreto nº 4.074/2002. (Dados atualizados: 06/04/2016)

Figura 5: Evolução do consumo de agrotóxico no Brasil entre 2000 e 2014
Fonte: Bombardi (2017)

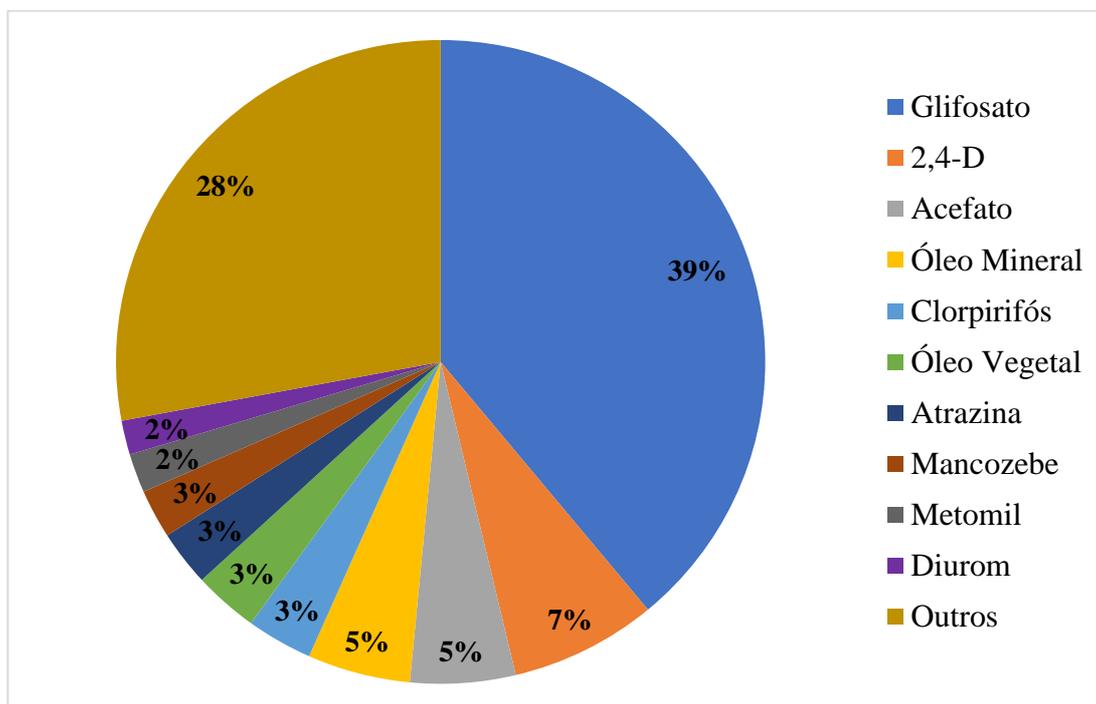


Figura 6: Participação dos principais ingredientes ativos no Brasil em 2014
Fonte: Adaptado de Bombardi (2017)

Outro insumo de extrema importância para a agropecuária brasileira é a água. Segundo o Programa das Nações Unidas para o Ambiente (sigla em inglês, UNEP)

(2016) e a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (sigla em inglês, FAO) (2017b), o setor agropecuário mundial é o maior responsável pelo uso da água no mundo, chegando ao patamar de 70% de toda a água doce retirada mundialmente. No Brasil, esse valor é consideravelmente superior, aproximando-se dos 80%, sendo que cerca de 67,2% é utilizado para a irrigação e 11,1% para o abastecimento animal (ANA, 2017).

2.3. Modelos de Avaliação Integrada (*Integrated Assessment Models – IAMs*)

Os modelos de avaliação integrada foram desenvolvidos para analisar cenários de mudanças socioambientais de longo prazo e com isso têm se tornado ferramentas de grande importância para a avaliação de riscos e impactos das mudanças climáticas mundiais (VAN VUUREN et al., 2012). Segundo van Vuuren et al. (2017), os IAMs funcionam como instrumentos importantes para o entendimento dos impactos mundiais causados pela adoção de novas políticas climáticas, como é o caso da precificação de carbono e outros gases, e para determinação da competição do uso do solo no mundo de baixo carbono. Consequentemente, indicam as regiões mais adequadas para a penetração de culturas energéticas e alimentícias ou então aquelas que serão mais ou menos afetadas pelo desmatamento, dependendo do cenário climático adotado; assim, permitem analisar os potenciais de mitigação e impactos sociais, econômicos e ambientais em cada região.

Com a evolução e ampliação da utilização desses modelos por diferentes grupos de pesquisa pelo mundo, os IAMs começaram a ser divididos em dois grupos, os IAMs mundiais e os regionais. Os mundiais buscam retratar a dinâmica dos impactos das políticas climáticas de cada região sobre o clima global, porém, sem grande individualização de dados e tecnologias de cada país/região, como é o caso dos modelos IMAGE, TIAM⁷, MAgPIE⁸ e COFFEE. Já os IAMs regionais, geralmente possuem um maior detalhamento das tecnologias e dados mais precisos do país/região em questão. Porém, utilizam um orçamento de carbono já preestabelecido para o país/região, sem

⁷ TIAM – Times Integrated Assessment Model (LOULOU, 2008).

⁸ MAgPIE – Model of Agricultural Production and its Impact on the Environment (WAND et al., 2016).

identificar a relação dessas políticas climáticas regionais com o resto do mundo, por exemplo o modelo BLUES.

Segundo Koberle (2018), esses modelos ainda podem ser divididos de acordo com suas premissas básicas de análise, com alguns sendo desenvolvidos para trabalhar como modelos do tipo equilíbrio geral computável (CGE), como o TEA⁹, alguns como modelos de sistemas energéticos, como o MESSAGE, outros como modelos de uso do solo, como o MagPIE e outros, como modelos combinados que integram as análises econômicas, energéticas e de uso de solo em um único modelo, como é o caso do IMAGE, COFFEE e BLUES.

Além do BLUES e do TEA, no Brasil existem diversos outros tipos de modelos de avaliação integrada, como é o caso do TERM-BR, SimBrasil/OTIMIZAGRO, DINAMICA, BLUM e diversos outros modelos derivados. O BLUM (*Brazilian Land Use Model*) é um modelo *Crop Models* dinâmico, de equilíbrio parcial com múltiplas regiões e mercados que foi desenvolvido para o setor agropecuário brasileiro, sendo composto por dois módulos, o de oferta e demanda e o de uso do solo, cujo intuito é a estimativa da demanda por terras sobre a concorrência entre as principais culturas (HARFUCH e MOREIRA, 2012). O DINAMICA é um modelo de mudança de uso da terra especializado, enquanto que o SimBrasil/OTIMIZAGRO, desenvolvido pelo mesmo grupo do DINAMICA (UFMG), é um modelo nacional explícito espacialmente, que simula o uso da terra, mudanças no uso da terra, florestas, desmatamento, rebrotação e emissões associadas de CO₂, sob vários cenários de demanda de terra agrícola e desmatamento/políticas de restauração florestal para o Brasil e foi desenvolvido em plataforma DINAMICA EGO (UFMG, 2019; SOARES-FILHO et al., 2000). Por sua vez, o TERM-BR é um modelo do tipo CGE estático e inter-regional do tipo *bottom-up* e permite a modelagem de choques de políticas públicas no nível estatal e nacional (DINIZ e FERREIRA-FILHO, 2015). Além desses, ainda existem outros modelos híbridos como os desenvolvidos pelo doutor Gerd Sparovek da Esalq/USP, que são utilizados para avaliação integrada ambiental e do uso do solo.

⁹ TEA – Total-Economy Assessment, desenvolvido em cooperação do CENERGIA/COPPE com a Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas (EESP-FGV).

2.3.1. Brazilian Land Use and Energy System model – BLUES

O modelo BLUES é um modelo de otimização energética brasileira, desenvolvido em plataforma MESSAGE (*Model for Energy Supply System Alternatives and their General Environmental impacts*), cuja função objetivo é a minimização do custo total do sistema energético. Essa plataforma foi projetada para desenvolver e avaliar estratégias alternativas de fornecimento de energia, alinhadas a restrições como limites de investimentos, disponibilidade e preços de combustíveis, regulamentações ambientais, taxas de penetração de mercado para novas tecnologias, entre outras. É um modelo técnico-econômico de otimização inteira mista com informações perfeitas (*perfect foresight*) em relação a futuras condições técnico-econômicas e políticas, desenvolvido para avaliar estratégias energéticas para atender uma demanda exógena (KOBERLE, 2018).

A versão atual do BLUES foi desenvolvida por Koberle (2018), a partir de diferentes versões do modelo brasileiro sequencialmente aprimoradas (KOBERLE et al., 2015; ROCHEDO et al., 2018; SZKLO et al., 2017). Ele busca minimizar os custos de todo o sistema energético, incluindo os setores de geração de eletricidade, agricultura, indústria, transporte e construção, sujeitos a restrições que representam restrições do mundo real para toda a gama de variáveis em questão (KOBERLE, 2018).

O modelo possui 6 regiões, sendo 5 representando cada sub-região brasileira e 1, o Brasil (Figura 7). O mesmo otimiza o sistema energético entre os anos de 2010 e 2050 em intervalos de 5 anos e busca além de minimizar os custos todos do sistema (função objetivo), também atender a restrições ambientais, técnicas e econômicas de acordo com os cenários utilizados (KOBERLE, 2018).

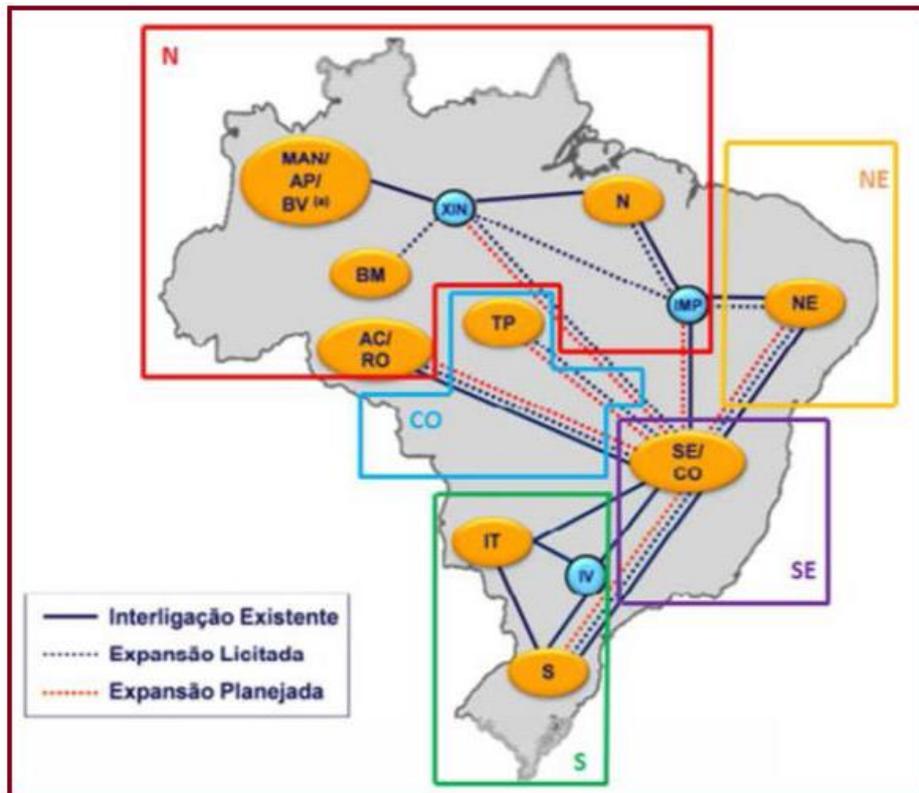


Figura 7: Repartição das 6 regiões do modelo brasileiro BLUES
 Fonte: Koberle (2018)

Segundo Koberle (2018), o modelo BLUES possui os principais produtos agrícolas do Brasil conforme especificado pela FAO (2017), dispondo de 18 tipos de cultivo agrícola sendo 16 de culturas com cultivo simples, com a área de plantio responsável por produzir apenas o cultivo em questão e também, 2 cultivos duplos, com a possibilidade de produzir na mesma área dois tipos de cultivos, conforme pode ser observado na Tabela 2. Além disso, o modelo possui a produção de 4 tipos de produtos da pecuária gado de corte, gado leiteiro, galinhas poedeiras e outros animais de corte, que foi representado no modelo como frango (Tabela 2). Essa premissa de adotar como outros animais de corte como sendo apenas os frangos ocorreu visto o modelo BLUES lidar na produção pecuária com a unidade cabeça de animais e não peso consumido. Assim, como a avicultura representa cerca de 95% de todas as cabeças de animais (excluindo gado de corte) (EMBRAPA, 2018b), as demais criações pecuárias não foram consideradas. Além disso, possui 3 tecnologias de produção a partir de sistema integrado, que é o de gado (corte e leiteiro) com milho, o de gado (corte e leiteiro) com milho e soja e o de gado (corte e leiteiro) com milho, soja e florestas plantadas. Em todos os casos, a mesma área é responsável pela produção dessas combinações de criações/cultivos agropecuários.

Tabela 2: Tecnologias agropecuárias do modelo BLUES

AGRICULTURA
Cultivo Simples
Algodão
Arroz
Café
Cana-de-Açúcar
Cereais
Feijões
Floresta Plantada
Frutas
Gramíneas
Milho
Nozes
Oleaginosas
Raízes
Soja
Trigo
Vegetais
Cultivo Duplo
Soja/Milho
Soja/Trigo
PECUÁRIA
Gado de Corte
Gado Leiteiro
Galinha Poedeira
Outros - Frangos
SISTEMA INTEGRADO
Gado (Corte e Leiteiro) + Milho
Gado (Corte e Leiteiro) + Milho + Soja
Gado (Corte e Leiteiro) + Milho + Soja + Floresta Plantada

Fonte: Adaptado de Koberle (2018)

Conforme exposto por Koberle (2018a), o BLUES utiliza *drivers* de demandas exógenas. As projeções das demandas do setor agropecuário do BLUES foram desenvolvidas de acordo com projeções corrigidas do SSP2-BCB¹⁰ (DELLINK et al., 2015) para as taxas de crescimento do PIB brasileiro de acordo com Koberle et al. (2018b) (Tabela 3). Contudo, foi permitido que o modelo optasse por produzir maiores quantidades de produtos agropecuários de acordo com suas devidas interrelações com

¹⁰ SSP – *Shared Socio-economic Pathways*.

produtos e serviços energéticos, como é o caso da cana-de-açúcar na produção de biocombustíveis e bioenergia.

Tabela 3: Projeções das demandas do setor agropecuário do BLUES

Produto (kt)	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Algodão	3.244	3.454	3.516	3.798	4.099	4.394	4.657	4.867	5.033
Arroz	11.236	12.122	12.377	13.549	14.744	15.888	16.895	17.698	18.339
Café	2.312	2.554	2.676	2.914	3.185	3.468	3.729	3.939	4.106
Castanhas	1.422	1.491	1.496	1.614	1.730	1.837	1.929	2.001	2.057
Cereais	1.938	2.120	2.192	2.400	2.618	2.831	3.023	3.178	3.303
Feijões	3.172	3.397	3.464	3.764	4.075	4.376	4.644	4.860	5.034
Frutas	38.833	42.178	43.458	47.445	51.651	55.810	59.554	62.581	65.017
Milho	51.714	56.398	58.570	63.901	69.787	75.816	81.382	85.987	89.763
Oleaginosas	169	210	213	233	253	271	287	299	310
Raízes	29.010	30.694	31.046	33.523	36.077	38.537	40.698	42.413	43.768
Soja	34.116	37.572	39.281	42.687	46.567	50.611	54.335	57.333	59.696
Trigo	6.171	6.855	7.107	7.824	8.551	9.248	9.861	10.345	10.730
Vegetais	8.923	9.968	9.953	11.022	11.925	12.633	13.183	13.595	13.954
Açúcar	29.969	31.901	30.511	32.376	32.338	32.130	31.762	31.320	30.991
Óleo de Milho	81	85	86	93	100	106	112	116	120
Óleo de Soja	6.928	7.322	7.000	7.487	7.455	7.395	7.310	7.215	7.146
Óleos - Outros	1.911	2.015	2.027	2.192	2.355	2.508	2.639	2.742	2.823
Carne Bovina	9.326	9.867	9.981	10.777	11.598	12.389	13.083	13.635	14.071
Carne - Outras	10.733	11.407	11.605	12.547	13.547	14.531	15.410	16.119	16.687
Leite	2.686	2.817	2.825	3.048	3.268	3.471	3.644	3.779	3.885
Manteiga	92	97	99	107	116	123	130	136	140
Ovos	1.984	2.098	2.116	2.291	2.464	2.625	2.764	2.873	2.960

Fonte: Adaptado de Koberle (2018)

O modelo entrega uma produção agrícola suficiente para suprir demandas exógenas a mínimo custo, expandindo a área agrícola se necessário, permitindo assim as transições no uso do solo ao longo do tempo. A Figura 8 mostra as transições de uso do solo modeladas no BLUES. Entretanto, deve-se salientar que o modelo permite a transição entre múltiplos tipos de terra em um único intervalo de tempo de 5 anos. Logo, para transformar uma área de pasto degradado em área de floresta plantada, serão necessários um período de 5 anos, inicialmente a área de pasto degradado gerará área de cultivo simples e posteriormente, essa área de cultivo simples gerará uma área de floresta

plantada. Os custos são modelados individualmente para cada transição e se acumulam à medida que uma unidade de área passa por transições consecutivas do uso da terra (KOBBERLE, 2018).

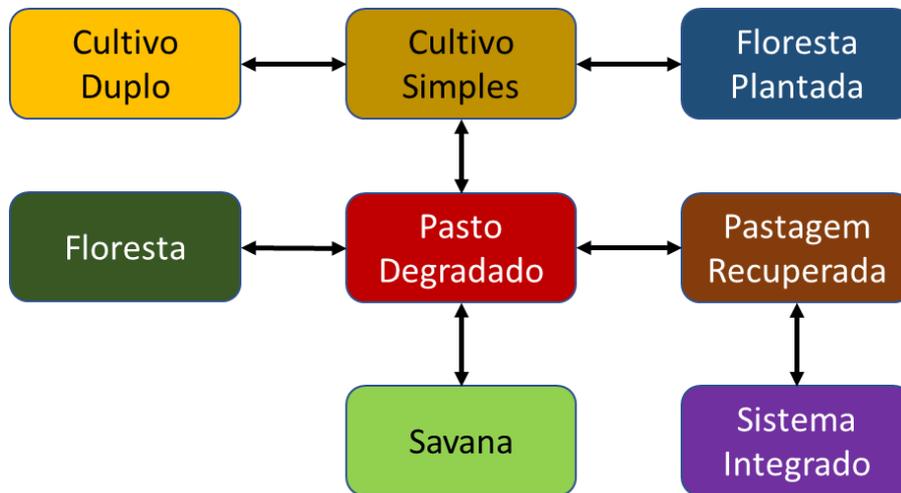


Figura 8: Transições de uso da terra modeladas no BLUES
 Fonte: Adaptado de Koberle (2018)

A Figura 9 mostra um exemplo de um processo de transição de uso do solo chamado Conv_F2U, que representa a conversão de florestas em pastagens de baixa capacidade. Estas são basicamente pastagens extensivas não manejadas, tipicamente suportando baixa quantidade de unidade animal por hectare (menor que 1 UA/ha). A figura mostra o processo que torna um hectare do insumo floresta em um hectare do produto pastagem de baixa capacidade (degradado), a um certo custo operacional. O processo também leva o diesel como uma entrada adicional (secundária), que representa o combustível usado para alimentar a transição através de máquinas operando com eficiência η . O processo também mantém o controle da área de cada tipo de cobertura do solo, subtraindo 1 ha do solo florestal e acrescentando 1 ha aos pastos de baixa capacidade. A soma das áreas de cada tipo de cobertura individuais da terra deve sempre ser igual a área total em cada região (KOBBERLE, 2018).

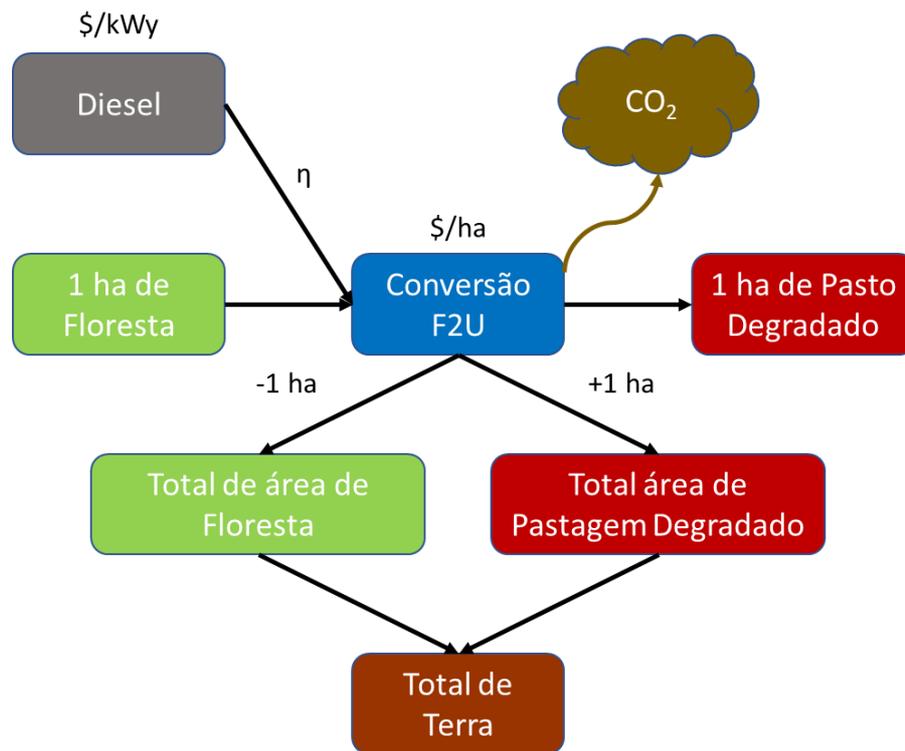


Figura 9: Exemplo transição de floresta em pasto degradado
 Fonte: Adaptado de Koberle (2018)

Os processos de produção agropecuária funcionam de forma análoga. A produção de gado de corte ocupa um hectare de terra (pastagem recuperada ou pastagem degradada) e produz o número de unidades de animais (a taxa de lotação) compatíveis com o tipo de pastagem que o processo está representando. A Figura 10 mostra um esquema da cadeia de produção de gado de corte, do pasto ao produto final. Toma como entrada 1 ha de pastagem e produz um número de unidades animais dependendo da capacidade de suporte do pasto que ele toma como insumo. Esta unidade animal passa então ao abate a uma taxa (% do rebanho) também compatível com a capacidade de suporte do pasto inicial, uma vez que os animais criados em pastagens bem mantidas vão a abate mais rapidamente, com maior peso de carcaça do que os criados em pastagens de baixa capacidade. Assim, o rendimento final (em kg de carne por hectare) varia de acordo com o tipo de sistema de produção de gado (KOBBERLE, 2018).

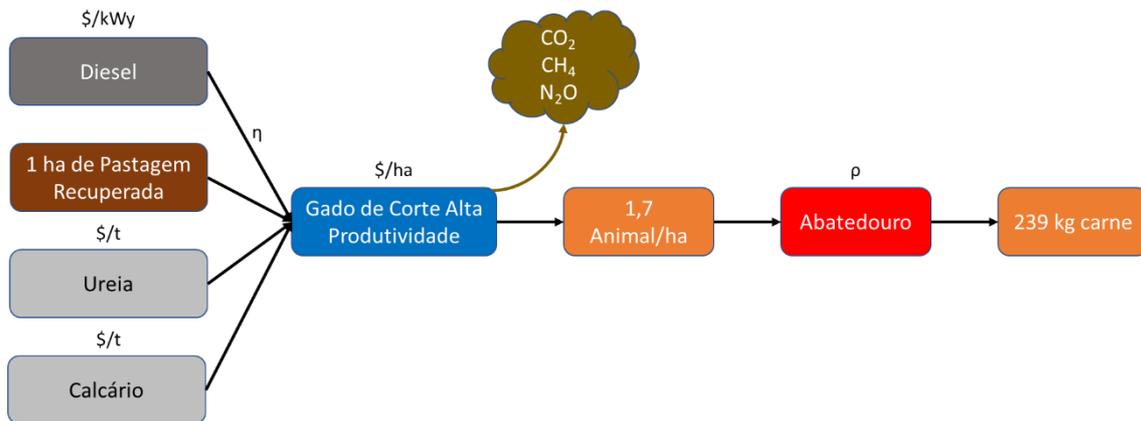


Figura 10: Cadeia de produção de gado de corte
 Fonte: Adaptado de Koberle (2018)

Os processos de produção agrícola são análogos aos de produção pecuária, como mostra a Figura 11.

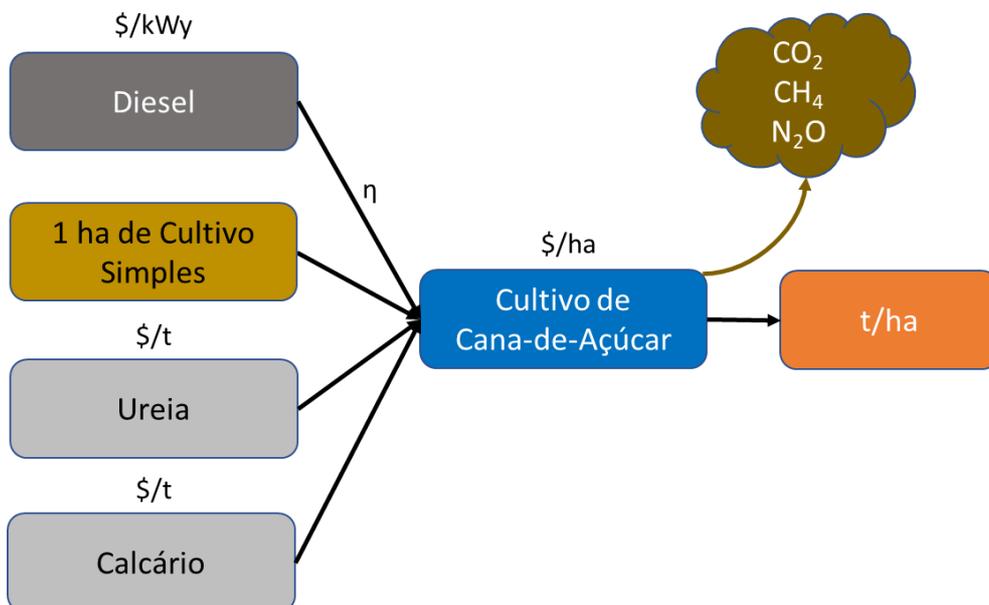


Figura 11: Cadeia produtiva de cana-de-açúcar
 Fonte: Adaptado de Koberle (2018)

Ademais, o BLUES possui cadeias de insumos agropecuários como fertilizantes e defensivos químicos que possibilitam a importação e produção desses insumos, de modo a permitir uma disponibilidade irrestrita dos mesmos. Os preços desses insumos são considerados durante o processo de desenvolvimento das tecnologias de produção

agropecuária, fazendo com que os seus preços se mantenham constantes, dessa maneira, não sofrendo variações por conta de forças de oferta e demanda.

O BLUES foi modelado utilizando dados de produtividades e de custos regionais provenientes do AGRIANUAL e do ANUALPEC, em que foram consideradas taxas de crescimento de produtividade padrão de 1% a.a. para os anos subsequentes do ano base (2010), de forma a representar o melhoramento das culturas em referência a mudanças genéticas, bem como implementação de meios de cultivo. Ademais, ele considera em suas análises apenas meios de produção agrícola já consagrados no país, como o plantio direto para grãos, porém, não adotou meios de cultivo e níveis de tecnificação mais detalhados, além de não considerar o aporte de insumos como água, defensivos químicos e fertilizantes orgânicos, que são utilizados ultimamente para produções de cultivares com altas produtividades e/ou orgânicos. Sendo a implementação da demanda hídrica da agropecuária brasileira de suma importância devido a questões ambientais e de disponibilidade hídrica, visto que a agropecuária brasileira conforme já supracitado, chega a ser responsável pelo consumo de 80% de toda a água retirada no país. E por sua vez, a implementação de defensivos químicos de grande importância devido a questões de segurança alimentar e de biodiversidade.

3. METODOLOGIA

O trabalho foi dividido em 8 partes: levantamento dos dados necessários para o desenvolvimento de cada tecnologia de forma individualizada para as 5 regiões existentes no modelo BLUES; desenvolvimento das tecnologias para cada uma das 10 culturas já existentes no BLUES, individualizadas para cada região; atualização dos dados de produção animal; desenvolvimento da alimentação para animais confinados do BLUES e levantamento da necessidade hídrica de cada tipo de produção agropecuária do BLUES; implementação das tecnologias no BLUES; implementação das restrições de área, insumos agrícolas e hídrica para cada tecnologia agropecuária do BLUES; simulação do modelo em diferentes cenários de aquecimento global; e, análises dos resultados obtidos.

De modo a representar as individualidades de cada região presente no modelo BLUES, foram levantados dados juntamente às instituições governamentais e centros de pesquisa especializadas em estudos agropecuários em cada uma das 5 regiões e com isso, as representações das produtividades e as demandas por insumos agropecuários passaram a ter maior nível de detalhadamente do que já existia no BLUES, que se embasava nos dados regionais do AGRIANUAL e ANUALPEC. Foram desenvolvidos coeficientes médios de meios de cultivo e de criação, níveis de fertilização, controle químico e orgânico de pragas, consumo/retirada de água para irrigação, níveis de tecnificação e mecanização, alimentação de animais confinados, custos associados, necessidade hídrica de cada cultura/criação, produtividade, número de safras, principais pragas e doenças, níveis de produção de fertilizantes orgânicos a partir de criação de animais confinados e de resíduos de produção agrícola, níveis de fertilização e acidez natural do solo médio e emissões de GEE referentes a cada cultura e criação, para cada uma das regiões durante o ano. Esses dados médios servem para o desenvolvimento da tecnologia Padrão Histórico.

Além da tecnologia “Padrão Histórico” (para a agricultura), foram desenvolvidas outras duas tecnologias, são elas: “Alta Produtividade”, que teve como objetivo representar o agronegócio com enfoque principal em produtividades e retorno econômico; e “Verde+” ou “Verde Avançado”, que buscou representar a migração do agronegócio atual para a agricultura orgânica, utilizando 100% de insumos não-químicos,

porém, com altas produtividades e foco no retorno econômico. Essas tecnologias serão detalhadas posteriormente na seção 3.1.

Com a implementação da tecnologia Padrão Histórico foi possível calibrar os anos base (2010 e 2015) do modelo e com isso, passou-se a trabalhar os anos seguintes a partir da evolução marginal das novas tecnologias desenvolvidas nesse trabalho (Alta Produtividade e Verde+). Essa metodologia se difere da utilizada anteriormente no modelo BLUES, que era necessário fazer o ajuste de três tecnologias para os anos base, o que fazia com que houvesse uma evolução da média dessas três tecnologias antigas nos anos subsequentes. Através da metodologia proposta, foi possível desenvolver um maior detalhamento dos anos base, sem haver a necessidade de ajustes no modelo de forma a “travar” a evolução das tecnologias para que elas pudessem representar os anos base. Dessa forma, nos anos 2010 e 2015 o modelo segue perfeitamente a trajetória evolucionária da tecnologia Padrão Histórico e posteriormente, a penetração das tecnologias avançadas (Alta Produtividade e Verde+) passa a ser liberada, havendo uma concorrência entre essas 3 novas tecnologias desenvolvidas no trabalho.

No setor de pecuária, foram utilizados os meios de produção animal já existentes no BLUES, porém, adicionando a eles novos fatores que serão expostos posteriormente na seção 3.2.

Conforme pode ser observado na Figura 12, o projeto foi dividido em 4 grandes etapas: levantamento dos dados das tecnologias agrícolas, envolvendo os insumos, produtividades e nível tecnológico para a elaborações de cada uma das tecnologias agrícolas; levantamento dos dados das tecnologias pecuárias, revendo as produtividades, insumos necessários e incluindo o consumo de produtos agrícolas por parte dos animais confinados; desenvolvimento das restrições de área, de insumos e hídrico; e por fim, a parte de modelagem, desenvolvendo as tecnologias agropecuárias para cada uma das regiões existentes no BLUES, representado a ligação entre as restrições de área, produção e consumo de insumos orgânicos e da necessidade hídrica de cada tecnologia agropecuária, assim como a retirada máxima de água por região, elaboração dos cenários climáticos do estudo e, finalmente, os resultados do estudo. Além disso, a Figura 13 apresenta uma estrutura de desagregação tecnológica do projeto para auxiliar o entendimento das etapas de cada processo desenvolvido.

