

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA POLITÉCNICA

CELSO JÚNIOR ROSEGHINI LOPES

O mercado brasileiro da soja: uma análise sob a perspectiva da dinâmica de sistemas

São Paulo

2023

CELSO JÚNIOR ROSEGHINI LOPES

Versão Corrigida

O mercado brasileiro da soja: uma análise sob a perspectiva da dinâmica de sistemas

Tese apresentada à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para obtenção  
do título de Doutor em Ciências

Área de Concentração: Engenharia Naval e  
Oceânica

Orientador: Professor Dr. Joaquim Rocha  
dos Santos

São Paulo

2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

Assinatura do autor: \_\_\_\_\_

Assinatura do orientador: \_\_\_\_\_

### Catálogo-na-publicação

Lopes, Celso Júnior Roseghini

O mercado brasileiro da soja: uma análise sob a perspectiva da dinâmica de sistemas / C. J. R. Lopes -- versão corr. -- São Paulo, 2023.  
268 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.  
Departamento de Engenharia Naval e Oceânica.

1.Lucro dos produtores brasileiros de soja 2.Demanda Chinesa por soja  
3.Balanco de oferta e demanda 4.Dinâmica de sistemas I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica II.t.

Nome: LOPES, Celso Júnior Roseghini

Título: O mercado brasileiro da soja: uma análise sob a perspectiva da dinâmica de sistemas

Tese apresentada à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para obtenção  
do título de Doutor em Engenharia

Aprovado em: 01/08/2023

Banca Examinadora

Prof. Dr. Joaquim Rocha dos Santos (Presidente) Instituição: POLI/USP

Julgamento: Aprovado

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. José Afonso Mazzon

Instituição: FEA/USP

Julgamento: Aprovado

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Rui Carlos Botter

Instituição: POLI/USP

Julgamento: Aprovado

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Marcos Fava Neves

Instituição: FEARP/USP

Julgamento: Aprovado

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Thiago Guilherme Péra

Instituição: ESALQ/USP

Julgamento: Aprovado

Assinatura: \_\_\_\_\_

## **DEDICATÓRIA**

A Lídia e Julia.



**Tia Rose, tia Neli, minha mãe Iara, tia Sandra, vó Rosa e vô Valentim na soja  
(Cascavel-PR, 1973)**

**A família da minha mãe migrou do Sul para Rondônia por causa da soja.  
A família do meu pai migrou do Sudeste para Rondônia por causa de carne.  
Eu sou um filho do agro!**

**“Agir sem pensar não é bom; quem se apressa erra o caminho”.**

**Provérbios 19:02**

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, eu agradeço a Deus pai pelo dom da vida, ao seu Santo Espírito pela paz concedida e ao seu filho Jesus Cristo pelo indispensável sacrifício da cruz. Agradeço a toda minha família por ter compreendido os momentos de ausência devido a minha necessária dedicação aos estudos, em especial a minha linda esposa Lídia. Aos meus pais, Celso e Iara pelo amor. Aos amigos da Zion e Renascer, que oraram e torceram por mim.

A Universidade de São Paulo, onde que, além da minha graduação em Economia e mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos, eu tive a oportunidade de fazer meu doutorado. Agradeço a Escola Politécnica, em especial aos professores do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica por todo conhecimento transmitido e a Lânia Camilo.

Ao meu primeiro orientador, o professor Dr. Rui Botter, por ter acreditado em mim e aberto as portas para que eu iniciasse o meu doutorado na Escola Politécnica, em 2016.

Ao meu amigo e orientador, o professor Dr. Joaquim Rocha dos Santos pela confiança depositada em mim. Se não fosse a sua enorme paciência e generosidade em compartilhar seus preciosos conhecimentos, eu não teria aprendido o suficiente para terminar esta tese.

A Mário Gouvea, por ter incentivado e me autorizado a estudar enquanto eu trabalhava na Bunge. Agradeço também a todos os amigos que, de alguma forma, me ajudaram a conciliar uma vida profissional com esse enorme desafio acadêmico. São pessoas muito queridas com as quais eu tive o privilégio de trabalhar na Bunge, Multigrain, Mitsui e McDonald Pelz. Optei por não citá-los nominalmente apenas para não correr o risco de cometer a injustiça de esquecer alguém, já que de 2016 a 2023 é bastante tempo.

A todos os amigos que atuam no agronegócio mundial e que, ao me conceder uma das entrevistas que se encontram nos apêndices, contribuíram de forma significativa com reflexões úteis para a construção desta tese de doutorado: Em ordem alfabética, tem-se: Aduino Souza, Adriano Barzotto, Altamar Kröhling, Alyssa Chen Hui, André Dobashi, Antônio Bortolo, Antônio Galvan, Bartolomeu Brás, Bruno Quirino, Dari Fronza, Diego Dallastra, Diogo Rutilli, Ed Varin, Eguiberto Gabe, Esme Xue, Felipe Pavin, Gabriel Chaparro, Guilherme Soria Bastos Filho, Guilherme Britzki, Guilherme Heiden, Lino Costa, Luís Mandi, Marcelo Maciel, Marco Gaitan, Marcos da Rosa, Marcos Fava Neves, Matheus Pereira, Maurício Buffon, Pedro Luz, Rafael Simão, Ricardo Capone, Rossano de Angelis, Vagner Herklotz, Vanderlei das Ataidas, Vlad Roosevelt e Wesley Barbosa.



## RESUMO

Este trabalho ressalta a importância que o setor sojicultor tem para o Brasil, tanto do ponto de vista econômico, quanto do social. Considerando que os fazendeiros são a mola propulsora que empurram uma próspera cadeia produtiva, é indesejável que eles corram riscos. Então, a tese se candidatou a responder as razões pelas quais os preços da soja oscilam e como isso impacta a lucratividade dos produtores brasileiros e o comportamento da oferta e da demanda pelo produto. Sendo assim, mediante um melhor entendimento sobre o funcionamento da estrutura deste mercado, analisou-se os impactos da ocorrência de eventos relevantes, assim como implicações de políticas públicas e estratégias gerenciais.

Com base na Teoria de Dinâmica de Sistemas, o conhecimento absorvido através de 33 entrevistas com agentes que atuam globalmente no setor sojicultor foi traduzido em 3 diagramas: (1) de setores; (2) causal; (2) e de *Forrester*. Este último contém diversas malhas de retroalimentação e 150 equações, onde foi possível estudar e aprender com o sistema e responder à pergunta de pesquisa de modo satisfatório.

Concluiu-se que a dinamicidade observada se deve, principalmente, em função das relações de causa e efeito que existem entre a criação de expectativa de lucro dos fazendeiros do Brasil, o que os levou a incorporarem novas áreas produtivas e investirem em tecnologia, e a forte necessidade da China em importar essa oleaginosa, devido as mudanças notadas nas taxas de urbanização e de renda da sua população nos últimos anos. Ademais, além de comprar enormes quantidades do produto para esmagar e fabricar óleo e farelo, existe a preocupação em manter um estoque mínimo de segurança. Toda essa dinâmica é incômoda para a indústria brasileira de soja, já que o seu crescimento e manutenção depende de fatores exógenos, sobre os quais ela não se tem o menor controle.

Por fim, dentre outras contribuições desta tese de doutorado, destacam-se: (1) meticulosa organização das estatísticas do setor; (2) o modelo de simulação capturou que, após o início da guerra comercial, houve uma quebra de confiança dos chineses no suprimento de soja dos EUA, que ainda não foi reconquistada; e (3) o Estado brasileiro precisa, urgentemente, se organizar e propor um plano claro que leve o país a ser autossuficiente nos insumos necessários para se produzir soja.

## **ABSTRACT**

This dissertation emphasizes the importance that the soybean sector has for Brazil, both from an economic and social point of view. Considering that farmers are the driving force behind a prosperous production chain, it is undesirable for them to take risks. So, the thesis aimed to answer the reasons why soybean prices fluctuate and how this impacts the profitability of Brazilian rural producers and the behavior of supply and demand for the product. Therefore, through a better understanding of the functioning of the structure of this market, the impacts of the occurrence of relevant events were analyzed, as well as implications for public policies and management strategies.

Based on Systems Dynamics Theory, the knowledge absorbed through 33 interviews with agents who work globally in the soybean sector was translated into 3 diagrams: (1) of sectors; (2) causal; (2) and Forrester. The latter contains several feedback loops and 150 equations, where it was possible to study and learn from the system and answer the research question satisfactorily.

It was concluded that the dynamism observed is mainly due to the cause and effect relationships that exist between the creation of profit expectations among farmers in Brazil, which led them to incorporate new productive areas and invest in technology, and the China's strong need to import this oilseed, due to the changes noted in the urbanization and income rates of its population in recent years. Furthermore, in addition to purchasing huge quantities of the product to crush and manufacture oil and meal, there is concern about maintaining a minimum safety stock. This entire dynamic is uncomfortable for the Brazilian soy industry, since its growth and maintenance depend on exogenous factors, over which it has no control.

Finally, among other contributions of this doctoral thesis, the following stand out: (1) meticulous organization of sector statistics; (2) the simulation model captured that, after the start of the trade war, there was a loss of Chinese confidence in the US soybean supply, which has not yet been recovered; and (3) the Brazilian State urgently needs to organize itself and propose a clear plan that will lead the country to be self-sufficient in the inputs needed to produce soy.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Participação da soja na geração da riqueza do Brasil entre 2011 e 2022.....	3
Figura 2 - Participação da soja na balança comercial brasileira entre 2011 e 2022 .....	4
Figura 3 - Evolução do IDH de cidades selecionadas e as respectivas médias estaduais em 1991, 2000 e 2010 .....	5
Figura 4 - Evolução da produção e das exportações brasileiras de soja e das importações chinesas entre 2011 e 2022, em milhões de toneladas.....	7
Figura 5 - Custo estimado com a produção, preço recebido e lucratividade média anual dos produtores de soja no Brasil entre 2011 e 2022, em R\$/ton .....	8
Figura 6 - Destaque do produtor rural na cadeia da soja no Brasil, uma visão simplificada .....	9
Figura 7 - Calendário de plantio e colheita da soja nos 10 maiores produtores .....	14
Figura 8 - Localização dos principais produtores mundiais de soja em 2022 .....	15
Figura 9 - Localização dos principais exportadores mundiais de soja em 2022 .....	17
Figura 10 - Localização dos principais importadores mundiais de soja em 2022.....	18
Figura 11 - Evolução do volume de soja colhido por município no Brasil .....	21
Figura 12 - Sazonalidade média semanal do plantio e da colheita das lavouras de soja no Brasil entre 2018 e 2022 .....	22
Figura 13 - Exportações brasileiras e importações chinesas de soja entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas.....	26
Figura 14 - Sazonalidade das exportações brasileiras de soja entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas.....	26
Figura 15 - Processo de afunilamento aplicado na revisão bibliográfica .....	32
Figura 16 - Itinerário utilizado para seleção dos artigos na Revisão 1 .....	34
Figura 17 - Itinerário utilizado para seleção dos artigos na Revisão 2.....	35
Figura 18 - Itinerário utilizado para seleção dos artigos na Revisão 3.....	38
Figura 19 - Revisão 1: número de artigos por ano e base de dados .....	39
Figura 20 - Revisão 1: artigos distribuídos por país onde o estudo foi aplicado.....	39
Figura 21 - Revisão 1: número de artigos no qual cada <i>commodity</i> é estudada .....	40
Figura 22 - Revisão 1: nuvem das palavras mais utilizadas nos textos selecionados ....	41
Figura 23 - Revisão 2 e 3: número de artigos por ano e base de dados.....	42
Figura 24 - Revisão 2 e 3: artigos distribuídos por país onde o estudo foi aplicado.....	42
Figura 25 - Revisão 2 e 3: número de artigos no qual cada <i>commodity</i> é estudada .....	43

Figura 26 - Revisão 2 e 3: nuvem das palavras mais utilizadas nos textos selecionados	44
Figura 27 - Esquema do processo de modelagem em Dinâmica de Sistemas	62
Figura 28 - Relação de causalidade positiva	66
Figura 29 - Relação de causalidade negativa	67
Figura 30 - Exemplo de diagrama causal	69
Figura 31 - Exemplo de diagrama de <i>Forrester</i>	71
Figura 32 - Classificação dos modelos	74
Figura 33 - Diagrama de setores do modelo	81
Figura 34 - Diagrama causal do problema de pesquisa	83
Figura 35 - Diagrama causal da malha de balanceamento B1: Oferta de soja Brasil	85
Figura 36 - Diagrama causal da malha de balanceamento B2: Farmer Selling	86
Figura 37 - Diagrama causal da malha de balanceamento B3: Área disponível	87
Figura 38 - Diagrama causal da malha de balanceamento B4: Tecnologia	88
Figura 39 - Diagrama causal da malha de balanceamento B5: CBOT impactando o Brasil	89
Figura 40 - Diagrama causal da malha de balanceamento B6: Oferta global impactando a CBOT	90
Figura 41 - Diagrama causal da malha de balanceamento B7: Demanda global impactando a CBOT	90
Figura 42 - Diagrama causal da malha de balanceamento B8: Demanda pela soja do Brasil	92
Figura 43 - Diagrama causal da malha de reforço R1: População chinesa	94
Figura 44 - Módulo P1: parâmetros de controle do modelo de simulação	96
Figura 45 - Módulo M1: Balanço de oferta e demanda de soja no Brasil	97
Figura 46 - Módulo I1: Interface de calibração	100
Figura 47 - Comparação entre o modo de referência da variável “área com soja a ser colhida no Brasil” e o seu <i>output</i> do modelo de simulação, em milhões de hectares	101
Figura 48 - Análise do erro percentual médio entre o modo de referência da variável “área com soja a ser colhida no Brasil” e o seu <i>output</i> do modelo de simulação	102
Figura 49 - Comportamento do coeficiente de desigualdade de <i>Theil</i> para a variável “área com soja a ser colhida no Brasil”	103
Figura 50 - Comparação entre o modo de referência da variável “exportações do Brasil para a China” e o seu <i>output</i> do modelo de simulação, em milhões de toneladas	104

Figura 51 - Análise do erro percentual médio entre o modo de referência da variável “exportações do Brasil para a China” e o seu <i>output</i> do modelo de simulação .....	104
Figura 52 - Comportamento do coeficiente de desigualdade de <i>Theil</i> para a variável exportações do Brasil para a China .....	105
Figura 53 - Quebra de confiança da China no suprimento de soja dos EUA .....	106
Figura 54 - Comparação entre o modo de referência da variável “prêmio da soja no Brasil” e o seu <i>output</i> do modelo de simulação, em US\$/ton.....	107
Figura 55 - Análise do erro percentual médio entre o modo de referência da variável “prêmio da soja no Brasil” e o seu <i>output</i> do modelo de simulação .....	107
Figura 56 - Comportamento do coeficiente de desigualdade de <i>Theil</i> para a variável “prêmio da soja no Brasil”.....	108
Figura 57 - Comparação entre o modo de referência da variável “lucro do produtor brasileiro de soja” e o seu <i>output</i> do modelo de simulação, em R\$/ton.....	109
Figura 58 - Análise do erro percentual médio entre o modo de referência da variável “lucro do produtor brasileiro de soja” e o seu <i>output</i> do modelo de simulação .....	109
Figura 59 - Comportamento do coeficiente de desigualdade de <i>Theil</i> para a variável “lucro do produtor brasileiro de soja” e o seu <i>output</i> do modelo de simulação .....	110
Figura 60 - Modificações necessárias no Diagrama de <i>Forrester</i> do módulo 3: Produção de soja no Brasil, para se analisar os resultados da política proposta .....	117
Figura 61 - Produção brasileira de soja, considerando-se que o Brasil não tivesse conseguido importar insumos em 2022.....	118
Figura 62 - Produção brasileira de soja, considerando-se que o Brasil fosse autossuficiente na fabricação de insumos agrícolas .....	119
Figura 63 - Diagrama de <i>Forrester</i> do módulo 2: Dinâmica da área para produção de soja no Brasil.....	139
Figura 64 - Diagrama de <i>Forrester</i> do módulo 3: Produção de soja no Brasil .....	141
Figura 65 - Diagrama de <i>Forrester</i> do módulo 4: Formação do preço da soja no Brasil .....	144
Figura 66 - Diagrama de <i>Forrester</i> do módulo 5: Formação do prêmio da soja brasileira .....	147
Figura 67 - Diagrama de <i>Forrester</i> do módulo 6: Atratividade e exportações da soja brasileira .....	151
Figura 68 - Diagrama de <i>Forrester</i> do módulo 7: Dinâmica da demanda Chinesa por soja .....	155