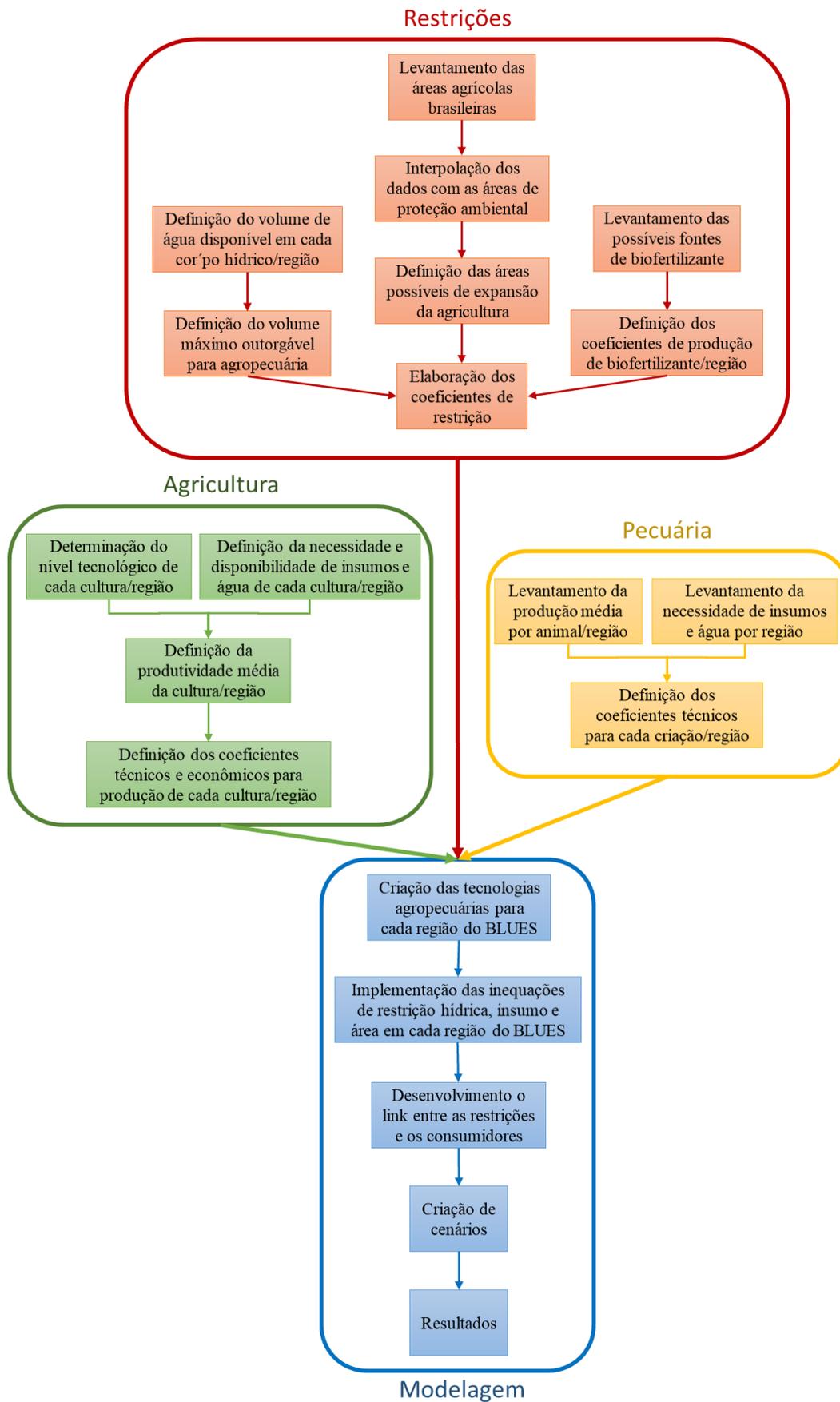


Figura 12: Fluxograma do projeto
 Fonte: Elaboração própria

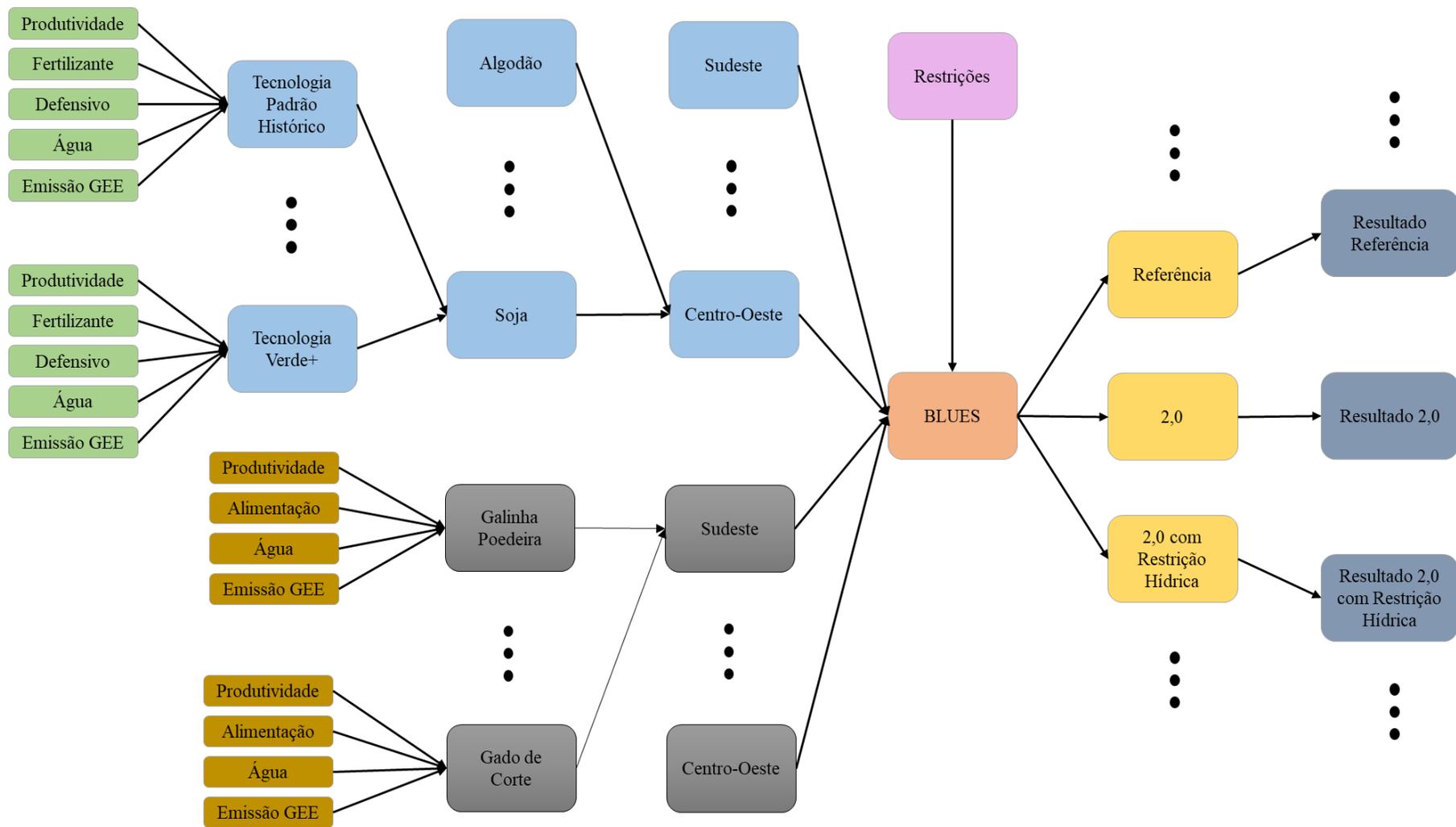


Figura 13: Estrutura de desagregação tecnológica do projeto
 Fonte: Elaboração própria

3.1. Tecnologias Agrícolas

Foram desenvolvidas e/ou atualizadas três tecnologias de cultivo agrícola: Padrão Histórico, Alta Produtividade e Verde+. Essas tecnologias foram desenvolvidas para 11 culturas (eucalipto e pinus foram alocados juntamente na tecnologia Florestas Plantadas seguindo o percentual de produção de cada um nas 5 regiões) destinadas à alimentação ou produção de bioenergia cultivadas no Brasil, Tabela 4, que possuem grande representatividade no cenário econômico brasileiro e que já haviam sido implementadas no modelo BLUES.

Tabela 4: Culturas implementadas

Culturas
Algodão
Arroz
Café
Cana-de-Açúcar
Feijões
Florestas Plantadas (Eucalipto e Pinus)
Gramíneas (Capim-Elefante)
Milho
Soja
Trigo

Fonte: Elaboração própria

Contudo, devido à grande heterogeneidade edafoclimática, fertilidade, acidez do solo (MANZATTO et al., 2002) e econômica do território brasileiro, foi necessário adaptar cada uma dessas 33 tecnologias de cultivo agrícola para que atendessem às necessidades e realidades de cada uma das 5 regiões do território brasileiro. Para tanto, foram obtidos coeficientes médios regionais conforme exposto na Tabela 5.

Tabela 5: Coeficientes desenvolvidos

Coeficientes
Produtividade por Safra (t/ha ou m ³ /ha)
Produtividade por Ano (t/ha.ano ou m ³ /ha.ano)
Consumo de Diesel (l/ha.ano)
Aporte de Fertilizantes Nitrogenados (kg ureia eq/ha.ano)
Uso de Água para Irrigação (l/ha.ano)
Custo de Produção em Real (R\$/ha.ano)
Custo de Produção em Dólar no Ano Base (US\$ ₂₀₁₀ /ha.ano)

Fonte: Elaboração própria

Com isso, foi possível obter dados mais detalhados para a realidade local de cada região brasileira nos anos de 2010, ano base do modelo BLUES, e 2015, para determinar as curvas de crescimento dos coeficientes médios e possibilitar a extensão dos mesmos para os anos seguintes.

Portanto, foi desenvolvido um total de 33 tecnologias de produção agrícola com 385 coeficientes médios regionais que foram posteriormente anexados às tecnologias de produção animal já existentes no modelo BLUES, as tabelas completas com os coeficientes de cada tecnologia estão no Apêndice I.

3.1.1. Detalhamento das tecnologias agrícolas

3.1.1.1. Desenvolvimento da tecnologia de cultivo de acordo com o padrão histórico (Padrão Histórico)

A tecnologia de cultivo Padrão Histórico pode ser considerada como a tecnologia de referência das culturas para os anos de 2010 e 2015. Para o seu desenvolvimento foram considerados dados obtidos através de órgãos e agências do governo brasileiro, assim como de institutos e universidades estaduais e federais, para melhor retratar a realidade da agricultura brasileira.

A modelagem procurou expressar através dos coeficientes desenvolvidos os meios de cultivo, níveis de fertilização e controle químico de pragas, consumo de água de irrigação, níveis de tecnificação e mecanização, custos associados, produtividade, número de safras e emissões de gases de efeito estufa referentes à cada cultura e a cada uma das cinco regiões brasileira durante o ano.

É importante ressaltar que, para o desenvolvimento das tecnologias, foram considerados meios de cultivo padrão para cada região/cultivo. No caso da soja e outros cultivos com a tecnologia Padrão Histórico, já foram consideradas as produções a partir de plantio direto, entretanto, sendo utilizados percentuais médios que em nenhuma região/cultura atingiram valores equivalentes a 100% da área plantada. Foram tomados, como base dessa tecnologia, dados de trato cultural, fertilização e controle de pragas e doenças dados provenientes da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), que devido à sua grande participação como pesquisadora e extensionista junto ao produtor rural, pode ser considerada o órgão governamental brasileiro mais indicado para determinar as necessidades básicas médias de cada cultivar no país.

Os dados de fertilização do solo tiveram que ser adaptados para cada tipo de região e cultura por conta da heterogeneidade da fertilidade e acidez do solo brasileiro. Foram utilizados dados de fertilidade natural do solo¹¹ de cada região provenientes de pesquisas desenvolvidas por Manzatto et al. (2002). Nesse estudo, foi determinado que o Sul do país apresenta um solo bem estruturado, com alta fertilidade natural e com ótimos níveis de acidez, necessitando, portanto, de menos insumos para correção. Já os solos do Sudeste, Centro-Oeste e Norte do país apresentam baixa fertilidade natural, com destaque para o solo da região Norte, que apresenta um alto nível de acidez, necessitando de altas quantidades de calcário para sua correção. Outro destaque foi o solo do Nordeste, que apresenta fertilidade e acidez natural mediana.

Também foi feito o levantamento juntamente à Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) das produtividades médias de cada estado e região para os anos de 2010 e 2015, de forma que, com os dados de quantidade de safras possíveis ao ano, obtidos com a EMBRAPA, fosse definida a produção média para cada região.

¹¹ Fertilidade Natural do Solo – Fertilidade decorrente do processo de formação do solo, logo, fertilidade do solo nunca trabalhado pelo homem.

Os custos de produção de cada lavoura por hectare foram determinados através do desenvolvimento da tabela de custo de produção, que está apresentada na seção 3.1.1.4, baseada inicialmente na tabela de custos de produção do Agriannual (2013), porém detalhando cada tipo de insumo e serviço utilizado. Os valores de cada elemento da tabela de custo foram desenvolvidos de acordo com dados reais de valor da mão-de-obra, aluguel de maquinário, preços de insumos agrícolas e fertilizantes. Sendo que os fertilizantes seguiram nos anos seguintes o valor médio do barril de Brent¹² a US\$75,00 (ROCHEDO, 2016), visto a correlação estatística do preço dos fertilizantes e dos óleos marcadores (ANGELKORTE, 2017).

Posteriormente, foram determinadas as quantidades médias de insumos e serviços utilizadas em cada cultura ao longo do ano e então, verificados os seus respectivos valores através de levantamento de preços de insumos agrícolas juntamente aos revendedores via internet, de custo de serviço com mão-de-obra e maquinário agrícola, através do Agriannual e da planilha de custos de mecanização agrícola fornecida pela ABC (2016) (Figura 14).

PLANILHA DE CUSTOS DE MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA*

Mão-de-obra (R\$/h): 17.41 Diesel (R\$/L): 2.70

Nº	Categorias e equipamentos	Mão-de-obra (R\$/h): 17.41			Diesel (R\$/L): 2.70		
		Valor inicial (R\$)	Comb. (L/h)	Custo (R\$/h)	Cap. (ha/h)	Nº.ha viável	Trator (Nº)
Tratores 4 X 4							
1	55 a 70 cv	83385	8	20.5			39.2
2	70 a 90 cv	103212	10	26.0			49.2
3	90 a 110 cv	142840	12	33.5			65.6
4	110 a 120 cv, cabinado	137500	14	36.9			67.8
5	120 a 140 cv, cabinado	172327	15	41.7			84.7
6	140 a 180 cv, cabinado	229192	19	51.4			108.6
7	180 a 240 cv, cabinado	285668	36	96.7			168.0
8	240 a 300 cv, cabinado	416750	33	88.2			192.2
9	300 a 345 cv, cabinado	618000	39	104.8			259.0
Colhedoras Radiais - Soja e Trigo							
10	5 saca palhas 175 a 200 cv	400833	23	60.9	1.8	540	146.6
11	6 saca palhas 225 a 280 cv	364500	30	80.5	2.3	690	115.9
Colhedoras Axiais - Soja e Trigo							
12	230 a 255 cv	609200	29	79.5	2.3	690	164.8
13	260 a 305 cv	799400	34	92.9	2.7	810	177.9
14	325 a 390 cv	995750	43	115.5	3.2	960	185.6
15	400 a 490 cv	1461400	56	150.1	3.7	1110	228.1
16	Mais de 500 cv	1716600	65	175.4	4.1	1230	240.8
Colhedoras Radiais - Milho (incl. plataforma)							
17	5 saca palhas 175 a 200 cv	451955	23	60.9	0.8	240	359.4
18	6 saca palhas 225 a 280 cv	415622	30	80.5	1.1	330	263.9
Colhedoras Axiais - Milho (incl. plataforma)							
19	230 a 255 cv	691820	29	79.5	1.5	450	278.1
20	260 a 305 cv	882020	34	92.9	1.7	510	305.0
21	325 a 390 cv	1105764	43	115.5	2.1	630	307.0
22	400 a 490 cv	1619258	56	150.1	2.9	870	316.2
23	Mais de 500 cv	1874458	65	175.4	3.6	1080	294.6

Figura 14: Planilha de custos de mecanização agrícola

Fonte: ABC (2016)

¹² Brent – Óleo marcador originário do Mar do Norte.

Para os dados de emissão de gases de efeito estufa foram considerados o aporte de fertilizantes nitrogenados, que durante o processo de nitrificação e desnitrificação são responsáveis pela liberação de óxido nitroso (N₂O) (LIMA, 2013). E as emissões de CO₂ a quantidade de óleo diesel utilizado pelo maquinário, que está relacionado com o tempo de uso do maquinário e o potencial do trator utilizado, e a quantidade de calcário aplicado no solo para o processo de correção da acidez do solo (calagem).

A tecnologia Padrão Histórica foi desenvolvida de forma a servir como elemento de ajuste do modelo para o ano base, 2010, permitindo a quantificação das porcentagens de cada tecnologia em 2010 e suas restrições para os anos seguintes.

3.1.1.1.1. Algodão – Padrão Histórico

As produtividades do algodão da tecnologia Padrão Histórico foram obtidas a partir dos relatórios de acompanhamento da safra brasileira de grãos (CONAB, 2011a; CONAB, 2016). Eles mostraram que tanto em 2010, quanto em 2015, a região Nordeste foi a que obteve maior produtividade, atingindo o patamar de 4,2 toneladas de algodão por hectare, e a região Sul, devido a dificuldades climáticas, como baixas temperaturas e excesso de chuvas em momentos inoportunos do plantio, fizeram com que a região chegasse a produzir em 2015 apenas 2,2 toneladas por hectare.

De acordo com Carvalho e Ferreira (2006), os níveis de adubação do solo para o cultivo do algodão devem variar de acordo com os níveis de produtividade esperados e a fertilidade natural do solo, fazendo com que para o período de plantio, as quantidades de fertilizantes nitrogenados (N) variem entre 15 e 25 kg.ha⁻¹, de potássicos (K) entre 40 e 1800 kg.ha⁻¹ e de fosfáticos (P) entre 40 e 130 kg.ha⁻¹. Além disso, ainda sugerem a adubação de cobertura de N em aplicação única, variando de 70 a 100 kg.ha⁻¹. Esses resultados são condizentes com outros estudos pesquisados, como Ferreira e Carvalho (2005) e Vidal (2017). Beltrão e Araújo (2004) também destacam a necessidade de haver o preparo e incorporação desse fertilizante e do calcário no solo através de gradagem, aração e grade niveladora

Conforme Ferreira e Lamas (2006), para haver esse tipo de produtividade, é necessário utilizar aproximadamente 15 kg de sementes por hectare, o que gera um cultivo não adensado.

Para atingir esses patamares de produtividade é necessário haver o controle principalmente de ervas daninhas, através da dessecação inicial da área, o controle de pragas, como bicudo do algodoeiro, tripés, lagarta rosada das maçãs e o percevejo marchador, que juntos podem causar danos de até 70% na produtividade final da lavoura, além do controle de doenças como a ramulose e ramularia, que podem causar redução de produtividade de até 40% (BELTRÃO e ARAÚJO, 2004; LAMAS, 2014; MEDEIROS et al., 2002).

Com isso, foram verificadas as principais famílias de defensivos responsáveis pelo controle dessas pragas e doenças. Foram verificados os fungicidas com os princípios ativo Fluxapiraxade e Piraclostrobina, os inseticidas com Indoxacarde e Tiametoxam, além dos herbicidas com Glifosato (AGROLINK, 2018). Para essa tecnologia foram utilizados 2 litros de Glifosato por hectare, 250 ml de Fluxapiraxade + Piraclostrobina por hectare e 300 gramas de Tiametoxam para cada 100kg de semente (AGROLINK, 2018).

3.1.1.1.2. Arroz – Padrão Histórico

O Brasil hoje em dia possui altas produtividades de arroz, principalmente no Sul do país, em que grande parte do arroz produzido é no sistema irrigado (CONAB, 2016). Entretanto, em locais como Nordeste é o arroz de sequeiro, ou como também é conhecido arroz de terras altas, que predomina, fazendo com que haja baixa produtividade. De acordo com Santos (2008), o arroz brasileiro pode ter até 3 cultivos em um mesmo ano, porém, o mais comum são 2 cultivos: o principal (com maior produtividade) e a soca, que não requer um replantio, apenas uma aplicação de fertilizante de cobertura (comum para arroz irrigado). É possível ainda que se tenha apenas um cultivo, o principal (comum para arroz de sequeiro), em um sistema que seja menos produtivo no ano.

De acordo com dados CONAB (2011a; 2016), o Sul é a região que apresenta maior produtividade nos anos de 2010 e 2015, com 7,4 e 7,6 t.ha⁻¹, respectivamente, devido à grande parte do seu território produzir arroz irrigado. Já o Nordeste, por possuir grandes extensões de arroz de sequeiro e um clima muito árido, apresenta produtividades de 1,8 t.ha⁻¹. O restante do país possui produtividades médias entre 2,6 e 3,1 em 2010 e 3,2 e 3,9 em 2015, esse aumento verificado foi proveniente da implementação de novas lavouras irrigadas (CONAB, 2016).

Para atingir esses patamares de produção, Santos (2008) propõe que para o arroz irrigado é necessário o aporte de grandes quantidades de nitrogênio ao longo do seu desenvolvimento, variando entre 90 e 120 kg.ha⁻¹ e no plantio, quantidades de fósforo variando entre 50 e 150 kg.ha⁻¹ e 50 a 120 kg.ha⁻¹ para potássio, dependendo da fertilidade natural do solo em questão. Já Utumi (2008) e Santiago et al. (2013) dizem que para terras altas é necessário uma adubação inicial de 50 kg.ha⁻¹ de N, independente da fertilidade inicial do solo, entre 20 e 80 kg.ha⁻¹ de P e 10 e 40 kg.ha⁻¹ de K, dependendo da fertilidade do solo. Ainda propõem que é necessário haver adubação nitrogenada de cobertura, tanto para arroz de sequeiro, 40 kg.ha⁻¹, quanto irrigado, 70 kg.ha⁻¹.

Com isso, levando em consideração as produtividades médias de cada região e suas respectivas fertilidades naturais do solo, os níveis de adubação de plantio nitrogenada foram todos de 50 kg.ha⁻¹, posteriormente foi feita a adubação de cobertura de 40 kg.ha⁻¹ para os cultivos de sequeiro e de 50 kg.ha⁻¹ para os cultivos irrigados no Sul, visto já ser um solo com alta fertilidade inicial. As adubações fosfatada e potássica foram feitas apenas durante o plantio e variaram entre 50 e 100 kg.ha⁻¹ e 30 e 60 kg.ha⁻¹, respectivamente.

Em relação à quantidade de sementes utilizada, variou-se entre 100 e 120 kg.ha⁻¹, 120 kg.ha⁻¹ no Sul e 100 kg.ha⁻¹ no restante do país (SANTIAGO et al, 2013).

Um ponto crucial no cultivo de arroz é a quantidade de pragas e doenças existentes, logo há a necessidade de um grande aporte de defensivos para garantir uma produtividade economicamente viável. Santos (2008) aponta a mancha parda, a de grãos e a brusone como as principais doenças causadas por fungos, já as pragas mais perigosas para a lavoura, destacam-se a lagarta dos arrozais, o cascudo preto, o gorgulho aquático e o percevejo do grão, que podem causar danos de até 60% na lavoura. Já Utumi (2008)

destaca a broca do colmo, os cupins e a cigarrinha das pastagens como pragas importantes, visto que podem causar danos na ordem de 30%. Portanto, para a tecnologia do padrão histórico foi determinada a necessidade de aplicar inicialmente 6 litros de Glifosato por hectare e 250g de Thiram para cada 100 kg de sementes e durante a fase de manutenção da lavoura, 200 ml de Thiamethoxam + Lambdacyhalothrin por hectare e 60 g de Tiametoxam por hectare (AGROLINK, 2018; SANTOS, 2008).

3.1.1.1.3. Café – Padrão Histórico

O cultivo do café é muito intensivo em mão-de-obra, primeiramente devido ao fato de o plantio ser feito por covas e mudas e não por sementes, também há a necessidade de se fazer a devida manutenção da cultura, visto que ele é perene e pode durar mais de 50 anos. Atualmente, devido a melhoramentos genéticos, essa renovação acontece a cada 30 anos. Inicialmente foi feito o levantamento do nível tecnológico de cada região brasileira para se adotar os níveis de mecanização e quantidade de mão-de-obra adequados para essa tecnologia (BRASIL, 2016; CONAB, 2011b; CONAB, 2014a; CONAB, 2014b; CONAB, 2016; CONAB, 2018; MARCONLAN, 2009).

Para determinar a produtividade média das regiões, utilizaram-se os relatórios de produção agrícola da CONAB (2011b; 2016), porém sem fazer a distinção de café do tipo Conilon e Arábica e convertendo os dados que eram em sacas.ha⁻¹ para t.ha⁻¹, considerando que cada saca possui 60 kg de café processado. Nesse caso, a região Sul é a região de maior produtividade, devido ao processo de renovação dos cafezais, mesmo sem possuir a melhor condição edafoclimática para o seu cultivo.

Em relação ao plantio, foram utilizadas 2.500 plantas.ha⁻¹ nessa tecnologia, mais 5% para o processo de replantio das mudas que não vingaram (MESQUITA, 2016), sendo esse um plantio tradicional (FERRÃO et al., 2009). Além disso, foram utilizados fertilizantes do tipo NPK aplicados diretamente na cova, utilizando faixas que variam de acordo com a produtividade esperada e a fertilidade do solo, nesse caso variando entre 60 e 120 t.ha⁻¹ de N, 40 e 120 t.ha⁻¹ de P e 15 e 100 t.ha⁻¹ de K (MARCOLAN, 2009; MESQUITA, 2016). Além disso, a adubação anual de cobertura utilizada foi de 80 e 180 t.ha⁻¹ de N, 0 e 50 t.ha⁻¹ de P e 40 e 150 t.ha⁻¹ de K, dependendo da fertilidade do solo e

da produtividade esperada, e durante todos os 30 anos de cultivo dessa cultura nessa tecnologia (FERRÃO et al., 2009; MARCOLAN, 2009).

Contudo, para haver bons níveis de produtividade são necessários tratos culturais, como podas e controle de ervas daninhas, pragas e doenças. Destacam-se como principais pragas, a broca do café, o bicho mineiro, o ácaro vermelho e a lagarta do cafezal, que causam danos de até 20% e ocorrem em todo o país. As principais doenças que atacam o café são a ferrugem do cafeeiro e o nematoide dos galhos. Nessa tecnologia foram utilizados o Glifosato, para o controle de ervas daninhas e limpeza das entrelinhas, e os defensivos com princípio ativo Tebuconazol (inseticida) e Clorpirifós (fungicida) (AGROLINK, 2018; GALVÃO, 2009; LOPES et al., 2012; MARCOLAN, 2009; MESQUITA, 2016).

3.1.1.1.4. Cana-de-açúcar – Padrão Histórico

A cana-de-açúcar é uma das culturas mais bem exploradas no Brasil, principalmente devido às condições climáticas muito favoráveis em quase todas as regiões brasileiras, com temperaturas variando entre 20 e 35°C, precipitação de 1500 a 2000 mm e fotoperíodo.dia⁻¹ de cerca de 12h, fazendo com que seja possível a renovação a cada 6 anos no país (o ideal é a cada 5 anos) (SILVA, 2012).

Devido a esses fatores, adotaram-se a renovação para a cultura de padrão histórico a cada 6 anos e a produtividade média inicial também alta, chegando a 87 t.ha⁻¹ na região Sudeste e 66 t.ha⁻¹ nas regiões Norte e Nordeste (SILVA, 2012).

Além disso, para determinar a adubação de plantio necessário, foram utilizados como referência Vitti et al. (2005), Moura (2005), CONAB (2017) e Silva (2012). Através da análise das produtividades esperadas e fertilidade média do solo das regiões foram definidos os volumes utilizados: N igual à 60 kg.ha⁻¹; P variou entre 50 e 180 kg.ha⁻¹; e K variou entre 60 e 140 kg.ha⁻¹. Foi necessário o aporte anual de NPK que variou entre 80 e 110 kg.ha⁻¹, 50 e 90 kg.ha⁻¹ e 100 e 140 kg.ha⁻¹, respectivamente.

Já para determinação da quantidade de defensivos químicos, foram utilizados os trabalhos de Chapola (2014) e Dinardo-Miranda (2005). Os mesmos indicaram como principais problemas as ervas daninhas, os nematoides, o percevejo castanho, as cigarrinhas da raiz e da folha e o curuquerê dos capinzais. Inicialmente, faz-se necessária a aplicação de Glifosato para controle das gramíneas invasoras, Triflumurom (inseticida) e Carbofuran (inseticida), nas quantidades de 1,5 l.ha⁻¹, 300 ml.ha⁻¹ e 25 kg.ha⁻¹, respectivamente.

3.1.1.1.5. Capim-elefante – Padrão Histórico

O capim-elefante é uma espécie de gramínea que apresenta grande produtividade, principalmente quando submetido a uma frequência elevada de cortes, irrigação e adubação adequada (VILELA, 2009). Devido a essa grande produtividade, essa forrageira vem se destacando nos setores de alimentação animal, principalmente no sistema de produção de leite, de capineiras, e de bioenergia, devido ao seu grande potencial de produção de biomassa vegetal e de fixação de carbono (ARRUDA, 2012; CAMPOS, 2015).

Portanto, foi necessário determinar a produtividade do capim-elefante levando em consideração estas duas funcionalidades: consumo animal e produção de bioenergia. Assim, foi utilizada a produtividade da matéria fresca dessa gramínea. Para essa tecnologia, foi considerada a renovação da cultura a cada 10 anos e foram obtidas produtividades regionais que variaram entre 83 e 133 t.ha⁻¹, para o ano de 2010, e entre 93 e 150 t.ha⁻¹, para 2015 (FLORES, 2012; QUÉNO et al., 2011; PATERLINI, 2013).

Devido ao grande potencial produtivo dessa cultura, foi verificada a necessidade de grandes aportes de fertilizantes de base NPK tanto para a fase de plantio, quanto para a de manutenção da lavoura. Para a adubação inicial foram consideradas as fertilidades iniciais médias do solo de cada região e dados de necessidade química do capim-elefante de Flores (2012), Italiano (2004) e Martins (2004). Com isso, foram obtidos volumes de fertilizantes para implementação de cultura entre 50 e 100 kg de N.ha⁻¹, 50 e 100 kg de P.ha⁻¹ e 30 e 90 kg de K.ha⁻¹ e para manutenção 450 kg de N.ha⁻¹.ano, 110 kg de P.ha⁻¹.ano e 450 kg de K.ha⁻¹.ano, para reposição de nutrientes do solo.

Além disso, segundo Italiano (2004) para garantir essa produtividade média das regiões, é necessário o plantio de cerca de 4.000 kg de estacas de capim-elefante com 2 ou 3 gemas por hectare.

Nessa tecnologia não foram utilizados inseticidas ou fungicidas para a implementação e/ou manutenção da cultura, apenas o controle inicial de gramíneas indesejadas como a Brachiária com Glifosato, visto que o controle químico das demais pragas não é economicamente viável (GOMIDE, 2015).

3.1.1.1.6. Eucalipto – Padrão Histórico

A cultura do eucalipto pode ser feita em todo o território brasileiro, porém, dependendo das condições edafoclimáticas, apresentará diferentes tipos de produtividade (SANTAROSA et al, 2014). Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2011), a produtividade média brasileira em 2010 foi de 41,3 m³.ha⁻¹, porém, com variações entre 35,2, no Norte, e 48,3 m³.ha⁻¹, no Sul e em 2015, entre 37,5 e 52,9 m³.ha⁻¹ (IBA, 2015; IBA, 2017).

Para a tecnologia de padrão histórico foram adotadas as referências anteriores e como meio de plantio, o tradicional, com espaçamento de 3m x 2m, 18 anos de desenvolvimento e 3 processos de desrama (EMBRAPA, 2014a).

O plantio foi feito a partir de coveamento, adubação na cova e posterior implantação de 1.667 mudas rustificadas, com posterior reposição de 8% devido a perdas. A adubação de plantio foi feita com volumes de NPK que variaram entre 15 e 35 g de N.muda⁻¹, 55 e 125 g de P₂O₅.muda⁻¹ e 18 e 65 g de K₂O.muda⁻¹, dependendo da fertilidade do solo, e posteriormente, adição 2,5 gramas de polímero hidroretentor por cova. Já a adubação nitrogenada de cobertura variou entre 22 e 36 kg.ha⁻¹.ano e a potássica entre 0 e 33 kg.ha⁻¹.ano (BELLOTE e NEVES, 2001; DRUMOND et al, 2016; EMBRAPA, 2014a; SANTAROSA et al, 2014; SBCS, 2004).

Para o controle de pragas, foi feito inicialmente a aplicação do herbicida Glifosato, na dose de 5,5 l.ha⁻¹ e instalação de 20 kg de armadilhas contra formigas do tipo saúvas

(*Atta* spp.) e quenquén (*Acromyrmex* spp.) por hectare. Posteriormente, o controle de formigas continuou sendo feito com a mesma quantidade de armadilhas contra formigas por ano e, foi adicionado o controle químico das lagartas desfolhadoras e dos eucaliptos e dos psilídeos de concha, que causam até 100% de dano ao cultivo (EMBRAPA, 2014a; SANTAROSA et al., 2014).

3.1.1.1.7. Feijão – Padrão Histórico

De 1990 até 2010 a produtividade média brasileira de feijão subiu cerca de 34%, sendo em 2010 os estados do Sudeste e do Centro-Oeste os maiores produtores e em 2015, os estados do Sul e do Centro-Oeste. Essa cultura pode produzir até 3 safras ao longo do ano: as duas mais comuns são a das águas e a da seca, a terceira safra, de outono-inverno ou safrinha que só pode ser produzida através de irrigação e logo, tendo a maior produtividade média dentre todas as safras (POSSE et al., 2010).

Para a tecnologia Padrão Histórico do feijão foram utilizados dados da CONAB (2011a; 2016) para determinação dos coeficientes de produtividade, que variaram em 2010 entre 0,4, no Nordeste, e 1,9 t.ha⁻¹, no Centro-Oeste, e em 2015 entre 0,6 e 2,2 t.ha⁻¹, nos mesmos estados, sendo as regiões Sudeste e Centro-Oeste responsáveis por 3 safras anuais e as demais, por 2 safras por ano.

Com esses coeficientes de produção, foi necessário adaptar coeficientes de adubação de plantio e de cobertura, que melhor se enquadrassem à realidade produtiva brasileira, nível de produção e fertilidade do solo por região. Para o processo de plantio, foram utilizados volumes de fertilizantes nitrogenados que variaram entre 10 e 20 kg.ha⁻¹, fosfatados entre 10 e 80 kg.ha⁻¹ e potássicos entre 0 e 30 kg.ha⁻¹. Já para a adubação de cobertura, foi necessário aplicar mais fertilizante nitrogenado, variando entre 0 e 40 kg.ha⁻¹.safra (CTSBF, 2012; NORDESTE, 2013; PEREIRA et al., 2015; POSSE et al., 2010).

Para obter essas produtividades, foi necessário o aporte de 4 defensivos químicos, durante a implantação da cultura, durante o processo de manutenção da mesma e a inoculação das sementes, de modo a permitir que o feijão faça a fixação biológica de nitrogênio (FBN), nas regiões Sudeste e Centro-Oeste que apresentam em 2010 e 2015

maiores níveis de tecnificação da lavoura. Os defensivos utilizados durante o processo inicial do cultivo tiveram o propósito de combater inicialmente as ervas daninhas, Glifosato, as cigarrinhas verdes, as vaquinhas, as moscas brancas, os ácaros e os percevejos. Já os utilizados durante o processo de manutenção do cultivo tiveram como objetivo combater as plantas invasoras, os fungos causadores da antracnose, da ferrugem e da mancha angular, os três últimos capazes de causarem perdas de até 50% (AIDAR et al., 2003; CTSBF, 2012; NORDESTE, 2013; POSSE et al., 2010; REICHERT, 2012).

3.1.1.1.8. Milho – Padrão Histórico

O milho é uma das culturas mais importantes no mundo, ele é altamente difundido no Brasil e apresenta grandes produtividades no Centro-Oeste, Sul e Sudeste do país, principalmente devido a condições edafoclimáticas favoráveis, apenas o Sudeste apresentando pequenos problemas com excesso de temperatura (CRUZ et al., 2010).

Os coeficientes de produtividade utilizados na tecnologia de padrão histórico do milho tiveram como suporte os dados de produção brasileira da CONAB (2011a; 2016) e apresentaram variações entre 1,9 e 6,7 t.ha⁻¹ por safra. Além disso, ainda foram considerados dois tipos de regiões, as que possuem condições climáticas e tecnológicas para a produção de 2 safras por ano, safra e safrinha, que é o caso do Centro-Oeste, Sul e Sudeste, e as que possuem condições apenas para produção de uma safra, que é o caso do Nordeste e do Norte do país (CONAB, 2011a; CONAB 2016; Cruz et al., 2011).

Para desenvolver esse potencial produtivo, foi necessário fazer a adubação inicial e a de manutenção, está apenas com aporte de nitrogênio. Logo, foram implementados inicialmente volumes de fertilizantes do tipo NPK que variaram entre 30 e 50 kg.ha⁻¹ de nitrogênio, 60 e 110 kg.ha⁻¹ de fósforo e 50 e 80 kg.ha⁻¹ de potássio, conforme a necessidade inicial média do solo de cada região e seus respectivos potenciais produtivos. Já para a adubação de cobertura, foram aportados entre 20 e 60 kg.ha⁻¹ de fertilizante nitrogenado (CRUZ et al., 2011; GODINHO, 2008; PAIVA, 2011).

O milho é uma cultura altamente susceptível ao ataque de pragas, como os cupins, as cigarrinhas das pastagens, as lagartas elasmô, rosca e do cartucho, as larvas alfinete,

os percevejos castanhos e as pulgas do milho. Para isso, foi necessário o tratamento inicial das sementes com inseticidas e o controle de ervas daninhas com herbicida e posteriormente, a aplicação de mais inseticida para garantir a produtividade local (CRUZ et al., 2010; GODINHO, 2008; MATOS, 2007).

3.1.1.1.9. Pinus – Padrão Histórico

A cultura do pinus é muito similar à do eucalipto, apresentando os mesmos tratamentos culturais e necessidades de fertilização e de controle de pragas similares, porém, o pinus apresenta produtividade significativamente inferior.

A produtividade desenvolvida para essa tecnologia está de acordo com os dados expostos por ABRAF (2011) e IBA (2015; 2017), variando entre 18,3 m³.ha⁻¹ no Norte em 2010 e 39,2 m³.ha⁻¹ no Sul em 2015, com espaçamento médio de 3m x 2m (1.667 mudas +8% para perdas) e desenvolvimento de 18 anos.

Além disso, foram utilizados volumes de fertilização inicial do solo entre 35 e 105 kg.ha⁻¹ de fósforo, entre 0 e 27 kg.ha⁻¹ de nitrogênio e entre 15 e 55 kg.ha⁻¹ de potássio, além de 2,5 gramas de hidrogel por cova. Para a adubação de cobertura, foram utilizados apenas fertilizantes nitrogenados, em quantidades variando entre 0 e 35 kg.ha⁻¹ (BELLOTE e NEVES, 2001; EMBRAPA, 2014b; SBCS, 2004).

Por fim, foi necessário o controle de formigas, do pulgão gigante do pinus, do gorgulho de pinus e da vespa da madeira (EMBRAPA, 2014b; Penteadó et al., 2014).

3.1.1.1.10. Soja – Padrão Histórico

A soja é o cultivo mais importante economicamente do Brasil, podendo ser cultivada em qualquer região brasileira, visto que a mesma possui limitação climáticas de temperatura entre 10 e 40°C e limitação hídrica entre 450 e 800 mm de chuva por ciclo produtivo (EMBRAPA, 2013a).

Os coeficientes de produtividade da soja Padrão Histórico foram desenvolvidos através de relatórios de produtividade de grãos da Conab (CONAB, 2011a; CONAB, 2016). A mesma apresentou variações muito baixas de produtividade, entre 2,8 e 3,5 t.ha⁻¹, devido sua grande importância econômica para o Brasil e níveis de tecnificação e irrigação similares entre as regiões (EMBRAPA, 2013a).

Nessa tecnologia, foram adotados 65 kg de sementes por hectare, gerando algo em torno de 200 mil e 250 mil plantas por hectare (AGROLINK, 2016; PAS CAMPO, 2005).

Os níveis de fertilização de NPK variaram entre 20 e 90 kg para P₂O₅.ha⁻¹, entre 40 e 80 kg K₂O.ha⁻¹, sem adição de nitrogênio, para a adubação de plantio, e entre 30 e 70 kg, P₂O₅.ha⁻¹, e 25 e 35 kg K₂O.ha⁻¹ (SFREDO, 2008; VITTI e TREVISAN, 2000).

Contudo, para não haver a necessidade de adição de fertilizante de base nitrogenada, foi necessária a adição de inoculante para fixação biológica de nitrogênio à semente. Para garantir a produtividade, foi utilizado Glifosato para o controle inicial das ervas daninhas e fungicida para o controle da ferrugem e oídio. Entretanto, também foi necessária a implementação de outros defensivos químicos para continuar o combate contra a ferrugem, doença de final de ciclo e oídio, além de inseticidas para combater a lagarta da soja e os percevejos verde, verde pequeno da soja e marrom da soja (CORTEZ, 2007; PAS CAMPO, 2005).

3.1.1.1.11. Trigo – Padrão Histórico

O trigo brasileiro é produzido principalmente no Brasil Central e no Sul tendo uma grande dificuldade de penetração no Norte e no Nordeste brasileiro devido a graves problemas climáticos que impossibilitam o seu cultivo nessas regiões (NETO e SANTOS, 2017).

A tecnologia de trigo Padrão Histórico, buscou representar as produtividades existentes no Brasil nos anos de 2010 e 2015. Com isso, foram obtidos, através de dados de relatórios de produção de grãos no Brasil desenvolvidos pela Conab (2011a; 2016), os

coeficientes de produtividade dessa tecnologia que variaram entre 2,7 (Sul) e 3,0 (Sudeste) t.ha⁻¹ em 2010 e entre 3,2 (Sul e Sudeste) e 3,7 (Centro-Oeste) em 2015. Esses resultados foram condizentes com Neto e Santos (2017) para níveis de produção com maiores quantidades de área com cultivo de trigo de sequeiro do que irrigado. Em todos os casos não foram considerados coeficientes de produção para trigo nas regiões Norte e Nordeste.

Para obter essas produtividades, foram consideradas variações de fertilizante para plantio entre 55 e 115 kg de N.ha⁻¹, 40 e 100 kg de P₂O₅.ha⁻¹ e 25 e 80 kg de K₂O.ha⁻¹. Para a adubação de manutenção considerou-se 60 e 80 kg de N.ha⁻¹ e 10 kg de P₂O₅.ha⁻¹ (CUNHA, 2016; SILVA et al., 2017).

Para o processo de plantio, foi utilizada uma proporção de 350 sementes.m⁻², totalizando cerca de 135 kg de sementes por hectare (CUNHA, 2016; SILVA et al., 2017).

A cultura de trigo é muito sensível, principalmente nos momentos iniciais, ao ataque de plantas invasoras, o que torna necessário a aplicação de Glifosato. Também há uma grande variedade de pragas que causam danos relevantes à produtividade e com isso, foi necessário a aplicação de, principalmente, defensivos químicos nos momentos iniciais do cultivo. Logo, foram escolhidos 2 tratamentos iniciais de semente, o primeiro com fungicida utilizado para prevenir o aparecimento de brusone, giberela e mancha foliar e o segundo, com inseticida, para combater os pulgões da folha, do colmo, da espiga e verde dos cereais, sem haver aplicação de defensivos após o plantio (CUNHA, 2016; NETO e SANTOS, 2017).

3.1.1.2. Desenvolvimento da tecnologia de cultivo com alta produtividade (Alta Produtividade)

A tecnologia de cultivo com alta produtividade buscou retratar os mesmos fatores anteriormente expostos, porém através de níveis mais elevados de adubação, irrigação e controle de pragas e doenças, geralmente adotados por grandes áreas produtivas, visto a necessidade de grande investimento financeiro inicial. Para isso, foram utilizadas, como referenciais teóricos, publicações que procurassem discutir o efeito da incorporação de

níveis mais elevados de fertilizantes e defensivos químicos, condições ótimas de irrigação e evolução do potencial genético para cada cultura e região brasileira.

Portanto, essa tecnologia serve como ponto máximo produtivo através de meios com baixa preocupação ambiental, em função da sua necessidade de aporte de grandes volumes de químicos para recomposição da fertilidade do solo e controle de pragas, ervas daninhas e doenças, água para irrigação para permitir que a planta expresse todo o seu potencial genético e altos níveis de mecanização principalmente durante o processo de preparo do solo e controle químico de pragas.

3.1.1.2.1. Algodão – Alta Produtividade

Ao utilizar mais mecanização, insumos e irrigação adequada, que segundo Carvalho e Ferreira (2006), Gimenez e Mosco (2001) e Vidal (2017) por si só já propiciam um aumento entre 20 e 30% na produtividade, foi possível garantir com essa tecnologia que o algodão conseguiria desenvolver ao máximo o seu potencial genético. Com isso, foi possível determinar patamares de 5,5 toneladas de algodão por hectare nos locais com temperaturas mais elevadas, como foi o caso no Nordeste e do Centro-Oeste. Entretanto, devido aos problemas de baixa temperatura, o Sul continuou com a produtividade mais baixa dentre as regiões brasileiras, com 3,8 toneladas por hectare em 2010 (Beltrão e Araújo, 2004; Medeiros et al, 2002), atingindo produtividades de 5,8 t.ha⁻¹ em 2015 devido melhoramento genético das sementes de 1% a.a..

Entretanto, para isso foi necessário também aumentar os níveis de fertilização do solo, com a adição de mais fertilizantes do tipo NPK, conforme já pressuposto por Carvalho e Ferreira (2006), só que dessa vez, variando entre 20 e 25 kg.ha⁻¹ para N, 50 e 220 kg.ha⁻¹ para K e 50 e 190 kg.ha⁻¹ para P durante o processo de plantio e 100 e 150 kg.ha⁻¹ de N na adubação de cobertura (CONAB, 2011a; CONAB, 2016; FORTUNA et al., 2001). Além disso, o adensamento da lavoura, com o plantio de 22 kg de sementes por hectare (FERREIRA et al., 2015; LAMAS, 2014).

Nessa tecnologia também foi necessário um maior aporte de defensivos químicos, se comparado com a tecnologia Padrão Histórico que contava com a adição de Glifosato,

Fluxapiraxade + Piraclostrobina e Tiametoxam, sendo adicionados 800 ml.ha⁻¹ de Indoxacarde (AGROLINK, 2018), inseticida utilizado para o controle da lagarta rosada, que sozinha pode causar danos de 30 a 40% à lavoura (BELTRÃO e ARAÚJO, 2004).

3.1.1.2.2. Arroz – Alta Produtividade

Como visto para a metodologia aplicada ao arroz de padrão histórico, que possui alta produtividade no Sul do país devido a justamente haver uma maior quantidade de áreas produzindo a partir de campos irrigados, a tecnologia de alta produtividade para o arroz também terá grandes áreas irrigadas. Portanto, com 100% da área produzindo com esse tipo de cultivo e o aumento do aporte de fertilizantes e defensivos químicos, essa tecnologia propiciará altos níveis de produtividade, com o Sul do país possuindo os maiores resultados, devido às condições edafoclimáticas favoráveis, 10 t.ha⁻¹ em 2010 e 10,8 t.ha⁻¹ em 2015 (crescimento de 1,5% a.a.). Entretanto, o Nordeste do país continuará com a menor produtividade média, 6,5 t.ha⁻¹ em 2010 e 7,0 t.ha⁻¹ em 2015, devido novamente aos problemas de excesso de temperatura, que prejudicam o desenvolvimento do cultivar, em função do superaquecimento da água, cultivo por inundação e pela própria fragilidade da planta com essas condições climáticas (SANTOS, 2008). Esses resultados são condizentes com os encontrados em lavouras de plantio irrigado descritos nos relatórios da CONAB (CONAB, 2011a; CONAB, 2016).

Contudo, para manter esses níveis de produtividade, é necessário o aumento do volume de fertilizantes, conforme supracitado. De acordo com Santos (2008) esses níveis, de acordo com níveis de fertilidade natural do solo e produtividade, deverão variar entre 90 e 180 kg.ha⁻¹ para o arroz irrigado, para o plantio, e um aporte extra que varia entre 50 e 100 kg.ha⁻¹ para o período de manutenção da cultura, para o período de soca.

Também foi necessário o aumento na quantidade de sementes por hectare, de modo a produzir em sistema adensado, 200 kg de semente.ha⁻¹ (SANTIAGO et al., 2013; SANTOS, 2008).

Outro ponto que já foi citado que teve necessidade de aumento foi a quantidade de defensivo utilizado para essa produção. De acordo com Santos (2008) e Utumi (2008),

a alta produtividade só poderia ser alcançada a partir do controle constante das principais pragas e doenças presentes nos arrozais, principalmente no sistema irrigado que gera condições propícias para o aparecimento de pragas importantes, como o gorgulho aquático. Portanto, é necessária a aplicação de defensivos com princípios ativos Thiram (fungicida), Triflumurom (inseticida), Thiamethoxam + Lambdacyhalothrin (inseticida), Tiametoxam (inseticida) e Thiodicarb (inseticida).

3.1.1.2.3. Café – Alta Produtividade

O café de alta produtividade requer condições mais controladas e o cultivo mais adensado, fazendo com que seja necessário um aporte maior de mudas (5.000 mudas.ha⁻¹ +. 5% para reposição das perdas), a maior adição de fertilizantes e defensivos químicos, a irrigação e a renovação de lavouras com menor tempo (a cada 15 anos) (ANDROCIOLI, 2002; CONAB, 2018; FERRÃO et al., 2009; MARCOLAN, 2009; MESQUITA, 2016; TURCO, 2012).

Com isso, a produtividade dessa tecnologia alcançou patamares muito superiores aos encontrados na tecnologia de padrão histórico, no caso do Sudeste, chegando a níveis de 5,1 e 5,3 t.ha⁻¹ nos anos de 2010 e 2015, respectivamente. Por essa razão, o Sudeste é o maior produtor de café do país, devido às suas condições edafoclimáticas ideais principalmente nos estados de Espírito Santo, Minas Gerais e São Paulo (CONAB, 2011b; CONAB, 2014a; CONAB, 2014b; CONAB, 2016).

Entretanto, para alcançar esses valores foi necessário um aporte maior de fertilizante por cova (que passou de 2.500 para 5.000 covas por hectare), aumentando a adubação de plantio para 320 kg N.ha⁻¹, de 140 a 275 kg P₂O₅.ha⁻¹ e de 100 a 300 kg K₂O.ha⁻¹ e de cobertura, de 320 a 450 kg N.ha⁻¹, de 0 a 50 kg P₂O₅.ha⁻¹ e de 150 a 400 kg K₂O.ha⁻¹. Além do fertilizante, também foi necessário aumentar a quantidade de defensivos, adotando nessa tecnologia o Glifosato para controle de ervas daninhas e limpeza de entrelinhas e aplicações anuais de Clorpirifós (fungicida) e Abamectina + Clorantianiliprole (inseticida) (AGROLINK, 2018; GALVÃO, 2009; LOPES et al., 2012; MARCOLAN, 2009; MESQUITA, 2016).

3.1.1.2.4. Cana-de-açúcar – Alta Produtividade

A cana-de-açúcar ultimamente possui potencial genético para desenvolver produtividades acima de 150 t.ha⁻¹, necessitando apenas de boas práticas agrícolas e grande quantidade de água (SILVA, 2012). Portanto, optou-se por definir essa tecnologia com 100% de sua área irrigada e com grande aporte de fertilizantes na fase de cobertura. Além disso, como esse é um plantio irrigado, há somente a necessidade de renovação de lavoura a cada 10 anos, visto que a irrigação propicia um menor decaimento de produtividade entre cana-planta (1º ano), cana-soca (2º ano) e cana-ressoca (3º ano em diante). Fazendo com que a produtividade média da cana chegue a 137 t.ha⁻¹ em 2015 na região Sudeste e não seja inferior a 98 t.ha⁻¹ em 2010 nas regiões Norte e Nordeste (CONAB, 2017; SILVA, 2012).

Segundo CONAB (2017), para atingir o máximo produtivo é necessário fazer irrigação e fertilização de cobertura cerca de 3 vezes superior de nitrogênio e potássio se comparado com a tecnologia de padrão histórico. Logo, é necessário aplicar a mesma quantidade inicial de fertilizantes da tecnologia de padrão histórico, porém, aumentando a adubação nitrogenada para volumes entre 240 e 320 kg.ha⁻¹ e potássica entre 300 e 420 kg.ha⁻¹ (CONAB, 2017; SILVA, 2012; VITTI et al., 2005).

Também foi necessário aumentar em 20% a quantidade de defensivos agrícolas já aplicados na tecnologia de padrão histórico (CHAPOLA, 2014; DINARDO-MIRANDA, 2005).

3.1.1.2.5. Capim-elefante – Alta Produtividade

O potencial produtivo do capim-elefante segundo Embrapa (2015), Flores (2012) e Paterlini (2013) pode chegar até 200 toneladas de matéria fresca por ano na região Sudeste, devido às condições edafoclimáticas favoráveis, e se for conduzido juntamente a implementação de um sistema de irrigação adequado. Com isso, foram consideradas as produtividades médias para o cultivo do capim-elefante na tecnologia Alta Produtividade variando entre 104 e 166 t.ha⁻¹, 2010, e entre 125 e 200 t.ha⁻¹, 2015.

Contudo, esse aumento de produtividade só foi possível devido ao aumento no aporte de fertilizantes e irrigação de 100% da área plantada. A adubação inicial da cultura variou entre 80 e 225 kg de N.ha⁻¹, 60 e 180 kg de P₂O₅.ha⁻¹ e 50 e 150 kg de K₂O.ha⁻¹ e a de manutenção passou para 600 kg de N.ha⁻¹.ano, 120 kg de P₂O₅.ha⁻¹.ano e 450 kg de K₂O.ha⁻¹.ano, para reposição de nutrientes do solo (FLORES, 2012; ITALIANO, 2004; MARTINS, 2004).

Para elevação dos níveis de produtividade foi necessário o aumento da densidade do cultivo, passando de 4.000 para 5.000 kg de hastes de capim-elefante com 2 ou 3 gemas (ITALIANO, 2004).

Devido à falta de viabilidade econômica, a utilização de defensivos químicos foi reduzida apenas para o controle de ervas daninhas com Glifosato (GOMIDE, 2015).

3.1.1.2.6. Eucalipto – Alta Produtividade

Para garantir altos níveis de produtividade no cultivo de eucalipto é necessário o aporte adequado de fertilizantes do tipo NPK, a adoção de um sistema de irrigação que forneça a todo o instante a quantidade ideal de umidade ao solo e seja adotado o sistema de cultivo adensado (ABRAF, 2011; EMBRAPA, 2014a; QUÉNO et al., 2011).

A tecnologia de Alta Produtividade do eucalipto foi desenvolvida com a adoção de cultivo adensado, com espaçamento de 3m x 0,5m (6.667 mudas + 8% para perdas) e 14 anos de desenvolvimento. Com isso, foi determinada a produtividade dessa tecnologia variando entre 45,8 e 62,8 m³.ha⁻¹, para 2010, e 51,3 e 68,3 m³.ha⁻¹, em 2015, com ganho genético de 5-6 m³ha⁻¹.ano de uma geração para outra (ABRAF, 2011; EMBRAPA, 2014a; QUÉNO et al., 2011).

Para haver o aumento da produtividade, foi necessário aumentar os volumes de fertilizantes incorporados no solo durante os processos de adubação de plantio e de cobertura. Para isso foram adotadas, para a inicial, volumes entre 130 e 260 kg.ha⁻¹ de nitrogênio, 260 e 650 kg.ha⁻¹ de fósforo e 130 e 290 kg.ha⁻¹ de potássio, além de 5 gramas de hidrogel por cova. Para a adubação de cobertura foi feita através de quantidades duas

aplicações anuais de fertilizante nitrogenado variando entre 80 e 160 kg.ha⁻¹ e potássico entre 0 e 160 kg.ha⁻¹ (BELLOTE e NEVES, 2001; DRUMOND et al, 2016; EMBRAPA, 2014a; SANTAROSA et al, 2014; SBCS, 2004).

Além disso, ainda ocorreu o aumento da utilização de defensivos químicos de formigas em 100% no momento de plantio e em 50% nos anos seguintes (EMBRAPA, 2014a; SANTAROSA et al., 2014).

3.1.1.2.7. Feijão – Alta Produtividade

A tecnologia de alta produtividade para o feijão foi desenvolvida de modo a permitir que houvesse maiores níveis de produtividade através de altos níveis de tecnificação e mecanização da lavoura, altas doses iniciais de fertilizantes do tipo NPK, fixação biológica de nitrogênio e irrigação de 100% da área plantada.

Com isso, foi possível obter produtividades que variaram entre 2,6 no Sul do país em 2010 e 3,7 no Centro-Oeste em 2015. Além disso, foi possível implementar 3 safras em todas as regiões do país (AIDAR et al., 2003; NORDESTE, 2013; NASCENTE et al., 2012; POSSE et al., 2010; REICHERT, 2012).

Inicialmente foi necessário um maior aporte de fertilizantes, que variou entre 10 e 20 kg de N.ha⁻¹, 45 e 105 kg de P₂O₅.ha⁻¹ e 50 e 90 kg de K₂O.ha⁻¹, porém, devido ao processo de fixação biológica de nitrogênio, não foi necessário haver adubação de cobertura para desenvolvimento das 3 safras (AIDAR et al., 2003; CTSBF, 2012; NORDESTE, 2013; PEREIRA et al., 2015; POSSE et al., 2010).

Entretanto, para haver esse crescimento produtivo, foi necessário o aporte inicial de inseticida, herbicida e inoculante cerca de 50% superior aos volumes encontrados na tecnologia de padrão histórico. Durante o processo de manutenção da lavoura esses volumes foram 100% superiores, tanto para fungicidas e herbicidas, fazendo assim o devido controle das principais pragas e doenças nas lavouras brasileiras (AIDAR et al., 2003; CTSBF, 2012; NORDESTE, 2013; POSSE et al., 2010; REICHERT, 2012).

3.1.1.2.8. Milho – Alta Produtividade

Segundo Godinho (2008) a alta produtividade do milho é caracterizada pela utilização de 2 safras, alto aporte de fertilizantes e defensivos, bom sistema de irrigação e produtividades acima de 8 t.ha⁻¹. Já Cruz et al. (2010) afirma que no ano, o potencial produtivo genético do milho é acima de 16 t.ha⁻¹.

Com isso, foram desenvolvidos coeficientes de produtividade que estivessem dentro desses parâmetros apontados. Logo, foram implementados produções que variaram entre 9 e 12 t.ha⁻¹ em 2010, de acordo com o apontado por Cruz et al. (2011) que aponta altas produtividades no Brasil entre 8 e 12 t.ha⁻¹, e um crescimento genético de 1% a.a., fazendo com que esses valores de 2010 variassem em 2015 entre 9,5 e 12,6 t.ha⁻¹.

Esse potencial só pôde ser alcançado a partir do aporte de grandes quantidades de fertilizantes do tipo NPK, que levaram a aumentos de até 140% no período de plantio e de até 500% no processo de aplicação de nitrogênio para a adubação de cobertura (CRUZ et al., 2011; GODINHO, 2008; PAIVA, 2011).

Também foi necessário aumentar os níveis de aplicação de defensivos químicos, porém, apenas em 25% do volume total (CRUZ et al., 2010; GODINHO, 2008; MATOS, 2007).

3.1.1.2.9. Pinus – Alta Produtividade

Conforme o que aconteceu com o eucalipto, a tecnologia de alta produtividade de pinus tem como ponto principal o aumento do uso de fertilizantes e defensivos químicos, adensamento (3m x 0,5m) e desenvolvimento em 14 anos. De acordo com Quéno et al. (2011), o simples adensamento do cultivo de pinus de 3m x 2m para 3m x 0,5m é capaz de aumentos a produtividade no Sul e no Sudeste em até 32% e 25% nos demais territórios.

Com isso, as produtividades médias variaram entre 22,9 m³.ha⁻¹, em 2010, e 45,9 m³.ha⁻¹, em 2015, valor condizente com os expostos por EMBRAPA (2014b).

Os volumes de fertilizantes, aumentaram em até 535%, para nitrogênio, 415%, para o fósforo e o potássio (BELLOTE e NEVES, 2001; EMBRAPA, 2014b; SBCS, 2004). Já os volumes de defensivos aumentaram em 55% para o controle de formigas e em 100% para o controle de pragas (EMBRAPA, 2014b; PENTEADO et al., 2014).

3.1.1.2.10. Soja – Alta Produtividade

A produção de altas quantidades de soja por safra depende principalmente de maiores aportes iniciais de fertilizantes, inclusive com a adição de fertilizantes nitrogenados, da instalação de sistemas de irrigação adequados em 100% da área plantada e tecnificação e mecanização da lavoura (EMBRAPA, 2013a).

Nessa tecnologia, houve um aumento na produtividade se comparado com a soja Padrão Histórico, chegando ao patamar de 5,5 t.ha⁻¹ no sul do país, de acordo com Cooper (2003) e Canal Rural (2015), que apontam produtividades máximas para a soja de 5,5 t.ha⁻¹, em áreas irrigadas e com alta nível de mecanização.

Os volumes de fertilizantes utilizados nessa tecnologia foram superiores ao da tecnologia Padrão Histórico, variando dessa vez entre 250 e 300 kg.ha⁻¹ de sulfato de amônio, 1100 e 1650 kg.ha⁻¹ de superfosfato simples e 620 e 820 kg.ha⁻¹ de cloreto de potássio, para adubação de plantio, e entre 500 e 600 kg.ha⁻¹ de superfosfato simples e 200 e 300 kg.ha⁻¹ de cloreto de potássio, para adubação de cobertura (SFREDO, 2008; VITTI e TREVISAN, 2000).

Já os níveis de defensivos químicos foram mantidos, aumentando a proporção de alguns apenas devido ao fato deles serem relacionados a quantidade de sementes plantadas, que subiu de 65 kg.ha⁻¹ para 70 kg.ha⁻¹ (CORTEZ, 2007; PAS CAMPO, 2005).

3.1.1.2.11. Trigo – Alta Produtividade

Para apresentar alta produtividade é necessário que haja sistema de irrigação adequado, com 100% da área plantada irrigada. Além disso, também é necessário um aporte de fertilizante inicial e de cobertura maior, assim como, melhores níveis tecnológicos e de mecanização da lavoura (NETO e SANTOS, 2017).

Para isso, a tecnologia Alta Produtividade do trigo considera que 100% da área plantada é abastecida com água de irrigação e com altos níveis de mecanização, fazendo com que seja possível a obtenção de coeficientes de produtividade muito elevados, variando entre 8,0 no Sudeste e no Centro-Oeste do Brasil em 2010 e 9,8 no Sul do país em 2015 (NETO e SANTOS, 2017). Esses resultados são condizentes com as maiores produtividades encontradas em CONAB (2011a; 2016). Para a evolução de produtividade de 2010 para 2015 foram considerados percentuais de melhoramento genético de 1,5% a.a. (TAVARES et al., 2011).

Com o aumento da produtividade, também foi necessário aumentar o aporte de fertilizantes do tipo NPK na adubação inicial e na de cobertura, fazendo com que os volumes passassem a variar entre 180 e 260 kg de N.ha⁻¹, 130 e 200 kg de P₂O₅.ha⁻¹ e 90 e 130 kg de K₂O.ha⁻¹, para adubação de plantio, e para a adubação de manutenção, 100 kg de N.ha⁻¹, entre 25 e 40 kg de P₂O₅.ha⁻¹ e 10 kg de K₂O.ha⁻¹ (CUNHA, 2016; SILVA et al., 2017).

Também houve o aumento da densidade de produção da lavoura, passando a trabalhar com sistema adensado, com 400 plantas por metro quadrado (CUNHA, 2016; SILVA et al., 2017), o que acabou gerando o aumento do volume de defensivos utilizado.

Além do aumento consequente do aumento do total de sementes utilizado, também ocorreu a incorporação de mais um defensivo químico na fase inicial do cultivo, que foi utilizado para combater o percevejo de barriga verde, responsável por causar grandes danos às lavouras de trigo no Brasil (CUNHA, 2016; NETO e SANTOS, 2017), além da utilização de inoculante específico para gramíneas deste tipo (SILVA et al., 2017).

3.1.1.3. Desenvolvimento da tecnologia de cultivo verde avançado (Verde+)

A tecnologia Verde Avançado ou Verde+ foi modelada de modo a representar a substituição de insumos químicos artificiais, como os fertilizantes e defensivos, por insumos químicos de origem não industrial, como biofertilizantes e caldas utilizadas para o controle de ervas daninhas, pragas e doenças, e também, a implementação de novos meios de cultivo.

Optou-se por não utilizar a nomenclatura “tecnologia Orgânico” devido à dificuldade de garantir que todos os meios de cultivo estejam de acordo com as necessidades mínimas para a utilização de tal nomenclatura. Segundo Darolt (2007):

“Considera-se produto da agricultura orgânica, seja in natura ou processado, todo aquele obtido através dos princípios e normas específicas da produção agropecuária ou industrial orgânica.”

Além disso, é necessário haver o processo de certificação desses alimentos/produtos através de empresas certificadoras, conforme exposto por Darolt (2015):

“A partir de janeiro de 2011, todos os produtores orgânicos precisam ser identificados por um Selo do Sistema Brasileiro de Avaliação de Conformidade Orgânica (SisOrg) ou por uma Declaração de Cadastro, no caso de venda direta em feiras, que demonstra que o produtor familiar está cadastrado no Ministério da Agricultura (MAPA).”

Nessa tecnologia, foram feitos levantamentos bibliográficos extensos de modo a conseguir determinar variações percentuais da implementação de cultivo similares ao do

plantio direto e não mais do plantio convencional. Segundo Salton (1998) este conceito de plantio direto pode ser definido como:

“A forma de manejo conservacionista que envolve todas as técnicas recomendadas para aumentar a produtividade, conservando ou melhorando continuamente o ambiente. Fundamenta-se na ausência de revolvimento do solo, em sua cobertura permanente na rotação de culturas.”

A tecnologia Verde+ pode ser considerada uma tecnologia mais conservacionista do que as anteriores, visto que ela promove a utilização de insumos biológicos/orgânicos, ao invés dos químicos artificiais. Além disso, é um sistema de cultivo que preserva a estrutura do solo e a cobertura morta do solo, evitando assim, o superaquecimento do solo (PRIMAVESI, 2003) e as perdas de macro e micronutrientes a partir da lixiviação e a volatilização desses nutrientes a partir do efeito *splash*¹³ decorrente do impacto da gota de chuva no solo exposto (ANTONELI, 2004). Essa tecnologia apresenta uma maior produtividade por unidade de área devido ao maior aporte de fertilizantes e ao fato de haver a umidade ótima do solo devido à implementação da irrigação em 100% da área plantada. Sendo assim, essa tecnologia possui comparação direta com a tecnologia Alta Produtividade (já descrita), que possui a maior produtividade dentre as tecnologias desenvolvidas e 100% da área plantada irrigada.

Foi determinado que o plantio direto é capaz de propiciar aumento considerável na produtividade de área plantada com elementos orgânicos em relação ao plantio convencional. Contudo, existe uma redução considerável na produtividade dos cultivares “orgânicos” devido ao manejo incorreto dos fertilizantes aplicados e a alta relação C/N presente nesse tipo de fertilização orgânica, o que acaba ocasionando a baixa fixação de nitrogênio (PRIMAVESE, 2003). Entretanto, essa redução é muito variável dependendo do tipo de solo e terreno, visto que os resultados obtidos identificaram uma redução entre 10% (KNUDSEN et al., 2010) e 60% (PRIMAVESI, 2003) da produtividade desse tipo

¹³ Efeito *Splash* – efeito responsável por causar a ruptura dos agregados do solo causado pelo impacto da gota d’água de chuva e/ou de sistema de irrigação. Esse efeito é capaz de potencializar o processo erosivo do solo, assim como, diminuir a fertilidade do solo decorrente da exposição e volatilização dos nutrientes em contato com a atmosfera.

de cultivo. Foram obtidos resultados médios de redução de 20% de produtividade se comparada a tecnologia Alta Produtividade (PIMENTEL et al., 2005; ZHANG et al., 2015), que é similar ao encontrado em outros estudos feitos no Brasil pela EMBRAPA (2011).

Além da redução da produtividade, também foi verificada que a simples mudança da agricultura convencional para uma que tenha similaridades com a orgânica é capaz de diminuir os níveis de emissão de N₂O por unidade de área plantada proveniente dos biofertilizantes de base nitrogenada. Essa variação também é ampla, entre 14 (MONDELAERS et al., 2009) e 32% (TUOMISTO, 2012) de redução, dependendo do tipo de condições edafoclimáticas. Entretanto, de acordo com Lima (2013), essa redução se torna menor no caso da utilização do plantio direto devido a maior emissão de N₂O proveniente da maior disponibilidade de carbono lábil¹⁴ no solo, favorecendo a atividade bacteriana nitrificante e desnitrificantes, que libera óxido nitroso na atmosfera. De acordo com Grave et al. (2013), a variação do aumento das emissões de óxido nitroso oriundos de fertilizantes nitrogenados orgânicos na atmosfera em relação aos fertilizantes nitrogenados tradicionais pode variar entre 30 e 300%, dependendo da fonte orgânica utilizada. Para o estudo, adotou-se biofertilizantes provenientes de cama-de-frango, cujo valor de emissão é aproximadamente 40% superior.

Entretanto, essa emissão de N₂O pode ser compensada através da implementação de inibidores de nitrificação, capazes de reduzir em 75 – 95% o aumento causado pelo plantio direto (LIMA, 2013; MARCELINO, 2009; SOARES, 2016; VARGAS et al., 2012), resultando no aumento de apenas 10% nos níveis de óxido nitroso, se tomarmos uma política mais conservadora e condizente com o sistema de cultivo orgânico com alto nível de tecnificação (tecnologia Verde+). Por consequência, ocorre a diminuição de 5% dos níveis de emissão de N₂O por unidade de área, visto que a adubação “orgânica” é responsável pela diminuição de 15% de N₂O e o plantio direto pelo aumento de 10% de N₂O.

Além disso, a implementação da tecnologia Verde+ implica no aumento de 20% do consumo de diesel se comparado com a tecnologia Alta Produtividade, devido ao aumento da mão-de-obra, que pode chegar ao patamar de 310%, de acordo com Zhang et

¹⁴ Carbono lábil – O carbono lábil é constituído pelos compostos orgânicos mais facilmente mineralizáveis pelos microrganismos e representa uma fração importante do carbono orgânico total do solo.

al. (2015) e Knudsen et al. (2010), principalmente devido ao controle de pragas e ervas daninhas e do volume de biofertilizantes (KNUDSEN et al., 2010; PIMENTEL et al., 2005). Além do aumento dos custos totais por unidade de área na ordem de 20% (MODELAERS, 2009; ZHANG et al., 2015).

De acordo com Primavesi (2003), a implementação do plantio direto pode resultar na economia entre 40 e 60% de água consumida, visto que não haverá a perda excessiva dessa água através da evaporação ocasionada pelo superaquecimento do solo e vento excessivo. Com isso, adotando uma visão mais conservadora, foi decidido estipular o valor de 40% para a economia de água consumida no cultivo.

O resumo dos percentuais pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6: Tecnologia Verde+ vs. Tecnologia Alta Produtividade

	Unidade	Variação
Produtividade	t.ha ⁻¹	-20%
Consumo de Diesel	l.ha ⁻¹	20%
Emissão de N ₂ O	kg.ureia _{eq} .ha ⁻¹	-5%
Custos	US\$.ha ⁻¹	20%

Fonte: Elaboração própria

3.1.1.4. Tabela de custos de produção

A Tabela 7 foi desenvolvida exclusivamente para a representação do cultivo de Algodão na tecnologia de Padrão Histórico. Outras tabelas foram desenvolvidas para as demais tecnologias e culturas de modo a retratar melhor cada tipo específico de cultivo, mecanização, aporte de insumos, produtividade, gastos agregados e etc. Em função da extensão de dados, esses valores não foram representados no trabalho, porém, estão no APÊNDICE II.

Tabela 7: Tabela de custos de produção

ALGODÃO – REGIÃO SUDESTE EM 2010				
Ano 0 - Implantação				
Insumos	Unidade	Quantidade	R\$/ha	
			Unidade	Total
Sementes	kg	15	42,50	637,50
Mudas	Milheiro	0	0,00	0,00
Super Fosfato Simples	t	0,89	601,00	534,89
Sulfato de Amônio	t	0,1	630,00	63,00
Cloreto de Potássio	t	0,3	1023,00	306,90
Calcário Dolomítico	t	3	35,00	105,00
Tratamento de Sementes	kg	0,3	370,00	111,00
Inseticida	l	0	56,00	0,00
Fungicida	l	0,25	150,00	37,50
Herbicida	l	2,5	10,00	25,00
Inóculo Semente	l	0	0,00	0,00
Total Insumos (R\$)				1820,79
Serviços	Unidade	Quantidade	R\$/ha	
			Unidade	Total
Gradagem Pesada/Aração Solo	H/M	6	59,00	354,00
Mão-de-Obra Gradagem Pesada/Aração do Solo	Diária	1	45,00	45,00
Gradagem Leve	H/M	2	59,00	118,00
Mão-de-Obra Gradagem Leve	Diária	1	45,00	45,00
Aplicação de Fertilizante Mecanizada	H/M	3	41,00	123,00
Mão-de-Obra Aplicação de Fertilizante Mecanizada	Diária	1	40,00	40,00
Mão-de-Obra Aplicação de Fertilizante Manual	Diária	0	32,00	0,00
Aplicação de Calcário Mecanizada	H/M	1	41,00	41,00
Mão-de-Obra Aplicação de Calcário Mecanizada	Diária	1	40,00	40,00
Mão-de-Obra Aplicação de Calcário Manual	Diária	0	32,00	0,00
Aplicação de Herbicida Mecanizada	H/M	1	41,00	41,00
Mão-de-Obra Aplicação de Herbicida Mecanizada	Diária	1	40,00	40,00
Mão-de-Obra Aplicação de Herbicida Manual	Diária	0	32,00	0,00
Aplicação de Fungicida Mecanizada	H/M	1	41,00	41,00
Mão-de-Obra Aplicação de Fungicida Mecanizada	Diária	1	40,00	40,00

Mão-de-Obra Aplicação Fungicida Manual	Diária	0	32,00	0,00
Aplicação de Inseticida Mecanizada	H/M	0	41,00	0,00
Mão-de-Obra Aplicação de Inseticida Mecanizada	Diária	0	40,00	0,00
Mão-de-Obra Aplicação de Inseticida Manual	Diária	0	32,00	0,00
Plantio Mecanizado	H/M	2	41,00	82,00
Mão-de-Obra Plantio Mecanizado	Diária	1	40,00	40,00
Mão-de-Obra Plantio Manual	Diária	0	32,00	0,00
Total Serviços (R\$)				1090,00
Total dos Custos Ano 0 (R\$)				1115,00

ALGODÃO – REGIÃO SUDESTE EM 2010

Ano 1 - Manutenção

Insumos	Unidade	Quantidade	R\$/ha	
			Unidade	Total
Super Fosfato Simples	t	0	601,00	0,00
Sulfato de Amônio	t	0,49	630,00	308,70
Cloreto de Potássio	t	0	1023,00	0,00
Controle de Pragas	kg	0	0,00	0,00
Inseticida	l	0,8	56,00	44,80
Fungicida	l	0,3	150,00	45,00
Herbicida	l	0	10,00	0,00
Total Insumos (R\$)				398,50

Serviços	Unidade	Quantidade	R\$/ha	
			Unidade	Total
Aplicação de Fertilizante Mecanizada	H/M	2	41,00	82,00
Mão-de-Obra Aplicação de Fertilizante Mecanizada	Diária	1	40,00	40,00
Mão-de-Obra Aplicação de Fertilizante Manual	Diária	0	32,00	0,00
Aplicação de Herbicida Mecanizada	H/M	0	41,00	0,00
Mão-de-Obra Aplicação de Herbicida Mecanizada	Diária	0	40,00	0,00
Mão-de-Obra Aplicação de Herbicida Manual	Diária	0	32,00	0,00
Aplicação de Fungicida Mecanizada	H/M	1	41,00	41,00
Mão-de-Obra Aplicação de Fungicida Mecanizada	Diária	1	40,00	40,00
Mão-de-Obra Aplicação de Fungicida Manual	Diária	0	32,00	0,00
Aplicação de Inseticida Mecanizada	H/M	1	41,00	41,00

Mão-de-Obra Aplicação de Inseticida Mecanizada	Diária	1	40,00	40,00
Mão-de-Obra Aplicação de Inseticida Manual	Diária	0	32,00	0,00
Total Serviços (R\$)				284,00
Total dos Custos Ano 1 (R\$)				682,50
Custo Total da Safra de Algodão (R\$)				3593,29
Total de Safras de Algodão por Ano				1
Custo Total do Cultivo de Algodão no Ano (R\$)				3593,29

Fonte: Elaboração própria

A Tabela 7 possui os principais insumos e serviços necessários para o processo de produção da cultura durante o ano, incluindo os processos de implementação e manutenção do cultivo, como fertilizantes e defensivos químicos, sementes e/ou mudas (dependendo do tipo de cultura se utiliza um ou outro), maquinários e mão-de-obra.