Figura 69 - Evolução do volume de soja colhido por município nos EUA.....	161
Figura 70 - Sazonalidade média semanal do plantio e da colheita das lavouras de soja nos EUA entre 2018 e 2022 .....	162
Figura 71 - Exportações norte-americanas e importações chinesas de soja entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas.....	166
Figura 72 - Sazonalidade das exportações norte-americanas de soja entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas.....	166
Figura 73 - Evolução do volume de soja colhido por município na Argentina .....	170
Figura 74 - Sazonalidade média semanal do plantio e da colheita das lavouras de soja na Argentina entre 2018 e 2022.....	171
Figura 75 - Exportações argentinas e importações chinesas de soja entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas.....	175
Figura 76 - Sazonalidade das exportações argentinas de soja entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas.....	176
Figura 77 - Ocupação e uso do território brasileiro em 2017 .....	191
Figura 78 - Comportamento da área total destinada as safras de soja que foram colhidas no Brasil entre 2011 e 2022, em milhões de hectares.....	193
Figura 79 - Diagrama de influência para a decisão das compras chinesas de soja.....	195
Figura 80 - Diagrama de influência para a decisão do produtor brasileiro de soja .....	197
Figura 81 - Comportamento da demanda chinesa de soja por país de importação entre 2011 e 2022, em milhões toneladas .....	198
Figura 82 - Comportamento da demanda brasileira de soja entre 2011 e 2022, em milhões toneladas .....	199
Figura 83 - Efeito da expectativa de lucro com soja sobre a decisão do produtor sobre a quantidade de área a ser plantada na safra seguinte .....	200
Figura 84 - Comportamento dos estoques de soja na China no final de cada ano entre 2011 e 2022, em milhões de toneladas .....	201
Figura 85 - Comportamento dos estoques de soja no Brasil no final de cada mês entre 2011 e 2020, em milhões de toneladas .....	202
Figura 86 - Comportamento das exportações brasileiras de soja entre 2011 e 2022, em milhões de toneladas.....	203
Figura 87 - Comportamento do lucro médio mensal estimado para uma tonelada de soja vendida no Brasil, em reais e dólar, e a taxa de câmbio R\$/US\$ entre 2011 e 2022 ...	204

Figura 88 - Comportamento da oferta brasileira de soja entre 2011 e 2022, em milhões toneladas .....	205
Figura 89 - Comportamento do preço médio mensal estimado pago ao produtor de soja no Brasil, em reais e dólar, e a taxa de câmbio entre 2011 e 2022 .....	206
Figura 90 - Comportamento do preço CIF médio mensal da soja brasileira na China entre 2011 e 2022, em US\$/tonelada .....	207
Figura 91 - Comportamento do preço CIF médio mensal da soja norte-americana na China entre 2011 e 2022, em US\$/tonelada .....	208
Figura 92 - Comportamento do preço FOB médio mensal da soja no porto de Paranaguá-PR entre 2011 e 2022, em US\$/tonelada .....	209
Figura 93 - Comportamento do preço FOB médio mensal da soja no golfo do México entre 2011 e 2022, em US\$/tonelada .....	210
Figura 94 - Comportamento do preço médio mensal do prêmio da soja no porto de Paranaguá-PR entre 2011 e 2022, em US\$/tonelada .....	212
Figura 95 - Comportamento da produção brasileira de soja entre 2011 e 2022, em milhões de toneladas .....	213
Figura 96 - Comportamento das estimativas para a receita média mensal obtida pelos fazendeiros de soja no Brasil entre 2011 e 2022 .....	215
Figura 97 - Comportamento acumulado das vendas de soja pelos fazendeiros brasileiros entre 2011 e 2022.....	216
Figura 98 - Percentual de venda de uma safra brasileira de soja por ano, um comparativo entre 2011 e 2022.....	216
Figura 99 - Comportamento da variação anual de área de soja colhida no Brasil entre 2011 e 2022, em milhões de hectares .....	217
Figura 100 - Comportamento do volume mensal de soja comercializado pelos produtores brasileiros entre 2011 e 2022, em milhões de toneladas .....	218
Figura 101 - Comportamento da demanda brasileira de soja para esmagamento entre 2011 e 2022, em milhões de toneladas .....	219
Figura 102 - Comportamento da participação da soja na produção brasileira de biodiesel entre 2011 e 2022.....	220
Figura 103 - Comportamento do custo médio estimado para a produção de uma tonelada de soja no Brasil entre 2011 e 2022, em R\$/ton e US\$/ton.....	222
Figura 104 - Efeito nas importações chinesas de soja em função do aumento do consumo de proteína animal .....	223

Figura 105 - Comportamento da demanda de soja no mundo, excluído o Brasil, entre 2011 e 2022, em milhões de toneladas .....	224
Figura 106 - Comportamento dos estoques de soja no mundo, excluído o Brasil, no final de cada ano entre 2011 e 2022, em milhões de toneladas .....	225
Figura 107 - Comportamento da taxa Selic no Brasil entre 2011 e 2022.....	226
Figura 108 - Impacto nas exportações de soja dos EUA devido a guerra comercial com a China entre 2018 e 2019 .....	227
Figura 109 - Comportamento das importações brasileiras de soja entre 2011 e 2022, em milhões de toneladas.....	228
Figura 110 - Estimativa da margem de lucro com esmagamento de soja na China entre 2011 e 2022, em US\$/tonelada.....	229
Figura 111 - Comportamento da oferta de soja no mundo, excluído o Brasil, entre 2011 e 2022, em milhões de toneladas.....	230
Figura 112 - Comportamento do preço médio mensal da soja na bolsa de Chicago entre 2011 e 2022, em US\$/ton .....	231
Figura 113 - Preço médio do frete rodoviário para exportação no Brasil entre 2011 e 2022 .....	232
Figura 114 - Comportamento do preço médio mensal do frete da soja até a China entre 2011 e 2022, em US\$/ton .....	233
Figura 115 - Comportamento do preço médio mensal do prêmio da soja no golfo do México entre 2011 e 2022, em US\$/ton .....	234
Figura 116 - Comportamento da produtividade média da soja no Brasil entre 2011 e 2022, em toneladas/hectare.....	235
Figura 117 - Comportamento mensal da taxa de câmbio R\$/US\$ entre 2011 e 2022..	237
Figura 118 - Comportamento da taxa líquida de crescimento populacional na China entre 2011 e 2021.....	238
Figura 119 - Comportamento da taxa líquida de urbanização na China e o percentual da população morando em cidades entre 2011 e 2021 .....	239
Figura 120 - Efeito nas importações chinesas de soja em função do crescimento da população urbana.....	240
Figura 121 - Média mensal de contratos nas mãos dos especuladores na bolsa de Chicago entre 2011 e 2022.....	242
Figura 122 - Tempo médio (em dias) de espera de um navio nos portos brasileiros: da chegada no litoral do Brasil até o final da operação de carregamento e desatracação .	244



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais países produtores de soja entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas .....	15
Tabela 2 - Principais países exportadores de soja entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas .....	16
Tabela 3 - Principais países importadores de soja entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas .....	18
Tabela 4 - Balanço mundial de oferta e demanda da soja entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas .....	20
Tabela 5 - Área com plantio de soja no Brasil entre 2018 e 2022, em milhões de hectares .....	23
Tabela 6 - Produtividade da soja no Brasil entre 2018 e 2022, em tons/hectare .....	24
Tabela 7 - Produção de soja no Brasil entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas .....	25
Tabela 8 - Exportações de soja brasileira por porto entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas .....	27
Tabela 9 - Destinos da soja brasileira entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas .....	28
Tabela 10 - Balanço de oferta e demanda da soja brasileira entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas .....	29
Tabela 11 - Palavras-chaves consideradas na <i>string</i> de busca da Revisão 1 .....	33
Tabela 12 - Palavras-chaves consideradas na <i>string</i> de busca da Revisão 2 .....	35
Tabela 13 - Palavras-chaves consideradas na <i>string</i> de busca da Revisão 3 .....	37
Tabela 14 - Lacunas encontradas na literatura.....	56
Tabela 15 - Tabela de limites do modelo .....	79
Tabela 16 - Módulos do modelo de simulação .....	95
Tabela 17 - Equações do módulo P1: Parâmetros de controle do modelo de simulação	96
Tabela 18 - Equações do Módulo M1: Balanço de oferta e demanda de soja no Brasil	98
Tabela 19 - Equações do módulo 2: Dinâmica da área para produção de soja no Brasil .....	139
Tabela 20 - Equações do módulo 3: Produção de soja no Brasil.....	141
Tabela 21 - Equações do módulo 4: Formação do preço da soja no Brasil .....	144
Tabela 22 - Equações do módulo 5: Formação do prêmio da soja brasileira .....	147
Tabela 23 - Equações do módulo 6: Atratividade e exportações da soja brasileira.....	151
Tabela 24 - Equações do módulo 7: Dinâmica da demanda chinesa por soja .....	155

Tabela 25 - Área com plantio de soja nos EUA entre 2018 e 2022, em milhões de hectares .....	163
Tabela 26 - Produtividade da soja nos EUA entre 2018 e 2022, em tons/hectare .....	164
Tabela 27 - Produção de soja nos EUA entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas .	165
Tabela 28 - Destinos da soja norte-americana entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas .....	167
Tabela 29 - Balanço de oferta e demanda da soja norte-americana entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas.....	168
Tabela 30 - Área com plantio de soja na Argentina entre 2018 e 2022, em milhões de hectares .....	172
Tabela 31 - Produtividade da soja na Argentina entre 2018 e 2022, em tons/hectare ..	173
Tabela 32 - Produção de soja na Argentina entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas .....	174
Tabela 33 - Destinos da soja argentina entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas ..	177
Tabela 34 - Balanço de oferta e demanda da soja argentina entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas .....	178

## LISTA DE SIGLAS

ABIOVE	Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais
ANP	Agência Nacional do Petróleo
AMIS	<i>Agricultural Market Information System</i>
APROSOJA	Associação Brasileira dos Produtores de Soja
APS	<i>AgriPort Services</i>
BACEN	Banco Central do Brasil
CBOT	<i>Chicago Board of Trade</i>
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CIF	<i>Cost, Insurance and Freight</i>
CME	<i>Chicago Mercantile Exchange Group Inc.</i>
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESALQ	Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FOB	<i>Free On Board</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MINAGRI	Ministério de Agricultura da Argentina
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MR	Modo de Referência (MR)
PAM	Produção Agrícola Municipal
PIB	Produto Interno Bruto
UM	<i>United Nations</i>
UNCTAD	<i>United Nations Conference on Trade and Development</i>
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>
USP	Universidade de São Paulo

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Propósito e contribuição da tese para a literatura .....	1
1.2. História, finalidade e importância da soja.....	2
1.3. Contextualização do problema de pesquisa .....	6
1.4. Definição do problema de pesquisa e da hipótese dinâmica.....	9
1.5. Objetivos gerais .....	10
1.6. Objetivos secundários .....	10
1.7. Organização da tese .....	11
<b>2. CARACTERIZAÇÃO DA OFERTA E DEMANDA DA SOJA.....</b>	<b>13</b>
2.1. Calendário de plantio e colheita da soja nos principais países produtores .....	13
2.2. Principais produtores de soja no mundo .....	14
2.3. Principais exportadores de soja no mundo.....	16
2.4. Principais importadores de soja no mundo .....	17
2.5. Balanço mundial de oferta e demanda da soja.....	18
2.6. Avanço da fronteira agrícola da soja no Brasil .....	20
2.7. Calendário de plantio e colheita da soja no Brasil .....	21
2.8. Área destinada ao plantio da soja no Brasil .....	22
2.9. Produtividade da soja no Brasil .....	23
2.10. Produção da soja no Brasil .....	24
2.11. Exportações de soja no Brasil .....	25
2.12. Importações de soja no Brasil .....	28
2.13. Balanço de oferta e demanda da soja brasileira .....	29
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>30</b>
3.1. Revisão sistemática da literatura.....	30
3.2. Aplicação da metodologia Revisão Sistemática da Literatura.....	31
3.2.1. Planejamento e formulação do problema .....	31

3.2.2.	Busca da literatura nas bases de dados .....	32
3.2.3.	Coleta de dados e avaliação da qualidade da pesquisa primária .....	38
3.2.4.	Análise sumarizada dos dados, interpretação e apresentação dos resultados 44	
3.2.5.	Lacunas encontradas na literatura.....	55
<b>4.</b>	<b>TEORIA DE DINÂMICA DE SISTEMAS.....</b>	<b>57</b>
4.1.	Teoria de Dinâmica de Sistemas .....	57
4.2.	Definição de Sistema .....	58
4.3.	Passo-a-passo para a construção de um modelo de Dinâmica de Sistemas .....	61
4.3.1.	Passo 1: Articulação do problema .....	62
4.3.2.	Passo 2: Formulação da hipótese dinâmica .....	63
4.3.3.	Passo 3: Formulação do modelo de simulação .....	64
4.3.4.	Passo 4: Testando o modelo desenvolvido .....	64
4.3.5.	Passo 5: Concepção de políticas e avaliações dos resultados.....	65
4.4.	Conceitos básicos sobre modelagem utilizando a Teoria de Dinâmica de Sistemas .....	66
4.4.1.	Relações de causalidade .....	66
4.4.2.	Diagrama causal .....	67
4.4.3.	Diagrama de <i>Forrester</i> ou Diagrama de Estoques e Fluxos.....	69
<b>5.</b>	<b>MODELAGEM E APLICAÇÃO.....</b>	<b>72</b>
5.1.	Justificativa para a escolha do método de modelagem .....	72
5.1.1.	Definição de modelo.....	72
5.1.2.	Antagonismos entre modelos mental e de simulação computacional .....	74
5.1.3.	Simulação de eventos discretos .....	75
5.1.4.	Simulação baseada em agentes.....	75
5.1.5.	Econometria.....	75
5.1.6.	Método adotado nesta tese de doutorado.....	76
5.2.	Hipótese dinâmica.....	77

5.3.	Tabela de limites do modelo .....	78
5.4.	Diagrama de subsistemas .....	80
5.5.	Diagrama causal.....	81
5.5.1.	Malha de balanceamento B1: Oferta de soja Brasil .....	84
5.5.2.	Malha de balanceamento B2: <i>Farmer Selling</i> .....	85
5.5.3.	Malha de balanceamento B3: Área disponível .....	86
5.5.4.	Malha de balanceamento B4: Tecnologia.....	87
5.5.5.	Malha de balanceamento B5: CBOT impactando o Brasil.....	88
5.5.6.	Malha de balanceamento B6: Oferta global impactando a CBOT .....	89
5.5.7.	Malha de balanceamento B7: Demanda global impactando a CBOT .....	90
5.5.8.	Malha de balanceamento B8: Demanda pela soja do Brasil .....	90
5.5.9.	Malha de reforço R1: População chinesa .....	92
5.6.	Diagrama de <i>Forrester</i> (modelo de simulação) .....	94
5.6.1.	Apresentação do modelo .....	94
5.6.2.	Módulo P1: Parâmetros de controle .....	95
5.6.3.	Módulo M1: Balanço de oferta e demanda de soja no Brasil.....	97
5.6.4.	Módulo I1: Interface de calibração.....	100
5.6.5.	Apresentação e discussão dos resultados.....	100
5.6.5.1.	Área com soja a ser colhida no Brasil.....	101
5.6.5.2.	Exportações do Brasil para a China .....	103
5.6.5.3.	Prêmio da soja no Brasil .....	106
5.6.5.4.	Lucro do produtor brasileiro de soja.....	108
5.6.6.	Testes do modelo .....	110
<b>6.</b>	<b>PROJETO E ANÁLISE DE POLÍTICA .....</b>	<b>113</b>
6.1.	Panorama de um potencial risco para o setor sojicultor brasileiro .....	113
6.2.	Por que o Brasil não é autossuficiente na produção de insumos agrícolas? ...	114
6.3.	Proposta de política visando dirimir o risco identificado .....	115