Conforme mostrado nas seções anteriores, cada cultura e tecnologia utilizou diferentes tipos e quantidade de insumo. Foi necessário individualizar os valores dos mesmos na tabela. Com isso, após o processo de levantamento de dados sobre as culturas, estipularam-se os valores de cada fertilizante, inseticida, fungicida, herbicida, mão-de-obra e maquinário utilizados em cada cultura e, principalmente, em cada região do país, visto que os mesmos dependem dos custos advindos do frete.

Para o levantamento dos custos com cada insumo foram utilizados sites de venda de insumos agrícolas como o MFRural (2018), que possui além de uma ampla gama de fornecedores, uma grande quantidade de anúncios antigos que possibilitaram a aquisição dos dados dos preços desses insumos nos anos de 2010 e 2015. Também foram utilizadas duas tabelas de preços de defensivos agrícolas de 2010 e 2015 disponibilizadas pela Agron (2018) e Agrobranco (2018).

O valor da diária da mão-de-obra foi calculado de acordo com dados disponibilizados pelo Agriannual (2013) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Pesquisa (IBGE) sobre os coeficientes de custo sobre a mão-de-obra em cada região brasileira. Assim, é possível diferenciar o valor da diária do trabalhador mais qualificado, como é o caso do operador do maquinário utilizado para aplicar herbicida, do menos qualificado, como o que irá aplicar o mesmo herbicida, só que de forma manual, de região para região e de um ano para o outro.

3.2. Tecnologias Pecuárias

Na Pecuária, foram feitas modificações dentro do modelo BLUES na produtividade e nos dados de entrada de insumos (*input*) necessários para a produção de cada tecnologia.

Para o gado leiteiro e de corte, foram adicionados apenas dados de entrada de água necessária para dessedentação animal. Uma vez que a maior parte do gado brasileiro é criado em sistema extensivo, é impossível quantificar a necessidade e custos atrelados a alimentação do mesmo.

Para o gado de corte, foi considerado o tempo de vida do animal de 36 meses até atingir o peso médio de 500 kg antes do abate. Nesse tempo, o animal possui 3 diferentes faixas de consumo de água que variam conforme o peso do animal (Tabela 8). Também foi determinado que o animal levaria em média cerca de 18 meses para atingir 250 kg, 29 meses para atingir 410 kg e 36 meses até o abate com 500 kg, em média. Com isso, foi possível determinar o consumo médio do gado de corte, sendo igual a 0,0135 Mm³.kanimal⁻¹.ano (EMBRAPA, 2005; EMBRAPA, 2013b).

Tabela 8: Peso gado de corte vs. consumo de água

Peso do Gado (kg)	Consumo de Água (l.dia⁻¹.cabeça)
< 250	18 - 27
< 410	30 - 50
< 500	41 - 78

Fonte: Elaborada a partir de dados Embrapa (2005; 2013b)

O desenvolvimento do coeficiente de retirada de água para o gado leiteiro seguiu a mesma lógica do gado de corte, porém considerando 8 anos de vida do animal e 4 faixas diferentes de consumo de água, que passou a depender não mais do peso do animal, mas da fase da vida que o mesmo se encontrava, conforme Tabela 9. Com isso, foi possível determinar o consumo médio anual de água do gado leiteiro igual a 0,01683 Mm³.kanimal⁻¹.ano (EMBRAPA, 2005; EMBRAPA, 2013b).

Tabela 9: Fase gado leiteiro vs. consumo de água

Fase	Duração (Meses)	Consumo de Água (l.dia⁻¹.cabeça)
Bezerro	24	12
Gestação	20	51
Lactação	44	64
Vaca Seca	8	45

Fonte: Elaborada a partir de dados Embrapa (2005; 2013b)

Para as outras criações, foram considerados dados apenas para frangos, visto que o BLUES possui apenas uma agregação de outras criações considerando a quantidade de cabeças de animais criados. Assim, como o Brasil em 2015 possuía cerca de 51,5 milhões de cabeças de frango contra 2,4 milhões cabeças de outros animais (retirando o gado) (EMBRAPA, 2018b), a participação desses outros animais, como os suínos, foi considerada irrisória (menor que 5%).

Para a criação de aves foram desenvolvidas novas entradas de dados e também atualizados os valores de produtividade por cabeça de animal.

Inicialmente foram atualizadas todos as produtividades das tecnologias de criação de outros animais (aves) para que pudessem representar exatamente a realidade brasileira. Assim, foi considerado para o caso da produção de ovos que uma galinha poedeira vive em torno de 90 semanas e que ao longo da sua vida ela possui uma produção média 346 ovos com 0,056 kg por ovo, totalizando cerca de 0,011246 t ovo.cabeça⁻¹.ano (EMBRAPA, 2017). Já para o frango de corte, foi considerada uma produtividade média de 10.000 cabeças de aves por cada hectare de sistema semi-intensivo e 20.000 para sistema intensivo de criação (EMBRAPA, 2016b).

Além disso, foram implementadas as novas entradas de dados de alimentação animal e consumo de água para a tecnologia de outros animais. Para a alimentação animal, foram considerados dados da Embrapa (2016b; 2017) que determinam que a alimentação básica de aves de corte e poedeiras é feita a partir de grãos de milho e soja variando de acordo com a Tabela 10. Com isso, foi possível determinar os consumos médios de 0,03668 t milho.animal⁻¹.ano e 0,02252 t soja.animal⁻¹.ano. No caso do consumo de água,

ele varia conforme a Tabela 10, resultando no coeficiente de dessedentação animal de aves de $0,000092 \text{ Mm}^3.\text{kanimal}^{-1}.\text{ano}$ (EMBRAPA, 2005; EMBRAPA, 2016b).

Tabela 10: Fase frango vs. insumo

Insumo	1-7 semanas	8-21 semanas	22-42 semanas	42-49 semanas
Milho	55,6%	54,7%	57,8%	57,9%
Soja	37,1%	36,6%	32,9%	32,9%
Água	32 ml.dia ⁻¹ .cabeça	104 ml.dia ⁻¹ .cabeça	214 ml.dia ⁻¹ .cabeça	286 ml.dia ⁻¹ .cabeça

Fonte: Elaborada a partir de dados Embrapa, (2005; 2016b; 2017)

3.3. Uso da Água

Para a determinação dos coeficientes de retirada e de consumo de água para irrigação, foi utilizada a base de dados desenvolvida pela FUNARBE (2011). Esta foi feita a partir de uma série de levantamentos de coeficientes, em litros por segundo por área plantada, para cada tipo de cultura existente em cada município do país, considerando o sistema de irrigação, perdas de água associadas e condições edafoclimáticas.

Portanto, foi feita a coleta desses dados inicialmente especificados por município por mês, e posteriormente os dados foram agregados de forma a obter um valor médio por Estado por ano. Para a contabilização da água agregou-se ainda mais para obtenção dos coeficientes regionais de retirada e consumo de água para irrigação por ano, conforme a figura e tabelas abaixo.

id_municipi	NOME	UF	Coef_retirac	Coef_retorr	Coef_consu	Area Irrigac	Qretirada	Qretorno	Qconsumo
3500105	Adamantina	SP	0	0	0	208,12617987	0	0	0
3500105	Adamantina	SP	0,0347093699	0,0067370887	0,0279722812	208,12617987	7,2239285533	1,4021645322	5,8217640211
3500105	Adamantina	SP	0,1409976807	0,0273676498	0,1136300309	208,12617987	29,345308657	5,6959244104	23,649384247
3500105	Adamantina	SP	0,2691423479	0,0522405297	0,2169018182	208,12617987	56,015568713	10,872621887	45,142946825
3500105	Adamantina	SP	0,1715038205	0,0332888916	0,1382149289	208,12617987	35,694434987	6,928289831	28,766145156
3500105	Adamantina	SP	0,2051706610	0,0398236253	0,1653470357	208,12617987	42,701385904	8,288339004	34,4130469
3500105	Adamantina	SP	0,2511091897	0,0487402937	0,202368896	208,12617987	52,262396388	10,144131139	42,118265249
3500105	Adamantina	SP	0,374267832	0,0726453862	0,3016224458	208,12617987	77,894934118	15,119406712	62,775527406
3500105	Adamantina	SP	0,2971134917	0,0576697287	0,239443763	208,12617987	61,837096022	12,002580338	49,834515684
3500105	Adamantina	SP	0,2510326076	0,0487254291	0,2023071785	208,12617987	52,24645765	10,14103743	42,10542022
3500105	Adamantina	SP	0,1957610306	0,0379972160	0,1577638146	208,12617987	40,742995465	7,9082154198	32,834780046
3500105	Adamantina	SP	0,0179065326	0,003475658	0,0144308746	208,12617987	3,7268182294	0,7233754183	3,0034428111
3500204	Adolfo	SP	0	0	0	1106,7834644	0	0	0
3500204	Adolfo	SP	0,027167307	0,0052731743	0,0218941327	1106,7834644	30,068326115	5,8362620989	24,232064016
3500204	Adolfo	SP	0,133042532	0,0258235555	0,1072189765	1106,7834644	147,24927445	28,581084170	118,66819028
3500204	Adolfo	SP	0,3075826767	0,0597017975	0,2478808792	1106,7834644	340,42742054	66,076962326	274,35045821
3500204	Adolfo	SP	0,2520051209	0,048914194	0,2030909269	1106,7834644	278,91510077	54,137421059	224,77767971
3500204	Adolfo	SP	0,2560730241	0,049703774	0,2063692501	1106,7834644	283,41738873	55,011315152	228,40607357
3500204	Adolfo	SP	0,2927814622	0,0568288818	0,2359525803	1106,7834644	324,04568101	62,897266683	261,14841432
3500204	Adolfo	SP	0,4270320514	0,0828869212	0,3441451302	1106,7834644	472,63201326	91,737873775	380,89413949
3500204	Adolfo	SP	0,3713190843	0,0720730343	0,2992460500	1106,7834644	410,96982254	79,769242555	331,20057998
3500204	Adolfo	SP	0,2891283841	0,0561198194	0,2330085647	1106,7834644	320,00251462	62,112488087	257,89002653
3500204	Adolfo	SP	0,1880065842	0,0364920780	0,1515145062	1106,7834644	208,08257865	40,388828515	167,69375013
3500204	Adolfo	SP	0	0	0	1106,7834644	0	0	0

Figura 15: Coeficiente de retirada e consumo municipais por mês
Fonte: Adaptado de FUNARBE (2011)

Tabela 11: Coeficiente de retirada e consumo de água estaduais por ano

Cana-de-açúcar		
Estado	Coeficiente de Retirada (l/s/ha)	Coeficiente de Consumo (l/s/ha)
Espírito Santo	0,20753	0,16725
Minas Gerais	0,20855	0,16807
São Paulo	0,16521	0,13314
Rio de Janeiro	0,09713	0,07827
Média	0,16960	0,13668

Fonte: Elaboração própria

Tabela 12: Coeficientes de retirada e consumo de água estaduais por ano

Cana-de-açúcar		
Estado	Coeficiente de Retirada (l/s/ha)	Coeficiente de Consumo (l/s/ha)
Sul	0,06453	0,05200
Sudeste	0,16960	0,13668
Centro-Oeste	0,22748	0,18332
Norte	0,17660	0,14232
Nordeste	0,41757	0,33652

Fonte: Elaboração própria

A Tabela 13 e a Tabela 14 contêm os coeficientes de retirada e consumo das culturas desenvolvidas nesse trabalho.

Além desses coeficientes de consumo e retirada, também foram desenvolvidos os coeficientes para a pecuária, que foram descritos na seção 3.2.

Esses coeficientes médios de retirada e consumo de água para irrigação e pecuária foram desenvolvidos e implementados no modelo BLUES como um dado de entrada (*input*) para a cada tipo de produção/criação. Assim, passaram a fazer parte do modelo, sofrendo limitações de acordo com as restrições hídricas (seção 3.4.3).

Tabela 13: Coeficientes regionais médios de retirada de água para irrigação (l.s⁻¹.ha plantado)

Região\Cultura	Algodão	Arroz	Café	Cana-de-açúcar	Capim-elefante	Feijão	Milho	Soja	Trigo
	Retirada (l.s ⁻¹ .ha)								
Sul	0,01662	0,18051	0,02755	0,06453	0,00017	0,00274	0,00382	0,00929	0,00534
Sudeste	0,10205	0,18544	0,09693	0,1696	0,01714	0,04551	0,05855	0,09693	0,00961
Centro-Oeste	0,07393	0,13493	0,12793	0,22748	0,03872	0,09181	0,08673	0,10074	0,05835
Norte	-	0,14321	0,09077	0,1766	-	0,04576	0,07328	0,08736	-
Nordeste	0,25867	0,39019	0,23653	0,41757	0,07053	0,17897	0,17299	0,13506	0,07401

Fonte: Elaboração própria

Tabela 14: Coeficientes regionais médios de consumo de água para irrigação (l.s⁻¹.ha plantado)

Região\Cultura	Algodão	Arroz	Café	Cana-de-açúcar	Capim-elefante	Feijão	Milho	Soja	Trigo
	Consumo (l.s ⁻¹ .ha)								
Sul	0,0134	0,11415	0,02179	0,052	0,00014	0,00221	0,00308	0,00749	0,0043
Sudeste	0,08224	0,11344	0,07667	0,13668	0,01381	0,03667	0,04718	0,07811	0,00774
Centro-Oeste	0,05958	0,10874	0,10119	0,18332	0,0312	0,07399	0,0699	0,08119	0,04702
Norte	-	0,09982	0,0718	0,14232	-	0,03688	0,05906	0,0704	-
Nordeste	0,20846	0,29445	0,1871	0,33652	0,05684	0,14423	0,13941	0,10884	0,05965

Fonte: Elaboração própria

3.4. Restrições

Para limitar a expansão das tecnologias de cultivo de alta produtividade, houve a necessidade da aplicação de restrições espaciais (área) e de fornecimento de insumos como fertilizantes para o modelo.

Foram implementadas porcentagens pré-estabelecidas de níveis máximos de penetração para as tecnologias de Alta Produtividade e Verde +, de modo a representar a menor disponibilidade do produtor em adotar os novos meios de cultivo no início do período de análise do que no final do mesmo (2050). Logo, foram adotados percentuais de disponibilidade de área para penetração dessas tecnologias de acordo com a Figura 16.

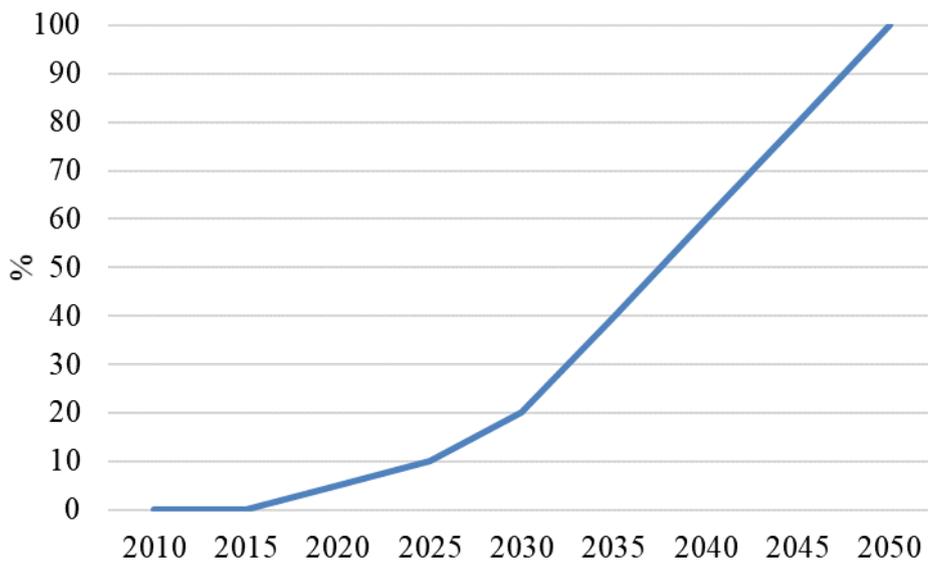


Figura 16: Percentual de disponibilidade de área para a entrada das tecnologias Alta Produtividade e Verde+
Fonte: Elaboração própria

Além disso, foram desenvolvidas três restrições que serão expostas a seguir neste capítulo.

3.4.1. Restrição de área

Para determinar a quantidade de área disponível para a produção das tecnologias Alta Produtividade e Verde+, foram utilizadas as portarias de Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC). O ZARC é um método desenvolvido pela Embrapa e é utilizado anualmente pelo MAPA e indica as datas e períodos de plantio por cultura e município, de acordo com características edafoclimáticas. O intuito do ZARC é de servir como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão para o planejamento de atividades agrícolas, sendo requisito para a concessão de crédito agrícola e a contratação do Programa de Garantia de Atividade Agropecuária (PROAGRO) e do Seguro Rural (TCU, 2014).

Entretanto, foi necessário averiguar os municípios mais adequados para a produção de cada tipo de cultura, assim, foram computados todos os municípios presentes no Grupo 1 (menor tempo de desenvolvimento da lavoura) e que tivessem até 20% de riscos climáticos, logo, os municípios “mais aptos” para a produção de cada cultivar.

Posteriormente, foram excluídas as áreas de Reserva Legal necessárias de acordo com cada bioma por estado e as áreas urbanas de cada região. Com isso, foram determinadas as áreas disponíveis para cada cultura por região e a área total de cada região para a produção através das tecnologias de Alta Produtividade e Verde +.

3.4.2. Restrição de insumo

Uma restrição importante a ser considerada para as duas tecnologias, Alta Produtividade e Verde+, é a da oferta máxima de fertilizante.

A tecnologia de Alta Produtividade por utilizar fertilizante convencional (químico) não apresenta qualquer problema de oferta, visto a possibilidade de importação desse tipo de insumo, o que não acontece com a tecnologia Verde + por utilizar apenas biofertilizantes.

Portanto, foi feito o levantamento dos tipos de biofertilizantes habituais e que pudessem se produzidos em larga escala. As alternativas que mais se enquadraram para esse contexto foram os biofertilizantes produzidos a partir de dejetos animais, principalmente oriundos de bovinos e da avicultura (GUAZZELLI et al., 2012) e resíduos agrícola, como bagaço de cana, palhada de milho e capim-elefante (LEAL, 2014). Entretanto, referente aos dejetos animais, devido ao sistema de criação bovina brasileiro ser majoritariamente extensivo, se torna extremamente difícil e onerosa a produção em larga escala de biofertilizantes provenientes de seus dejetos. Logo, foi determinada a utilização e quantificação de biofertilizantes provenientes de dejetos da avicultura, como a cama de frango¹⁵.

Com isso, foi possível fazer uma conexão dentro do modelo entre a avicultura e a produção de biofertilizantes. Segundo Aires et al. (2011) e Nascimento (2011), a produção de cama de frango está entre 2,2 e 3,1 kg de cama de frango por ave, contendo aproximadamente 2,6% de nitrogênio (FRANÇA, 2013). Já segundo Aires et al. (2011), a quantidade média de nitrogênio no biofertilizantes é de 4,8%. Esses dados permitiram calcular que cada cabeça de frango gerará por ano cerca de 0,0018 t de biofertilizante e cerca de 0,5 kg de ureia equivalente.

Para a produção de biofertilizante a partir de resíduos agrícolas, foram utilizados teores de nitrogênio variando entre 1,0 e 2,0% (LEAL, 2014). Posteriormente, esse valor foi comparado diretamente ao teor de nitrogênio presente na cama de frango (2,6%), definindo que cada tonelada de resíduo agrícola gera entre 0,2 e 0,4 kg de ureia equivalente em forma de biofertilizante.

Por fim, os dados de produção de biofertilizantes foram implementados no BLUES através de dois vínculos. O primeiro entre a avicultura e seus rejeitos, que passou a gerar a possibilidade de esses dejetos serem descartados, causando emissões diretas de N₂O pela avicultura ou então, que fossem aproveitados pela agricultura em forma de biofertilizantes, evitando a utilização de insumos químicos. O outro vínculo criado foi entre a produção agrícola que necessariamente já gerava resíduos que anteriormente poderiam ser descartados (gerando N₂O), queimados (emitindo CO₂) ou então, utilizados

¹⁵ Cama de frango – Material distribuído em galpões para servir de leito para as aves e receber excreções, restos de ração e penas.

para a produção de biocombustíveis, e agora, passam a também, estar disponíveis para a produção de biofertilizantes.

3.4.3. Restrição hídrica

Com o intuito de limitar a expansão de culturas e criações com altas necessidades hídricas em regiões do Brasil que possuem pouca disponibilidade hídrica, foi desenvolvida e implementada a restrição hídrica de acordo com Arroyo (2018).

Primeiramente foram identificadas as principais bacias hidrográficas brasileiras e suas respectivas divisões dentro do Brasil (Tabela 15). Após esse processo, foram levantadas junto à ANA (2016) as informações dos dados de retirada hídrica do setor não-energético e rural e as vazões máximas outorgáveis pela ANA de cada bacia/região para os anos de 2010 e 2015 (Tabela 16). Aos valores de retirada hídrica de 2015 foram computadas taxas médias de crescimento de retirada de água de acordo com Szklo et al. (2017) (Tabela 17).

Tabela 15: Bacias e regiões do BLUES

Regiões BLUES	Regiões Hídricas	Bacias
Sul	Atlântico Sul	1
	Uruguai	2
	Paraná	3
Sudeste	Paraná	3
	Atlântico Sudeste	4
	Atlântico Leste	5
	São Francisco	6
Centro-Oeste	Paraná	3
	Paraguai	7
	Tocantins	8
	Amazônica	12
Nordeste	Atlântico Leste	5
	São Francisco	6
	Nordeste Ocidental	9
	Nordeste Oriental	10
	Parnaíba	11
Norte	Amazônica	12
	Tocantins	8

Fonte: Adaptado de Arroyo (2018)

Tabela 16: Retiradas não-energéticas e rurais e vazão máxima outorgável ANA

Sul	Retirada não-energético e rural (Mm³) 2010	Retirada não-energético e rural (Mm³) 2015	Vazão máxima outorgável ANA (Mm³)
Bacia 1	1.195,00	1.249,00	14.283,00
Bacia 2	345,00	361,00	12.472,00
Bacia 3	908,00	1.095,00	23.048,00
Sudeste	Retirada não-energético e rural (Mm³) 2010	Retirada não-energético e rural (Mm³) 2015	Vazão máxima outorgável ANA (Mm³)
Bacia 3	6.760,00	7.119,00	63.563,00
Bacia 4	4.450,00	4.682,00	25.276,00
Bacia 5	595,00	630,00	2.948,00
Bacia 6	2.097,00	2.215,00	19.261,00
Centro-Oeste	Retirada não-energético e rural (Mm³) 2010	Retirada não-energético e rural (Mm³) 2015	Vazão máxima outorgável ANA (Mm³)
Bacia 3	1.654,00	1.744,00	44.869,00
Bacia 7	300,00	315,00	17.263,00
Bacia 8	190,00	199,00	40.517,00
Bacia 12	285,00	301,00	20.530,00
Nordeste	Retirada não-energético e rural (Mm³) 2010	Retirada não-energético e rural (Mm³) 2015	Vazão máxima outorgável ANA (Mm³)
Bacia 5	1.305,00	1.370,00	6.745,00
Bacia 6	497,00	522,00	21.556,00
Bacia 9	350,00	367,00	7.064,00
Bacia 10	2.501,00	2.627,00	2.009,00
Bacia 11	350,00	367,00	8.367,00
Norte	Retirada não-energético e rural (Mm³) 2010	Retirada não-energético e rural (Mm³) 2015	Vazão máxima outorgável ANA (Mm³)
Bacia 8	1.300,00	1.367,00	79.727,00
Bacia 12	800,00	839,00	762.345,00

Fonte: Adaptado de Arroyo (2018)

Tabela 17: Taxa média de crescimento da demanda hídrica

Ano	Taxa de Crescimento
2010	-
2015	-
2020	0,57%
2025	1,42%
2030	1,22%
2035	1,05%
2040	0,90%
2045	0,79%
2050	0,63%

Fonte: Adaptado de Szklo et al. (2017)

Para tentar representar a característica hídrica da região, foi feita uma ponderação sobre a quantidade de água que é utilizada hoje em dia para cada tipo de setor (Tabela 18) considerando se a bacia é mais propensa ao setor industrial, urbano ou rural. Assim, foram feitas projeções da disponibilidade hídrica para o setor de agropecuária considerando 70% de Q95¹⁶. Logo, foi possível identificar a disponibilidade hídrica de cada região de 2010 até 2050 (Tabela 19) para o setor agropecuário e posteriormente implementar esses dados no BLUES. Esses resultados foram entendidos no modelo como sendo o valor máximo possível de retirada de água pelas tecnologias de produção agropecuária.

Essa restrição foi adotada, pois o BLUES não continha quaisquer restrições de consumo de água, sendo necessário fazer a quantificação do total de água consumida por cada setor/região de forma exógena. Assim, aumentando as inconsistências do modelo que poderia optar por implementar grandes áreas de plantio irrigado em regiões de grande vulnerabilidade hídrica. Logo, não foi possível encontrar uma solução ótima para os cenários que levassem em consideração o volume de água retirada nas regiões.

¹⁶ Q95 – vazão mínima que um corpo hídrico possui em pelo menos 95% do tempo.

Tabela 18: Porcentagem de água disponibilizada para agropecuária em 2010 e 2015 por bacia

Região	Bacia	Água disponibilizada para a agropecuária
Sul	Bacia 1	85%
	Bacia 2	87%
	Bacia 3	21%
Sudeste	Bacia 3	45%
	Bacia 4	23%
	Bacia 5	53%
	Bacia 6	47%
Centro-Oeste	Bacia 3	65%
	Bacia 7	70%
	Bacia 8	84%
	Bacia 12	86%
Nordeste	Bacia 5	45%
	Bacia 6	85%
	Bacia 9	41%
	Bacia 10	61%
	Bacia 11	61%
Norte	Bacia 8	49%
	Bacia 12	31%

Fonte: Elaboração própria

Tabela 19: Disponibilidade hídrica de 2010 a 2050

Ano	Disponibilidade Hídrica (Mm³)				
	Sul	Sudeste	Centro-Oeste	Norte	Nordeste
2010	17.034	17.620	60.185	190.675	16.405
2015	16.777	16.876	60.055	190.569	16.155
2020	16.762	16.794	60.041	190.557	16.126
2025	16.723	16.585	60.004	190.525	16.051
2030	16.689	16.403	59.973	190.498	15.986
2035	16.660	16.245	59.945	190.474	15.929
2040	16.635	16.107	59.921	190.453	15.880
2045	16.613	15.986	59.900	190.435	15.836
2050	16.594	15.889	59.883	190.420	15.801

Fonte: Elaboração própria

3.5. Cenários

A definição dos cenários aqui proposta em consonância com o estudo de Koberle (2018) visa exatamente comparar os resultados deste estudo com os resultados do estudo anterior, de forma a identificar se o maior detalhamento metodológico aqui realizado agrega maior qualidade aos resultados da modelagem. Logo, foram desenvolvidos 6 cenários, os cenários de Linha de Base (LB) são considerados como os tendenciais, que não incorporam restrições de emissões de GEE, efeitos sobre o uso da terra e água e utilizam políticas ambientais correntes. Então, foram desenvolvidos dois novos cenários LB, denominados LB_Novo, que possui as mesmas especificações do cenário LB desenvolvido por Koberle (2018) (LB_Antigo), só que com os novos parâmetros agropecuários, e também, o cenário LB com Restrição Hídrica (LB_Novo_H) que é semelhante ao LB_Novo, porém, considera a restrição de máxima retirada hídrica descrita na seção 3.4.3. No mesmo contexto desenvolveram-se os cenários de aquecimento global limitado a 2°C e 1,5°C (2D_Novo e 1D_Novo, respectivamente) em 2100, em relação aos níveis pré-industriais, conforme descrito por Koberle (2018) (2D_Antigo e 1D_Antigo). Da mesma maneira, também foram avaliados os cenários de aquecimento global com limitação hídrica (2D_Novo_H e 1D_Novo_H). A descrição completa dos cenários pode ser observada na Tabela 20.

Tabela 20: Cenários propostos

Cenário	Sigla
Linha de Base desenvolvido por Koberle (2018)	LB_Antigo
Linha de Base desenvolvido no estudo	LB_Novo
Linha de Base desenvolvido no estudo com Restrição Hídrica	LB_Novo_H
Restrição de CO _{2eq} para aquecimento global de até 2,0°C desenvolvido por Koberle (2018)	2D_Antigo
Restrição de CO _{2eq} para aquecimento global de até 2,0°C desenvolvido no estudo	2D_Novo
Restrição de CO _{2eq} para aquecimento global de até 2,0°C desenvolvido no estudo com Restrição Hídrica	2D_Novo_H
Restrição de CO _{2eq} para aquecimento global de até 1,5°C desenvolvido por Koberle (2018)	1D_Antigo
Restrição de CO _{2eq} para aquecimento global de até 1,5°C desenvolvido no estudo	1D_Novo
Restrição de CO _{2eq} para aquecimento global de até 1,5°C desenvolvido no estudo com Restrição Hídrica	1D_Novo_H

Fonte: Elaboração própria

4. ESTUDO DE CASO

Nessa seção serão expostas as comparações dos resultados decorrentes de cada cenário desenvolvido nesse estudo com os do estudo desenvolvidos por Koberle (2018).

Nas subseções a seguir usaram-se gráficos para melhor compreensão e entendimento dos resultados obtidos, porém as tabelas que serviram de base para estes gráficos estão disponíveis no Apêndice III.

4.1. Cenários simulados antes e após as modificações no modelo BLUES

Inicialmente, os resultados dos cenários que rodaram com a nova versão do BLUES com e sem restrições hídricas demonstraram comportamentos muito similares entre os seus pares de perfil de restrição de emissões de GEE. Isto ocorreu devido a não terem sido encontradas condições críticas de estresse hídrico nos cenários analisados. Assim, a seguir são feitas análises apenas dos cenários “Antigo” e “Novo” com a restrição hídrica (Novo_H). Nota-se também que os resultados do modelo indicaram mudanças mais significativas apenas no final do período de análise, entre 2040 e 2050. Isso corrobora a hipótese de que as transições energéticas globais estão associadas a uma inércia no curto prazo (ZOTIN, 2018).

4.1.1. Energia primária, geração de energia elétrica e biocombustíveis

Ao observar os resultados mais amplos do sistema energético fornecidos pelo BLUES, que é o consumo de energia primária da matriz energética brasileira, com a indicação de quais são as fontes energéticas primárias que foram adotadas no Brasil, pode-se determinar que as alterações feitas no BLUES não afetaram significativamente a quantidade de energia exigida pela matriz energética brasileira nos cenários LB e 2D (variações máximas de 4% do total). Entretanto, o mesmo não pode ser dito nos cenários 1D, que nos anos de 2045 e 2050 apresentou com o modelo antigo um crescimento de

demanda energética elevado, chegando a exigir crescimento de 25% entre os anos de 2040 e 2045, variando cerca de 180 Mtep entre 2040 e 2050. Contudo, após as alterações, o modelo continuou apresentando crescimentos gradativos de aproximadamente 10%, conforme já vinha sendo observado nos anos anteriores. Ao se comparar os dois resultados dos cenários 1D (Antigo e Novo_H), o total de energia primária exigida pelo modelo após as modificações foi cerca de 23% inferior. Além disso, em todos os cenários e anos, o modelo após as modificações apresentou menores demandas energéticas do que nos cenários do modelo antigo.

Essa maior demanda de energia primária nos cenários “Antigo” deveu-se principalmente a menores utilizações de fontes energéticas como biomassa e cana-de-açúcar, que chegaram a representar uma redução de aproximadamente 120 Mtep em 2050 no cenário 1D_Novo_H em comparação com 1D_Antigo. Essas fontes foram substituídas em parte por fontes de origem fósseis como o caso do carvão que chegou a apresentar demandas 172% superiores no cenário 2D_Novo_H em comparação com 2D_Antigo. É importante ressaltar que o carvão em questão não utiliza a tecnologia de CCS (*carbon capture and storage*) e a sua entrada, substituindo a bioenergia, ocorreu devido a menor emissão de GEE proveniente da pecuária, que fez com que houvesse uma sobra maior de CO₂ do orçamento de carbono brasileiro previamente fixado no modelo para o atingimento das metas climáticas mundiais. Essa parte será mais bem explicada na seção de emissões.

Ao se analisarem os resultados das demandas de energia elétrica, o novo modelo sempre apresentou resultados superiores, chegando em 2050 a ser cerca de 8% superior no cenário LB_Novo_H, 9% superior no cenário 2D_Novo_H e 4% superior no cenário 1D_Novo_H. Além disso, os cenários após as modificações apresentaram maiores demandas por energia elétrica proveniente de carvão importado e biomassa, porém, menor de gás natural.

Por sua vez, a produção de biocombustíveis (Figura 17) também apresentou comportamento similar ao da geração de energia elétrica. O modelo após as alterações indicou produções totais ao longo do período analisado cerca de 9% superiores no cenário LB, 12,5% no 2D e 6% em 1D. Contudo, justamente nos últimos anos (2045 e 2050) houve uma inversão desse perfil, tornando os cenários do modelo antigo mais demandantes em biocombustíveis do que os cenários do modelo novo, sendo esses

resultados semelhantes aos encontrados anteriormente na comparação da necessidade de energia primária.

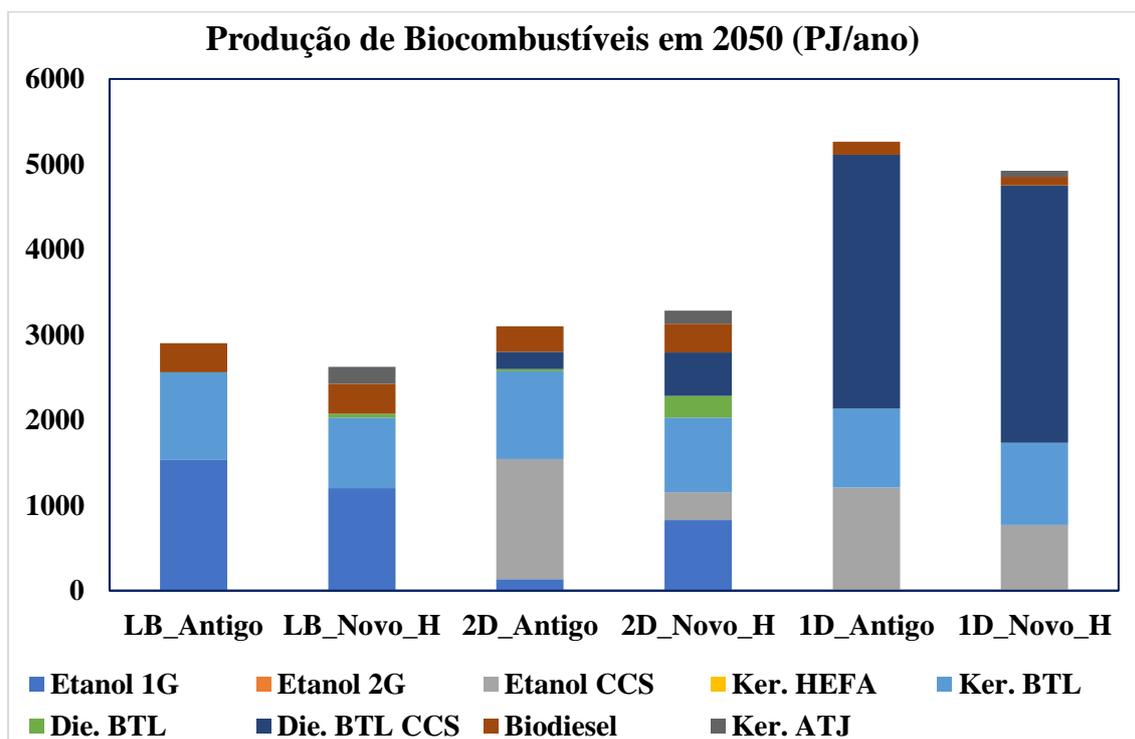


Figura 17: Produção de biocombustíveis em 2050
Fonte: Elaboração própria

Além disso, outro ponto a se destacar é a mudança no perfil da demanda de cada tipo de biocombustível que a inclusão das mudanças realizadas nesta dissertação provocou no modelo BLUES. Ao fazer uma análise sobre as modificações nos cenários LB, o novo modelo decidiu por uma maior utilização de etanol de primeira geração até atingir o seu ápice em 2030. Após esse ano, as modificações no modelo fizeram com que o mesmo mudasse seu perfil produtivo e trocasse a produção de etanol de primeira geração por querosene do tipo ATJ (*alcohol-to-jet*), enquanto o modelo antigo continuou produzindo maiores quantidades de etanol de primeira geração e também, de querosene do tipo BTL (*biomass-to-liquid*). Ademais, o biodiesel permaneceu durante todo o tempo como sendo um dos 3 combustíveis mais demandados.

Já nos cenários com limitações de aquecimento global até 2°C até 2100 (2D), durante todo o período de estudo as mudanças no modelo fizeram com que houvesse uma maior utilização de etanol de primeira geração. Contudo, é interessante notar que a partir

de 2030 novamente ocorreu uma diminuição na utilização desse biocombustível nos dois modelos (com e sem modificações). No modelo antigo o etanol 1G era trocado por maiores volumes de querosene BTL e etanol com CCS. Principalmente de 2035 em diante, o etanol com CCS se tornou o biocombustível mais utilizado no cenário 2D_Antigo, seguido pelo querosene BTL. No modelo novo, a diminuição da utilização do etanol 1G provocou maiores produções de uma grande gama de biocombustíveis, como etanol com CCS, querosene BTL e ATJ e diesel BTL e BTL com CCS, porém, continuando o etanol 1G entre os dois biocombustíveis mais produzidos, juntamente com o querosene BTL. Novamente o biodiesel continuou tendo um papel importante nos cenários analisados, visto que obteve produções constantes e durante todo o tempo permaneceu entre os biocombustíveis mais requisitados.

Por fim, os cenários 1D também apresentaram trajetórias similares às já explanada. Entretanto, houve a partir de 2035 a necessidade de produção de biocombustíveis do tipo BTL e CCS, visto a imposição de energéticos carbono-negativos. Assim, em todos os cenários 1D, a produção de diesel do tipo BTL com CCS representou cerca de 3/5 de toda a produção de biocombustíveis em 2050, seguido por etanol com CCS e querosene BTL. Tal resultado demonstra o grande impacto do setor de transportes rodoviário nas emissões de CO_{2eq} brasileiras, visto que essa quantidade de diesel sintético é igual ou superior a demanda de todos os biocombustíveis juntos nos cenários mencionados anteriormente (LB e 2D).

Um ponto de destaque é que, devido à maior utilização acumulada de biocombustíveis proveniente das mudanças feitas no modelo BLUES, houve uma folga na quantidade de GEE emitida na atmosfera, que acabou privilegiando a geração elétrica a partir de carvão importado no cenário de aquecimento global limitado à 2°C em 2100, que chegou a ser 319% superior ao observado no modelo sem as modificações. Além disso, impulsionou geração de energia elétrica a partir da cogeração da biomassa, vista a maior disponibilidade desse material devido à sua utilização nos combustíveis do tipo BTL.

Contudo, essa grande penetração de biocombustíveis e as modificações no perfil de geração elétrica da matriz energética brasileira gerou impactos no setor uso do solo. Ocorreram mudanças significativas nesse setor, entretanto, as modificações realizadas no modelo BLUES acabaram fazendo com que houvesse menores alterações entre 2010 e 2050 do que no modelo antigo. Além disso, nos 3 cenários, as modificações no BLUES

tornaram menos necessário suprimir áreas de savana, visto a menor migração do setor agropecuário para essas regiões e a inclusão da tecnologia de alta produtividade, que será destacada posteriormente.

4.1.2. Mudança no uso do solo

Inicialmente, nos cenários LB (Figura 18), as modificações fizeram com que o desmatamento de florestas e savanas gerassem áreas necessárias para a produção de terras para o setor pecuário, enquanto no modelo sem as modificações, as áreas foram destinadas prioritariamente para o setor agrícola. Outra alteração que ocorreu nos modelos com e sem as modificações foi a expansão das terras provenientes para a pecuária, o BLUES antigo apresentou uma redução de área destinada para pasto degradado, florestas e savanas, que foi aproveitada para a expansão da quantidade de áreas destinadas para pasto de alta qualidade e cultivos agrícolas em áreas de plantio simples e duplo. Já após as mudanças realizadas no modelo, o novo BLUES passou a apresentar crescimento tanto das áreas de pasto degradada, quanto de pasto recuperado, em detrimento de áreas de florestas e savanas, sem aumentar a quantidade de área destinada para a agricultura, visto que a quantidade de área aumentada para a produção de cultivo simples é igual a área retirada do cultivo duplo. Além disso, foi observado que o novo modelo necessitou exercer menores pressões sobre o setor de uso do solo, visto a menor supressão de áreas de savanas e menores mudanças acumuladas de uso do solo.

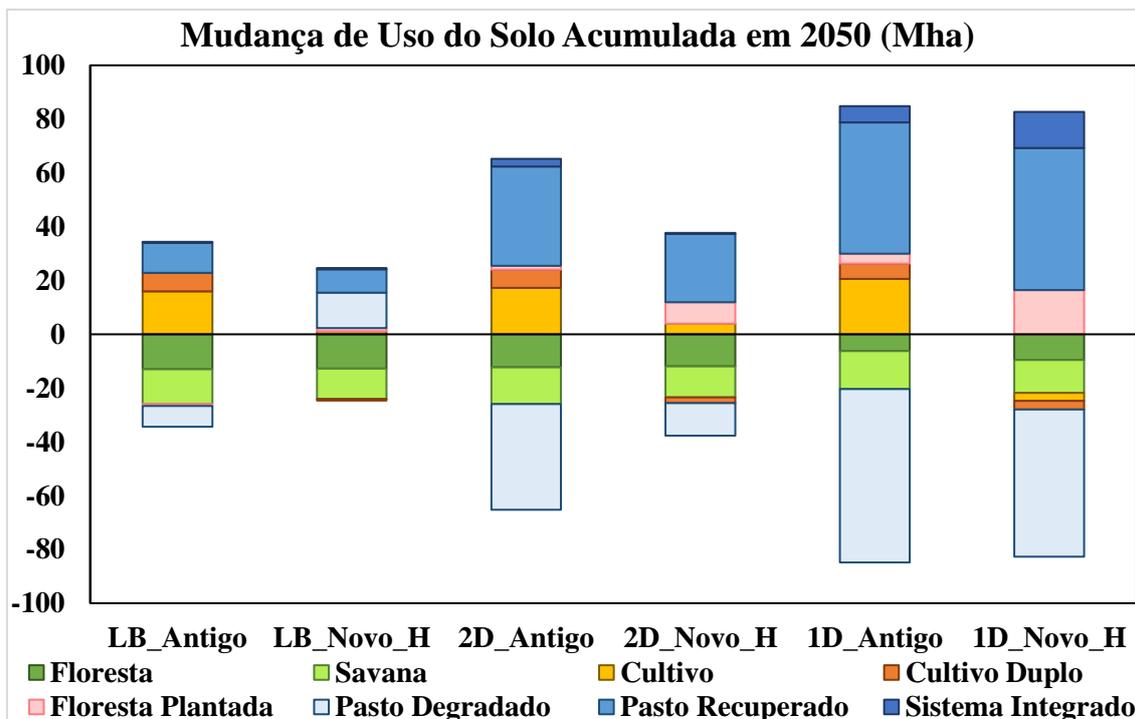


Figura 18: Mudança de uso do solo acumulada em 2050
 Fonte: Elaboração própria

Algo semelhante aconteceu nos resultados dos cenários de aquecimento global fixado em 2°C (2D). O modelo antigo necessitou de maiores trocas de terras de pastagens degradadas para suprir as áreas de pastagem recuperada e parte das áreas necessárias para o aumento de área do setor agrícola. Porém, com a limitação de GEE, necessitaram-se maiores conversões de pasto degradado para pasto recuperado, justamente para aumentar as taxas de fixação de carbono provenientes desses pastos e assim, auxiliando na redução de CO_{2e}. Após as modificações, como o modelo passou a produzir maiores quantidades de biocombustíveis e aumentou a geração elétrica a partir de fontes renováveis como biomassa e bagaço, não houve a necessidade de mudanças tão acentuadas no uso do solo, visto que não ocorreram grandes conversões de pasto degradado em pasto recuperado. Além disso, não foi essencial haver a mesma quantidade de desmatamento a fim de aumentar as fronteiras agropecuárias, entretanto, começou a ser observada a penetração de áreas destinadas ao plantio de florestas plantadas (eucalipto e pinus) para suprir a demanda de matéria-prima para a produção de biocombustíveis do tipo BTL que, diferentemente do caso antigo, utilizou maiores proporções de florestas plantadas do que de gramíneas.

Ademais, no caso dos cenários do tipo 1D, os resultados para o setor de uso do solo foram muito semelhantes aos apresentados acima no 2D, entretanto, necessitando de

maiores conversões de pastos degradados em pastos recuperados justamente para aumentar a fixação de carbono no solo. Além disso, o modelo novo apresentou aumentos das áreas requisitadas para o cultivo de florestas plantadas e de sistemas integrados. O novo modelo também passou a intensificar ainda mais as produções agrícolas, tanto que as áreas destinadas a produção do tipo simples e duplo sofreram diminuições. Já o modelo antigo, por não contar com esse tipo de tecnologia continuou necessitando expandir as fronteiras agrícolas.

Devido às modificações feitas, em todos os cenários analisados, o novo modelo apresentou menores áreas de desflorestamento de savanas. Isso se deveu, principalmente, ao maior detalhamento, que fez com que o cultivo nessas áreas se tornasse inviável devido à baixa produtividade local e o alto nível de investimento em insumos, como fertilizantes nitrogenados necessários para suprir as necessidades mínimas de desenvolvimento das culturas. Além disso, em todos os cenários Novo_H, houve uma migração das culturas do tipo cultivo duplo. Este cultivo foi trocado principalmente por áreas de sistema integrado ou florestas plantadas, mostrando que o cultivo da safrinha nessas áreas deixou de ser vantajoso.

Com isso, todos os novos cenários confluíram para alcançar alguns dos principais objetivos de desenvolvimento sustentável defendidos no Acordo de Paris, como o SDG 13, que propõe a diminuição das emissões de GEE, que acontece também durante os processos de desflorestamento de florestas e savanas. Além do SDG 15, que devido a não haver níveis tão grandes de desmatamento e aumentar as áreas de sistema integrado e de florestas plantadas, aumenta a biodiversidade local e diminuiu a degradação do solo.

4.1.3. Produção agrícola

Conforme supracitado na seção anterior, a Figura 19 evidencia a maior produção de culturas bioenergéticas requisitada pelo setor de biocombustíveis e geração elétrica a partir de biomassa. Durante todo o tempo o novo modelo requisitou maiores volumes de fontes energéticas que tinham como matéria-prima culturas bioenergéticas como soja e florestas plantadas, porém, foram percebidas reduções significativas nas demandas de cana-de-açúcar e também, drásticas reduções nos cultivos de gramíneas. As mudanças de

produtividade e necessidades de insumos agrícolas como fertilizantes nitrogenados e água, resultaram na mudança do modelo em produzir grandes volumes de florestas plantadas para o abastecimento de usinas de produção de biocombustíveis BTL ao invés de gramíneas, que vinham sendo escolhidas no modelo antigo. Além disso, a Figura 20 mostra que as quantidades produzidas dos dois cultivos são muito similares, inclusive apresentando taxas de crescimento iguais de acordo com as evoluções dos cenários (LB para 2D e 2D para 1D). Do mesmo modo, houve uma diminuição da produção de cana-de-açúcar em todos os cenários climáticos do novo modelo em comparação com o modelo antigo. Essa diminuição foi impulsionada principalmente pela redução da produção de biocombustíveis dependentes desse tipo de insumo agrícola, como é o caso dos biocombustíveis do tipo ATJ e etanol (com e sem CCS), que obtiveram menores produções no novo modelo do que no antigo.

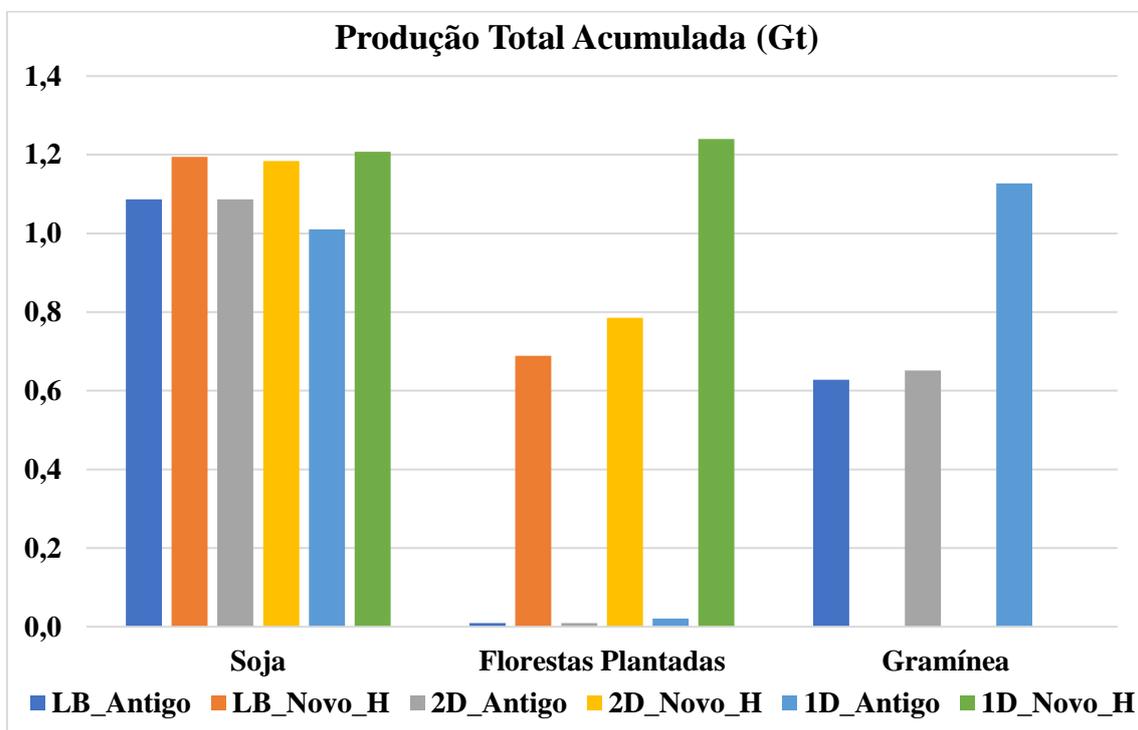


Figura 19: Produção total acumulada de soja, floresta plantada e gramínea em 2050
 Fonte: Elaboração própria

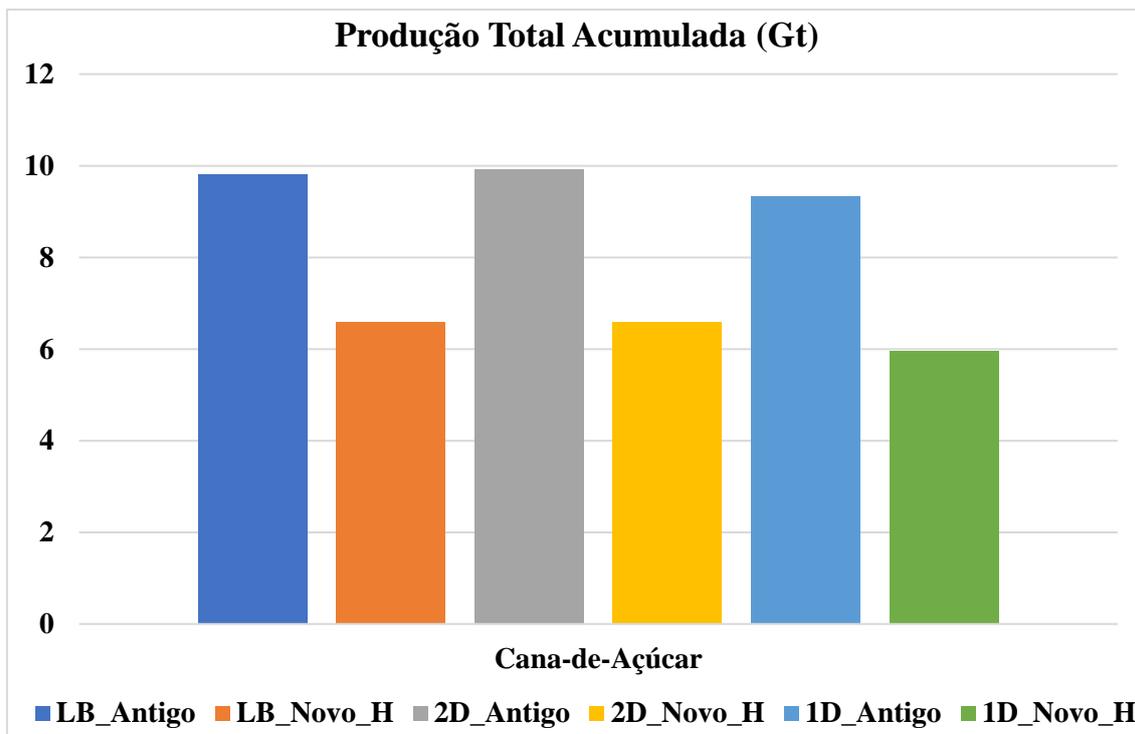


Figura 20: Produção total acumulada de cana-de-açúcar em 2050
 Fonte: Elaboração própria

Contudo, esse nível de produção de cultivos bioenergéticos sem aumentar as áreas de terras cultiváveis só foi possível devido a implementação da tecnologia de alta produtividade no novo modelo BLUES. Nas Figura 21, 22 e 23 é possível observar que a partir de 2020 o modelo apresentou grandes demandas de cultivos de alta produtividade de culturas alimentares como trigo, milho, arroz, feijão e café, sendo a produção em alta produtividade das culturas bioenergéticas presentes, porém diminutas, a não ser no cenário 1D que apresentou grandes produções de cana-de-açúcar e soja em anos específicos. Logo, se mostrou fundamental a implementação desse tipo de tecnologia no modelo, dado a sua importância para a diminuição de pressões das fronteiras agrícolas sobre áreas de florestas, o que diminuiu a necessidade de aumentar a quantidade de terras agricultáveis, já que se tornou mais barato aumentar a produtividade dessa culturas do que expandir o seu território.

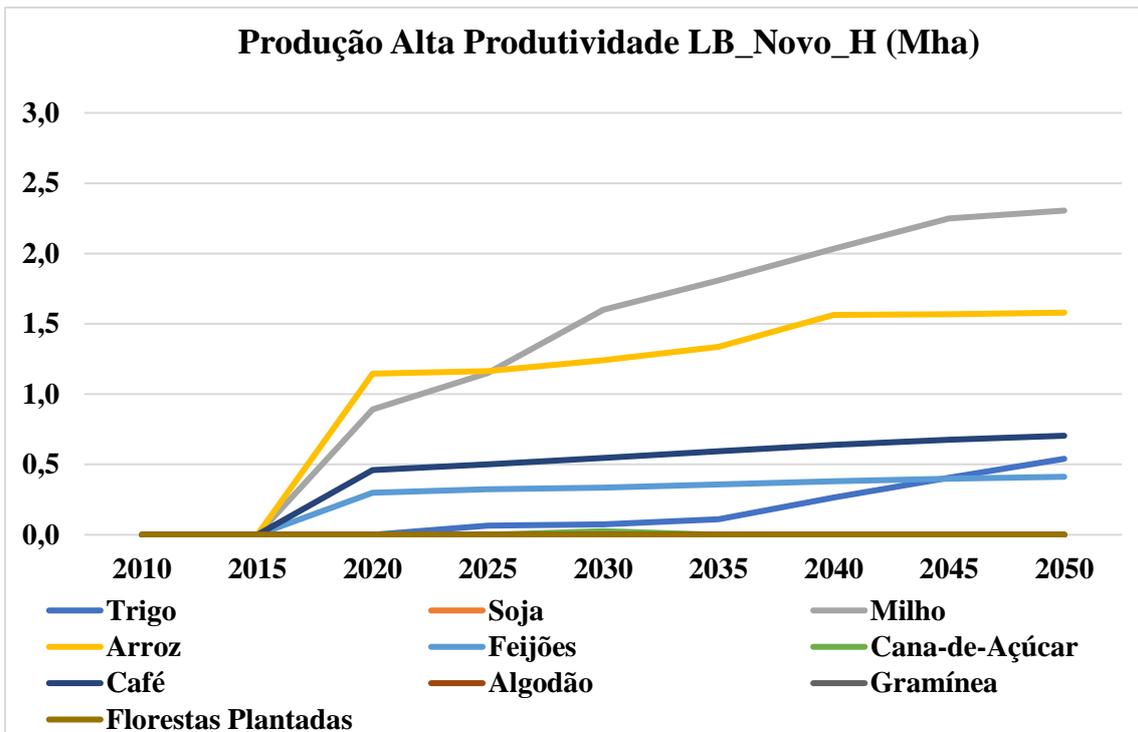


Figura 21: Trajetória da produção com tecnologia de alta produtividade no cenário LB_Novo_H
 Fonte: Elaboração própria

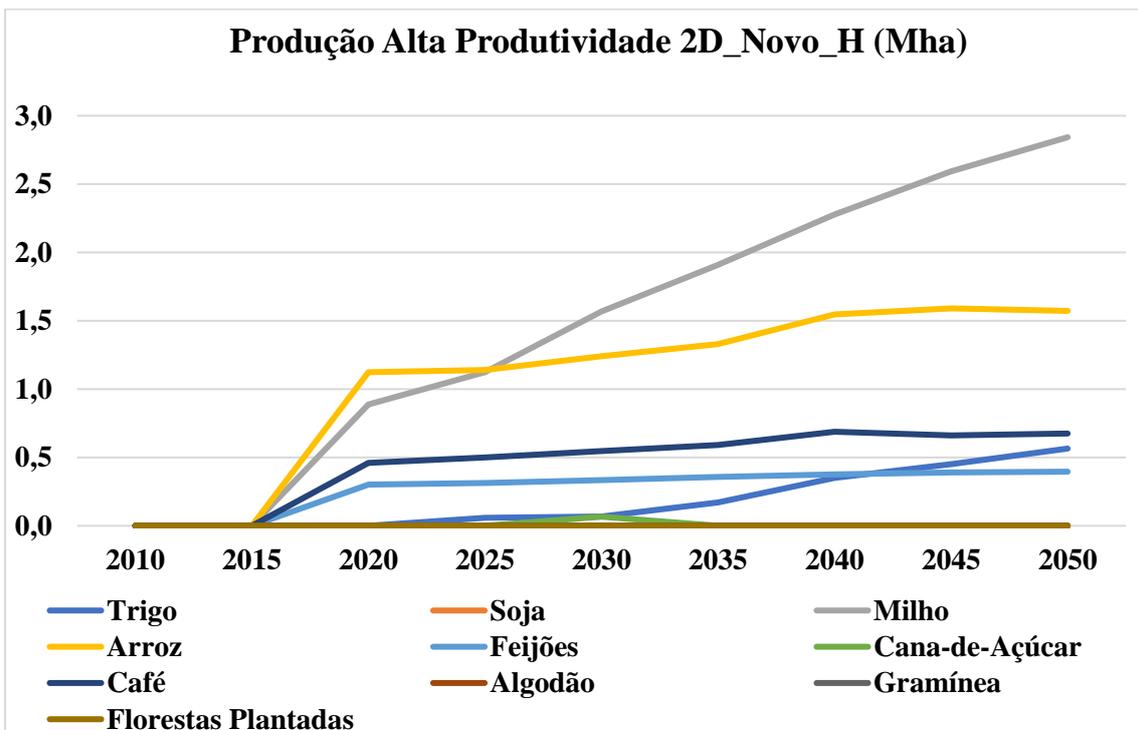


Figura 22: Trajetória da produção com tecnologia de alta produtividade no cenário 2D_Novo_H
 Fonte: Elaboração própria

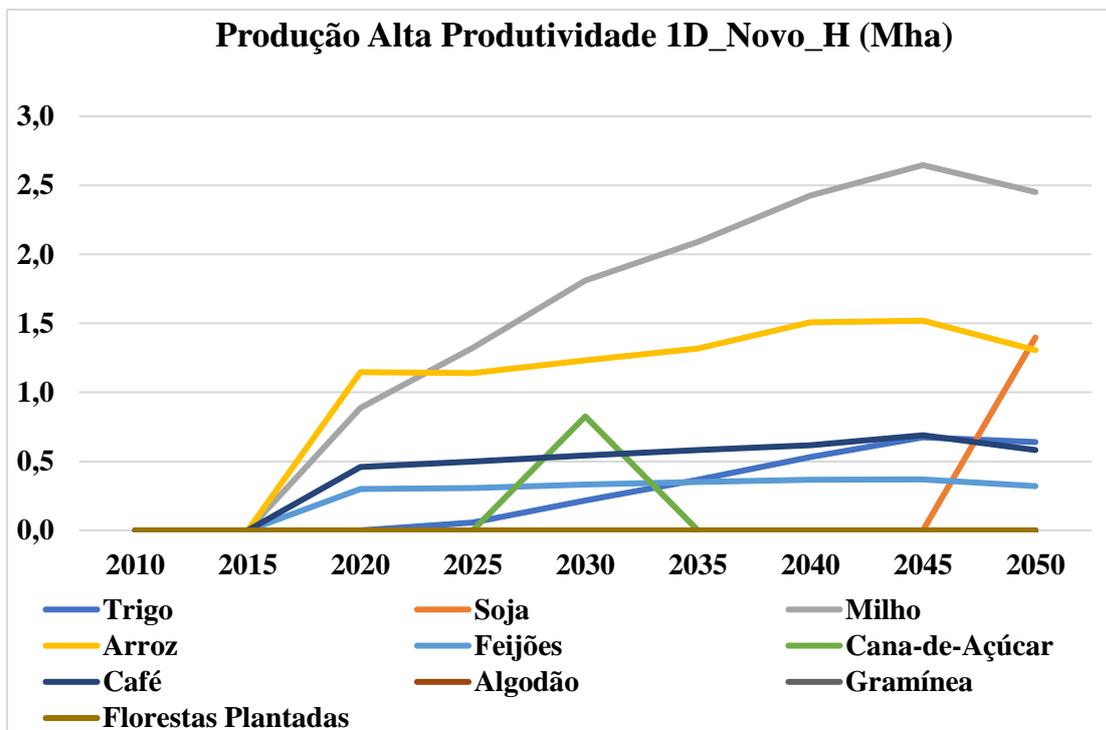
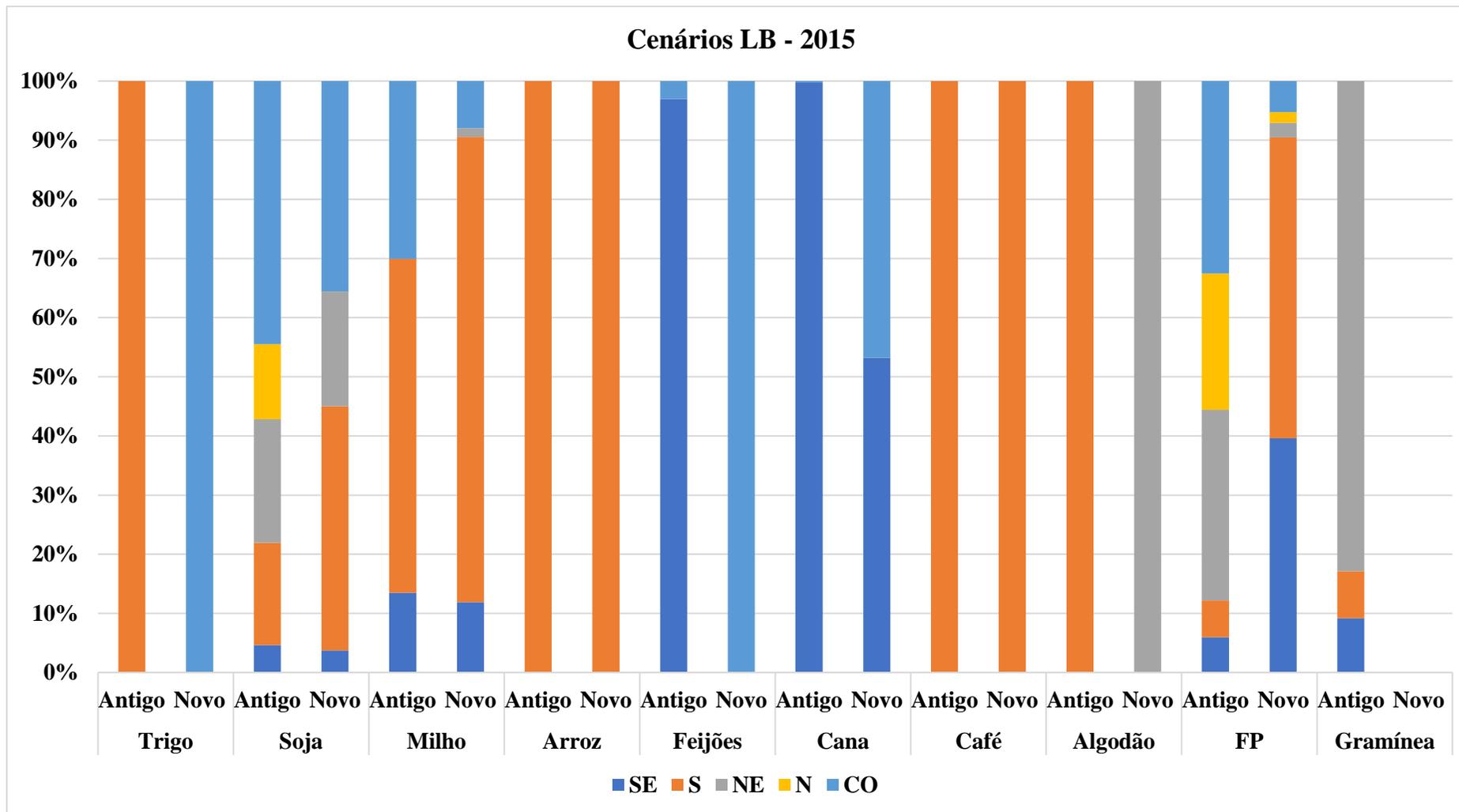


Figura 23: Trajetória da produção com tecnologia de alta produtividade no cenário 1D_Novo_H
Fonte: Elaboração própria

Além disso, o novo modelo mostrou algumas migrações dos cultivos agrícolas (Figura 24, 25, 26, 27, 28 e 29), como a saída da cana-de-açúcar da região nordeste, que era preocupante visto a região já ter grandes níveis de vulnerabilidade hídrica. De fato, devido à falta de implementação de restrições hídricas no modelo antigo, ele permitia o cultivo de mais de 20% de toda a demanda de cana-de-açúcar nessa região, o que de acordo com dados atuais é insustentável. Outra área vulnerável que também estava sendo afetada pela expansão da cana-de-açúcar era a região norte, que possui condições edafoclimáticas muito desfavoráveis para a produção desse cultivo. Além disso, o novo modelo apresentou mudanças na distribuição espacial de soja e de florestas plantadas, que devido a não necessidade de abertura de novas zonas agricultáveis, deixando de expandir suas fronteiras para a região norte, o que gerava grande preocupação e desconforto devido ao aumento do desmatamento de florestas nativas como a Amazônia para a produção de soja. Cabe salientar que, de toda a produção dessa cultura na região norte, que representa apenas 8,7% de toda a produção brasileira, cerca de 60% é proveniente de uma pequena região de alta produtividade e grande disponibilidade hídrica do Tocantins, logo, não há outras grandes áreas com o mesmo perfil de produtividade que não necessitem suprimir grandes áreas de florestas nativas. Portanto, as modificações feitas no modelo foram de

suma importância para a representação espacial das culturas agrícolas e das criações pecuárias existentes no modelo, visto que houve uma maior compatibilização entre os dados de produção territorial reais e os simulados pelo modelo, além de evitar expansões errôneas e exacerbadas de cultivos chave para o país em regiões com baixas condições edafoclimáticas e de fornecimento de insumos (como água).

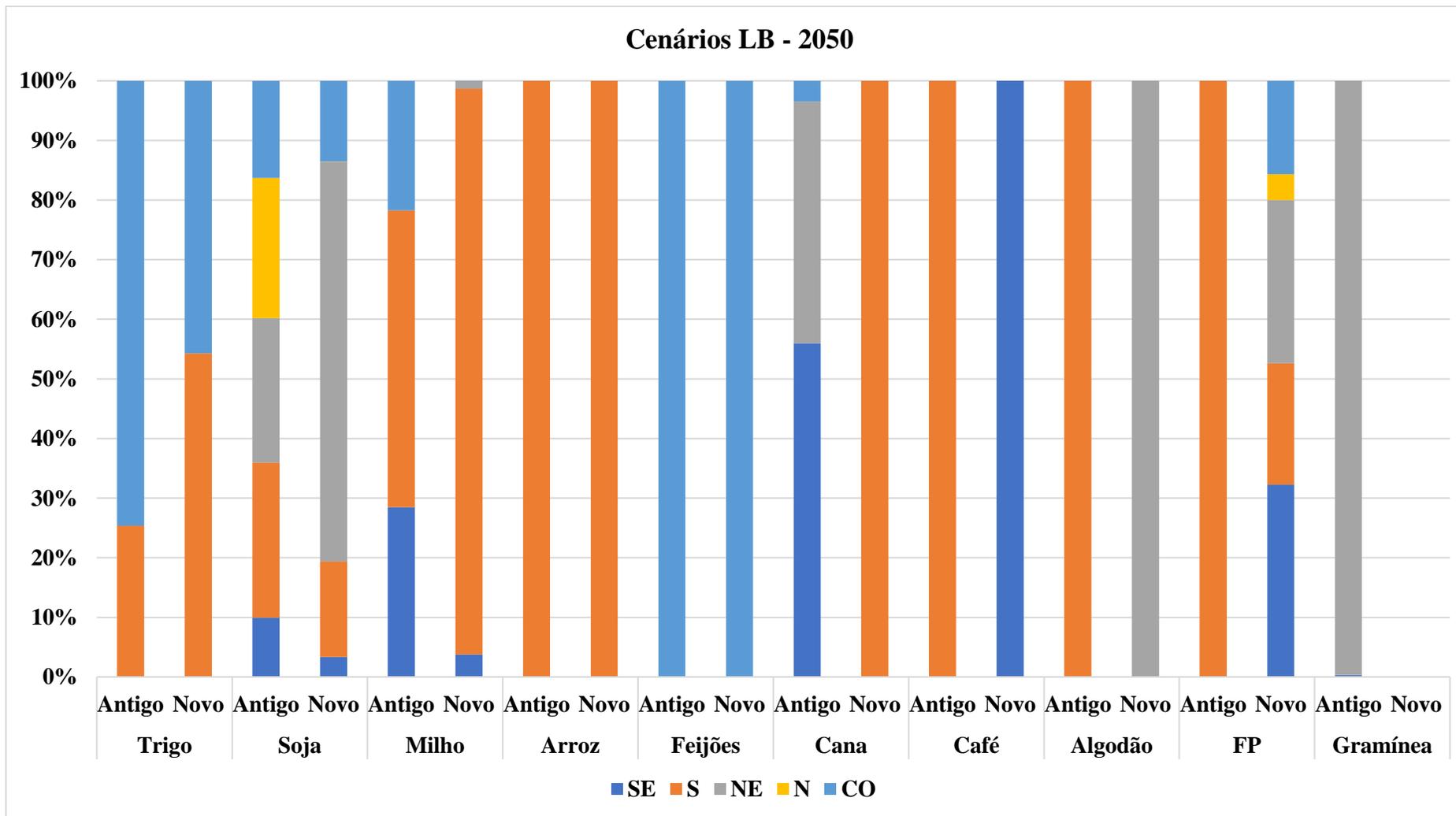
Com isso, as alterações do modelo auxiliaram na manutenção de pontos cruciais para regiões vulneráveis como nordeste e norte. Na região nordeste, principalmente com a manutenção do uso múltiplo da água, que passou a sofrer menores pressões e com isso, assessorando na segurança hídrica local, visto a menor disputa entre o abastecimento humano e a irrigação, o que está de acordo com premissas do SDG 6 que prevê o melhoramento da segurança hídrica dos povos mais vulneráveis. Já na região norte, com a menor pressão da expansão das fronteiras agropecuárias para dentro de regiões de floresta nativa, ajudou-se na redução da degradação do solo local, que é pobre em nutrientes e muito ácido, o que favorece processos erosivos do solo e também, preserva a biodiversidade local, visto a diminuição da expansão de zonas de monocultura que dependem de altos níveis de insumos químicos que são prejudiciais tanto à biodiversidade terrestre, quanto a aquática, melhorando assim fatores que são chaves aos objetivos de desenvolvimento sustentável 6 (água) e 15 (redução de áreas de degradação do solo e aumento da biodiversidade).