6.4.	Modificações na estrutura do modelo de simulação para analisar os impactos da proposta de uma política que vise dirimir o risco identificado .....	116
6.5.	Avaliação da política pública proposta visando a diminuição da dependência de insumos agrícolas importados .....	117
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÕES E DIRECIONAMENTOS PARA TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>120</b>
7.1.	Conclusões .....	120
7.2.	Contribuições da tese .....	124
7.3.	Limitações e direcionamentos futuros .....	125
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>127</b>
	<b>APÊNDICE A: Módulos do modelo de simulação.....</b>	<b>139</b>
A.1.	Módulo 1: Balanço de oferta e demanda do Brasil.....	139
A.2.	Módulo 2: Dinâmica da área para produção de soja no Brasil .....	139
A.3.	Módulo 3: Produção de soja no Brasil.....	141
A.4.	Módulo 4: Formação do preço da soja no Brasil .....	144
A.5.	Módulo 5: Formação do prêmio da soja brasileira .....	147
A.6.	Módulo 6: Atratividade e exportações da soja brasileira .....	151
A.7.	Módulo 7: Dinâmica da demanda chinesa por soja .....	155
	<b>APÊNDICE B: Detalhamento sobre a soja nos Estados Unidos da América .....</b>	<b>160</b>
B.1.	Avanço da fronteira agrícola da soja nos EUA .....	160
B.2.	Calendário de plantio e colheita da soja nos EUA.....	161
B.3.	Área destinada ao plantio da soja nos EUA.....	162
B.4.	Produtividade da soja nos EUA .....	163
B.5.	Produção da soja nos EUA .....	164
B.6.	Exportações de soja nos EUA.....	165
B.7.	Importações de soja nos EUA.....	167
B.8.	Balanço de oferta e demanda da soja norte-americana.....	168
	<b>APÊNDICE C: Detalhamento sobre a soja na Argentina.....</b>	<b>169</b>

C.1.	Avanço da fronteira agrícola da soja na Argentina .....	169
C.2.	Calendário de plantio e colheita da soja na Argentina .....	170
C.3.	Área destinada ao plantio da soja na Argentina .....	171
C.4.	Produtividade da soja na Argentina .....	172
C.5.	Produção da soja na Argentina.....	173
C.6.	Exportações de soja na Argentina .....	174
C.7.	Importações de soja na Argentina .....	177
C.8.	Balanço de oferta e demanda da soja argentina .....	177
<b>APÊNDICE D: Entrevistas com produtores brasileiros de soja .....</b>		<b>179</b>
<b>APÊNDICE E: Entrevistas com traders de soja.....</b>		<b>184</b>
<b>APÊNDICE F: Entrevistas com agentes do setor durante o processo de construção do diagrama causal desenvolvido para estudar o problema de pesquisa .....</b>		<b>186</b>
<b>APÊNDICE G: Outras entrevistas/contribuições para a tese .....</b>		<b>190</b>
<b>APÊNDICE H: Detalhamento das variáveis do modelo .....</b>		<b>191</b>
H.1.	Variáveis endógenas.....	191
H.2.	Variáveis exógenas.....	218
H.3.	Variáveis excluídas.....	240



## **1. INTRODUÇÃO**

Este capítulo introdutório, além de apresentar o propósito e a contribuição deste trabalho para a literatura, tem como objetivo oferecer ao leitor fatos que traduzem a importância da soja para a humanidade, assim como a relevância desta oleaginosa para a economia brasileira, principalmente no que tange à (1) participação na composição do PIB nacional, (2) atração de divisas para a balança comercial e (3) a melhoria na qualidade de vida em algumas cidades produtoras. Além disso, descreve-se o problema que motivou o estudo e como isso resultou na definição dos objetivos gerais e dos específicos almejados. Por fim, encontra-se a estrutura desta tese de doutorado.

### **1.1. Propósito e contribuição da tese para a literatura**

Estudar o comportamento dinâmico do setor sojicultor brasileiro, visando entender as combinações de causalidade entre as principais variáveis presentes em seu sistema de produção e comercialização. Em outras palavras, desejou-se aprender sobre as relações existentes entre as oscilações dos preços, a lucratividade do produtor rural e os desdobramentos que isso tem tanto do lado da oferta quanto na demanda por esse produto.

Desejou-se encontrar na literatura um arcabouço teórico para desenvolvimento de um modelo matemático capaz de lidar com problemas estratégicos, multidisciplinares, complexos, que envolvem vários atores tomando decisões concomitantemente e onde nem todos os dados necessários existem de uma maneira estruturada. Logo, se justifica a utilização da Teoria de Dinâmica de Sistemas para alcançar tal objetivo, já que esta metodologia tem se mostrado eficiente na abordagem de problemas nesta natureza.

Além do mais, é válido destacar que, independentemente da importância do setor para o país, conforme será evidenciado no próximo item, não se encontrou na literatura uma modelagem satisfatória que abordasse à questão da oscilação de preços e os impactos que isso tem na lucratividade do produtor brasileiro de soja, assim como aspectos relacionados à demanda e oferta pelo produto. Por isso, esta tese tem como finalidade suprir essa lacuna com um modelo de Dinâmica de Sistemas. Outrossim, no futuro, o modelo proposto poderá servir de base para outras pesquisas, seja por meio de aperfeiçoamentos ou ampliações que se façam necessárias.

## 1.2. História, finalidade e importância da soja

Para um sucinto relato da história da soja, destaca-se a extensa investigação realizada por Singh et al. (2010), onde é mencionado que os primeiros registros de cultivo desta oleaginosa datam de, aproximadamente, 4.500 anos atrás, em algumas áreas nas quais hoje está localizada a China. Atualmente, essa oleaginosa é amplamente plantada nas Américas, aonde chegou em 1765 nos Estados Unidos e em 1882 no Brasil.

De acordo com a Associação Brasileira dos Produtores de Soja (APROSOJA, 2014), *North Carolina Soybean Producers Association* (2014), *United Soybean Board* (2016) e *United Nations Conference on Trade and Development* (UNCTAD, 2016) a grande importância desta leguminosa reside no fato de ser uma matéria-prima abundante para a fabricação de farelo e óleo. Estes subprodutos estão presentes na composição de centenas de itens que são largamente utilizados para consumo humano, animal e industrial, com os seguintes destaques:

- Consumo humano: óleo de cozinha, margarinas, gordura vegetal, maionese, temperos de saladas, chocolates, molhos, massas, papinhas para bebês, alimentos dietéticos, bebidas prontas e lecitina, que é um importante agente emulsificante capaz de misturar a fase aquosa com a oleosa dos materiais. Além disso, o grão da soja também pode ser consumido diretamente como alimento, pois tem características funcionais;
- Consumo animal: rações, principalmente para nutrição de aves, suínos e bovinos;
- Indústria química e farmacêutica: cosméticos, medicamentos, vernizes, tintas, plásticos, adubos e espumas;
- Combustível: biodiesel, colaborando assim para a diminuição da dependência de energia derivada do petróleo.

A Figura 1 exibe a participação da soja na formação da riqueza nacional. Ela foi elaborada considerando os valores do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil medidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023); o PIB do Agronegócio calculado pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (CEPEA-ESALQ/USP, 2023), cujo o total é segmentado em duas categorias: “Ramo Agrícola” e “Ramo Pecuário”; o volume de soja produzido pelo país e estimado pela Companhia Nacional de Abastecimento

(CONAB, 2023); e os preços médios anuais da soja pagos ao produtor rural (CEPEA-ESALQ/USP, 2023b).

Sendo assim, quanto aos aspectos econômicos, com base na Figura 1, pode-se afirmar que a soja tem assumido um papel de destaque na formação da riqueza nacional ao longo dos anos. Entre 2011 e 2022, a *proxy* que foi calculada para o valor médio da produção desta oleaginosa representou, em média, 2,3% do PIB brasileiro, 10,4% do PIB do Agronegócio e 14,3% do PIB “Ramo-Agrícola”. Ademais, respectivamente, destacam-se as seguintes taxas de crescimento geométrico anual dessas variáveis para todo o período: 8,9%, 7,3% e 7,7%.

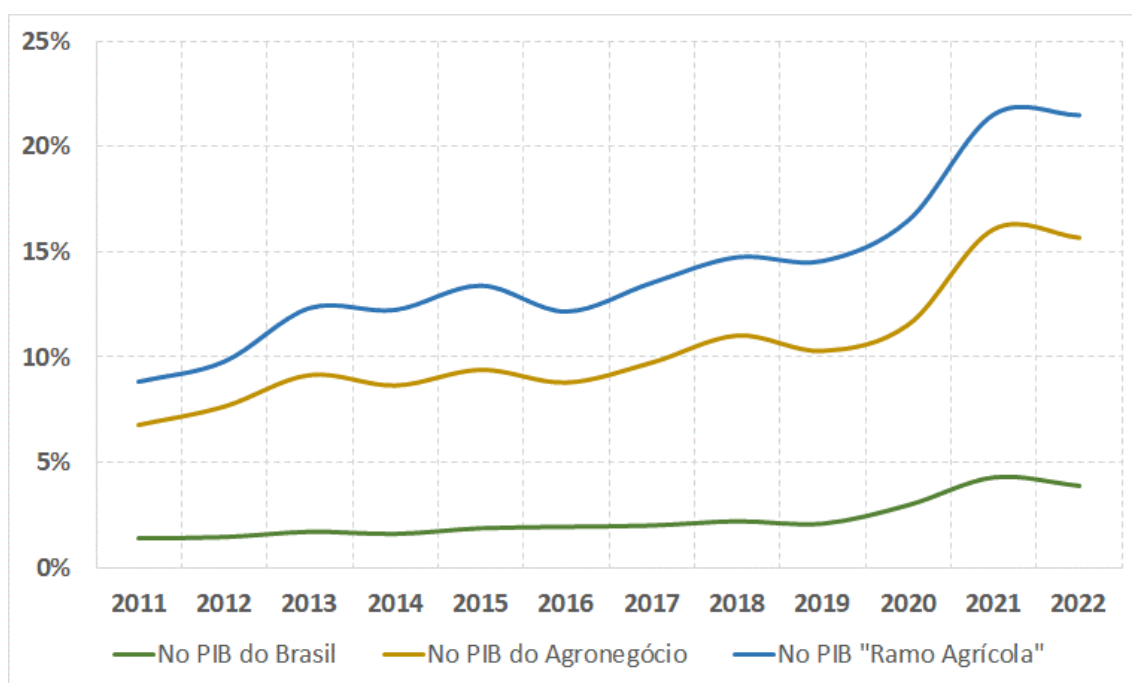


Figura 1 - Participação da soja na geração da riqueza do Brasil entre 2011 e 2022  
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do CEPEA-ESALQ/USP (2023, 2023b), CONAB (2023) e IBGE (2023)

Além disso, de acordo com os dados do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC, 2023), pode-se observar na Figura 2 a importância da soja na geração de divisas internacionais para a balança comercial do Brasil entre 2011 e 2022. Em média, essa leguminosa equivaleu a 11,3% do total monetário arrecadado com vendas para outros países no período em destaque. Ademais, a taxa de crescimento geométrico anual é de 6,7%. É válido frisar que, segundo o MDIC (2023), essa oleaginosa foi o principal item da pauta de exportação brasileira em 2022, onde representou 14,0% do total arrecadado, seguida pelo petróleo (12,8%) e minério de ferro (7,7%) em terceiro lugar.

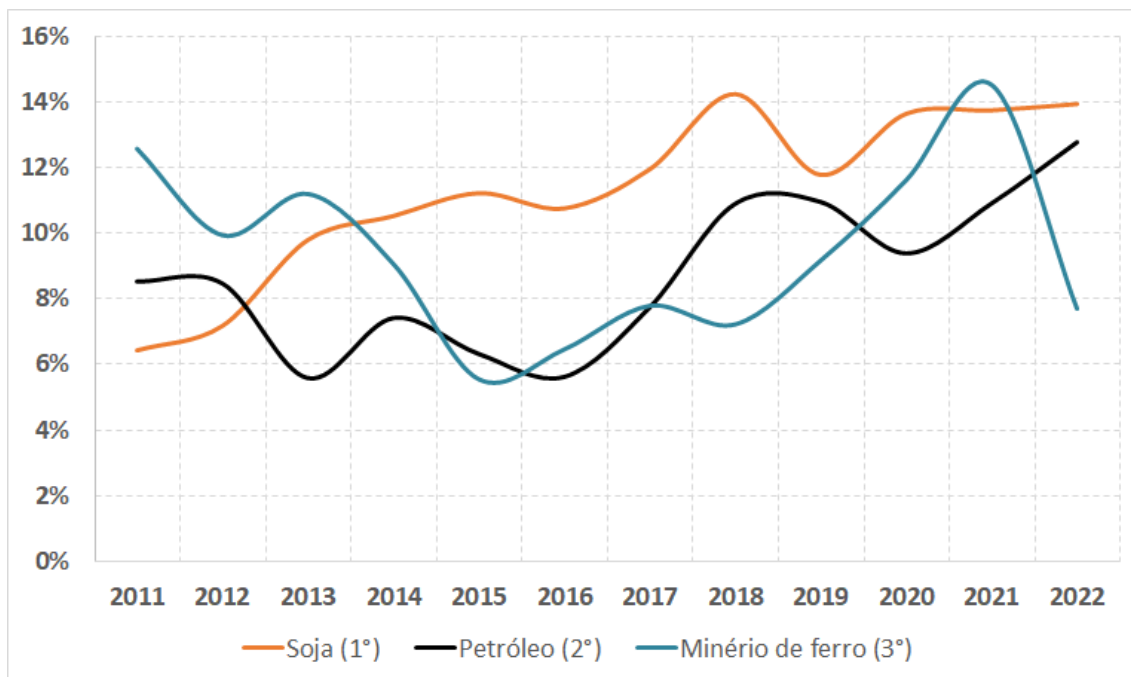


Figura 2 - Participação da soja na balança comercial brasileira entre 2011 e 2022

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do MDIC (2023)

Por fim, a importância da soja é abordada do ponto de vista socioeconômico na Figura 3 onde pode-se observar a evolução do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) nos anos de 1991, 2000 e 2010, segundo dados do IBGE (2011). De acordo com a *United Nations* (UN, 2020), esta é uma medida sintética, que representa o progresso a longo prazo em três dimensões básicas do desenvolvimento das pessoas: renda, educação e saúde.

O propósito da Figura 3 é contrastar o IDH calculado para as cidades que plantaram em 2021 o maior volume de área com soja em cada um dos oito principais estados produtores do país, segundo os dados da Produção Agrícola Municipal (PAM) do IBGE (2022), com as respectivas médias estaduais. É válido destacar que o resultado desse índice é uma média geométrica dos três fatores supracitados e varia entre 0 e 1.

Sendo assim, pode-se inferir que, entre 1991 e 2010, houve progresso na qualidade de vida das pessoas que residem em todas essas localidades selecionadas. No caso de Formosa do Rio Preto-BA, o indicador mais do que dobrou de valor. Entretanto, na última medição disponível, apesar de terem se aproximado, apenas Tibagi-PR (0,70 vs. 0,66) e Itapeva-SP (0,74 vs. 0,73) não conseguiram bater as respectivas médias estaduais. Ademais, em 2010, somente os municípios baiano e paranaense não se enquadraram no estrato considerado “alto” nos critérios da *United Nations*, com nota entre 0,700 e 0,799. Dentre outros motivos, segundo análise mais aprofundada dos dados do IBGE (2011),

destaca-se a necessidade de evoluir no item “educação”, para obtenção de uma pontuação maior no futuro.

É válido destacar que outros fatores, além do desenvolvimento da sojicultura na região, podem ter contribuído para evolução dos dados observados na Figura 3. Entretanto, por experimentação empírica, pode-se afirmar que esta atividade tem ajudado a transformar diversos rincões do Brasil, pois a agricultura demanda, simultaneamente, importante gama de bens e serviços, tais como: asfalto, internet, oficinas mecânicas, revendas de insumos, hospitais, estabelecimentos de ensino para qualificar tanto a mão de obra utilizada na lavoura como dos filhos desses trabalhadores, dentre outros. Todo esse progresso não somente atrai como também ajuda a manter no local os agentes relacionados ao setor, gerando externalidades positivas para toda a cidade.