*Nota: FP = Florestas Plantadas

Figura 24: Distribuição por região brasileira dos cultivos agrícolas nos cenários LB (Antigo e Novo_H) em 2015

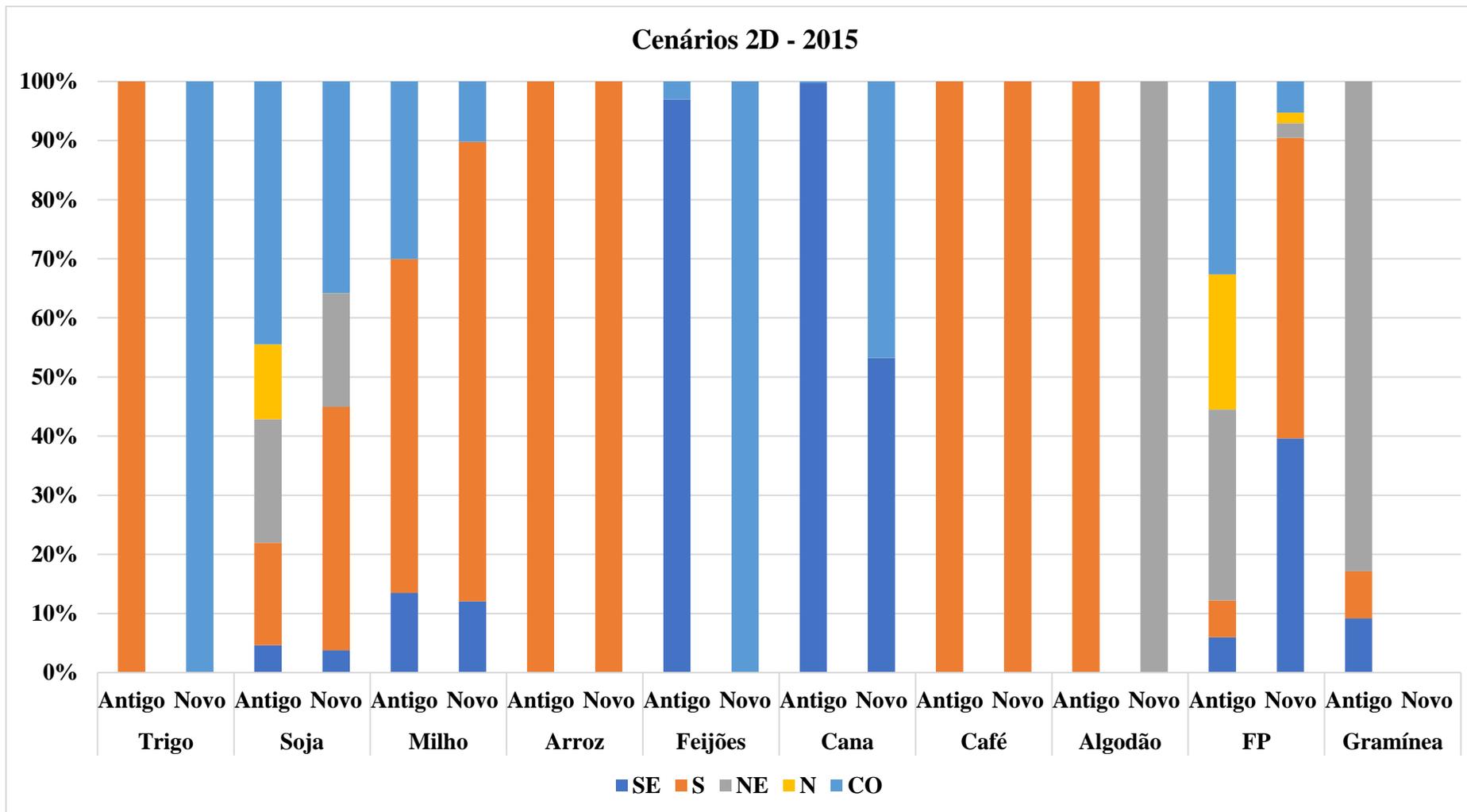
Fonte: Elaboração própria



*Nota: FP = Florestas Plantadas

Figura 25: Distribuição por região brasileira dos cultivos agrícolas nos cenários LB (Antigo e Novo_H) em 2050

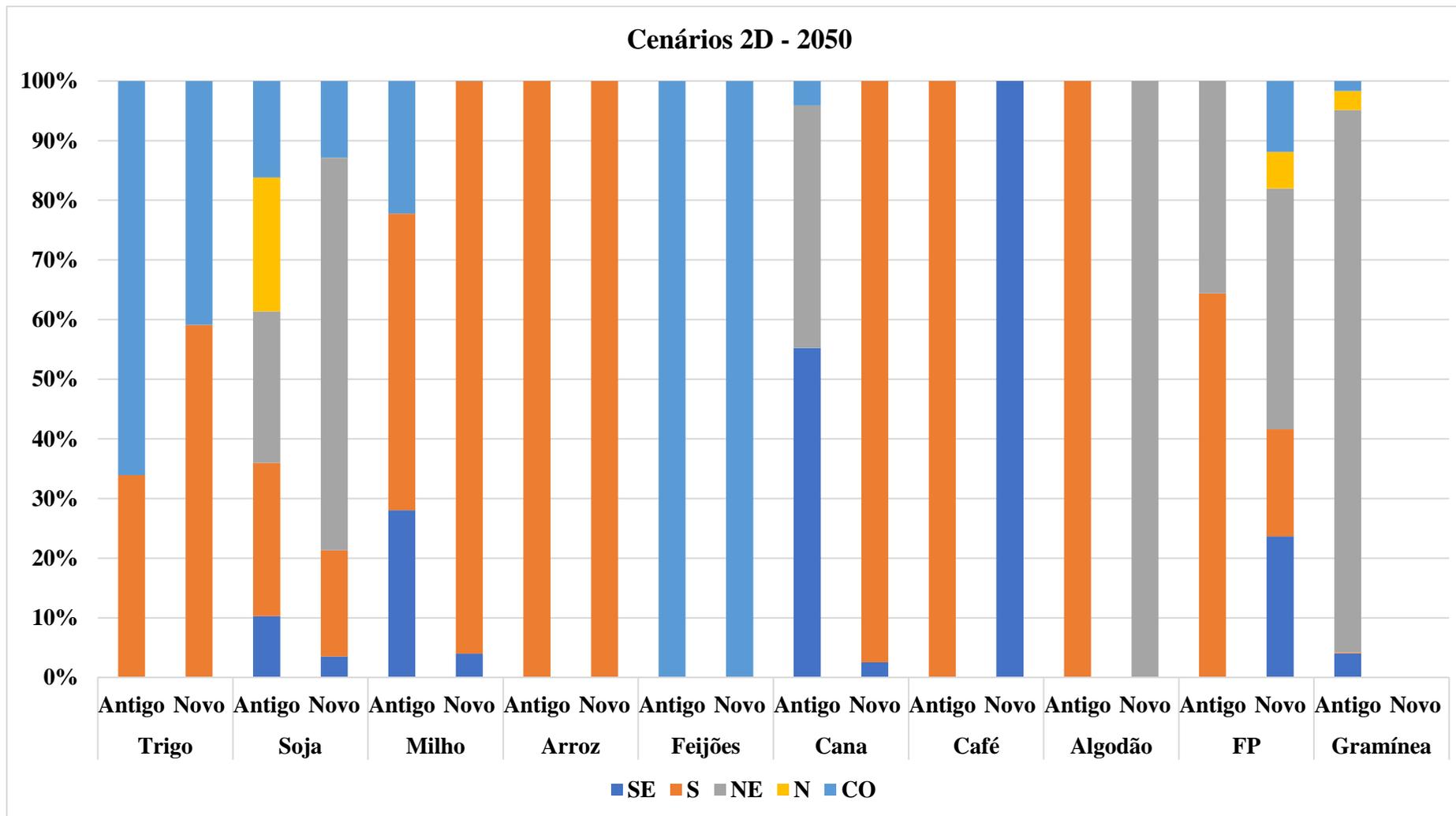
Fonte: Elaboração própria



*Nota: FP = Florestas Plantadas

Figura 26: Distribuição por região brasileira dos cultivos agrícolas nos cenários 2D (Antigo e Novo_H) em 2015

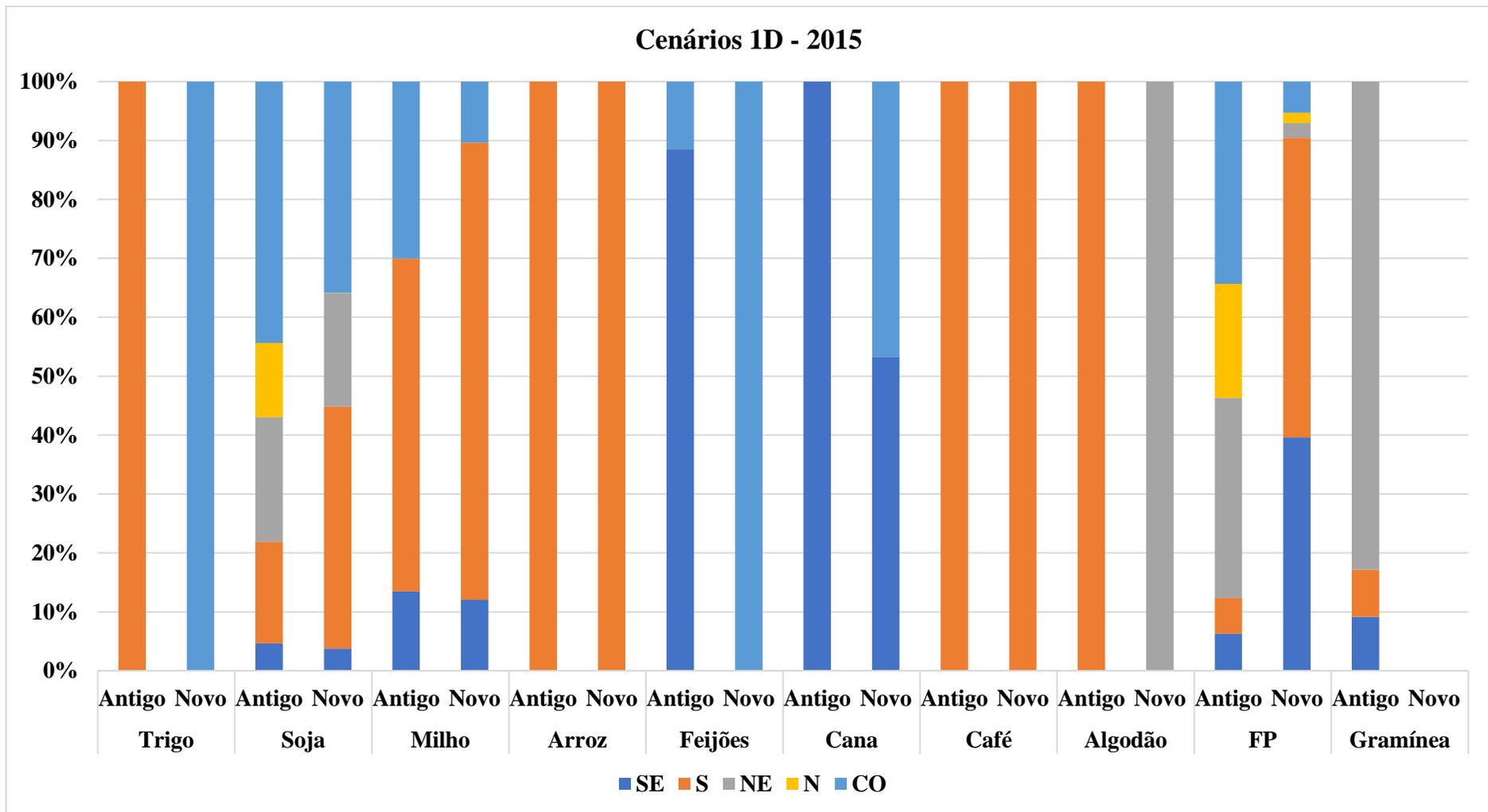
Fonte: Elaboração própria



*Nota: FP = Florestas Plantadas

Figura 27: Distribuição por região brasileira dos cultivos agrícolas nos cenários 2D (Antigo e Novo_H) em 2050

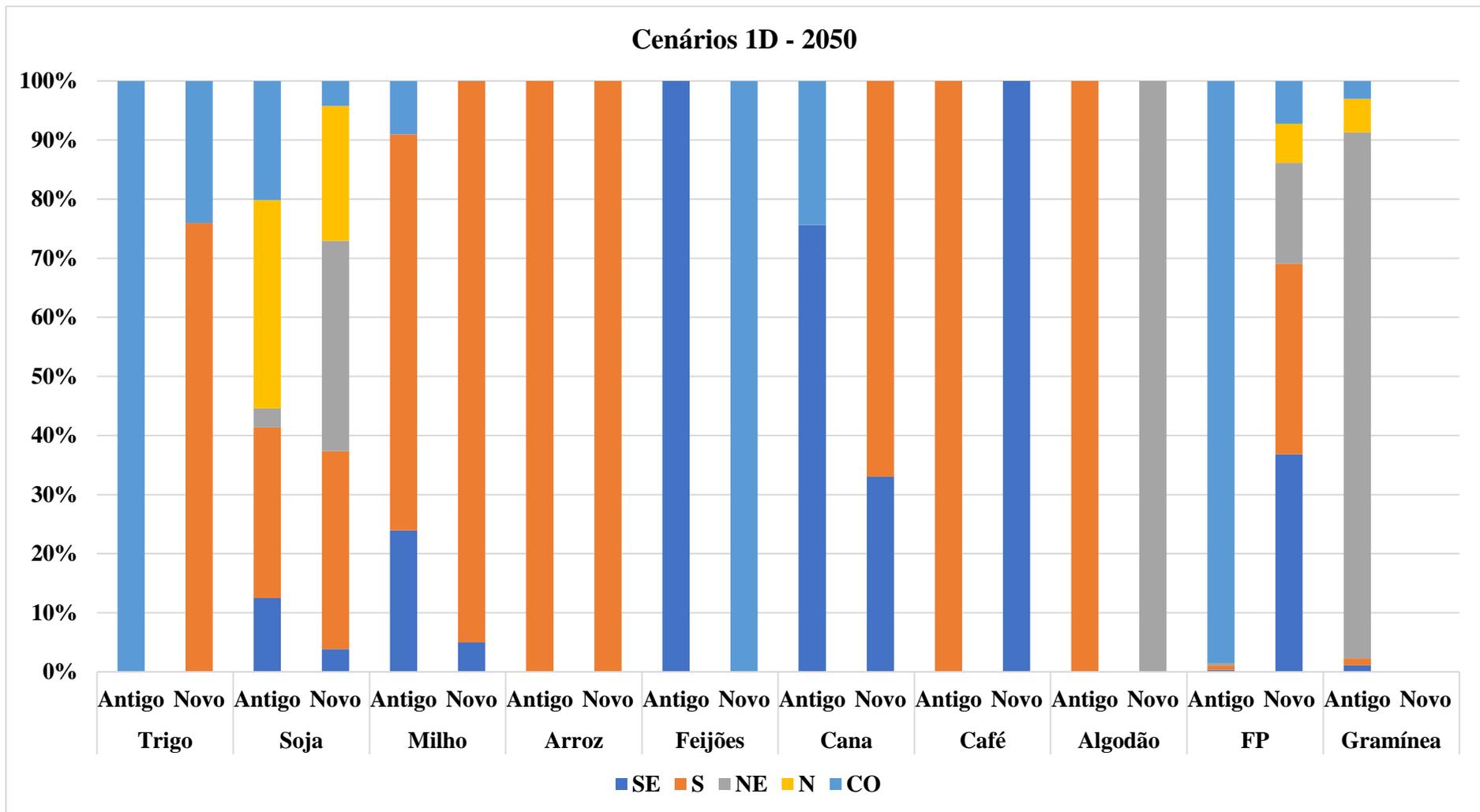
Fonte: Elaboração própria



*Nota: FP = Florestas Plantadas

Figura 28: Distribuição por região brasileira dos cultivos agrícolas nos cenários 1D (Antigo e Novo_H) em 2015

Fonte: Elaboração própria



*Nota: FP = Florestas Plantadas

Figura 29: Distribuição por região brasileira dos cultivos agrícolas nos cenários 1D (Antigo e Novo_H) em 2050

Fonte: Elaboração própria

4.1.4. Insumos agropecuários

Outro ponto a se destacar é que devido ao maior detalhamento dos meios de cultivo, foi possível perceber maiores necessidades de aportes de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Figura 30) para o desenvolvimento da agricultura brasileira. Desde 2010 e 2015, que são os anos base, em que não foi permitida a entrada de culturas desenvolvidas com a tecnologia alta produtividade, foram observados maiores aportes desse tipo de fertilizante. Além disso, as alterações permitiram observar a relação direta do maior aporte de fertilizantes nitrogenados com a demanda dos tipos de culturas, dado que, por exemplo, nos anos que ocorreram maiores participações das culturas bioenergéticas de alta produtividade, foram observados aumentos drásticos nas quantidades de fertilizantes nitrogenados utilizados, como foi o caso de 2030 para o cenário 1D_Novo_H, ou então, diminuição da produção de culturas alimentares para suprir a demanda de produção de culturas bioenergéticas, como o caso da soja, conforme já mencionado na seção 4.1.3.

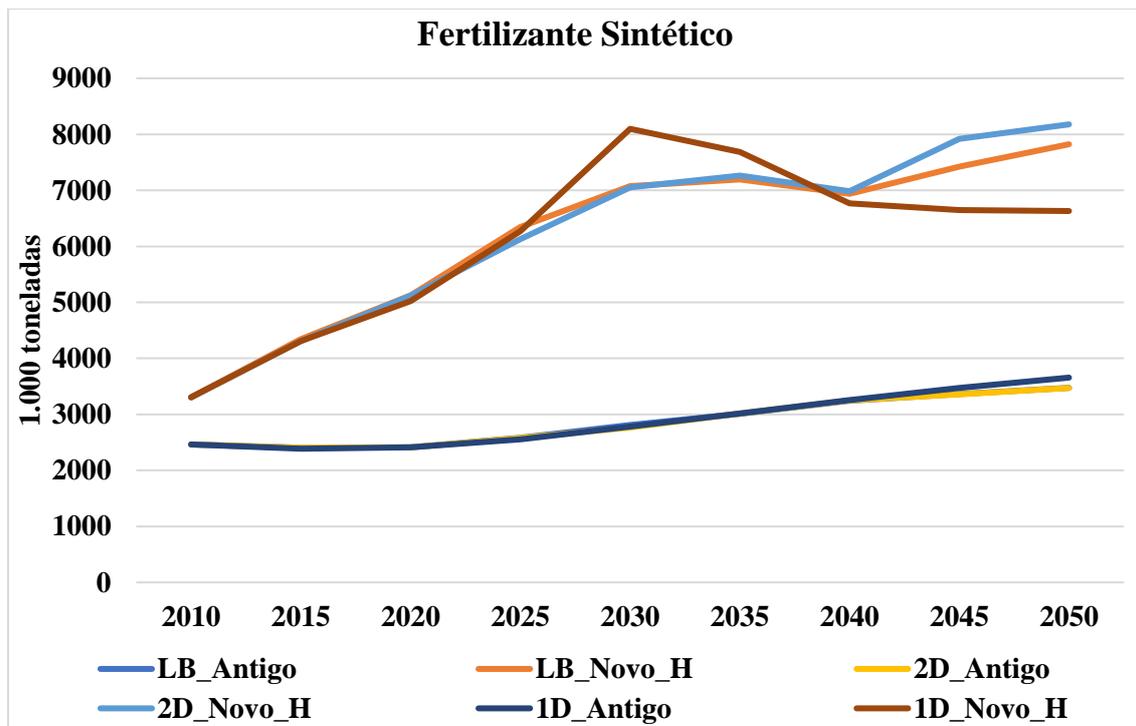


Figura 30: Trajetória do consumo de fertilizante por cenário

Fonte: Elaboração própria

Já em relação aos aportes de defensivos químicos, não é possível fazer uma comparação direta entre a quantidade necessária para os cenários Antigo e Novo_H, pois o modelo antigo não possuía demandas desse tipo de insumo agrícola. Porém, é possível observar que, conforme o aumento das restrições de emissões de GEE para alcance de cenários climáticos mais restritivos, maior é a utilização de defensivos químicos devido, principalmente, ao aumento da utilização da tecnologia de alta produtividade.

Entretanto, durante todo o tempo as trajetórias dos cenários LB_Novo_H e 2D_Novo_H andam juntas, apenas se descolam a partir de 2035 no caso da Figura 31 e 2040 no caso da Figura 32. Isso acontece por conta das maiores penetrações de café e trigo de alta produtividade em 2035, para o caso do glifosato e, em 2040, do café, milho e trigo, para o caso do restante dos defensivos químicos. Já no caso do cenário 1D_Novo_H, como desde 2025 suas demandas por culturas de alta produtividade são superiores, as demandas desses insumos também são superiores a partir de 2025. Entretanto, de 2045 e 2050, ocorre uma estagnação na quantidade de glifosato demandada pelo modelo, que acontece devido a uma grande penetração de soja de alta produtividade no sistema, que faz com que mesmo que necessitando de mais glifosato por hectare produzido, a sua produtividade aumente tanto que passa a ser consumida uma quantidade menor de glifosato por tonelada de soja produzida. Nesse caso, o novo modelo pode demonstrar que ainda existem muitos desafios que deverão ser solucionados a fim de aumentar a segurança alimentar (SDG 2) dos alimentos que são consumidos no país, de acordo com o aumento de restrições de emissões de aquecimento global, já que há uma ligação entre o aumento da produtividade dos alimentos com a maior utilização de defensivos como o glifosato que são danosos para a saúde humana e a diminuição da biodiversidade (SDG 15).

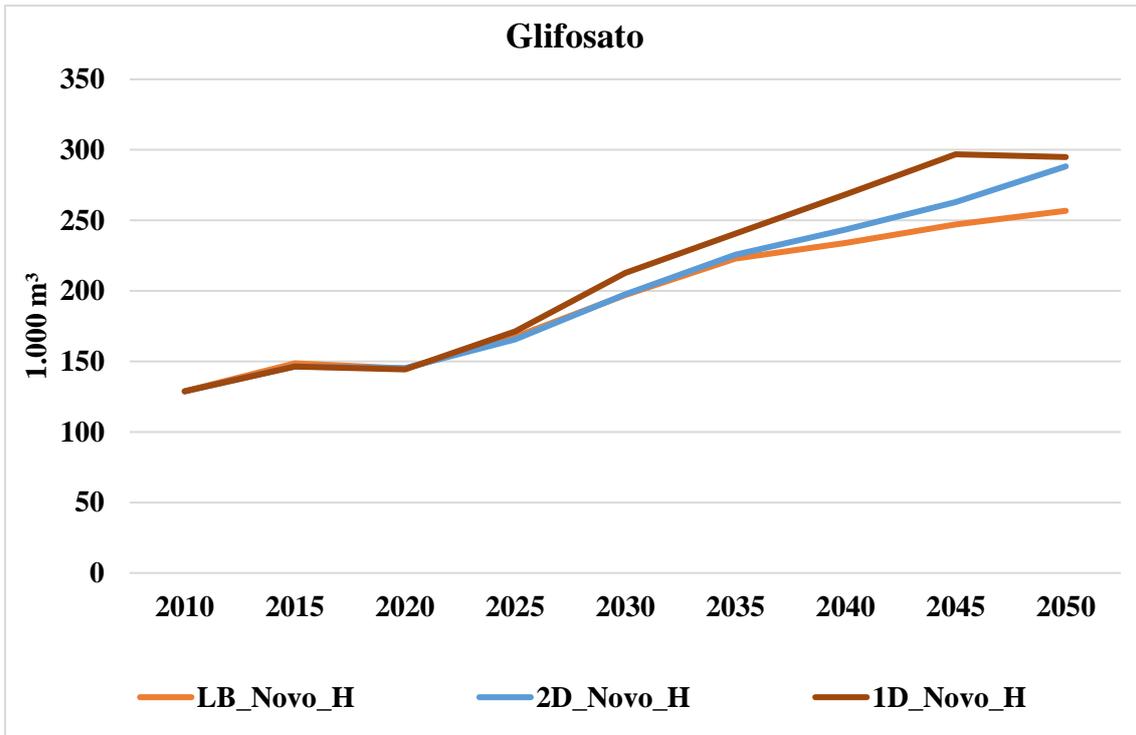


Figura 31: Trajetória do consumo de glifosato por cenário
 Fonte: Elaboração própria

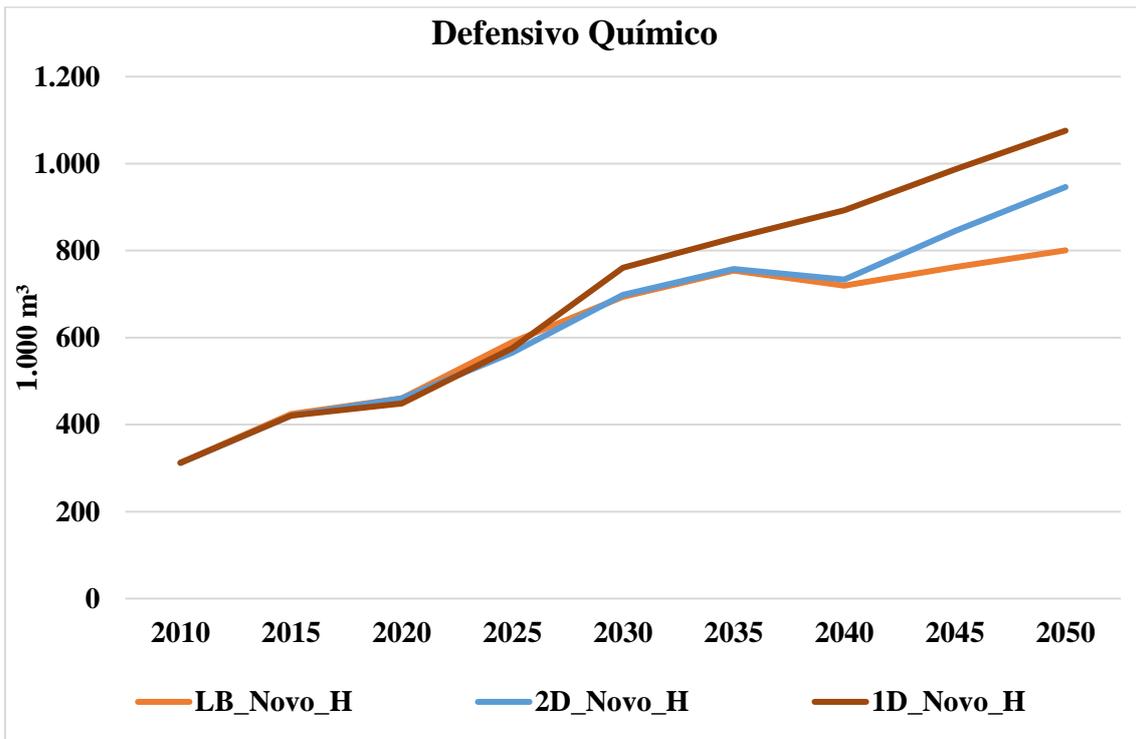


Figura 32: Trajetória do consumo de defensivo químico por cenário
 Fonte: Elaboração própria

O novo modelo também permitiu avaliar a quantidade de água demandada pelo sistema. Conforme pode ser observado na Figura 33, a demanda de água em todos os cenários é igual até 2015 (ano base), porém, após esse ano, os cenários começam a apresentar variações entre si devido a liberação no modelo da penetração da tecnologia de alta produtividade. Entre 2015 e 2020, o modelo apresentou quedas de aproximadamente 18% na quantidade de água demandada nos cenários analisados, que foram geradas pela grande penetração de cultivos de alta produtividade principalmente de arroz no sul, café e cana-de-açúcar no sudeste e feijões no centro-oeste, que apesar de consumirem maiores quantidades de água por hectare plantado, acabam tendo produtividades muito elevadas, o que diminui a quantidade de água por tonelada de produto colhido. Após 2025/2030 os cenários LB_Novo_H e 2D_Novo_H tenderam a captações constantes ao longo do tempo, o que ocorreu justamente devido aos cenários terem apresentado estabilizações nas proporções de cultivos de alta produtividade, o que já não aconteceu no cenário 1D_Novo_H, que em 2030 apresentou um grande aumento na demanda de cana-de-açúcar de alta produtividade (conforme já visto anteriormente), o que levou a um aumento significativo na retirada de água, principalmente da região sudeste. Após 2030, o mesmo cenário começou a apresentar uma tendência de queda de consumo de água para o setor agropecuário, o que ocorreu devido a saída da cana-de-açúcar de alta produtividade do perfil produtivo do cenário, porém, posterior aumento na demanda dos outros cultivos de alta produtividade em todas as regiões brasileiras, chegando à patamares de 100% de água retirada no centro-oeste, 92% no sul e 87% no sudeste sendo destinada a produção de cultivos de alta produtividade.

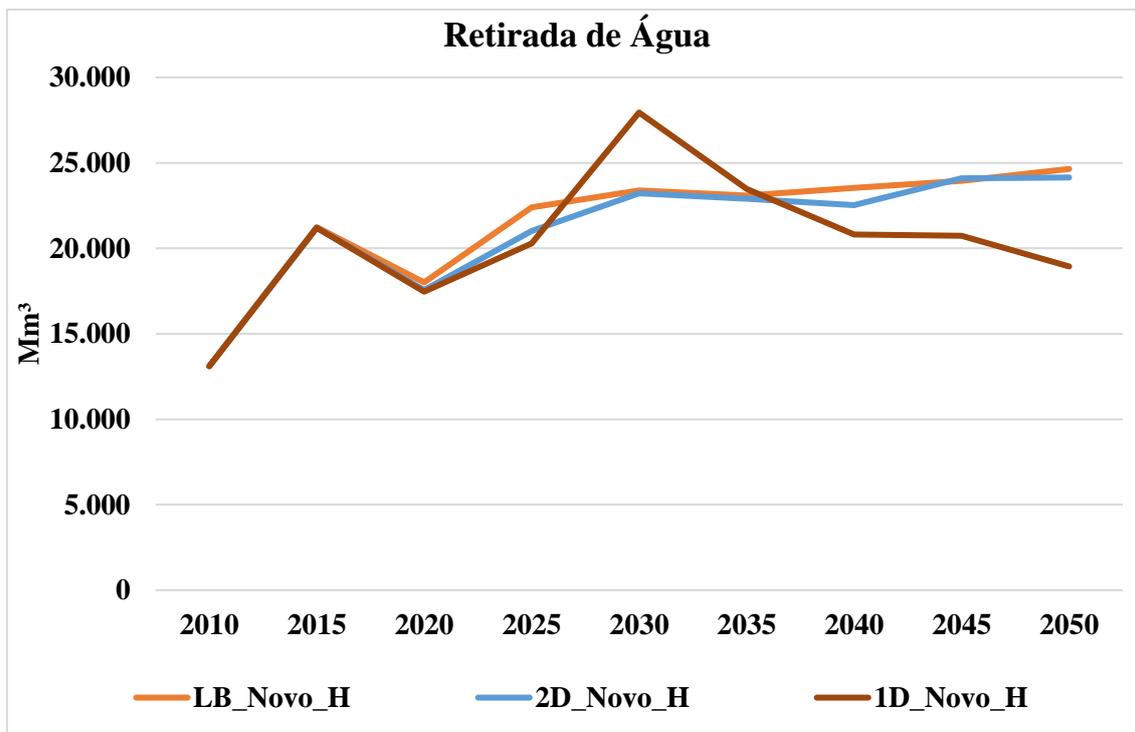


Figura 33: Trajetória da retirada de água para irrigação e dessedentação animal por cenário
 Fonte: Elaboração própria

Conforme foi exposto no início desse capítulo, os cenários Novo e Novo_H não apresentaram diferenças entre si, principalmente devido a baixos estresses hídricos nas regiões brasileiras, o que não forçou o modelo a buscar formas alternativas para atender as demandas agropecuárias, conforme pode ser observado nas Figura 34, 35 e 36. Entretanto, é interessante perceber que o detalhamento do modelo foi capaz de mostrar que em todos os momentos e cenários climáticos, a região nordeste está entre as duas que mais apresenta níveis de estresse hídrico, chegando no caso do cenário LB_Novo_H a apresentar consumo de 72% do máximo da água outorgável da região em questão. Já no cenário 1D_Novo_H esse percentual da região nordeste caiu para 61% devido a maior distribuição de cultivos que requisitam grandes demandas de água em regiões mais propícias para o seu desenvolvimento, como é o caso das regiões sul e sudeste, que apresentaram maiores quantidades de cultivos chave como trigo, milho, cana-de-açúcar e arroz, tanto de alta produtividade, quanto com produtividade padrão. Sendo interessante notar que apesar do cenário 1D_Novo_H ser mais restritivo quanto a quantidade de CO₂ emitido, representando um aumento na quantidade de bioenergéticos produzidos, esse cenário apresentou uma maior segurança hídrica visto aos menores estresses hídricos nas

regiões mais vulneráveis, o que contribui novamente para alcançar o SDG 6 de segurança hídrica para o país.