Richards *et al.* (2015) corroboraram com esta ideia. Considerando o impacto da soja exportada pelo Mato Grosso, concluíram que este setor tem servido como um motor para a economia do estado, aumentando a demanda por serviços, habitação e bens, além de ser uma fonte de capital para investimentos nas atividades não-agrícolas. Os autores mostraram que cada km<sup>2</sup> de produção dessa oleaginosa sustentou 2,5 empregos no setor formal fora da agricultura e gerou o equivalente a cerca de 150.000 dólares no PIB anual não-agrícola entre 2002 e 2010.



Figura 3 - Evolução do IDH de cidades selecionadas e as respectivas médias estaduais em 1991, 2000 e 2010

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do IBGE (2011) e IBGE (2022)

### 1.3. Contextualização do problema de pesquisa

Elaborada com dados da CONAB (2023), MDIC (2023) e do *United States Department of Agriculture* (USDA, 2023), a Figura 4 apresenta séries temporais, entre 2011 e 2022, de três variáveis importantes para o entendimento da dinâmica deste setor da economia nacional: (1) produção e (2) exportações brasileiras de soja; e (3) *proxy* das importações totais dessa oleaginosa pela China, que é a maior consumidora deste produto no planeta e a principal cliente do Brasil.

Ademais, a análise visual da Figura 4 sugere a existência de uma forte relação de causalidade entre esses elementos no período supracitado, já que foi encontrada uma correlação estatística de 98,8% entre (1) produção e (2) exportações do Brasil, sendo que ambas são as variáveis mais importantes dentro do balanço de oferta e demanda da soja nacional; e 94,3% entre (2) vendas brasileiras ao exterior e (3) compras chinesas de soja.

Deste modo, em última instância, é razoável inferir que a demanda da China foi a protagonista responsável por incentivar os fazendeiros do Brasil a aumentarem suas produções de soja. É válido destacar que essas variáveis também apresentam interessantes taxas de crescimento geométrico anual no período entre 2011 e 2022. Respectivamente, tem-se: 4,3%, 7,5% e 4,8% para (1) produção e (2) exportações do Brasil; e (3) importações deste país asiático.

Ademais, também é válido ressaltar que o programa de etanol promovido pelo governo dos Estados Unidos fez com que o produtor norte-americano se interessasse, em muitos momentos, mais pela produção de milho do que de soja, abrindo, assim, espaço no mercado internacional para ser ocupado pelo Brasil.

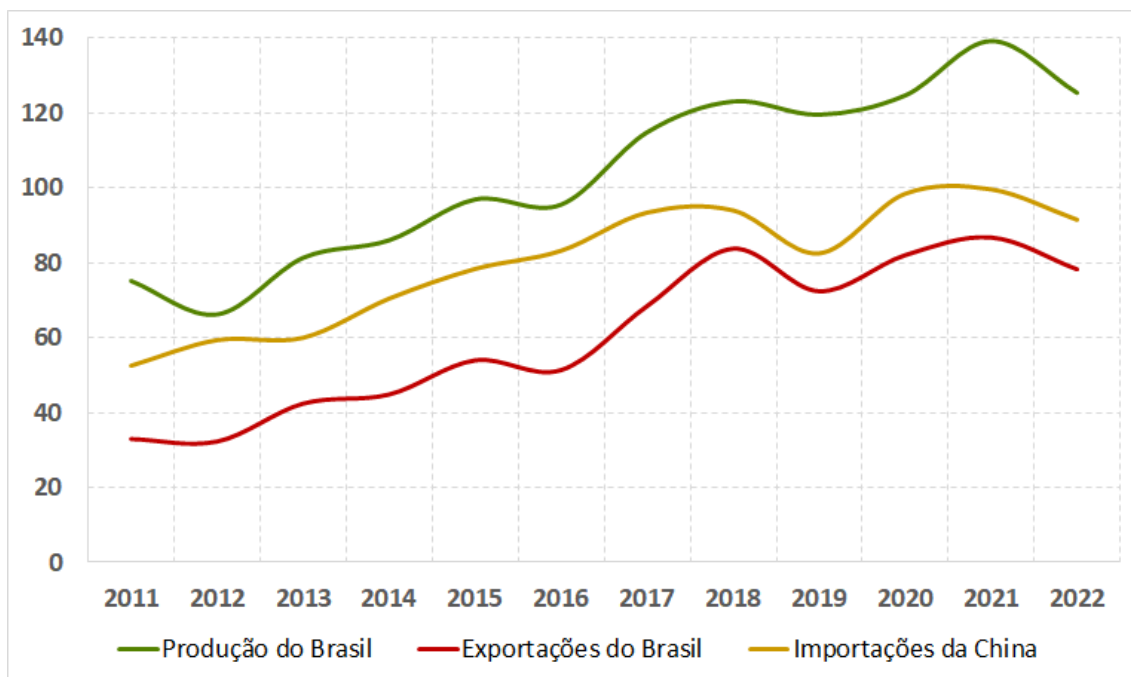


Figura 4 - Evolução da produção e das exportações brasileiras de soja e das importações chinesas entre 2011 e 2022, em milhões de toneladas

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CONAB (2023), MDIC (2023) e USDA (2023)

Em relação à comercialização de soja no Brasil, historicamente, o produtor rural tem o hábito de negociar a sua produção em reais por saca de 60 kg, entretanto, optou-se por transformar tudo em R\$/tonelada, apenas para harmonizar com os demais dados apresentados ao longo desta tese. A Figura 5, construída com dados do CEPEA-ESALQ/USP (2023b) e CONAB (2023b), exibe o valor médio recebido pelo produto, que acendeu à uma taxa de crescimento geométrico de 12,4% entre 2011 e 2022. Por outro lado, os custos médios aumentaram 8,3% ao ano.

Entretanto, é justo e importante frisar que se considerarmos apenas entre 2011 e 2019, ou seja, antes da pandemia de Covid-19, onde se observou forte inflação nas cadeias globais de alimentos, e por consequência, aumentou o lucro potencial dos fazendeiros brasileiros, essas taxas foram menores e proporcionalmente indesejadas, já que os custos cresceram numa velocidade maior do que os preços recebidos. Respectivamente, têm-se: 5,9% e 6,8%.

Isso vem de encontro com as tradicionais apreensões que os produtores rurais expõem sobre este assunto. Como exemplo, destaca-se uma síntese extraída de duas entrevistas concedidas ao autor desta tese por Marcos da Rosa e Bartolomeu Braz Pereira, ex-presidentes (respectivamente, nas gestões 2015-2018 e 2018-2021) da Aprosoja Brasil,

que é a entidade máxima do setor, representando cerca de 20.000 fazendeiros. Em suma, mesmo que na média a lucratividade possa parecer boa, muitos alcançam baixa rentabilidade financeira e estão altamente alavancados e endividados. Acrescenta-se a isso o fato de o lucro apresentar importante oscilação entre os anos, conforme é notado na Figura 5. Deste modo, é possível inferir a hipótese de que haja considerável risco quanto à sustentabilidade do setor no longo prazo.

Há de se concordar que a preocupação exposta acima é, no mínimo, intrigante. Principalmente, quando se considera que, na atual conjuntura, o cenário no qual os produtores de soja estão inseridos apresenta taxas positivas de crescimento, tanto na produção e exportações do Brasil, quanto nas importações da China, seu principal cliente.

Considerando como verdadeira a premissa de que os produtores são a mola propulsora que empurra toda uma cadeia global de suprimentos tão importante como a soja, conforme destacado na Figura 6, é razoável considerar a hipótese de que a sua saúde financeira seja fundamental para (1) a continuidade da abertura de novas áreas de produção, assim como (2) a adoção de tecnologias onerosas, capazes de aumentar a produtividade marginal das terras já em uso, culminando, assim, em maiores volumes colhidos e geração de riqueza para o país e alimentos para o mundo.

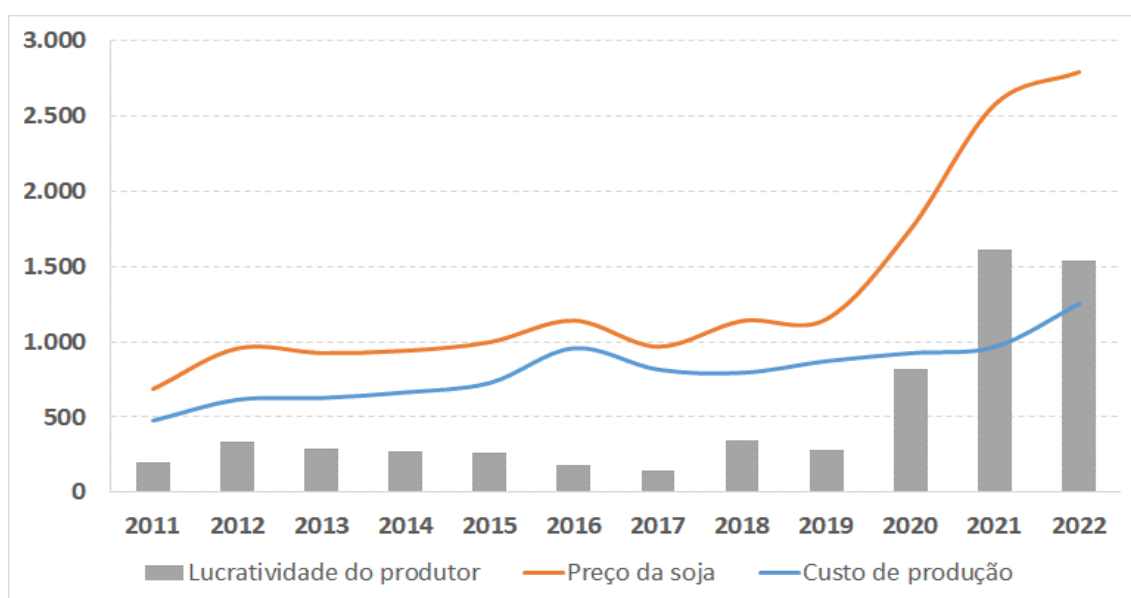


Figura 5 - Custo estimado com a produção, preço recebido e lucratividade média anual dos produtores de soja no Brasil entre 2011 e 2022, em R\$/ton

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CONAB (2023b) e CEPEA-ESALQ/USP (2023b)



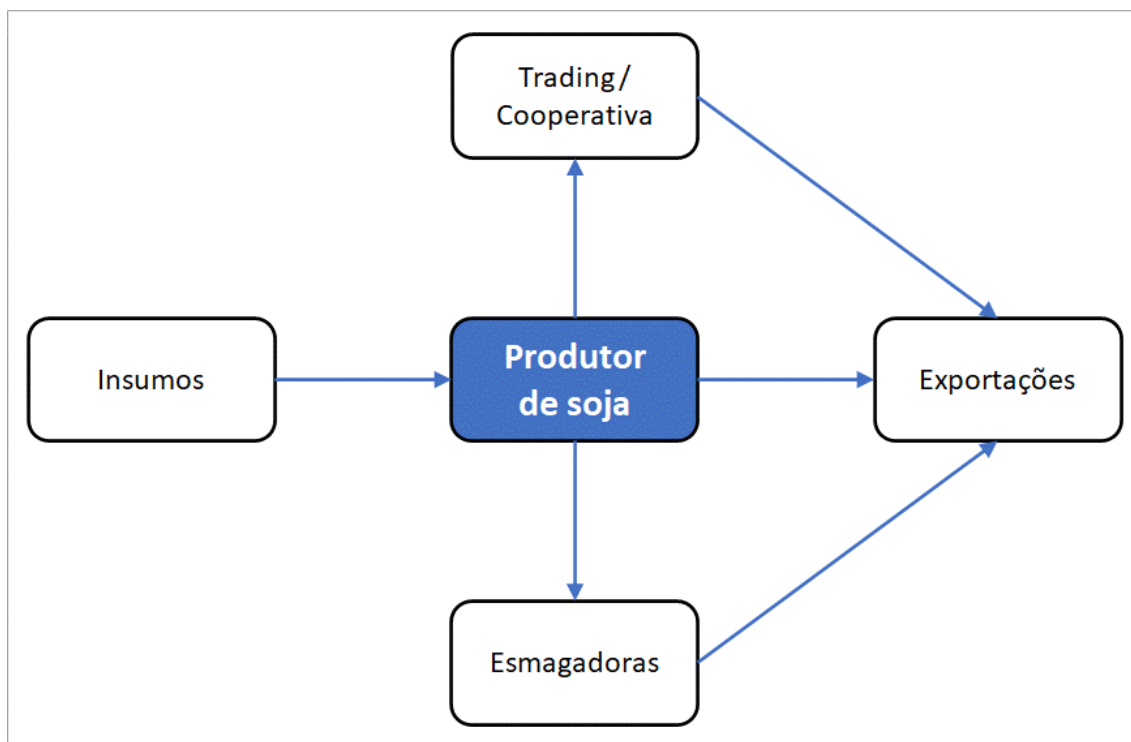


Figura 6 - Destaque do produtor rural na cadeia da soja no Brasil, uma visão simplificada  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

#### 1.4. Definição do problema de pesquisa e da hipótese dinâmica

Considerando tudo o que foi exposto anteriormente, enuncia-se a seguinte pergunta de pesquisa para este trabalho: **Por que os preços da soja oscilam e como isso impacta a lucratividade dos produtores brasileiros e o comportamento da oferta e da demanda pelo produto?**

Para isso, com o objetivo de tentar explicar a origem e o desenvolvimento do comportamento do problema estudado ao longo do tempo, sugere-se a seguinte hipótese dinâmica: seguindo uma perspectiva Keynesiana, **(1) a oferta brasileira de soja é puxada pela demanda internacional, sobretudo a chinesa.** Observou-se nas últimas décadas um aumento da renda per capita e da taxa de urbanização na China. Isso gerou mudanças nos hábitos alimentares da população, impulsionando o consumo de proteína animal, principalmente oriundas da carne suína e de frango. A composição da ração que esses animais comem para engordar tem como um dos principais ingredientes o farelo de soja. Sendo assim, como este país asiático é deficitário na produção desta oleaginosa, as importações são mandatórias. O Brasil, por sua vez, é uma nação com vocação agrícola, pois dispõe de terra arável e capacidade técnica para fornecer esta matéria-prima em larga

escala. Entretanto, **(2) o produtor rural brasileiro é incentivado a aumentar ou diminuir a oferta deste grão em função da sua expectativa de lucro com a atividade**, comparando-o com o custo de oportunidade, além de analisar os resultados obtidos nos últimos anos, pois está propenso a repetir a estratégia caso esteja acumulando sucessos. Essa oscilação acontece ao se decidir investir mais ou menos recursos para variar a área plantada e/ou melhorar a produtividade desta leguminosa. Esta observação foi constatada mediante conversas com 18 fazendeiros e é convergente com a ideia central do modelo geral das commodities (Meadows *et al.* (1972) e Sterman (2000)).

### **1.5. Objetivos gerais**

Estudar as relações de causa e efeito entre as principais variáveis presentes no sistema de produção e comercialização da soja brasileira. Sendo assim, mediante um melhor entendimento sobre o funcionamento da estrutura deste mercado, pretende-se analisar os impactos da ocorrência de eventos relevantes, assim como implicações de políticas públicas e estratégias gerenciais.

### **1.6. Objetivos secundários**

A partir dos objetivos gerais supracitados, destacam-se:

- Entender e modelar o sistema no qual a soja brasileira está inserida, através da identificação das variáveis e subsistemas que formam e/ou impactam o seu preço no mercado doméstico, assim como, a lucratividade do produtor rural:
  - Processo decisório para abertura de novas áreas;
  - Disponibilidade de matéria-prima para o plantio de soja;
  - Formação do prêmio sobre o valor da CBOT;
  - Demanda no mercado externo, principalmente pela China.
- Compreender a estrutura do setor sob uma perspectiva endógena, ou seja, evidenciando as ações tomadas pelos agentes internos. Desde modo, pretende-se ter um modelo capaz de testar os desdobramentos da ocorrência de eventos relevantes, tanto do lado da oferta quanto da demanda por soja. Por exemplo:
  - Efeitos do desdobramentos da guerra comercial entre Estados Unidos e China, na qual o país asiático impôs entre 2018 e 2019 tarifas de importação de 25% sobre a soja norte-americana;

- Choque no fornecimento de matéria-prima importada;
- Eventual desaceleração da demanda chinesa por soja, principalmente em função da substituição desta oleaginosa por fontes de proteína vegetal de menor valor agregado e/ou mudança nos hábitos alimentares da população;
- Eventual aumento da demanda chinesa por essa oleaginosa, especialmente pelo observado fenômeno do êxodo rural, no qual a criação de empregos nas cidades aumenta a renda das famílias, que por sua vez possibilita uma maior inserção da população ao mercado consumidor de alimentos processados, cujo a matéria-prima base é a soja;
- Disponibilizar para os agentes deste importante segmento da economia um modelo que ajude a compreender como a estrutura do setor sojicultor gera o padrão de comportamento observado, servindo, assim, como ferramenta para apoiar tomadas de decisões e como base para estudos futuros;

### 1.7. Organização da tese

- **Capítulo 1 - Introdução:** apresenta o propósito e a motivação do trabalho, expressados através da contextualização do problema de pesquisa estudado, que culminou nos objetivos gerais e específicos. Ademais, comenta-se sobre a história, importância e finalidade da soja, com destaque para a participação desta oleaginosa na geração de receitas para a economia brasileira, assim como na melhoria da qualidade de vida dos habitantes das cidades produtoras. Por fim, exibe-se um delineamento de como os capítulos da tese foram organizados;
- **Capítulo 2 - Caracterização da oferta e demanda da soja:** apresenta o calendário mundial de plantio e colheita, elucidando os momentos nos quais surgem as primeiras ofertas desta oleaginosa durante o ano calendário, assim como os números referentes ao top 10 nos quesitos produção, exportação e importação de soja. Explica-se também o conceito e utilidade de um balanço de oferta e demanda e os números deste para a soja. Por fim, as informações concernentes ao Brasil são apresentadas com maior nível de detalhes.
- **Capítulo 3 - Revisão de literatura:** são detalhadas as três investidas em bases de dados selecionadas, com o objetivo de entender o estado da arte sobre o tema.

Sendo assim, foi possível identificar as lacunas que ainda não foram estudadas e qual delas este trabalho se candidatou a preencher.

- **Capítulo 4 - Teoria de Dinâmica de Sistemas:** exibe uma explicação didática sobre os principais conceitos do arcabouço teórico escolhido para abordar a problemática estudada nesta tese de doutorado.
- **Capítulo 5 - Modelagem e aplicação:** primeiramente, traçou-se um comparativo entre as metodologias mais comuns para abordagem matemática de um problema complexo. Então, justifica-se a escolha da Teoria de Dinâmica de Sistemas. Com base nisso, desenvolveu-se um modelo matemático conceitual para entender as relações de causalidade entre as variáveis presentes no problema estudado. Logo, apresenta-se: (1) a hipótese dinâmica; (2) a tabela de limites do modelo; (3) o diagrama de subsistemas; (4) o diagrama causal; (5) o diagrama de *Forrester*; (6) os resultados; e (7) os testes do modelo.
- **Capítulo 6 - Projeto e análise de política:** são discutidos os efeitos resultantes da ocorrência de um evento relevante, tal como a dependência da produção brasileira de soja de insumos importados.
- **Capítulo 7 - Conclusões e direcionamentos para trabalhos futuros:** além de sumarizar o aprendizado propiciado pelo estudo, assim como as suas contribuições para alargar a fronteira do conhecimento, esta seção sugere algumas ideias que não foram consideradas no escopo dessa tese, mas que podem ser incorporadas às próximas pesquisas sobre o tema.
- **Capítulo 8 - Referências Bibliográficas:** com o objetivo de possibilitar ao leitor a oportunidade de facilmente encontrar todas as fontes que contribuíram para o desenvolvimento desta tese, as informações das obras citadas no texto foram organizadas em ordem alfabética.
- **Apêndices:** apresenta informações complementares, tais como: (A) os módulos do modelo de simulação que não constam no corpo do texto principal da tese; (B) o detalhamento do mercado de soja nos Estados Unidos e na (C) Argentina; entrevistas concedidas por (D) produtores de soja no Brasil, (E) traders de soja, (F) agentes do setor que contribuíram com o desenvolvimento do diagrama causal, (G) outras entrevistas; e (H) detalhamento das variáveis do modelo.

## **2. CARACTERIZAÇÃO DA OFERTA E DEMANDA DA SOJA**

Este capítulo tem dois objetivos: o primeiro é situar o leitor sobre os expressivos números da soja no contexto internacional. Para isso, além do calendário mundial de plantio e colheita, são apresentadas as informações referentes aos volumes de produção, exportação e importação dos 10 principais países em cada uma dessas variáveis.

Em seguida, são apresentados os números relativos aos tópicos de produção e exportação da soja no Brasil com um maior nível de detalhamento. Além disso, apresentam-se o avanço da fronteira agrícola desta oleaginosa numa periodicidade decenária, iniciando-se em 1980; o caráter sazonal do calendário de plantio e colheita desta leguminosa; e o balanço de oferta e demanda pelo produto. Ademais, conforme destacado no contexto da Tabela 1 e da Tabela 2, a Argentina e os Estados Unidos também desempenham importante papel do lado ofertante no mercado global da soja. Então, pode-se encontrar nos anexos desta tese o mesmo racional, mas para esses dois países.

### **2.1. Calendário de plantio e colheita da soja nos principais países produtores**

De acordo com Popp *et al.* (2002) e Casaroli *et al.* (2007), os fatores que mais limitam o crescimento e desenvolvimento das plantas, acarretando menor ou maior produtividade, é a disponibilidade e a intensidade ideal de fatores naturais, tais como a radiação solar, o fotoperíodo, a incidência pluviométrica e a temperatura.

Sendo assim, as intrínsecas localizações geográficas dos países no globo terrestre determinam quais têm maior vocação climática para produzir soja. Logo, é natural que cada região tenha um período específico para o plantio e, conseqüentemente, a colheita desta oleaginosa, evidenciando o caráter sazonal de um produto agrícola. Isso acontece, pois, o objetivo de cada agente racional é maximizar o volume total produzido, por intermédio da minimização dos riscos climáticos.

Posto isto, é importante frisar que os volumes totais de muitos produtos agrícolas são contabilizados em ano-safra, ao invés de ano-calendário, já que nem sempre o plantio e a colheita acontecem de janeiro a dezembro do mesmo ano. Por exemplo, a expressão “safra de soja 2016/17” significa que a maior parte do volume foi colhido em 2017, independentemente de quando a área foi semeada. Conseqüentemente, a comercialização internacional pode seguir a mesma formatação, como o caso do Estados Unidos da

América, que mede a performance das suas exportações de 1 de setembro a 31 de agosto do próximo ano. Entretanto, para efeito de comparação dos dados, optou-se por, nesta tese de doutorado, sempre organizar as informações considerando o ano-calendário, ou seja, de janeiro a dezembro do mesmo ano, sobretudo para os países produtores mais relevantes, tais como Argentina, Brasil e Estados Unidos.

Na Figura 7, construída com informações obtidas junto ao *Agricultural Market Information System* (AMIS, 2012), pode-se observar quando, em média, se concentram as atividades de plantio e colheita em cada um dos 10 maiores produtores globais de soja, que, segundo o USDA (2023b), representaram cerca de 96,4% do volume total de 2022. Optou-se por organizar os países conforme a cronologia da colheita, com o intuito de indicar onde começam a aparecer as primeiras ofertas do produto na visão de um ano-calendário.

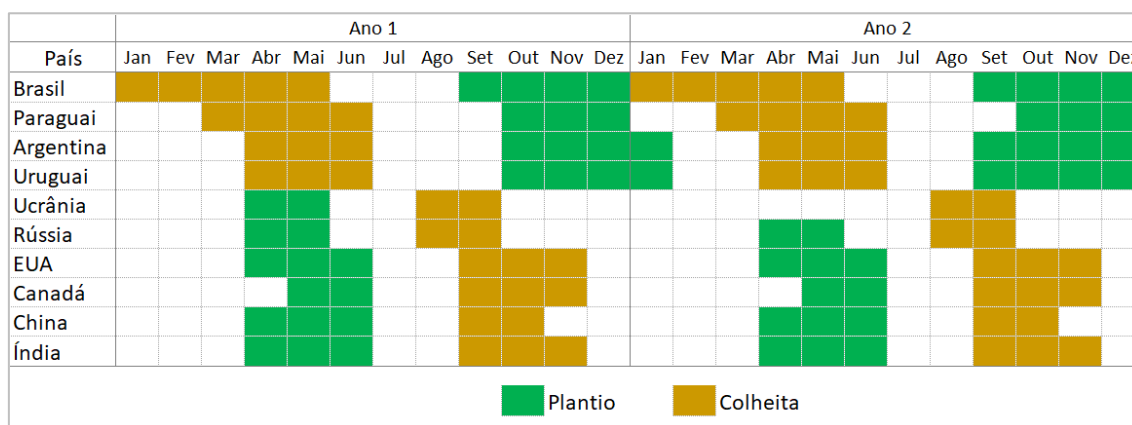












Figura 7 - Calendário de plantio e colheita da soja nos 10 maiores produtores  
 Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da AMIS (2012)

## 2.2. Principais produtores de soja no mundo

De acordo com os dados divulgados pela CONAB (2023), Bolsa de *Cereales* (2023) e USDA (2023c), respectivamente para informações concernentes ao Brasil, Argentina e demais países, pode-se observar na Tabela 1 que o Brasil liderou o ranking dos maiores produtores mundiais de soja em 2022, respondendo por 36,0% do total colhido, ou seja, 125,5 das 348,4 milhões de toneladas que foram obtidas. Em segundo lugar apareceu os Estados Unidos, com 116,4 (33,4%); seguido pela Argentina, com 43,3 (12,4%). Sendo assim, a Figura 8 tem o intuito de visualmente reforçar a importância do continente americano na oferta desta oleaginosa no mesmo período supracitado. Ademais, conforme

nota-se na Tabela 1, entre 2018 e 2022, em média, este trio concentrou 81,4% do total produzido.

Tabela 1 - Principais países produtores de soja entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas

Nº	País/Bloco	2022	%	2021	2020	2019	2018
	<b>TOTAL</b>	<b>348.4</b>	<b>100.0</b>	<b>372.1</b>	<b>355.0</b>	<b>337.2</b>	<b>341.8</b>
1º	Brasil 	125.5	36.0	139.4	124.8	119.7	123.3
2º	Estados Unidos 	116.4	33.4	121.5	114.7	96.7	120.5
3º	Argentina 	43.3	12.4	43.1	49.0	54.5	35.5
4º	China 	16.4	4.7	19.6	18.1	16.0	15.3
5º	Índia 	11.9	3.4	10.5	9.3	10.9	8.4
6º	Canadá 	6.3	1.8	6.4	6.1	7.4	7.7
7º	Rússia 	4.8	1.4	4.3	4.4	4.0	3.6
8º	Paraguai 	4.2	1.2	9.9	10.3	8.5	10.3
9º	Ucrânia 	3.8	1.1	3.0	4.5	4.8	4.0
10º	Uruguai 	3.1	0.9	1.8	2.2	3.0	1.4
	Outros	12.8	10.0	12.7	11.6	11.6	11.9

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CONAB (2023), Bolsa de *Cereales* (2023) e USDA (2023c)













Figura 8 - Localização dos principais produtores mundiais de soja em 2022

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CONAB (2023), Bolsa de *Cereales* (2023) e USDA (2023)

### 2.3. Principais exportadores de soja no mundo

Conforme os dados divulgados pelas agências marítimas *AgriPort Services* (APS, 2023) e NABSA (2023), e USDA (2023b), respectivamente para informações concernentes ao Brasil, Argentina e demais países, pode-se observar na Tabela 2 que o Brasil liderou o ranking dos maiores exportadores mundiais de soja em 2022, respondendo sozinho por 50,0% do total vendido, ou seja, 78,2 das 156,5 milhões de toneladas que foram embarcadas. Em segundo lugar apareceu os Estados Unidos, com 56,9 (36,4%); seguido pela Argentina, com 5,0 (3,2%). Sendo assim, a Figura 9 tem o intuito de visualmente reforçar a importância do continente americano nas entregas desta oleaginosa no mesmo período supracitado. Ademais, conforme nota-se na Tabela 2, entre 2018 e 2022, em média, este trio vendeu 88,2% do total comercializado.

Tabela 2 - Principais países exportadores de soja entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas

Nº	País/Bloco	2022	%	2021	2020	2019	2018
<b>TOTAL</b>		<b>156.5</b>	<b>100.0</b>	<b>165.4</b>	<b>169.9</b>	<b>152.2</b>	<b>155.8</b>
1º	Brasil 	78.2	50.0	86.7	82.0	72.4	83.7
2º	Estados Unidos 	56.9	36.4	52.9	63.7	52.4	46.2
3º	Argentina 	5.0	3.2	5.4	6.7	10.0	3.7
4º	Canadá 	4.3	2.7	4.7	3.9	5.3	4.9
5º	Uruguai 	3.0	1.9	1.8	2.1	3.0	1.4
6º	Paraguai 	2.3	1.4	6.3	6.6	4.9	6.0
7º	Ucrânia 	1.4	0.9	1.5	2.6	2.5	2.8
8º	Rússia 	0.7	0.5	1.4	1.3	0.8	0.9
9º	Bolívia 	0.5	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
10º	União Europeia 	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
Outros		3.9	10.0	4.6	0.8	0.8	5.9

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da APS (2023), NABSA (2023) e USDA (2023b)















Figura 9 - Localização dos principais exportadores mundiais de soja em 2022

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da APS (2023), NABSA (2023) e USDA (2023b)

#### 2.4. Principais importadores de soja no mundo

Conforme os dados divulgados pelo USDA (2023d), pode-se observar na Tabela 3 que a China liderou o ranking dos maiores importadores mundiais de soja em 2022, respondendo sozinha por 58,5% do total comprado, ou seja, 91,6 das 156,5 milhões de toneladas que foram embarcadas. Em segundo lugar apareceu o bloco da União Europeia, com 14,5 (9,3%); seguido pelo México, com 6,0 (3,8%). Sendo assim, a Figura 10 tem o intuito de visualmente reforçar o protagonismo neste país asiático na demanda desta oleaginosa no mesmo período supracitado. Ademais, conforme nota-se na Tabela 3, entre 2018 e 2022, em média, este trio adquiriu 71,0% do total comercializado.

Tabela 3 - Principais países importadores de soja entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas

Nº	País/Bloco	2022	%	2021	2020	2019	2018
<b>TOTAL</b>		<b>156.5</b>	<b>100.0</b>	<b>165.4</b>	<b>169.9</b>	<b>152.2</b>	<b>155.8</b>
1º	China 	91.6	58.5	99.7	98.5	82.5	94.1
2º	União Europeia 	14.5	9.3	14.8	15.0	14.3	13.9
3º	México 	6.0	3.8	6.1	5.7	5.9	5.1
4º	Egito 	4.9	3.1	3.7	4.9	3.7	3.3
5º	Japão 	3.5	2.2	3.1	3.3	3.3	3.3
6º	Argentina 	3.3	2.1	4.9	5.3	4.5	6.4
7º	Tailândia 	3.2	2.1	4.2	3.8	3.2	2.5
8º	Turquia 	2.9	1.9	2.7	3.1	2.4	2.9
9º	Taiwan 	2.8	1.8	2.6	2.7	2.6	2.7
10º	Irã 	2.7	1.7	1.9	1.5	2.3	2.5
Outros		21.2	10.0	21.8	25.9	27.4	19.1

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do USDA (2023d)



Figura 10 - Localização dos principais importadores mundiais de soja em 2022

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do USDA (2023d)

## 2.5. Balanço mundial de oferta e demanda da soja

Em suma, um balanço apresenta como os valores estimados de diversas variáveis interagem durante um determinado período e qual é o saldo resultante disso. O item oferta é o resultado de tudo o que está disponível para ser consumido e é formado pelos subitens estoque inicial, produção e importação. Já a demanda é a soma do consumo doméstico, exportação e outros. Maiores detalhes são encontrados abaixo:

- Oferta total: soma dos subitens estoque inicial, produção e importação;
  - Estoque inicial: o que não foi consumido no período anterior;
  - Produção: o que foi produzido na localidade analisada;
  - Importação: o que foi comprado de outras localidades.
- Demanda total: soma dos subitens consumo doméstico, exportação e outros;
  - Consumo doméstico: o que foi utilizado internamente na localidade analisada. No caso da soja, representa o que é destinado para a fabricação de óleo e farelo, este largamente utilizado na alimentação de aves e suínos;
  - Exportação: o que foi vendido para outras localidades;
  - Outros: é o total de perdas durante os processos de produção, armazenamento, transporte etc. No caso da soja, além dos desperdícios durante as etapas de colheita e logística, também é contabilizado o volume de grãos que será separado para a produção das sementes que serão utilizadas no plantio da próxima safra.
- Estoque final: é o resultado matemático da oferta menos a demanda total. Este saldo será consumido em períodos posteriores, também é conhecido como estoque de passagem.
- Taxa de uso do estoque: é o resultado matemático do estoque final dividido pela demanda total em cada período. Este % pode indicar eventuais pressões sobre os preços do produto analisado.