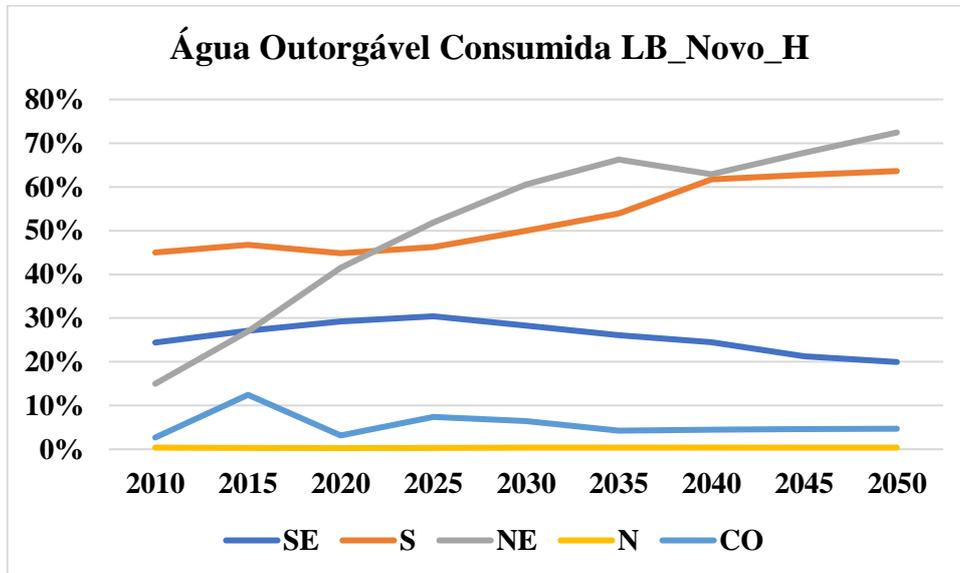


Figura 34: Trajetória da retirada de água outorgável por região para o cenário LB_Novo_H
 Fonte: Elaboração própria

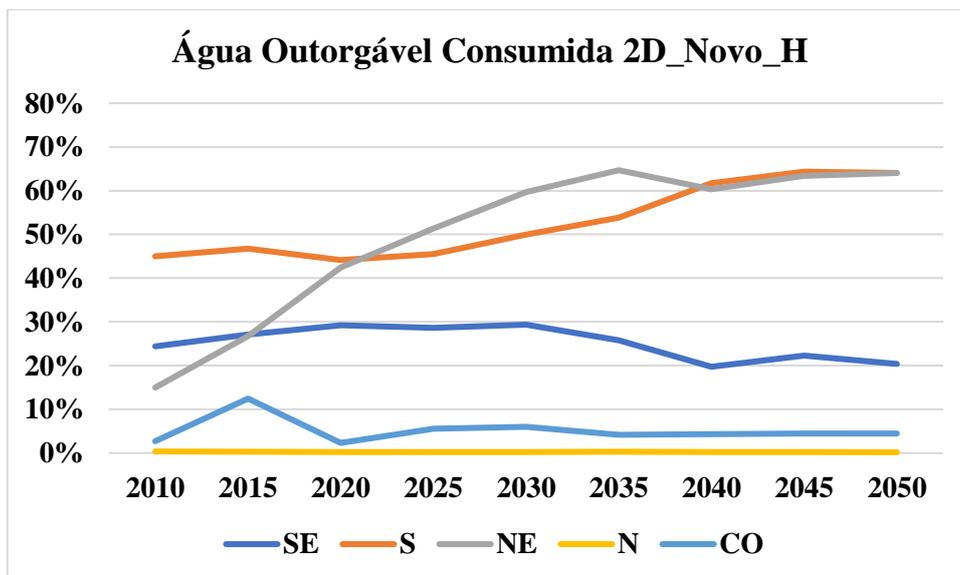


Figura 35: Trajetória da retirada de água outorgável por região para o cenário 2D_Novo_H
 Fonte: Elaboração própria

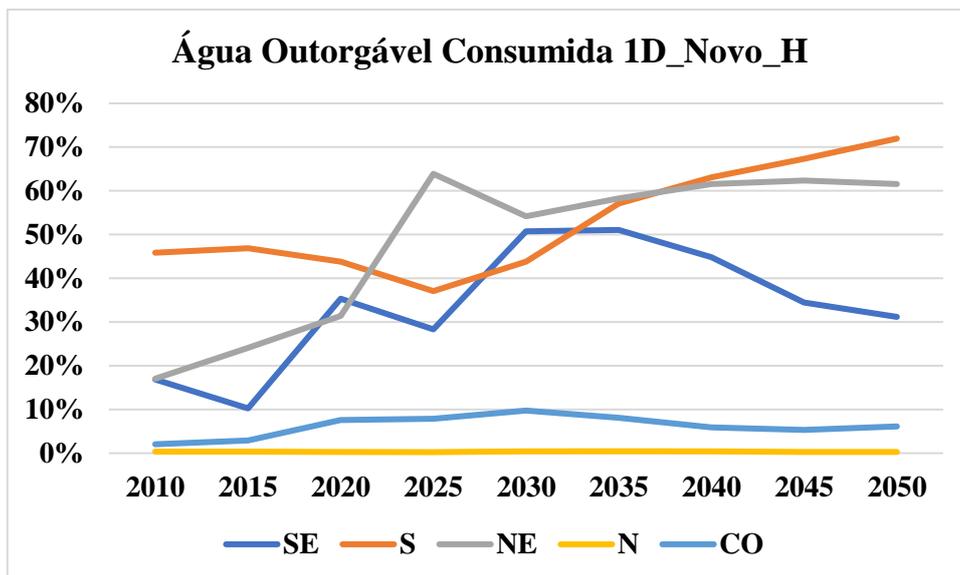


Figura 36: Trajetória da retirada de água outorgável por região para o cenário 1D_Novo_H
 Fonte: Elaboração própria

4.1.5. Emissões agropecuárias

Na parte de emissões agropecuárias, os cenários com e sem modificações no modelo BLUES (Antigo e Novo_H) apresentaram diferenças de resultados relativamente grandes entre si, conforme pode ser observado na Figura 37. Em todos os cenários simulados com o modelo antigo, foram observados valores finais e acumulados de emissões de GEE superiores aos do novo modelo. Isso ocorreu devido às diferenças nas emissões de CH₄ e N₂O, visto que a quantidade total de CO₂ emitido na atmosfera é limitada pelo modelo, o que torna as emissões de gás carbônico iguais nos dois modelos (Antigo e Novo).

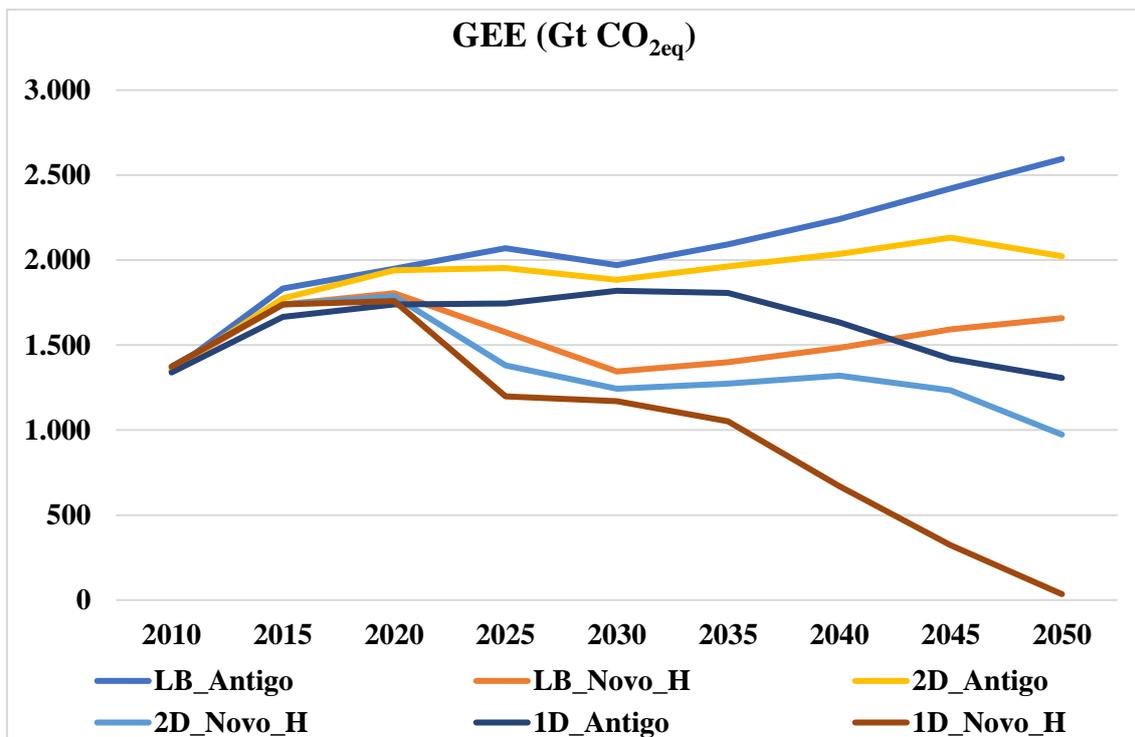


Figura 37: Trajetória da emissão de GEE por cenário
 Fonte: Elaboração própria

Os resultados das emissões de CO₂ foram muito similares entre si, sendo esse fato devido ao *budget* fixo de carbono utilizado pelos modelos climáticos, conforme supracitado. Entretanto, é possível verificar que em geral, os cenários que rodaram com os novos modelos apresentaram maiores emissões de CO₂ energético (Figura 38) e de processo (Figura 39), que ocorreu devido a maior utilização de carvão na matriz elétrica brasileira. Entretanto, essa maior emissão de dióxido de carbono proveniente desses setores foi compensada pela menor emissão decorrente do uso do solo, que devido ao menor desflorestamento diminuiu a quantidade de CO₂ emitido durante o processo de mudança de área produtiva e também, aumentando a quantidade de carbono capturado através da estocagem do dióxido de carbono no solo pelas plantas e árvores. Logo, como existia um *budget* fixo para a emissão de carbono na atmosfera, o novo modelo ao diminuir o desmatamento e intensificar a transformação de áreas de pasto degradado em pasto de alta qualidade, que acaba armazenando maiores quantidade de CO₂ no solo (Figura 40), abriu espaço para a entrada de maiores volumes de carvão importado na matriz elétrica brasileira.

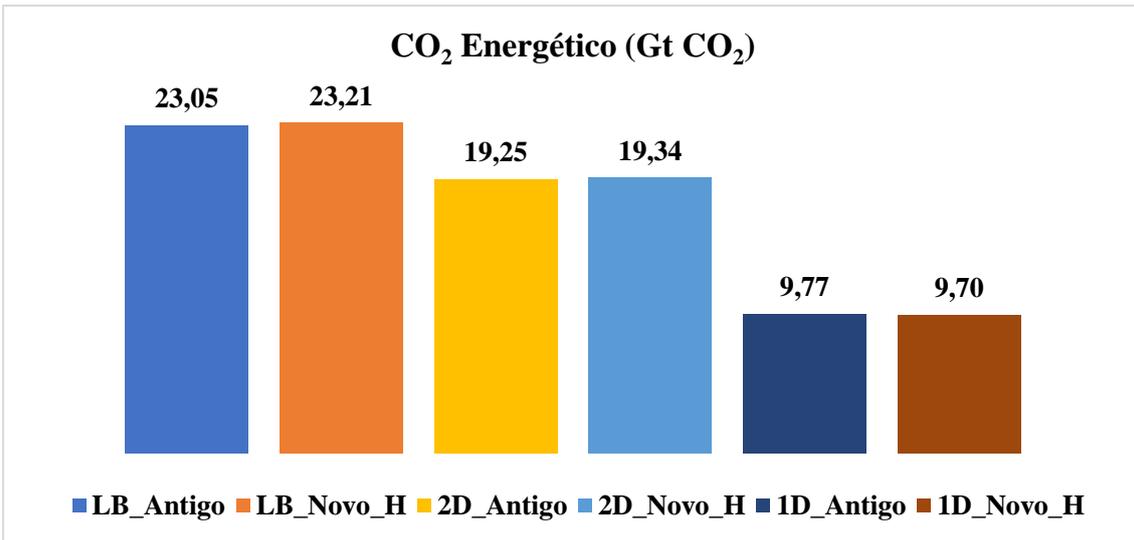


Figura 38: Emissões acumuladas de CO₂ energético por cenário
 Fonte: Elaboração própria

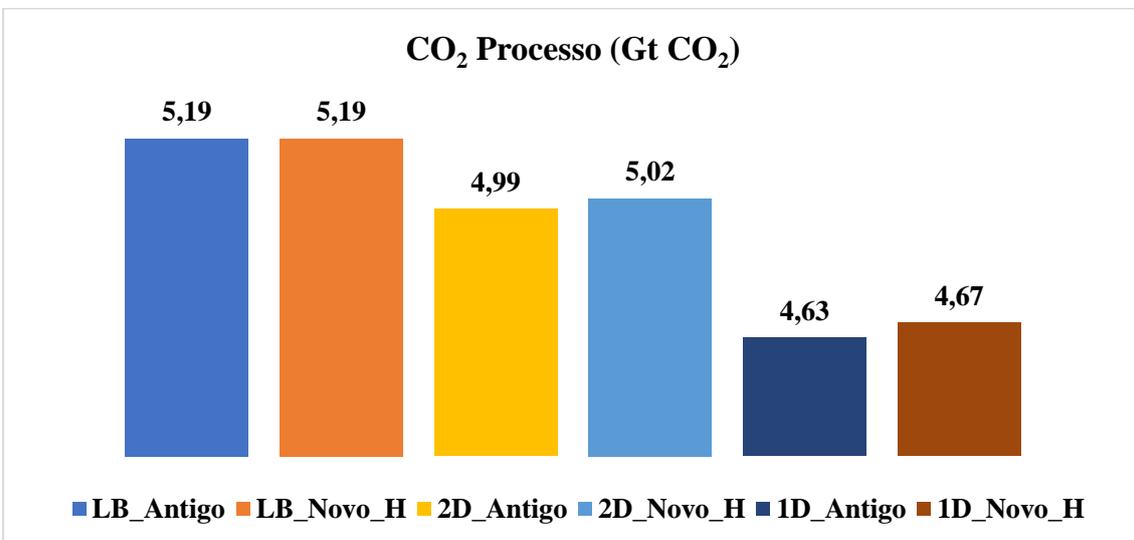


Figura 39: Emissões acumuladas de CO₂ de processo por cenário
 Fonte: Elaboração própria

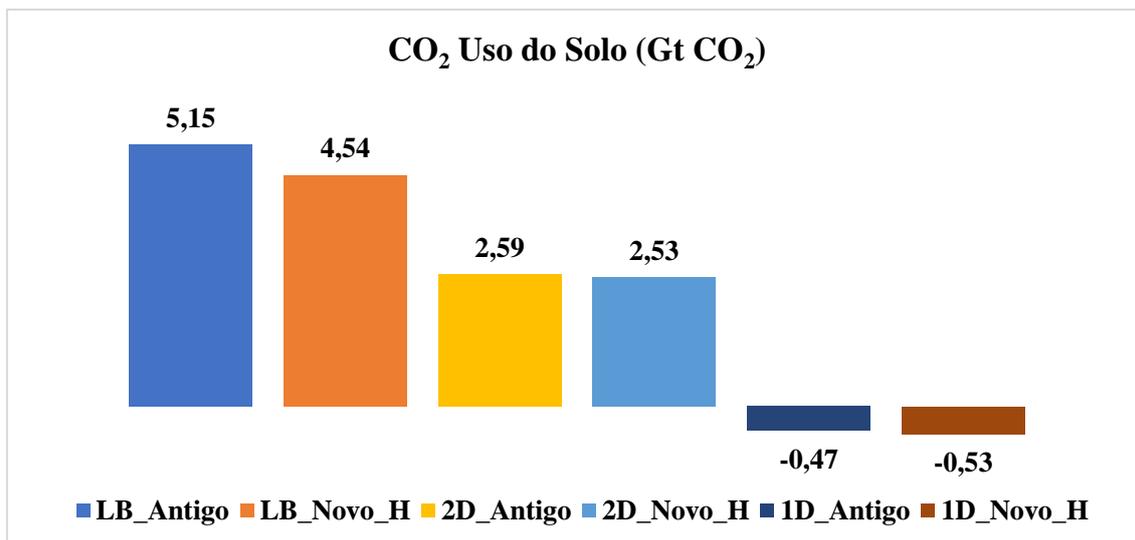


Figura 40: Emissões acumuladas de CO₂ de uso do solo por cenário
 Fonte: Elaboração própria

Entretanto, as emissões de CH₄ do modelo antigo foram muito superiores às encontradas no novo modelo (Figura 41). Essa variação foi decorrente principalmente das emissões provenientes do setor de pecuária, que no modelo antigo apresentava grandes quantidades de déficits de ovos, gerando quantidades de área muito superiores, se comparado com o novo modelo, destinadas à criação de galinhas poedeiras. Ademais, mesmo assim, o modelo antes das modificações feitas não conseguia alcançar as demandas desse setor. As atualizações realizadas no modelo resolveram essa limitação que o BLUES antigo tinha e fez com que as emissões de CH₄ proveniente do uso do solo (Figura 42) fossem reduzidas em proporções que variaram entre 2 e 2,5 vezes menores em comparação ao modelo antigo.

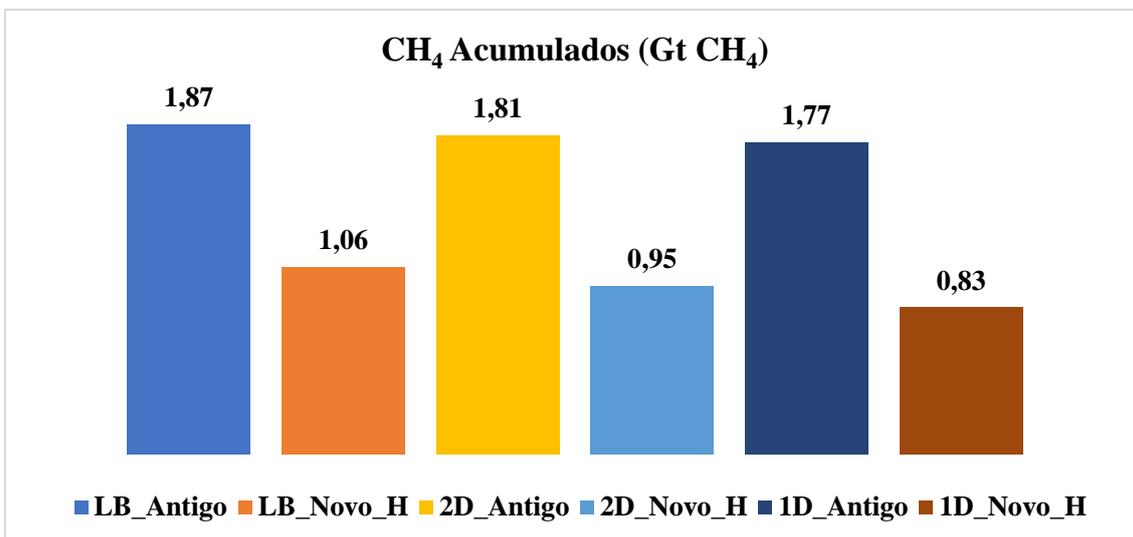


Figura 41: Emissões acumuladas de CH₄ por cenário
 Fonte: Elaboração própria

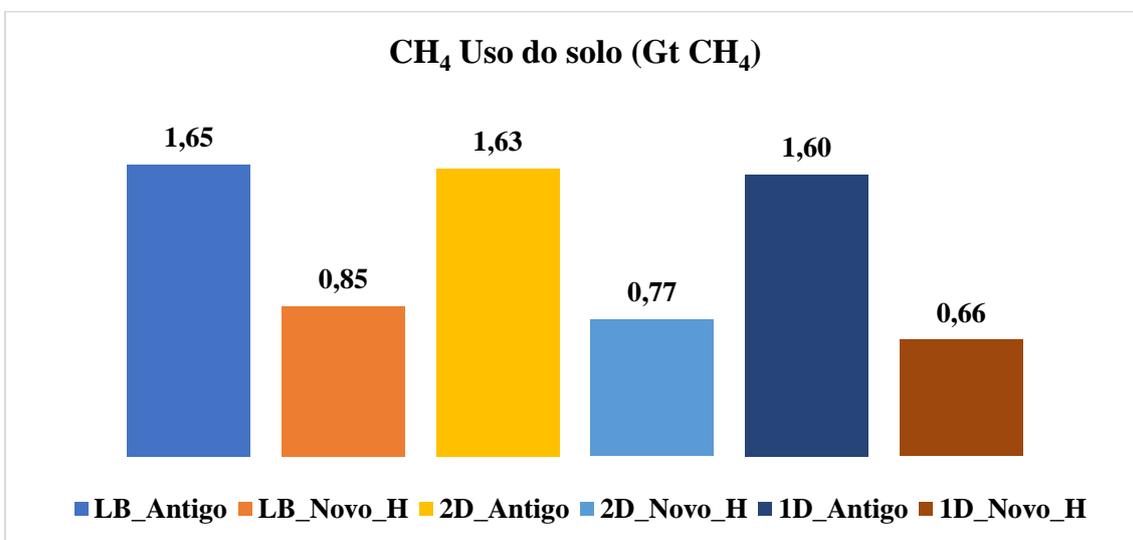


Figura 42: Emissões acumuladas de CH₄ de uso do solo por cenário
 Fonte: Elaboração própria

Já as emissões de N₂O do modelo novo apresentaram uma elevação de 15% em relação ao antigo (Figura 43). Tal ocorreu devido às alterações das quantidades de resíduos gerados a partir do setor agrícola. O modelo antigo não possuía vínculos relativos à quantidade de resíduos gerados na agricultura com a produtividade do cultivar. Essa diferença entre eles fez com que o novo chegasse a ter 1000% mais resíduos agrícolas por hectare plantado de cana-de-açúcar do que o modelo antigo. Logo, esse excesso de resíduos agrícolas fez com que nos 3 primeiros períodos analisados (2010, 2015 e 2020)

o novo modelo queimasse grandes quantidades de resíduos de cana-de-açúcar que não se tornavam biomassa ou bagaço. Entretanto, após esses anos, o novo modelo atingiu valores de emissão de N₂O inferiores aos do modelo antigo e com isso, ficou mais próximo aos valores das emissões reais de óxido nitroso medidos por SEEG (2017).

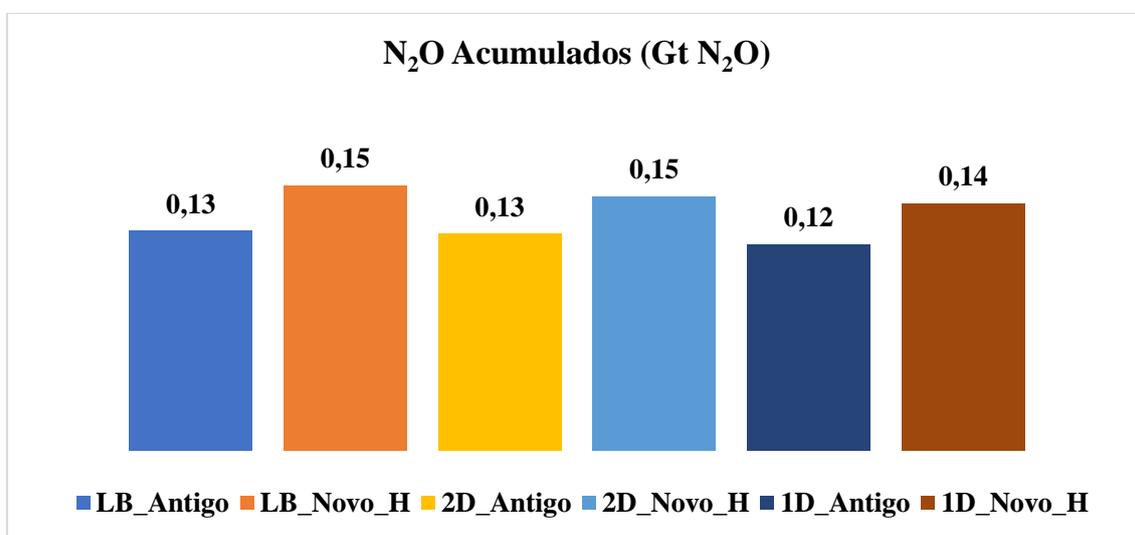


Figura 43: Emissões acumuladas de N₂O por cenário
Fonte: Elaboração própria

4.1.6. Custos dos cenários

Devido ao problema da quantidade de déficit do setor agropecuário supracitado, o modelo novo apresentou valores de função objetivo equivalentes a apenas 9% dos valores originais da função objetivo do modelo antigo (Figura 44). Porém, ao descontar o valor dos resíduos trazendo tudo para o valor presente, a função objetivo de o modelo novo passou a ser cerca de 30% do valor da função objetivo do modelo antigo corrigido. Portanto, o maior detalhamento possibilitou, além de consertar alguns problemas que o modelo antigo apresentava (sobrecusto devido a déficits provenientes do setor agropecuário), também possibilitou a redução nos custos da função objetivo do modelo decorrentes de novos meios de produção de alimentos, bioenergéticos e energéticos, que modificaram a dinâmica desde a ocupação do uso do solo até as fontes primárias de energia.

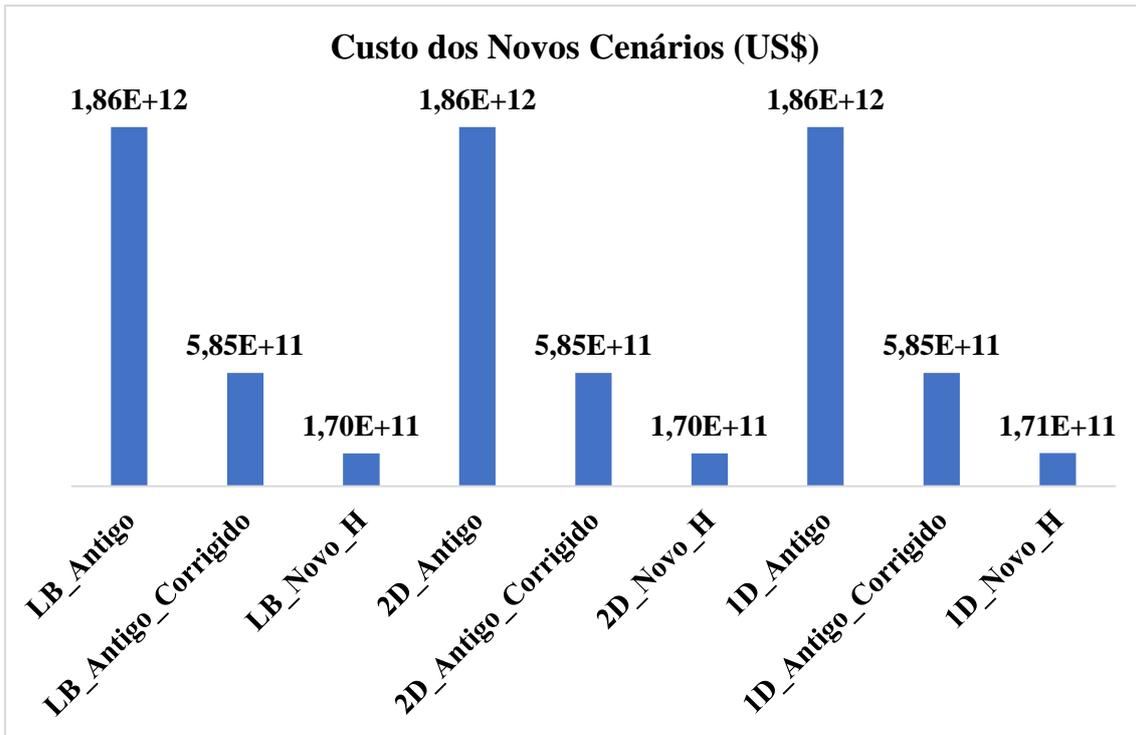


Figura 44: Custo total da função objetivo dos cenários
 Fonte: Elaboração própria

5. CONCLUSÃO

Neste capítulo são abordadas as conclusões desta dissertação, apresentando inicialmente um resumo da motivação e das contribuições oriundas desse estudo. Posteriormente, são discutidas algumas limitações de estudo e sugestões de possíveis melhorias em trabalhos futuros.

5.1. Contribuições do desenvolvimento do modelo agropecuário

Essa dissertação teve como objetivo principal o desenvolvimento da modelagem do setor agropecuário brasileiro de forma mais detalhada e individualizada para cada região do país, em modelo de análise integrada brasileiro pré-existente, denominado BLUES. Com o seu desenvolvimento, o trabalho auxiliou na percepção de que o maior detalhamento das tecnologias de produção agropecuárias é de suma importância para entender os rumos do setor no Brasil, principalmente devido às expectativas de aumento na demanda energética a partir de bioenergéticos.

Para alcançar esse objetivo, foram realizadas análises individualizadas para cada uma das principais culturas brasileiras, assim como criações pecuárias do país, de forma a desenvolver ou atualizar as tecnologias já existentes no modelo de análise integrada BLUES. Portanto, todas as tecnologias agropecuárias passaram a considerar as capacidades produtivas atuais e futuras de cada cultura/criação por estado brasileiro (essa tecnologia foi denominada como Padrão Histórico). Também foram verificados os potenciais evolutivos de cada tecnologia Padrão Histórico, desenvolvendo assim as tecnologias avançadas de cultivo agrícola, denominadas Alta Produtividade e Verde+, esse último é uma adaptação da tecnologia de Alta Produtividade com um viés mais sustentável e orgânico. Além disso, as tecnologias agropecuárias passaram a conter dados de quantidade de aporte de insumo, necessidade hídrica, custo de produção e outros dados totalmente regionalizados.

O novo modelo agropecuário também foi desenvolvido de modo a levar em consideração restrições de área, insumos orgânicos como biofertilizantes e hídricos. Esse ponto se mostrou ser um dos mais importantes do trabalho, visto que ele deu o limite para

a expansão de cada cultura e criação, de modo a retratar as especificidades de cada região brasileira, evitando assim, a expansão das fronteiras agropecuárias para regiões já saturadas, que ocorria antes das modificações feitas no modelo.

Foi observado que com o novo modelo, a região norte do Brasil passou a sofrer menos pressões para a expansão das fronteiras agropecuárias, visto que cultivos importantes como a soja deixaram de ser produzidos nessa região. Esse fator é de extrema importância ao se levar em consideração os SDGs, já que a diminuição das pressões em áreas de florestas nativas e menor supressão de savanas (conforme aconteceu no novo modelo em comparação com o antigo), leva a um aumento da biodiversidade local e regional, fazendo com que o SDG 15 seja respeitado. Além disso, a região nordeste passou a ser menos requisitada no modelo por cultivares que possuem grande demanda hídrica, como é o caso da cana-de-açúcar, o que auxilia na diminuição do estresse hídrico local, aumentando a segurança hídrica da região e sobrando maiores volumes de água para a população e o meio ambiente local. Com as menores pressões hídricas, o solo e o meio ambiente nordestino passa a ser menos afetados, melhorando a quantidade de biodiversidade aquática (devido a ter maiores volumes de água nos rios) e terrestre, visto que possibilita que essa água seja utilizada por outros seres vivos, melhorando assim os SDGs 6 e 15.

A metodologia adotada, o nível de detalhamento tecnológico e a regionalização dos dados foram fundamentais para entender desafios, obstáculos e oportunidades que a agropecuária brasileira vai ter nos próximos anos, além de ajudar a compreender a magnitude do potencial energético brasileiro no longo prazo. Permitiu a elaboração de um módulo agropecuário único dentro de modelos de avaliação integrada, onde não apenas se realizam balanços energéticos e de análises de uso do solo, mas também se quantificam balanços materiais de insumos químicos e de demanda hídrica.

Além disso, através da nova metodologia desenvolvida, a calibração do ano base se mostrou ser mais fácil e precisa para esse tipo de modelagem, visto a não necessidade de se fazer o balanço da penetração de diferentes tipos de tecnologias (conforme era feito anteriormente no BLUES), mas sim, concentrar os esforços em apenas uma tecnologia que já represente todo esse balanço de tecnologias, como ocorreu na tecnologia Padrão Histórico, desenvolvida nesse trabalho.

Através da implementação das novas tecnologias foi possível verificar que, apesar de importante, o Brasil não deverá adotar em grande extensão medidas de

desenvolvimento agropecuário sustentável, se não forem propostas políticas públicas, visto que no curto prazo elas são mais onerosas e requerem maior nível de tecnificação rural. Contudo, conforme já é visto na agropecuária brasileira, no médio prazo o produtor rural tende a aplicar meios de produção que busquem o melhoramento da produtividade da cultura/criação.

Entretanto, as mudanças no modelo mostraram ser muito importantes para as análises das emissões de GEE e produção de bioenergéticos. Em relação a produção de bioenergéticos, o novo modelo apresentou ser mais vantajoso produzir florestas plantadas para a produção de biocombustíveis do tipo BTL do que gramíneas (que vinham sendo adotadas anteriormente no BLUES). Essa constatação foi muito interessante visto que anteriormente, no BLUES antigo, o modelo abandonava completamente a produção de florestas plantadas, como pinus e eucalipto, para produzir gramíneas e isso já não aconteceu com o novo modelo, onde observou-se o inverso, produzindo-se mais florestas plantadas e deixando de produzir capim-elefante. Essa resposta, além de ser importante devido as florestas plantadas propiciarem maior bem-estar para os animais que nelas abitam e formarem consigo corredores ecológicos que aumentam a biodiversidade local (SDG 15), também condiz melhor com a realidade da produção de bioenergéticos de fonte lenhosa no Brasil, onde já existe uma indústria consolidada para o plantio de grandes quantidades de florestas plantadas para a produção de energia elétrica, biocombustíveis e celulose e não para a produção em larga escala de gramíneas, que geralmente são utilizados apenas para a alimentação animal. Ademais, o plantio de árvores é melhor para a manutenção da estrutura do solo e permeamento de água no solo, visto que seu sistema radicular é mais profundo e complexo do que o encontrado nas gramíneas, o que faz com que seja observada uma menor degradação desse solo local (SDG 15) e também, maior recarga de lençóis freáticos oriundos de precipitação, aumentando no longo prazo a disponibilidade e a qualidade hídrica dos afluentes da região (SDG 6). Isso ocorre devido a precipitação deixar de ser convertida em escoamento superficial, que carrega nutrientes e sedimentos para os rios causando sedimentação e eutrofização dos afluentes e diminui a biodiversidade dos corpos hídricos (SDG 15), e passa a ser subsuperficial/subterrâneo, que recarrega os lençóis freáticos, conserva a estrutura físico-química do solo e aumenta o tempo de concentração da água da bacia hidrográfica, ajudando a evitar problemas de cheias e enxurradas.

Além disso, o novo modelo necessitou de menores quantidades de biocombustíveis produzidos juntamente com captura e armazenamento de carbono, que devido ainda ser uma tecnologia não consagrada e completamente desenvolvida, é muito discutida visto a sua entrada cada vez maior nos modelos mundiais. Com isso, é interessante perceber que, com o aumento do nível de detalhamento do modelo, o mesmo passa a necessitar de menores quantidades de biocombustíveis com CCS, visto as menores emissões de GEE decorrentes do setor de uso do solo.

Em relação aos níveis de emissão de GEE, o novo modelo apresentou em todos os cenários emissões acumuladas e finais menores do que os apresentados pelo modelo antigo, entretanto, essa mudança foi decorrente, principalmente, da menor emissão proveniente do CH₄ da pecuária, que devido a produção exacerbada de frangos apresentava números muito desproporcionais. Um outro ponto que corroborou para a diminuição dessas emissões de GEE foi o setor mudança do uso do solo, em que o maior detalhamento do modelo e a implementação de tecnologias de alta produtividade proporcionou menores conversões entre os tipos de solo e também, uma menor necessidade da expansão do cinturão agropecuário sobre as zonas de mata virgem, o que fez com que as emissões de AFOLU fossem menores no novo modelo do que no antigo. Logo, o aumento do nível de detalhamento, a expansão das tecnologias agropecuárias e a revisão de alguns indicadores agropecuários desenvolvido nesse trabalho se mostrou extremamente importante para diminuição das emissões de GEE, que é um dos objetivos para o desenvolvimento sustentável descritos no acordo de Paris (SDG 13).

Ademais, o novo modelo apresentou custos totais da função objetivo muito inferiores aos relatados no modelo antigo, chegando entre 11 (com os custos dos déficits) e 3,5 (sem os custos dos déficits) vezes inferiores. Esse ponto é muito importante, pois o detalhamento e alterações feitas no modelo auxiliaram na redução dos preços da cesta de alimentos da população em geral e conseqüentemente, alterou os números de fome e pobreza no mundo, visto que grande parte da verba das famílias mais carentes é destinada a compra de alimentos para subsistência. Com isso, o novo modelo também aumentou os níveis de segurança alimentar e de pobreza da população, que também são dois pontos importantes dos ODS desenvolvidos pela ONU, que são o SDG 1, que busca a redução da pobreza, e o SDG 2, que tem como objetivo a redução da insegurança alimentar e nutricional entre as populações mais carentes.

5.2. Limitações do estudo e sugestões de desenvolvimento futuro

O estudo desenvolvido possui três grandes limitações principais: falta do desenvolvimento das tecnologias Padrão Histórico, Alta Produtividade e Verde+ para os cultivos de frutas, vegetais, cereais, raízes e oleaginosas, que foram utilizadas conforme desenvolvidas inicialmente no BLUES; falta de desenvolvimento de sistemas intensivos para as criações da pecuária e, por fim; falta de implementação das restrições hídricas para as culturas supracitadas.