Por intermédio desta ferramenta, é possível mensurar os impactos gerados no sistema no qual este produto está inserido em função das quantidades que foram/serão acrescentadas e/ou retiradas em cada um dos subitens. Além disso, tenta-se estimar o saldo líquido de cada período, ou seja, busca-se o resultado do item estoque final. Isto é útil para indicar a possível direção na tendência do preço o bem analisado. Logo, conhecer o comportamento das variáveis de um balanço de oferta e demanda ao longo do tempo é de extrema importância.

Posto isso, o balanço mundial de oferta e demanda da soja entre 2018 e 2022 pode ser observado na Tabela 4. Para o Brasil, foram considerados os dados divulgados pela CONAB (2023) para o subitem produção; MDIC (2023) para importação; Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE, 2023) para estoque inicial e consumo doméstico; e APS (2023) para exportação. No que concerne à Argentina, os dados de estoque inicial são oriundos da McDonald Pelz (2023); produção da Bolsa de

*Cereales* (2023); já importação do Ministério de Agricultura da Argentina (MINAGRI, 2023) e exportação da NABSA (2023). Por fim, todas as demais informações de países não supracitados tiveram como fonte o USDA (2023b,c,d).

De acordo com a Tabela 4, observa-se que o ano de 2022 começou com um estoque inicial estimado de 129,9 milhões de toneladas de soja, oriundos de 2021. No final do período, transferiu-se 115,4 para 2023, em forma de estoques de passagem. Este montante variou significativamente em relação ao ano anterior em função da expressiva diminuição da produção. Tendo em vista que este é um balanço mundial, os subitens importação e exportação são iguais, porque tudo o que foi vendido pelos países exportadores, concomitantemente, foi comprado pelos importadores. Finalmente, pode-se dizer que o volume remanescente de 2022 foi capaz de atender 22,2% da demanda deste mesmo ano. Nota-se que é o menor valor da série histórica, indicando que houve maior pressão nos preços internacionais desta commodity.

Tabela 4 - Balanço mundial de oferta e demanda da soja entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas

	2018	2019	2020	2021	2022
<b>OFERTA TOTAL</b>	<b>626.3</b>	<b>626.9</b>	<b>653.6</b>	<b>659.6</b>	<b>635.2</b>
◦ <b>Estoque Inicial</b>	<b>134.2</b>	<b>136.5</b>	<b>126.9</b>	<b>125.1</b>	<b>129.9</b>
◦ <b>Produção</b>	<b>341.5</b>	<b>337.6</b>	<b>355.4</b>	<b>372.0</b>	<b>348.4</b>
◦ <b>Importação</b>	<b>150.5</b>	<b>152.8</b>	<b>171.2</b>	<b>162.4</b>	<b>156.9</b>
<b>DEMANDA TOTAL</b>	<b>489.8</b>	<b>500.0</b>	<b>528.4</b>	<b>529.7</b>	<b>519.8</b>
◦ <b>Consumo Doméstico</b>	<b>313.9</b>	<b>320.4</b>	<b>330.5</b>	<b>340.6</b>	<b>334.9</b>
◦ <b>Exportação</b>	<b>150.5</b>	<b>152.8</b>	<b>171.2</b>	<b>162.4</b>	<b>156.9</b>
◦ <b>Outros</b>	<b>25.3</b>	<b>26.7</b>	<b>26.7</b>	<b>26.6</b>	<b>28.0</b>
<b>ESTOQUE FINAL</b>	<b>136.5</b>	<b>126.9</b>	<b>125.1</b>	<b>129.9</b>	<b>115.4</b>
<b>% DE USO DO ESTOQUE</b>	<b>27.9%</b>	<b>25.4%</b>	<b>23.7%</b>	<b>24.5%</b>	<b>22.2%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da ABIOVE (2023), APS (2023), Bolsa de *Cereales* (2023), CONAB (2023), McDonald Pelz (2023), MDIC (2023), MINAGRI (2023), NABSA (2023) e USDA (2023b,c,d)

## 2.6. Avanço da fronteira agrícola da soja no Brasil

Conforme pode ser notado na Figura 11, elaborado com dados do IBGE (2021), em 1980 as lavouras de soja já eram bem difundidas em muitos dos municípios localizados na região centro-sul do Brasil. Com o passar dos anos, foi possível observar uma propagação do cultivo dessa oleaginosa para outras partes do país, incluído lugares no norte e

nordeste, com destaque para o oeste da Bahia. Na atual conjuntura, é admissível afirmar que no Brasil se planta soja em praticamente todos os estados da federação.

Nota-se também na Figura 11 que o Mato Grosso, celeiro agrícola do país, foi ganhando importância ao longo dos anos, até assumir o posto de maior produtor de soja do Brasil: de acordo com a CONAB (2023), em 1980 a produção mato-grossense era de 116.900 toneladas. Já em 2020, foi de 35.884.700, ou seja, houve um crescimento de 30.597%.

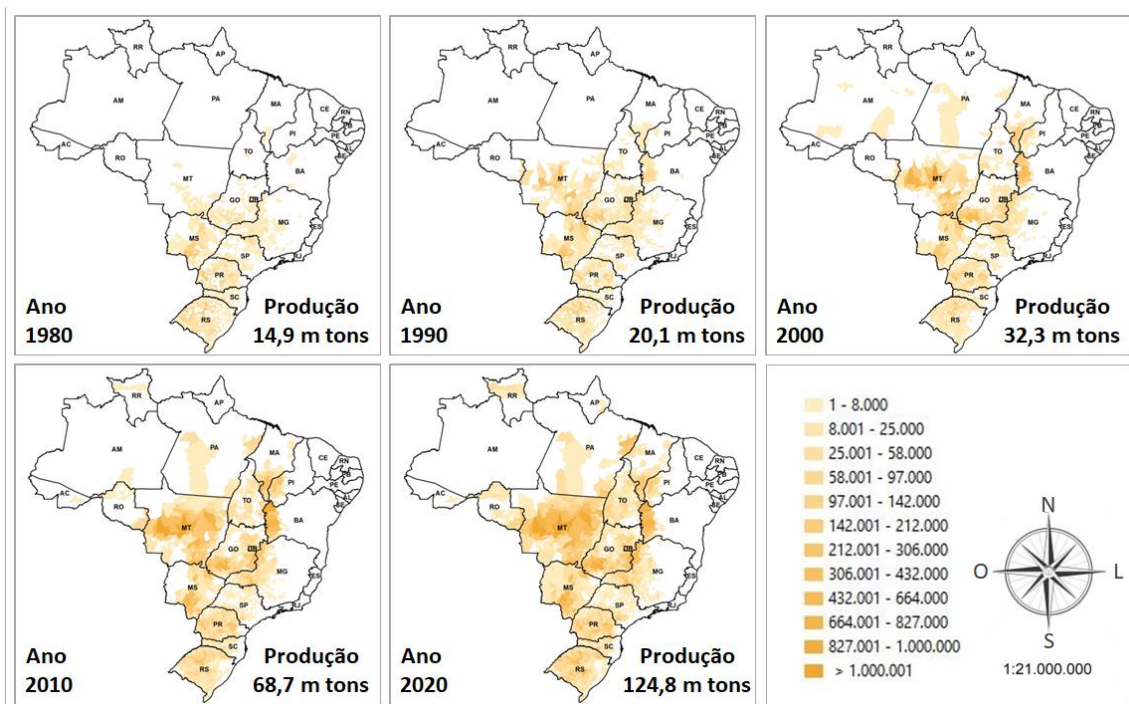


Figura 11 - Evolução do volume de soja colhido por município no Brasil

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do IBGE (2021)

## 2.7. Calendário de plantio e colheita da soja no Brasil

A Figura 12 foi elaborada com os dados da consultoria Pátria Agronegócios (2023) e diz respeito a sazonalidade média semanal das atividades de plantio e colheita da soja no Brasil entre 2018 e 2022. É possível observar que, em média, o ciclo de instalação das lavouras brasileiras começou em meados de setembro, em função do final do vazio sanitário no estado do Mato Grosso, que, geralmente, é o primeiro a ser liberado para plantar. Então, atingiu seu ápice entre o final de outubro e meados de novembro e finalizou em dezembro. Já do ponto de vista da colheita, em média, os trabalhos no campo se iniciaram na primeira semana de janeiro do ano seguinte e terminaram no final de maio, tendo seu apogeu durante o mês de março.

É válido mencionar que o Ministério da Agricultura e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) são responsáveis por divulgar o calendário do vazio sanitário da soja, determinando as datas de início e fim desta prática de manejo em cada estado da federação. Em suma, determina-se que não haja plantas vivas no solo por um período contínuo de até 90 dias, com o objetivo de reduzir o impacto de pragas e doenças remanescentes da lavoura anterior, com destaque para o fungo (*Phakopsora pachyrhizi*) da ferrugem asiática, que é uma das maiores ameaças à produtividade deste oleaginosa. O descumprimento da obrigatoriedade da adoção do vazio sanitário impõe multa aos fazendeiros.

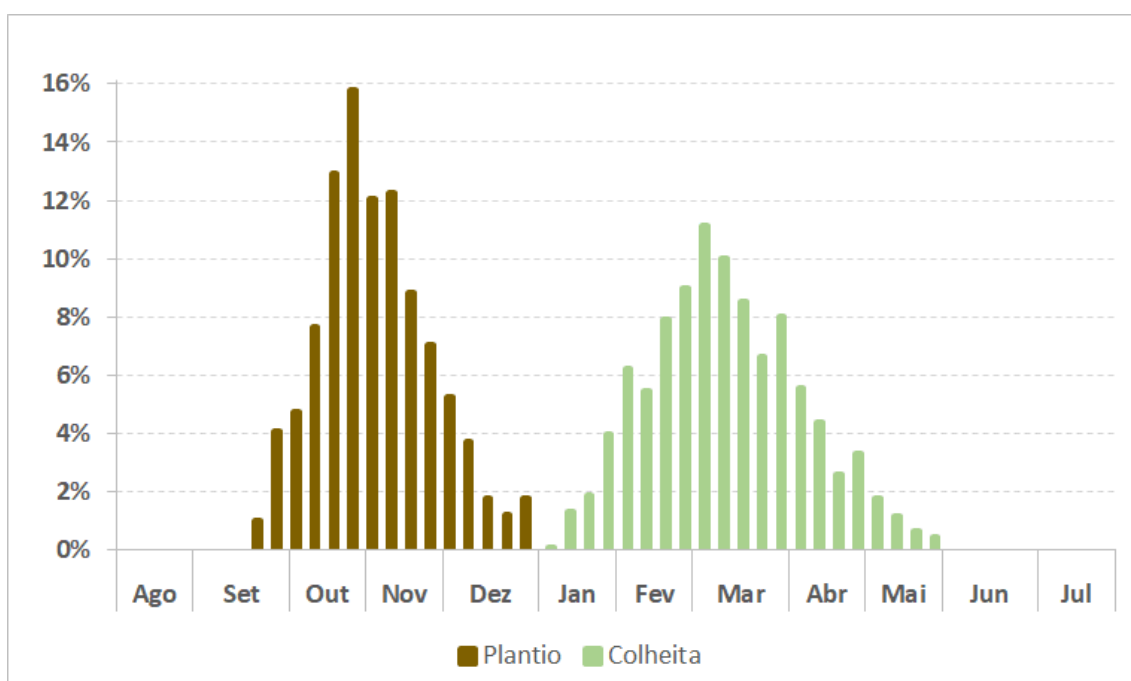


Figura 12 - Sazonalidade média semanal do plantio e da colheita das lavouras de soja no Brasil entre 2018 e 2022

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da consultoria Pátria Agronegócios (2023)

## 2.8. Área destinada ao plantio da soja no Brasil

Conforme pode ser observado na Tabela 5, de acordo com os dados divulgados pela CONAB (2023), o estado do Mato Grosso apresentou a maior porcentagem de área destinada ao plantio da soja no Brasil em 2022, com 26,8% do total de 41,5 milhões de hectares.

Logo em seguida, formando o top 5 no mesmo período supracitado, tem-se: Rio Grande do Sul (15,3%), Paraná (13,7%), Goiás (10,6%) e Mato Grosso do Sul (8,6%). É notável

que apenas esses 5 estados localizados no centro-sul do país somaram 74,9% do total. Além disso, na Tabela 5 pode-se observar o comportamento da distribuição da área plantada entre os dez principais estados brasileiros produtores de soja entre os anos de 2018 e 2022.

Tabela 5 - Área com plantio de soja no Brasil entre 2018 e 2022, em milhões de hectares

Nº	Estado	UF	2022	%	2021	2020	2019	2018
<b>TOTAL</b>			<b>41.5</b>	<b>100.0</b>	<b>39.5</b>	<b>36.9</b>	<b>35.9</b>	<b>35.1</b>
1º	Mato Grosso	MT	11.1	26.8	10.5	10.0	9.7	9.5
2º	Rio Grande do Sul	RS	6.4	15.3	6.1	5.9	5.8	5.7
3º	Paraná	PR	5.7	13.7	5.6	5.5	5.4	5.5
4º	Goiás	GO	4.4	10.6	4.3	3.5	3.5	3.4
5º	Mato Grosso do Sul	MS	3.6	8.6	3.4	3.0	2.9	2.7
6º	Minas Gerais	MG	2.0	4.8	1.9	1.6	1.6	1.5
7º	Bahia	BA	1.9	4.6	1.7	1.6	1.6	1.6
8º	São Paulo	SP	1.2	2.9	1.2	1.1	1.0	1.0
9º	Tocantins	TO	1.1	2.8	1.1	1.1	1.0	1.0
10º	Maranhão	MA	1.1	2.6	1.0	1.0	1.0	1.0
Outros			3.1	7.5	2.8	2.5	2.5	2.4

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CONAB (2023)

## 2.9. Produtividade da soja no Brasil

Conforme pode ser observado na Tabela 6, de acordo com os dados divulgados pela CONAB (2023), o estado de Goiás obteve a maior produtividade do Brasil em 2022, ou seja, cada hectare colhido apresentou um rendimento médio de 4,0 toneladas. Isso significou uma performance 30,8% maior do que a média nacional de 3,0 tons/ha. É válido destacar que no período supracitado, fortes estiagens castigaram importantes e tradicionais estados produtores, tais como Rio Grande do Sul e Paraná.

Logo em seguida, formando o top 5 no mesmo período supracitado, tem-se: Bahia (27,1% acima da média do país), Minas Gerais (+26,5%), Mato Grosso (+23,4%) e Distrito Federal (+22,9%). Além disso, na Tabela 6 pode-se observar o comportamento das produtividades dos dez principais estados brasileiros entre os anos de 2018 e 2022.

É importante notar o fato de que o Mato Grosso, principal produtor de soja no Brasil em termos de volume, não figure entre, pelo menos, os três mais produtivos do país, ocupando apenas o quarto lugar no ranking nacional de produtividade em 2022, ou seja, com um rendimento médio de 3,7 tons/ha. Este resultado deve-se ao acréscimo anual de

novas áreas ao total destinado ao cultivo de soja no estado e o fato delas ainda necessitarem passar por um período de adaptação e correção do solo para atingir seu potencial produtivo. De certo modo, a produção mato-grossense acaba por compensar essa deficiência tendo uma área maior destinada à essa cultura.

Tabela 6 - Produtividade da soja no Brasil entre 2018 e 2022, em tons/hectare

Nº	Estado	UF	2022	Δ%	2021	2020	2019	2018
<b>TOTAL</b>			<b>3.0</b>		<b>3.5</b>	<b>3.4</b>	<b>3.3</b>	<b>3.5</b>
1º	Goiás	GO	4.0	30.8	3.7	3.7	3.5	3.6
2º	Bahia	BA	3.8	27.1	4.0	3.8	3.4	4.0
3º	Minas Gerais	MG	3.8	26.5	3.7	3.7	3.4	3.8
4º	Mato Grosso	MT	3.7	23.4	3.5	3.6	3.4	3.5
5º	Distrito Federal	DF	3.7	22.9	3.7	3.9	3.3	3.6
6º	Piauí	PI	3.5	17.1	3.3	3.4	3.5	3.6
7º	São Paulo	SP	3.4	13.6	3.7	3.6	3.2	3.5
8º	Rondônia	RO	3.4	12.2	3.5	3.5	3.3	3.3
9º	Tocantins	TO	3.4	11.9	3.2	3.3	3.1	3.2
10º	Acre	AC	3.3	10.5	2.7	2.9	2.9	2.9
Outros			3.7	23.9	3.6	3.6	3.4	3.6

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CONAB (2023)

## 2.10. Produção da soja no Brasil

Conforme pode ser observado na Tabela 7, de acordo com os dados divulgados pela CONAB (2023), o estado do Mato Grosso foi o maior produtor de soja no Brasil em 2022, respondendo por 33,0% de um total de 125,5 milhões de toneladas. Compreende-se essa maior produção associando-se as supracitadas Tabela 5 e Tabela 6, dado que, apesar de possuir apenas a quarta maior produtividade do país, ele possui enorme quantidade de área utilizada no cultivo de soja, apresentando quase o dobro do que o segundo colocado.

Logo em seguida, formando o top 5 no mesmo período supracitado, tem-se: Goiás (13,9%), Paraná (9,8%), Rio Grande do Sul (7,3%) e Mato Grosso do Sul (7,1%). É notável que apenas essas 5 localidades somem 71,0% do total. Além do mais, na Tabela 7 pode-se observar o comportamento da distribuição dos volumes colhidos entre os dez principais estados brasileiros produtores de soja entre os anos de 2018 e 2022.



Tabela 7 - Produção de soja no Brasil entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas

Nº	Estado	UF	2022	%	2021	2020	2019	2018
<b>TOTAL</b>			<b>125.5</b>	<b>100.0</b>	<b>139.4</b>	<b>124.8</b>	<b>119.7</b>	<b>123.3</b>
1º	Mato Grosso	MT	41.5	33.0	36.5	35.9	33.0	33.2
2º	Goiás	GO	17.4	13.9	15.8	13.2	12.1	12.2
3º	Paraná	PR	12.3	9.8	19.9	21.6	16.9	20.0
4º	Rio Grande do Sul	RS	9.1	7.3	20.8	11.4	19.5	18.4
5º	Mato Grosso do Sul	MS	8.9	7.1	12.2	11.4	9.8	9.7
6º	Minas Gerais	MG	7.6	6.0	7.0	6.2	5.4	5.7
7º	Bahia	BA	7.3	5.8	6.8	6.1	5.4	6.3
8º	São Paulo	SP	4.2	3.3	4.3	4.0	3.2	3.4
9º	Tocantins	TO	3.9	3.1	3.5	3.6	3.2	3.1
10º	Maranhão	MA	3.6	2.8	3.3	3.1	3.0	3.0
Outros			9.9	7.9	9.2	8.4	8.3	8.0

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CONAB (2023)

### 2.11. Exportações de soja no Brasil

No que concerne as exportações brasileiras de soja, a Figura 13, elaborada com dados da APS (2023) e USDA (2023), ilustra a contabilização do volume anual expedido entre 2018 e 2022. No intervalo de tempo considerado, o Brasil não superou o patamar de 80,0 milhões de toneladas vendidas ao exterior apenas em 2019 e 2022, onde problemas climáticos reduziram o total colhido.

Paralelamente, a Figura 13 evidencia as importações de soja pela China durante o mesmo período supracitado. É razoável afirmar que o elevado apetite chinês por esta oleaginosa ajuda a explicar o alto patamar observado nas exportações brasileiras, uma vez que existe uma correlação de 93,4% entre as duas séries de dados.

Já na Figura 14, construída com dados da APS (2023), as exportações brasileiras de soja são analisadas através do prisma da sazonalidade anual, assim como pelos valores máximos e mínimos históricos de cada mês entre 2018 e 2022. Logo, fica evidente que os meses de março, abril e maio são os mais importantes, pois, conforme mostrado na Figura 12, coincidem com os picos de colheita da soja no Brasil, ou seja, momento no qual há maior disponibilidade deste produto no país.

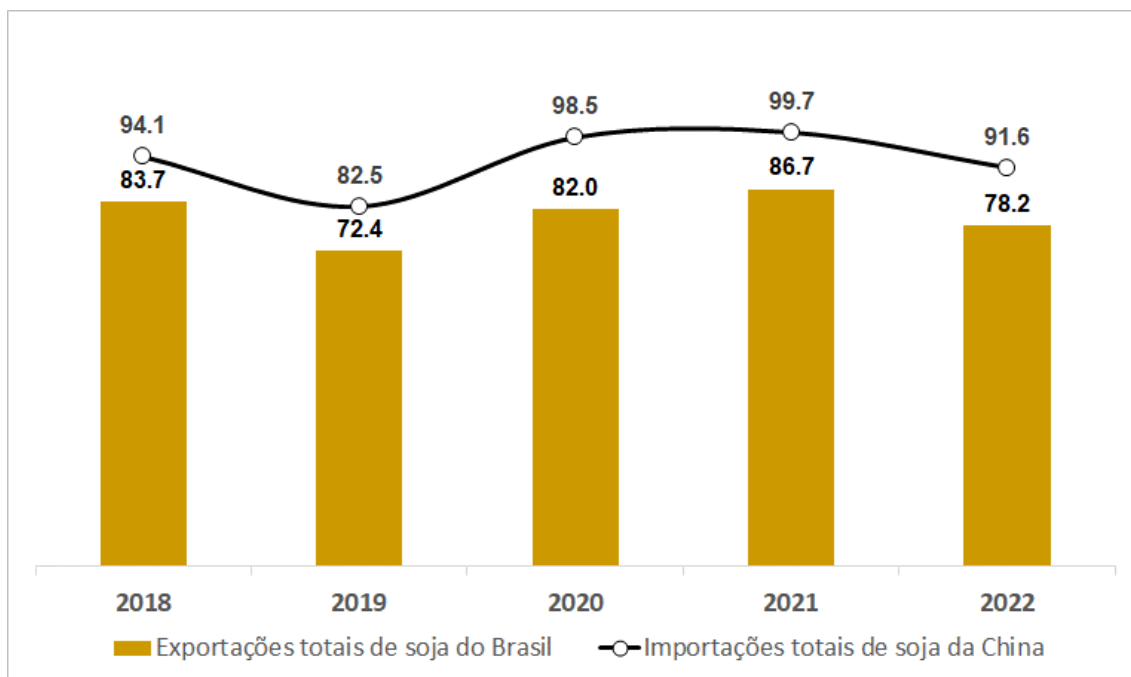


Figura 13 - Exportações brasileiras e importações chinesas de soja entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da APS (2023) e USDA (2023)

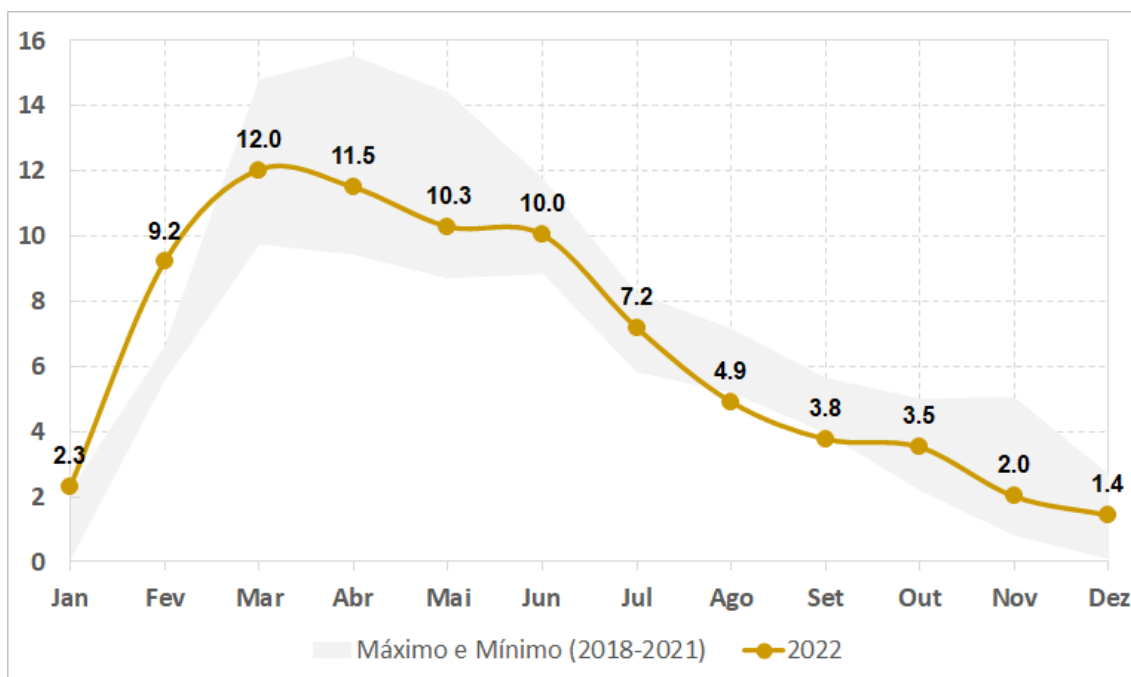


Figura 14 - Sazonalidade das exportações brasileiras de soja entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da APS (2023)

Detalhando-se um pouco mais as exportações de soja do Brasil, a Tabela 8, elaborada com dados da APS (2023), apresenta a participação de cada porto brasileiro no volume total

despachado entre 2018 e 2022, assim como o número de berços de atracação que os terminais pertencentes a esses portos possuíam em 2022. Para este ano, é possível observar que o tradicional centro expedidor de Santos-SP liderou com 32,7% dos embarques de 2022. Formaram o top 5, que soma 78,6% do total: Itaqui (localizado no município de São Luís-MA, com 14,5%), Paranaguá-PR (12,9%), Barcarena-PA (11,4%) e Rio Grande-RS (7,1%). É válido destacar 2 pontos: (1) a amplitude da localização dessas estruturas, indo, literalmente, de norte a sul do litoral brasileiro; (2) que o porto paranaense perdeu, momentaneamente, a sua consolidada vice-liderança naquele ano devido aos problemas de produtividade observados no estado, já que durante a fase fenológica de enchimento dos grãos foi observado forte estiagem na região.

É válido destacar ainda o crescimento dos principais portos pertencentes ao chamado Arco Norte: Barcarena-PA, Itaqui (São Luís-MA), Itacoatiara-AM e Santarém-PA. Essas localidades vêm ganhando importância a cada ano, sobretudo em função do avanço da fronteira agrícola brasileira em direção as áreas setentrionais. Ademais, a região passa por um contínuo aumento da capacidade de exportação dos seus terminais portuários.

Tabela 8 - Exportações de soja brasileira por porto entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas

Nº	Porto	UF	Nº Berços	2022	%	2021	2020	2019	2018
<b>TOTAL</b>			<b>42</b>	<b>78.2</b>	<b>100.0</b>	<b>86.7</b>	<b>82.0</b>	<b>72.4</b>	<b>83.7</b>
1º	Santos	SP	14	25.6	32.7	23.3	21.0	16.6	20.6
2º	Itaqui	MA	2	11.4	14.5	10.0	8.6	8.2	8.7
3º	Paranaguá	PR	6	10.1	12.9	13.1	14.2	11.5	15.5
4º	Barcarena	PA	4	8.9	11.4	8.1	8.0	5.3	5.7
5º	Rio Grande	RS	4	5.6	7.1	12.9	9.2	12.8	13.7
6º	Aratu	BA	1	4.1	5.2	3.0	3.2	3.2	3.6
7º	Tubarão	ES	1	3.7	4.8	4.2	4.4	4.1	4.1
8º	SFS	SC	1	3.1	4.0	5.1	5.6	4.3	5.5
9º	Itacoatiara	AM	2	3.0	3.9	2.9	3.1	2.9	2.6
10º	Santarém	PA	1	2.5	3.2	3.2	3.6	2.7	2.5
11º	Santana	AP	1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1
12º	Ilhéus	BA	1	0.0	0.0	0.2	-	-	0.1
13º	Imbituba	SC	3	0.0	0.0	0.3	0.8	0.7	1.0
14º	Belém	PA	1	-	0.0	0.1	-	-	-
15º	Sergipe	SE	1	-	0.0	-	-	-	0.1

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da APS (2023)

No que diz respeito aos diferentes países que importaram a soja brasileira, de acordo com os dados divulgados pela APS (2023), pode-se observar na Tabela 9 um destaque para a China, tendo em vista que foi o destino final de 68,8% do volume total expedido, ou seja, 53,8 dos 78,2 milhões de toneladas que foram embarcadas nos portos do Brasil em 2022. Para o mesmo período, reforça-se a importância deste país asiático ao se notar que o segundo cliente mais importante foi a Espanha, sendo responsável por apenas 4,5% do total, ou seja, 3,5 milhões de toneladas.

Também é possível notar na Tabela 9 o comportamento histórico dos dez principais destinos das exportações brasileiras de soja entre 2018 e 2022. É válido ainda destacar que, em média, entre os anos de 2018 e 2022, a China comprou 75,5% do total vendido pelo Brasil, enquanto o Top 5 de 2022 somou 86,1%.

Tabela 9 - Destinos da soja brasileira entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas

Nº	País	2022	%	2021	2020	2019	2018
<b>TOTAL</b>		<b>78.2</b>	<b>100.0</b>	<b>86.7</b>	<b>82.0</b>	<b>72.4</b>	<b>83.7</b>
1º	China 	53.8	68.8	61.7	61.3	57.2	70.1
2º	Espanha 	3.5	4.5	3.8	3.4	2.5	2.1
3º	Tailândia 	2.4	3.1	2.4	1.9	1.3	1.1
4º	Holanda 	2.2	2.8	3.0	2.8	1.7	1.4
5º	Irã 	2.1	2.7	1.4	0.8	1.4	1.2
6º	Turquia 	1.9	2.4	2.0	2.2	1.2	1.2
7º	Rússia 	1.4	1.7	0.9	1.1	1.0	1.2
8º	Paquistão 	1.0	1.3	1.4	0.9	0.7	0.5
9º	Bangladesh 	1.0	1.2	1.1	0.5	0.3	0.1
10º	Taiwan 	0.9	1.2	1.2	1.0	0.5	0.3
Outros		8.0	10.0	7.7	6.1	4.5	4.4

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da APS (2023)

## 2.12. Importações de soja no Brasil

Conforme pôde ser constatado nas informações apresentadas nos tópicos anteriores, o Brasil tem claramente a vocação para ser um país exportador de soja. Contudo, importações significativas podem ocorrer em anos de quebra de safra. Isso acontece para manter ativa a pujante indústria esmagadora dessa oleaginosa. Somando-se a isso, por ser um país com dimensões continentais, eventualmente, algum volume do produto supracitado é importado, ou por questões logísticas, no caso de regiões localizadas próximas as fronteiras com a Argentina, Paraguai, Bolívia e Uruguai, ou por razões

econômicas pontuais. Entretanto, nesses últimos dois eventos mencionados, as quantidades são inexpressivas quando comparadas ao total que é produzido e exportado pelo Brasil. Portanto, optou-se por não apresentar um detalhamento concernente ao tópico de importação.

### 2.13. Balanço de oferta e demanda da soja brasileira

As informações concernentes ao balanço de oferta e demanda da soja brasileira entre 2018 e 2022 podem ser observadas na Tabela 10. Para isso, foram considerados os dados divulgados pela CONAB (2023) para o subitem produção; MDIC (2023) para importação; ABIOVE (2023) para estoque inicial e consumo doméstico; e APS (2023) para exportação.