Com a modelagem dessas três restrições o modelo agropecuário brasileiro passaria a ficar mais completo e também, surgiriam novas análises decorrentes principalmente do estresse hídrico causado pela implementação de cultivos irrigados em frutas e vegetais, que demandam grande aporte de água para o seu desenvolvimento.

Assim, as sugestões de desenvolvimento futuro são:

- implementação das novas culturas no BLUES;
- melhoramento do setor pecuário, aumentando as tecnologias disponíveis;
- ampliação das tecnologias de produção agrícola, como sistemas integração e ILPF;
- melhorar a tendência da curva de penetração de tecnologias avançadas no modelo para determinar a propensão de o produtor brasileiro implementar essas tecnologias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABC – FUNDAÇÃO ABC PARA ASSISTÊNCIA E DIVULGAÇÃO TÉCNICA AGROPECUÁRIA. 2016. **Planilha de custos de mecanização agrícola: abril de 2016**. Castro, Paraná.

ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. 2011. **Anuário estatístico da ABRAF: Ano base 2010**. Brasília, DF, ABRAF.

AGRIANUAL – ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. 2013. **Agrianual 2013: Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: Informa Economics FNP, p. 302.

AGROBRANCO, 2018. **Preço de agrotóxicos**. 2018. Disponível em: <<http://agrobranco.blogspot.com/2010/10/preco-de-agrotoxicos.html>>. Acesso em: 20 de abril de 2018.

AGROLINK, 2016. **Plantio**. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/culturas/soja/informacoes/plantio_361513.html>. Acesso em: 19 de abril de 2018.

AGROLINK, 2018. **Agrolinkfito**. Disponível em: <<https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito>> Acesso em: 24 de abril de 2018.

AGRON – Agronegócios Online. **Distribuidora de defensivos agrícolas (Preço de internet)**, 2018. Disponível em: <<https://www.agron.com.br/publicacoes/anuncios/classificados/2010/06/05/011062/distribuidora-de-defensivos-agricolas-preco-de-internet.html>>. Acesso em: 20 de abril de 2018.

AGROSTAT, 2017. **Agrostat: Estatística de comércio exterior do agronegócio brasileiro**. Brasília, Distrito Federal, MAPA.

AIDAR, H., KLUTHCOUSKI, J., dos SANTOS, A. B., THUNG, M., 2003. **Recomendações técnicas para o cultivo do feijoeiro comum em várzeas tropicais irrigadas por subirrigação**. Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2017. **Água na indústria: uso e coeficientes técnicos**, 37 p.: il. ISBN: 978-85-8210-047-9. Brasília.

ANDA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. 2006. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes 2005**. São Paulo.

ANDA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes 2016**. São Paulo, 2017.

ANDROCIOILLI, A. 2002. **Café adensado: espaçamentos e cuidados no manejo da lavoura**. IAPAR, Londrina, Paraná, p. 32.

ANGELKORTE, G. B. 2018. **Determination of the influences of the Brent and WTI price variation in the fertilizers consumed in Brazil**. Rio Oil and Gás 2018, Rio de Janeiro, Brasil.

ANTONELI, V. 2004. **Monitoramento de erosão de solo através do método de pinos de erosão na bacia do Arroio Boa Vista – Município de Guamiranga – PR**.

ARROYO, 2018. **Incorporação do nexo energia-água em um modelo de otimização da expansão do sistema energético brasileiro**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

ARRUDA, R., 2012. **Capim elefante: Energia renovável e fonte de nutrição animal**. Disponível em: <<http://ruralcentro.uol.com.br/noticias/capim-elefante-energia-renovavel-e-fonte-de-nutricao-animal-61759>>. Acesso em: 24 de junho de 2018.

GOUVELLO, C., FILHO, B. S. S., SCHAEFFER, R., ALVES, F. J., ALVES, J. W. S. 2010. **Estudo de Baixo Carbono para o Brasil 2010**. Banco Mundial, Departamento de Desenvolvimento Sustentável – Região da América Latina e Caribe, Washington.

BARROS, G. S. de C. 2017. **MACRO/CEPEA: Agronegócio soma 19 milhões de pessoas ocupadas, metade “Dentro da Porteira”**. São Paulo, Cepea.

BELLOTE, A. F. J., NEVES, E. J. M. 2001. **Calagem e adubação em espécies florestais plantadas na propriedade rural**. Embrapa Florestas-Circular Técnica (INFOTECA-E).

BELTRÃO, N. E. de M., ARAÚJO, A. E. 2004. **Algodão: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, Distrito Federal, Embrapa Algodão, p. 265.

BOMBARDI, M. L., 2017. **Geografia do uso de agrotóxicos no Brasil e conexões com a União Europeia**. São Paulo, FFLCH, USP, p. 296.

BRASIL – MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. 2016. **Caderno de aulas práticas dos Institutos Federais: cafeicultura**. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica, Brasília, Distrito Federal, p. 115.

CAMPOS, B. B. 2015. **Produção de etanol em biomassa de capim-elefante por *Kluyveromyces marxianus* CCT 7735**. Doctoral dissertation, Universidade Federal de Viçosa.

CANAL RURAL. 2015. **Campeão em produtividade gasta R\$ 1.800 por hectare**. Disponível em: <<http://www.projetosojabrasil.com.br/campeao-productividade-colhe-140-sacas-gastando-pouco/>>. Acesso em: 19 de abril de 2018

CARVALHO, M. de C. S., FERREIRA, G. B. 2006. **Calagem e adubação do algodoeiro no cerrado**. Campina Grande, Paraíba, MAPA.Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), 2011. Relatório Anual 2010 - Brasília, DF. Disponível em <<https://www.cgEE.org.br/documents/10182/38059/rel-anual-2010.pdf>>

CHAPOLA, R. G., OGASAWARA, G. A., JANS, B., JUNIOR, N. S. M. 2014.

Controle da podridão abacaxi da cana-de-açúcar por meio da pulverização de fungicidas em rebolos no sulco de plantio. *Ciência Rural*, 44(2).

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 2011a. **Acompanhamento de safra brasileira: Grãos.** Quarto levantamento. Brasília, Distrito Federal.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 2011b. **Acompanhamento de safra brasileira: Café.** Primeira estimativa. Brasília, Distrito Federal.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 2014a. **Acompanhamento de safra brasileira: Café.** v.1, n.1, Brasília, Distrito Federal.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 2014b. **Acompanhamento de safra brasileira: Café.** v.2, n.1, Brasília, Distrito Federal.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 2016. **Acompanhamento de safra brasileira: Grãos.** v. 4. Brasília, Distrito Federal, p. 1-152.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 2017. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar.** v. 4. Brasília, Distrito Federal.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 2018. **Safras.** Brasília, Distrito Federal.

COOPER, R. 2003. **Pesquisa sobre produtividade máxima da soja nos EUA.** Piracicaba: POTAFOS–Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato.

CORTEZ, J. W. 2007. **Densidade de semeadura da soja e profundidade de deposição do adubo no sistema plantio direto.**

CRUZ, J. C., da SILVA, G. H., PEREIRA FILHO, I. A., NETO, M. M. G., MAGALHÃES, P. C. 2010. **Sistema de produção de milho safrinha de alta produtividade.** In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA DO CARTUCHO, 4., 2010, Goiânia. Potencialidades, desafios e sustentabilidade: resumos expandidos... Goiânia: ABMS.

CRUZ, J. C., MAGALHÃES, P., PEREIRA FILHO, I. A., MOREIRA, J. 2011. **Milho: o produtor pergunta, a Embrapa responde.** Área de Informação da Sede-Col Criar Plantar ABC 500P/500R Saber (INFOTECA-E).

CTSBF – COMISSÃO TÉCNICA SUL-BRASILEIRA DE FEIJÃO. 2010. **Informações técnicas para o cultivo de feijão na Região Sul brasileira 2009.** Epagri.

CUNHA, G. D., CAIERÃO, E., ROSA, A. C. 2016. **Informações técnicas para trigo e triticale–safra 2015.** Brasília, DF: Embrapa.

DAROLT, M. R. 2007. **Alimentos orgânicos: um guia para o consumidor consciente.** IAPAR.

DAROLT, M. 2015. **Guia do Consumidor Orgânico. Como reconhecer, escolher e consumir alimentos saudáveis.** Rio de Janeiro, Sociedade Nacional de Agricultura.

DELLINK, R., CHATEAU, J., LANZI, E., MAGNÉ, B. 2015. **Long-term economic growth projections in the Shared Socioeconomic Pathways.** Glob. Environ. Chang. IN PRESS, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.06.004>

DENG, Y. Y., KOPER, M., HAIGH, M., DORNBURG, V. 2015. **Country-level assessment of long-term global bioenergy potential.** Biomass & Bioenergy, 74, 253-267.

DINARDO-MIRANDA, L. L., 2005. **Manejo de nematoides em cana-de-açúcar.** Jornal Cana, 141, 64-69.

DINIZ, T., FERREIRA FILHO, J. B. S. 2015. **Impactos econômicos do Código Florestal Brasileiro: uma discussão à luz de um modelo computável de equilíbrio geral.** Revista de Economia e Sociologia Rural. Vo. 53, no. 2. Apr/June.

DOELMAN, J. C., STEHFEST, E., TABEAU, A., van MEIJL, H., LASSALETTA, L., NEUMANN-HERMANS, K., GERNAAT, D. E. H. J., HARMSSEN, M., DAIOGLOU, V., BIEMANS, H., van der SLUIS, S., van VUUREN, D. P. 2018. **Exploring SSP land-use dynamics using the IMAGE model: Regional and gridded scenarios of land-use change and land-based climate change mitigation.** Global Environmental Change, 48(January), pp. 119-135, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.11.014>.

DRUMOND, M., de OLIVEIRA, V. R., RIBASKI, J., 2016. **Eucalipto no Semiárido brasileiro.** Embrapa Semiárido-Documents (INFOTECA-E).

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2005. **Estimado o consumo de suínos, aves e bovinos em uma propriedade.** Embrapa Suínos e Aves, Brasília, Distrito Federal, dezembro de 2005.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2013a. **Tecnologia de produção de soja – Região Central do Brasil 2014.** Brasília, Distrito Federal, 265 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2013b. **Consumo de água na produção animal.** Comunicado Técnico 102, Brasília, Distrito Federal, ISSN 1981-206X.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2014a. **Cultivo de eucalipto.** Brasília, Distrito Federal.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2014b. **Cultivo de pinus.** Brasília, Distrito Federal.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2015. **Pesquisas avaliam produção de etanol 2G com capim-elefante.** Brasília, Distrito Federal. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/>

/noticia/5522876/pesquisas-avaliam-producao-de-etanol-2g-com-capim-elefante>.
Acesso em: 15 de janeiro de 2018.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2016a. **Um novo olhar sobre as emissões da pecuária brasileira**. Brasília, Distrito Federal, 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18798638/um-novo-olhar-sobre-as-emissoes-da-pecuaria-brasileira>>. Acesso em: 01 de julho de 2018.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2016b. **Sistema de produção de frangos de corte: Nutrição e alimentação**. Embrapa Suínos e Aves, Brasília, Distrito Federal. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao1f6_1gal1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=5102&p_r_p_-996514994_topicoId=5540>. Acesso em: 04 de dezembro de 2018.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2017. **Guia de manejo das poedeiras coloniais de ovos castanhos**. Poedeira Embrapa 051, Brasília, Distrito Federal. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1076928/poedeira-embrapa-051---guia-de-manejo-das-poedeiras-coloniais-de-ovos-castanhos>>. Acesso em: 04 de dezembro de 2018.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2018a. **Visão 2030: O futuro da agricultura brasileira**. Brasília, Distrito Federal, p. 212.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2018b. **Estatística e desempenho de produção**. Brasília, Distrito Federal. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas>>. Acesso em: 07 de dezembro de 2018.

FAO & FOOD CLIMATE RESEARCH NETWORK. 2016. **Plates, pyramids, planet. Developments in national healthy and sustainable dietary guidelines: A state of play assessment**. Rome, FAO and the Environmental Change Institute & The Oxford Martin Programme on the Future of Food, The University of Oxford.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2017a. **DEFINITION AND CLASSIFICATION OF COMMODITIES**. Rome, FAO.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2017b. **The future of food and agriculture. Trends and challenges**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2017.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2018. **World Fertilizer Trends and Outlook to 2018**.

FERRÃO, M. A. G., FERRÃO, R. G., FORNAZIER, M. J., PREZOTTI, L. C., FONSECA, A. F. A., ALIXANDRE, F. T., ... & SOUZA, E. M. R. 2009. **Técnicas de**

produção de café arábica: renovação e revigoramento das lavouras no Estado do Espírito Santo. Vitória, ES: Incaper.

FERREIRA, A. C. de B., LAMAS, F. M. 2006. **Manejo do solo e instalação da cultura do algodoeiro.** Campina Grande, Paraíba, MAPA.

FERREIRA, A. C. de B., BORIN, A. L. D. C., BRITO, G. G., FILHO, J. L. da S., BOGIANI, J. C. 2015. **Épocas de semeadura, cultivares e densidades de plantas para algodão adensado em segunda safra.** Pesq. Agropc. Trop., Goiânia, Goiás, v. 45, n. 4, p. 397-405.

FERREIRA, G. B., CARVALHO, M. C. S. 2005. **Adubação do algodoeiro no cerrado: Resultados de pesquisa em Goiás e Bahia.** V Congresso Brasileiro de Algodão.

FGV – FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. 2014. **Brasil – Potência Econômica e Ambiental no Século 21. Foco na Economia de Baixo Carbono.** Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas – GVces/FGV-EAESP.

FLORES, R. A., CABALLERO, S. S. U., ALVES, B. J. R., COLLIER, L. S., MORAIS, R. F. D., PRADO, R. D. M. 2012. **Adubação nitrogenada e idade de corte na produção de matéria seca do capim-elefante no Cerrado.**

FORTUNA, P. A., RRAIMUNDO, J., BALADA, W. R. 2001. **Produtividade e qualidade de fibra do algodão (*Gossypium hirsutum* L.) em função de doses de N e K na Fazenda Sucuri-Grupo Sachetti-safra 00/01.** In III Congresso Brasileiro de Algodão (pp. 1064-1066).

FRICKO, O., HAVLIK, P., ROGELI, J., KLIMONT, Z., GUSTI, M., JOHNSON, N., KOLP, P., STRUBEGGER, M., VALIN, H., AMANN, M., ERMOLIEVA, T., FORSELL, N., HERRERO, M., HEYES, C., KINDERMANN, G., KREV, V., MCCOLLUM, D. L., OBERSTEINER, M., PACHAURI, S., RAO, S., SCHMID, E., SCHOEPP, W., RIAHI, K. 2017. **The marker quantification of the Shared Socioeconomic Pathway 2: A middle-of-the-road scenario for the 21st century.** Global Environmental Change, Volume 42, Pages 251-26, DOI:10.1016/j.gloenvcha.2016.06.004.

FUNARBE – FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES DE APOIO À UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. 2011. **Relatório final dos coeficientes técnicos de recursos hídricos das atividades industrial e agricultura irrigada.** Brasília, Distrito Federal.

GALVÃO, P. V. M., 2009. **Espaçamento e pode na cultura do café conilon (*Coffea canéfora* Pierre).**

GIMENEZ, L., MOSCO, M. 2001. **Evaluacion del efecto del riego suplementario y el metodo de irrigacion sobre el rendimiento de algodón en Uruguay.** In III Congresso Brasileiro de Algodão (pp. 72-75).

GODINHO, V. P. C. 2008. **Sistema de produção para a cultura do milho em Rondônia.** 3 ed., Porto Velho, RO, Embrapa Rondônia, 46 p.

GOMIDE, C. D. M., PACIULLO, D., LEDO, F. D. S., PEREIRA, A., MORENZ, M., BRIGHENTI, A. 2015. **Informações sobre a cultivar de capim-elefante BRS Kurumi. Embrapa Gado de Leite.** Comunicado Técnico (INFOTECA-E).

GOUDIE, A. S. 2018. **Human Impact on the Natural Environment: Past, Present and Future.** St. Cross College and the School of Geography and the Environment, University of Oxford, Oxford, UK, Wiley Blackwell, Eighth Edition.

GRAVE, R. A., NICOLOSO, R. D. S., CASSOL, P. C., HIGARASHI, M. M., ANTONIAZZI, A., VIEIRA, R. 2013. **Emissão de óxido nitroso de um nitossolo sob adubação orgânica e sistemas de preparo do solo.** In Embrapa Suínos e Aves-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013. Florianópolis. Anais... Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

GUAZZELLI, M. J. B., RUPP, L. C. D., VENTURÍNI, L. 2012. **Biofertilizantes.** Publicação Técnica I, Programa de Fortalecimento da Viticultura Familiar da Serra Gaúcha, Agosto de 2012.

HARFUCH, L.; MOREIRA, M. M. R. 2012. **Economic and Environmental Impacts of Cerrado Policy using the Brazilian Land Use Model - BLUM.** Latin American and Caribbean Environmental Economics Program – LACEEP, Policy Brief n. 35, Fev. 2012. Disponível em: <http://www.laceep.org/publications/policy-briefs/item/131-economic-andenvironmental-impacts-of-ppcerrado-policy-using-the-brazilian-land-use-modelblum>

HASEGAWA, T., FIJIMORI, S., HAVLÍK, P., VALIN, H., BODIRSKY, B. L., DOELMAN, J. C., FELLMAN, T., KYLE, P., KOOPMAN, J. F. L., LOTZE-CAMPEN, H., MASON-D'CROZ, D., OCHI, Y., DOMINGUEZ, I. P., STEHFEST, E., SULSER, T. B., TABEAU, A., TAKAHASHI, K., TAKAKURA, J., MEIJL, H. V., ZEIST, W. V., WIEBE, K., WITZKE, P. 2018. **Risk of Increased Food Insecurity under Stringent Global Climate Change Mitigation Policy.** Springer Nature, Nature Climate Change, 8, 699-703.

HUPPMANN, D., ROGELI, J., KRIEGLER, E., KREV, V., RIAHI, K. 2018. **A new scenario resource for integrated 1.5 °C research.** Nature Climate Change, 1758-6798, Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41558-018-0317-4>>. Acesso em: 17/10/2018.

IBA – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. 2015. **Relatório anual do instituto brasileiro de árvores: 2015.**

IBA – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. 2017. **Relatório anual do instituto brasileiro de árvores: 2017.**

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2015. **Mudanças na Cobertura e Uso da Terra 2000 - 2010 - 2012 – 2014.** Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/usodaterra/default.shtm>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2018. **Censo agropecuário: 2017 : resultados preliminares**. IBGE, Rio de Janeiro.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2014. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

ITALIANO, E. C. 2004. **Recomendações para o cultivo e utilização do capim-elfante**. Embrapa Meio-Norte. Documentos.

KNUDSEN, M. T., YU-HUI, Q., YAN, L., HALBERG, N. 2010. **Environmental assessment of organic soybean (Glycine max.) imported from China to Denmark: a case study**. Journal of Cleaner Production, 18(14), 1431-1439.

KOBERLE, A. 2018. **Implementation of Land Use in an Energy System Model to Study the Long-Term Impacts of Bioenergy in Brazil and its Sensitivity to the Choice of Agricultural Greenhouse Gas Emission Factors**. Federal University of Rio de Janeiro. Disponível em: <http://ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/aKoberle.pdf>.

KOBERLE, A. C., GARAFFA, R., CUNHA, B. S. L., ROCHEDO, P., LUCENA, A. F. P., SZKLO, A., SHCAEFFER, R. 2018. **Are Conventional Energy Megaprojects Competitive? Suboptimal Decisions Related to Cost Overruns in Brazil**. Energy Policy, vol. 122, p. 689-700. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.021>.

KOBERLE, A., ROCHEDO, P., PORTUGAL-PEREIRA, J., SZKLO, A. S., de LUCENA, A. F. P., & SCHAEFFER, R. 2015. **Brazil Chapter**. In T. Spencer & R. Pierfedericci (Eds.), Beyond the Numbers: Understanding the Transformation Induced by INDCs. A Report of the MILES Project Consortium (p. 80). IDDRI - MILES Project Consortium, Paris, France.

KREV, V., HAVLIK, P., FROCKO, O., ZILLIACUS, J., GIDDEN, M., STRUBEGGER, M., KARTASASMITA, G., ERMOLIEVA, T., FORSELL, N., GUSTI, M., JOHNSON, N., KINDERMANN, G., KOLP, P., MCCOLLUM, D. L., PACHAURI, S., RAO, S., ROGELI J., VALIN, H., OBERSTEINER, M., RIAHI, K. 2016. **MESSAGE-GLOBIOM 1.0 Documentation**. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria <http://data.ene.iiasa.ac.at/message-globiom/>.

KRIEGLES, E., LUDERER, G., BAUER, N., BAUMSTARK, L., FUJIMORI, S., POPP, A., ROGELI, J., STREFLER, J., van VUUREN, D. P. 2018. **Pathways limiting warming to 1.5°C: a tale of turning around in no time?** Phil. Trans. R. Soc. A 376: 20160457. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2016.0457>>. Acesso em: 17/10/2018.

LAMAS, F. M. 2014. **Considerações sobre o manejo do algodoeiro**. Algodão 2013/2014.

LEAL, M. A. 2014. **Produção de fertilizante orgânico de origem 100% vegetal por meio da compostagem**. Embrapa Agrobiologia, Embrapa, Brasília. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1865056/artigo-producao-de->

fertilizante-organico-de-origem-100-vegetal-por-meio-da-compostagem>. Acesso em: 29 de novembro de 2018.

LEIMBACH, M., BAUER, N., BAUMSTARK, L., LUKEN, M., EDENHOFER, O. 2010. **Technological change and international trade – Insights from REMIND**. Special Issue of The Energy Journal, 31, 109-136

LIMA, L. B. 2013. **Emissões de N₂O em sistemas agrícolas**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, 998.

LOPES, P. R., ARAÚJO, K. C. S., FERRAZ, J. M. G., LOPES, I. M., FERNANDES, L. G. 2012. **Produção de café agroecológico no sul de Minas Gerais: sistemas alternativos à produção intensiva em agroquímicos**. Revista Brasileira de Agroecologia, 7 (1).

LOULOU, R. 2008. ETSAP-TIAM: **The TIMES integrated assessment model. Part II: Mathematical formulation**. Comput. Manag. Sci. 5, 41–66. <https://doi.org/10.1007/s10287-007-0045-0>.

LUCON, O., ROMEIRO, V., FRANSEN, T. 2015. **Bridging the Gap Between Energy and Climate Policies in Brazil. Policy Options to Reduce Energy-Related GHG Emissions**. Instituto de Energia e Ambiente Universidade de São Paulo.

MANZATTO, C. V., JUNIOR, E. de F., PERES, J. R. R. 2002. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, p. 174.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. 2017. **Projeções do agronegócio: Brasil 2016/17 a 2026/27: Projeções de longo prazo**. Brasília, Distrito Federal, MAPA/SPA, p. 103.

MARCELINO, R. 2009. **Inibidor de nitrificação em fertilizantes nitrogenados e rendimento de milho**.

MARCOLAN, A. L., RAMALHO, A. R., MENDES, A. M., TEIXEIRA, C. A. D., FERNANDES, C. D. F., COSTA, J. N. M., ..., VENEZIANO, W. 2009. **Cultivo dos cafeeiros conilon e robusta para Rondônia**. Embrapa Rondônia. Sistema de produção.

MARTINS, C. E., CÓSER, A. C., DERESZ, F. 2004. **Formação e utilização de pastagem manejada em sistemas intensivos de produção de leite**.

MATOS, E. H. S. F. 2007. **Cultivo do milho verde**. Dossiê técnico.

MDIC – MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIA EXTERIOR E SERVIÇOS. 2018. **Balança comercial brasileira 2017/2016: Acumulado/Mês**. Brasília, Distrito Federal.

MEDEIROS, J. de C., CARVALHO, M. da C. S., FREIRE, E. C., MORELLO, C. de L., OLIVEIRA, J. P., LEANDRO, W. M., BARBOSA, K. de A., DEL'ACQUE, J. M., FERNANDES, J. I., SANTOS, J. W. 2002. **Manejo da cultura do algodão com resultados de pesquisa em Goiás**. Embrapa Algodão, Campina Grande, Paraíba, p.18.

MFRURAL, 2018. **Classificados rurais**. Disponível em: <http://www.mfrural.com.br/>. Acesso em: 15 de janeiro de 2018.

MESQUITA, C. M. de et al. 2016. **Manual do café: implantação de cafezais Coffea arábica L**. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016. 50 p. il.

MONDELAERS, K., AERTSENS, J., & van HUYLENBROECK, G. 2009. **A meta-analysis of the differences in environmental impacts between organic and conventional farming**. British food journal, 111(10), 1098-1119.

MOURA, M. V. P. S., FARIAS, C. H. de A., AZEVEDO, C. A. V., NETO, J. D., AZEVEDO, H. M., PORDEUS, R. V. 2005. **Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação**. Ciênc. agrotec., 29(4).

NASCENTE, A. S., KLUTHCOUSKI, J., CRUSCIOL, C. A. C., COBUCCI, T., OLIVEIRA, P. D. 2012. **Adubação de cultivares de feijoeiro comum em várzeas tropicais**. Pesquisa Agropecuária Tropical, 407-415.

NETO, A. A. O., SSANTOS, C. M. R. 2017. **A cultura do trigo**. Brasília, Conab, 218p.

NORDESTE, R. D. C. T. N. 2013. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro comum na Região Nordeste Brasileira 2013-2014**. Embrapa Tabuleiros Costeiros-Documents (INFOTECA-E).

OECD/FAO. 2018. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2018-2027, OECD Publishing, Paris/Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Rome. https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2018-en.

PAIVA, C. T. C. 2011. **Cultivo de milho em plantio direto e convencional com diferentes doses de adubação nitrogenada em cobertura**. Rio Branco: UFAC, 33.

PAS CAMPO. 2005. **Manual de segurança e qualidade para a cultura da soja**. Brasília, DF, Embrapa Transferência de Tecnologia, 69 p.

PATERLINI, E. M., ARANTES, M. D. C., GONÇALVES, F. G., VIDAURRE, G. B., BAUER, M. O., MOULIN, J. C. 2013. **Avaliação do capim elefante para uso energético**. Journal of Biotechnology and Biodiversity, 4(2).

PENTEADO, S., IEDE, E., REIS FILHO, W. 2014. **Pragas em plantios de pínus no Brasil**. In Embrapa Florestas-Resumo em anais de congresso (ALICE). In: JORNADAS ARGENTINAS DE SANIDAD FORESTAL, 2., 2014, Montecarlo, Misiones. Libro de resúmenes.[SI]: UCAR, 2014. C-5..

PEREIRA, L. B., ARF, O., SANTOS, N. C. B., OLIVEIRA, A. E. Z., KOMURO, L. K. 2015. **Manejo da adubação na cultura do feijão em sistema de produção orgânico**. Pesquisa Agropecuária Tropical, 45(1).

PIMENTAL, D., HEPPELRY, P., HANSON, J., DOUDS, D., SEIDEL, R. 2005. **Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems**. AIBS Bulletin, 55(7), 573-582.

POSSE, S. C. P. 2010. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na região central-brasileira.**

PRIMAVESI, A. 2003. **Revisão do conceito de agricultura orgânica: conservação do solo e seu efeito sobre a água.** *Biológico*, São Paulo, 65(1/2), 69-73.

QUÉNO, L. M. R., SOUZA, Á. N., ÂNGELO, H., VALE, A. T., MARTINS, I. S. 2011. **Custo de produção das biomassas de eucalipto e capim-elefante para energia.** *Cerne*, 17(3).

RAMOS, L.P. 2000. **Aproveitamento integral de resíduos agrícolas e agroindustriais.** In: Seminário nacional sobre reuso/reciclagem de resíduos sólidos industriais. São Paulo: Cetesb. Disponível em <http://web-resol.org/textos/artigo_pretratamento.pdf>

REICHERT, P. 2012. **Cultura do feijão e nitrogênio no sistema de integração lavoura-pecuária.**

RIBEIRO, J. V. S., LEITE, M. M. B. 2017. **Solução Logística Para Importação de Fertilizantes. Estudo de Caso Para o Mato Grosso.** Universidade de São Paulo – USP, São Paulo.

ROCHEDO, P. 2016. **Development of a global integrated energy model to evaluate the Brazilian role in climate change mitigation scenarios.** PhD Thesis at Programa de Planejamento Energético. PPE/COPPE/UFRJ.

ROCHEDO, P. R. R., FILHO, B. S., VIOLA, E., SCHAEFFER, R., SZKLO, A., LUCENA, A. F. P., ... RATHMANN, R. 2018. **The threat of political bargaining to climate mitigation in Brazil.** *Nature Clim. Change*.

SALTON, J. C., HERNANI, L. C., FONTES, C. Z. 1998. **Sistema plantio direto: o produtor pergunta, a Embrapa responde.** Brasília, DF: Embrapa-SPI; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste.

SANTAROSA, E., PENTEADO JÚNIOR, J. F., GOULART, I. D. R. 2014. **Transferência de tecnologia florestal: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda.** Embrapa Florestas-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E).

SANTIAGO, C. M., BRESEGHELLO, H. C. de P., FERREORA, C. M. 2013. **Arroz: o produtor pergunta, a Embrapa responde.** Embrapa Arroz e Feijão, ed. 2, Brasília, Distrito Federal, p. 245.

SANTOS, A. B., RABELO, R. R. 2008. **Informações técnicas para a cultura do arroz irrigado no Estado do Tocantins. Embrapa Arroz e Feijão.** Santo Antônio de Goiás, Goiás, p. 136.

SBCS – SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIAS DO SOLO. 2004. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**

/ **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. - 10. ed. – Porto Alegre, 400 p.: il.

SEEG – SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. 2017. **Emissões do setor de agropecuária: Período 1970-2015**. Documento de Análise 2017.

SFREGO, G. J. 2008. **Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral**. Londrina: Embrapa Soja.

SHOVEN, J. B.; WHALLEY, J. 1998. **Applying general equilibrium**. 3. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 299 p.

SILVA, J. P. N., SILVA, M. R. N. 2012. **Noções da cultura da cana-de-açúcar**. Inhumas, IFG, Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 105 p.

SILVA, S. R., BASSOI, M. C., FOLONI, J. S. S. 2017. **Informações técnicas para trigo e triticale: Safra 2017**. 10ª Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, Brasília, DF, Embrapa, 240 p.

SOARES, J. R. 2016. **Emissão de N₂O e opções de mitigação pela aplicação de fertilizantes nitrogenados no cultivo da cana-de-açúcar**. Doctoral dissertation, INSTITUTO AGRONÔMICO.

SOARES-FILHO, B.S., CERQUEIRA, G. C., PENNACHIN, C. L. 2000. **DINAMICA - a new model to simulate and study landscape dynamics**. No prelo.

SZKLO, A., LUCENA, A., SCHAEFFER, R., SOARES FILHO, B. S., DAVIS, J. L., RAJÃO, R., COSTA, W. L. S. 2017. **Modelagem integrada e impactos econômicos de opções setoriais de baixo carbono**. Brasília, Brasil: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, ONU Meio Ambiente.

TAVARES, L. C. V., BASSOI, M. C., MIRANDA, L. C., & PRETE, C. E. C. 2011. **Transferência de tecnologia para cultivares de trigo no Estado do Paraná**. Embrapa Soja-Artigo em periódico indexado.

TCU – TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. 2014. **Auditoria Operacional no Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro) e no Zoneamento Agrícola do Risco Climático (ZARC)**. TCU, Brasília, 26/02/2014. Disponível em: <<https://portal.tcu.gov.br/biblioteca-digital/auditoria-operacional-no-programa-de-garantia-da-atividade-agropecuaria-proagro-e-no-zoneamentoagricola-do-risco-climatico-zarc.htm>>. Acesso em: 10 de novembro de 2018.

TEEB – THE ECONOMICS OF ECOSYSTEM AND BIODIVERSITY. 2018. **TEEB for Agriculture & Food: Scientific and Economic Foundations**. Geneva: UN Environment.

TUOMISTO, H. L., HODGE, I. D., RIORDAN, P., & MACDONALD, D. W. 2012. **Does organic farming reduce environmental impacts?—A meta-analysis of European research**. Journal of environmental management, 112, 309-320.

TURCO, P. H. N., ESPERANCINI, M. S. T. 2010. **Custo de renovação da área de café-estudo de caso.**

UFMG – UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. 2019. **OTIMIZAGRO.** Disponível em: <https://csr.ufmg.br/dinamica/otimizagro>.

UNITED NATIONS. 2015. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.** General Assembly 70 session.

URBAN, D. W., SHEFFIELD, J., LOBELL, D. B. 2017. **Historical Effects of CO₂ and Climate Trends on Global Crop Water Demand.** Springer Nature, Nature Climate Change, 7, 901-905.

UTUMI, M. M. 2008. **Sistema de produção de arroz de terras altas.** Embrapa Rondônia, Porto Velho, Rondônia, ed. 4, p. 33.

VAN VUUREN, D. P., STEHFEST, E., David E.H.J. GERNAAT, J. C. DOELMAN, van den BERG, M., HARMSSEN, M., de BOER, H. S., BOUWMAN, L. F., DAIIOGLOU, V., EDELENBOSH, O. Y., GIROD, B., KRAM, T., LASSALETTA, L., LUCAS, P. L. et al. 2017. **Energy, land-use and greenhouse gas emissions trajectories under a green growth paradigm.** Global Environmental Change, Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.008>>. Acesso em: 18/10/2018

VARGAS, V. P., CANTARELLA, H., MARTINS, A. A., SOARES, J. R., de SOUZA, R. M., HACKBARTH, C., de ANDRADE, C. A. 2012. **Dicianodiamida (DCD) diminui emissão de N₂O de solo incubado com diferentes níveis de palha de cana-de-açúcar e N mineral.** In Embrapa Meio Ambiente-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 30.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 14.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 12.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 9.; SIMPÓSIO SOBRE SELÊNIO NO BRASIL, 1., 2012, Maceió. A responsabilidade socioambiental da pesquisa agrícola: anais. Viçosa, MG: SBCS, 2012. 1 CD-ROM..

VIDAL, V. M., SOARES, F. A. L., TEIXEIRA, M. B., SOUSA, A. E. C., CUNHA, F. N. 2017. **Potassium fertilization and soil management systems for cotton crops.** Ver. Caatinga, Mossoró, v. 30, n. 3, p. 568-577.

VILELA, H. 2009. **Série gramíneas tropicais – Gênero Pennisetum (Pennisetum purpureum – Capim).** Disponível em: <http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_gramineas_tropicais_pennisetum_purpureum.htm>. Acesso em: 24 de junho de 2018.

VITTI, G. C., QUEIROZ, F. E. C., OTTO, R., QUINTINO, T. A. 2005. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar.** Bebedouro, SP:[sn], 15-18.

VITTI, G. C., TREVISAN, W. 2000. **Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja.** Informações Agronômicas. Piracicaba.

WANG, X., BIEWALD, A., DIETRICH, J., SCHMITZ, C., LOTZE-CAMPEN, H., HUMPENODER, F., BODIRSKY, B., POPP, A. 2016. **Taking Account of**

Governance: Implications for Land-Use Dynamics, Food Prices, and Trade Patterns. Ecological Economics 122, 12-24

WEYANT, J. 2017. **Some Contributions of Integrated Assessment Models of Global Climate Change.** Department of Management Science and Engineering, Stanford University, Stanford, CA. Disponível em: <<https://academic.oup.com/reep/article/11/1/115/3066306>>. Acesso em: 24 de janeiro de 2019.

ZHANG, L., FEIKE, T., HOLST, J. HOFFMAN, C., DOLUSCHITZ, R. 2015. **Comparison of energy consumption and economic performance of organic and conventional soybean production – A case study from Jilin Province, China.** Journal of Integrative Agriculture, 14, (8), p. 1561-1572.

ZOTIN, M. Z. 2018. **O Papel da China na Transição Energética Global: Estado, Indústria e Recursos.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

APÊNDICE I

<https://drive.google.com/drive/folders/1ZmBuhRWpgA53CSZJoxN-XX-kLKbwKd4h?usp=sharing>

APÊNDICE II

<https://drive.google.com/drive/folders/1ZmBuhRWpgA53CSZJoxN-XX-kLKbwKd4h?usp=sharing>

APÊNDICE III

<https://drive.google.com/drive/folders/1ZmBuhRWpgA53CSZJoxN-XX-kLKbwKd4h?usp=sharing>