De acordo com a Tabela 10, nota-se que o ano de 2022 começou com um estoque inicial de 10,4 milhões de toneladas de soja, oriundos de 2021. No final do período, transferiu 4,4 para serem consumidas em 2023, em forma de estoques de passagem. Este montante variou significativamente em relação ao ano anterior em função da expressiva diminuição da produção e só não foi pior porque as exportações decresceram no mesmo ritmo. Finalmente, pode-se dizer que o volume remanescente de 2022 foi capaz de atender 4,4% da demanda deste mesmo ano. Nota-se que é o menor valor da série histórica, indicando que houve maior pressão nos preços desta commodity.

Tabela 10 - Balanço de oferta e demanda da soja brasileira entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas

	2018	2019	2020	2021	2022
<b>OFERTA TOTAL</b>	<b>142.1</b>	<b>131.9</b>	<b>139.1</b>	<b>147.7</b>	<b>136.3</b>
◦ <b>Estoque Inicial</b>	<b>18.6</b>	<b>12.0</b>	<b>13.4</b>	<b>7.4</b>	<b>10.4</b>
◦ <b>Produção</b>	<b>123.3</b>	<b>119.7</b>	<b>124.8</b>	<b>139.4</b>	<b>125.5</b>
◦ <b>Importação</b>	<b>0.2</b>	<b>0.1</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>0.4</b>
<b>DEMANDA TOTAL</b>	<b>130.0</b>	<b>118.5</b>	<b>131.7</b>	<b>137.3</b>	<b>132.0</b>
◦ <b>Consumo Doméstico</b>	<b>43.6</b>	<b>43.5</b>	<b>46.8</b>	<b>47.6</b>	<b>50.9</b>
◦ <b>Exportação</b>	<b>83.7</b>	<b>72.4</b>	<b>82.0</b>	<b>86.7</b>	<b>78.2</b>
◦ <b>Outros</b>	<b>2.8</b>	<b>2.7</b>	<b>2.9</b>	<b>3.1</b>	<b>2.9</b>
<b>ESTOQUE FINAL</b>	<b>12.0</b>	<b>13.4</b>	<b>7.4</b>	<b>10.4</b>	<b>4.4</b>
<b>% DE USO DO ESTOQUE</b>	<b>9.3%</b>	<b>11.3%</b>	<b>5.6%</b>	<b>7.6%</b>	<b>3.3%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da ABIOVE (2023), APS (2023), CONAB (2023) e MDIC (2023)

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

Este capítulo apresenta o método que serviu de inspiração para revisar a literatura, na tentativa de encontrar e organizar o que já foi pesquisado sobre a problemática estudada nesta tese de doutorado. Além do mais, são explicados os critérios adotados para selecionar os artigos científicos que foram avaliados nesta seção. Deste modo, foi possível confirmar a existência da lacuna que o presente trabalho se candidatou a preencher.

#### **3.1. Revisão sistemática da literatura**

De acordo com Torracco (2005) e Thomé *et al.* (2016), esta metodologia envolve um processo de avaliação teórica objetiva, com foco em estudos empíricos. Busca-se resumir estudos anteriores sobre o tema de interesse, adotando um processo de revisão rigoroso e bem definido, que segue protocolos replicáveis e transparentes, para identificar, avaliar e sintetizar a literatura. Este tipo de avaliação permite tirar conclusões a partir de estudos que sejam similares, com o objetivo de apresentar o estado da arte sobre as relações de interesse e enfatizar questões importantes que permanecem não respondidas sobre determinado tema.

Em outras palavras, uma Revisão Sistemática da Literatura é uma investigação científica menos dispendiosa, é uma averiguação com métodos pré-definidos para identificar, metodicamente, todos os documentos relevantes publicados e não publicados sobre uma questão de interesse, conforme destacado por Donato e Donato (2019).

Segundo Mulrow (1994), a revisão sistemática de literatura pode ser utilizada para diversas finalidades, cujo as mais conhecidas são:

- Contribuir para a redução de grande volume de informação;
- Integrar informações críticas para tomadas de decisão, pesquisa e política;
- Ser eficiente e menos custosa, principalmente, se for atualizada continuamente;
- Facilitar a generalização das descobertas reagrupando resultados similares de diferentes populações ou intervenções;
- Permitir uma avaliação sistemática das relações entre variáveis;
- Evidenciar e ajudar a explicar dados inconsistentes e contraditórios de descobertas em determinado campo;
- Aumentar o poder estatístico em sínteses quantitativas;
- Aumentar a precisão de estimação de riscos estatísticos;

- Aumentar a acurácia ou permitir sua verificação por reportar, sistematicamente, procedimentos e métodos.

Entretanto, do ponto de vista prático, de acordo com Thomé *et al.* (2016), a aplicação da revisão sistemática de literatura pode ser executada por intermédio da adoção do seguinte roteiro:

1. Planejamento e formulação do problema;
2. Busca da literatura nas bases de dados;
3. Coleta de dados;
4. Avaliação da qualidade da pesquisa primária;
5. Análise e síntese de dados;
6. Interpretação dos resultados;
7. Apresentação dos resultados;
8. Atualização da revisão.

### **3.2. Aplicação da metodologia Revisão Sistemática da Literatura**

Esta metodologia foi elencada por seguir um *script* bem definido, cujo resultados são passíveis de serem auditados por quem assim desejar. Ou seja, a reprodutibilidade do protocolo de pesquisa assegura que é possível verificar que a presente tese de doutorado tentou verificar o estado-da-arte do problema que está sendo pesquisado, encontrando na literatura as lacunas que se candidatou a preencher. A seguir há uma explicação sucinta das etapas utilizadas.

#### **3.2.1. Planejamento e formulação do problema**

Esta tese de doutorado tem como objetivo geral “estudar as relações de causa e efeito entre as principais variáveis presentes no sistema de produção e comercialização da soja brasileira”. Entretanto, conforme exemplificado na Figura 15, julgou-se que o trabalho de revisão bibliográfica ficaria mais completo se fosse realizado em três níveis:

- Revisão 1: do ponto de vista macro, examinou-se os principais artigos obtidos por intermédio da utilização de palavras genéricas nos mecanismos de buscas das bases de dados elencadas, porém, em total consonância com o tema da tese;
- Revisão 2: considerando que o problema de pesquisa deste trabalho é, “por que os preços da soja oscilam e como isso impacta a lucratividade dos produtores

brasileiros e o comportamento da oferta e da demanda pelo produto”, a busca realizada no referencial teórico foi norteada por palavras que o traduzam.

- Revisão 3: como o método de modelagem escolhido para abordar o problema foi a Teoria de Dinâmica de Sistemas, a pesquisa se concentrou em utilizar palavras alusivas à essa área do conhecimento.

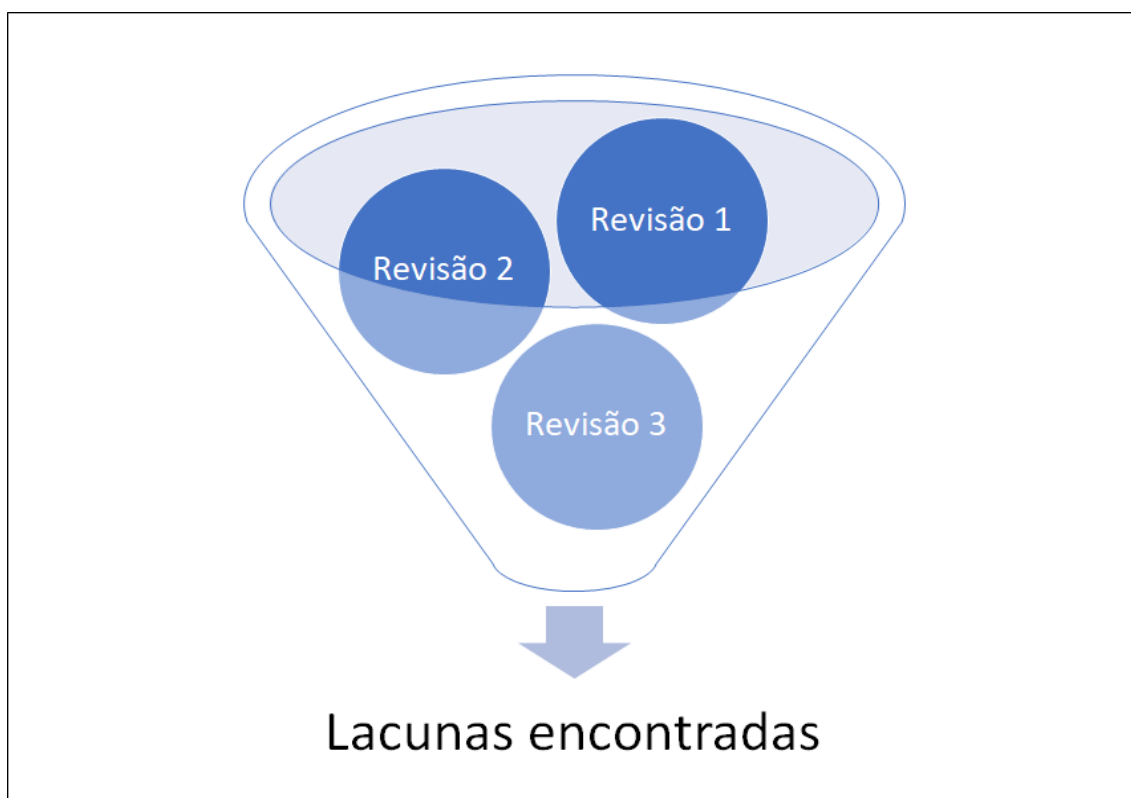


Figura 15 - Processo de afunilamento aplicado na revisão bibliográfica

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

### 3.2.2. Busca da literatura nas bases de dados

- Revisão 1:

Nesta investida, o objetivo principal foi consultar a literatura de forma genérica, para identificar quais eram os principais temas pesquisados dentro do universo que envolve esta tese de doutorado. Então, duas bases de dados estruturadas foram consultadas: *Scopus* e *Web of Science*.

Tomou-se o cuidado de selecionar palavras-chaves que estivessem em total consonância com o problema de pesquisa da tese, mas em um nível macro. Ademais, esses vocábulos foram escritos no idioma inglês e adaptados de acordo com as características das ferramentas de busca das fontes de dados supracitadas. Os campos aplicados foram



títulos, resumos e palavras-chaves dos documentos. O vernáculo e o tipo de texto (artigo, livro, anais de congresso etc.) não sofreram restrições. A estratégia de busca pode ser observada na Tabela 11.

Tabela 11 - Palavras-chaves consideradas na *string* de busca da Revisão 1

BASE	STRING DE BUSCA
Scopus	TITLE-ABS-KEY (Agri* AND Commod* AND Pric*)
Web of Science	TS = (Agri* AND Commod* AND Pric*)

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Com base no objetivo na Revisão 1, explicado no protocolo de pesquisa, utilizou-se como palavras-chaves as possíveis variações para “*Agriculture/Agribusiness*”, “*Commodity*” e “*Price*”. Foram identificados 3.404 documentos na base *Scopus* e 1.864 na *Web of Science*, totalizando 5.268 textos para serem analisados.

É válido lembrar que a intenção da Revisão 1 foi analisar, do ponto de vista macro e não exaustivo, os tópicos mais recorrentes já publicados e que estão supostamente relacionados ao tema central desta tese de doutorado. Sendo assim, na fase de triagem, optou-se por seleccionar apenas os 10 primeiros documentos ordenados pelos critérios de (1) maior número de citação e (2) relevância em cada uma das duas bases de dados supracitadas. Excluindo-se os repetidos, chegou-se a um total de 30 textos seleccionados, conforme pode ser observado na Figura 16.

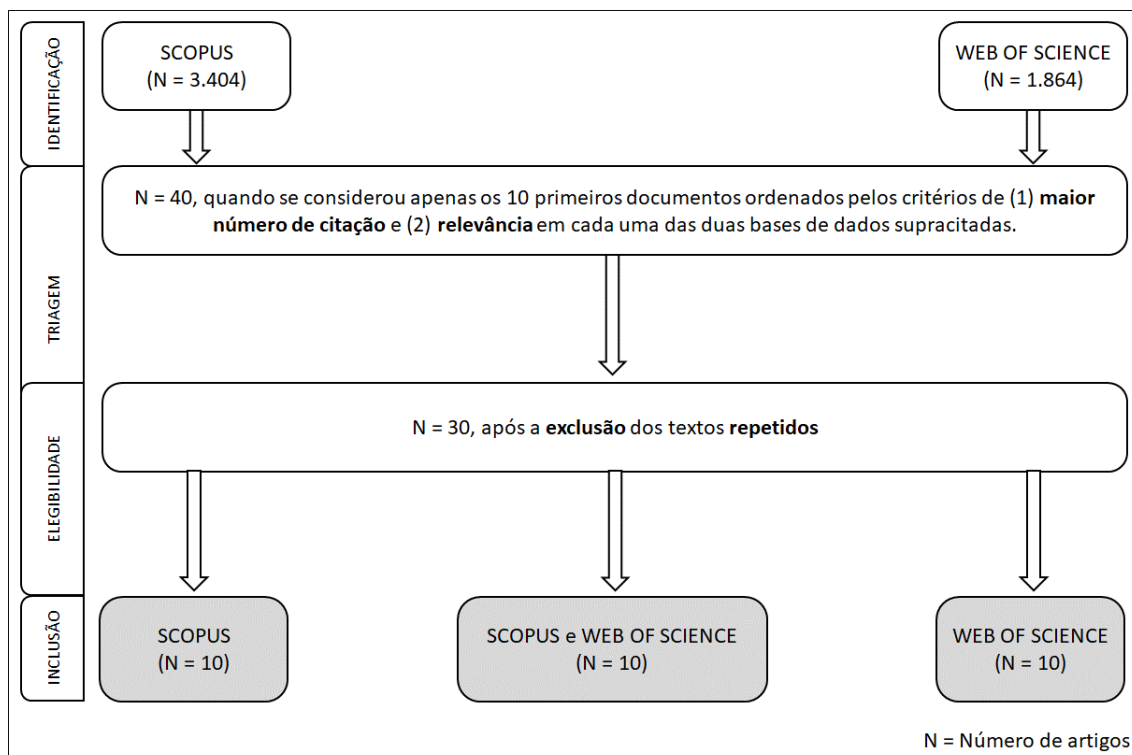


Figura 16 - Itinerário utilizado para seleção dos artigos na Revisão 1

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

- Revisão 2:

O objetivo aqui foi consultar as bases estruturadas *Scopus* e *Web of Science* de forma a identificar trabalhos relacionados ao problema de pesquisa abordado nesta tese de doutorado: “Por que os preços da soja oscilam e como isso impacta a lucratividade dos produtores brasileiros e o comportamento da oferta e da demanda pelo produto?”.

Sendo assim, tomou-se o cuidado de selecionar palavras-chaves que fossem suficientemente abrangentes, para capturar o máximo possível de evidências e, concomitantemente, específicas, para evitar resultados indesejáveis. Ademais, esses vocábulos foram escritos no idioma inglês e adaptados de acordo com as características das ferramentas de busca das fontes de dados supracitadas. Os campos aplicados foram títulos, resumos e palavras-chaves dos documentos. Apenas assinalou-se textos do tipo artigo e escritos em inglês. A estratégia de busca pode ser observada na Tabela 12.

Tabela 12 - Palavras-chaves consideradas na *string* de busca da Revisão 2

BASE	STRING DE BUSCA
Scopus	TITLE-ABS-KEY (Agri* AND Commod* AND Pric* AND Farm* AND Prof*) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar"))
Web of Science	TS=(Agri* AND Commod* AND Pric* AND Farm* AND Prof*) AND IDIOMA: (English) AND TIPOS DE DOCUMENTO: (Article)

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Com base no objetivo na Revisão 2, explicado no protocolo de pesquisa, utilizou-se como palavras-chaves as possíveis variações para “*Agriculture/Agribusiness*”, “*Commodity*”, “*Price*”, “*Farmer*” e “*Profit*”. Foram identificados 134 artigos na base *Scopus* e 77 na *Web of Science*, totalizando 211 textos para serem analisados.

Conforme pode ser observado na Figura 17, na primeira etapa de triagem, foram pré-selecionados 151 artigos, após a exclusão dos repetidos. Na sequência, leu-se os títulos e os resumos, resultando na seleção de 45 documentos potencialmente aderentes ao contexto desta tese. Por fim, durante o processo de elegibilidade, optou-se por manter os 9 textos que realmente faziam sentido e estão disponíveis em suas versões completas.

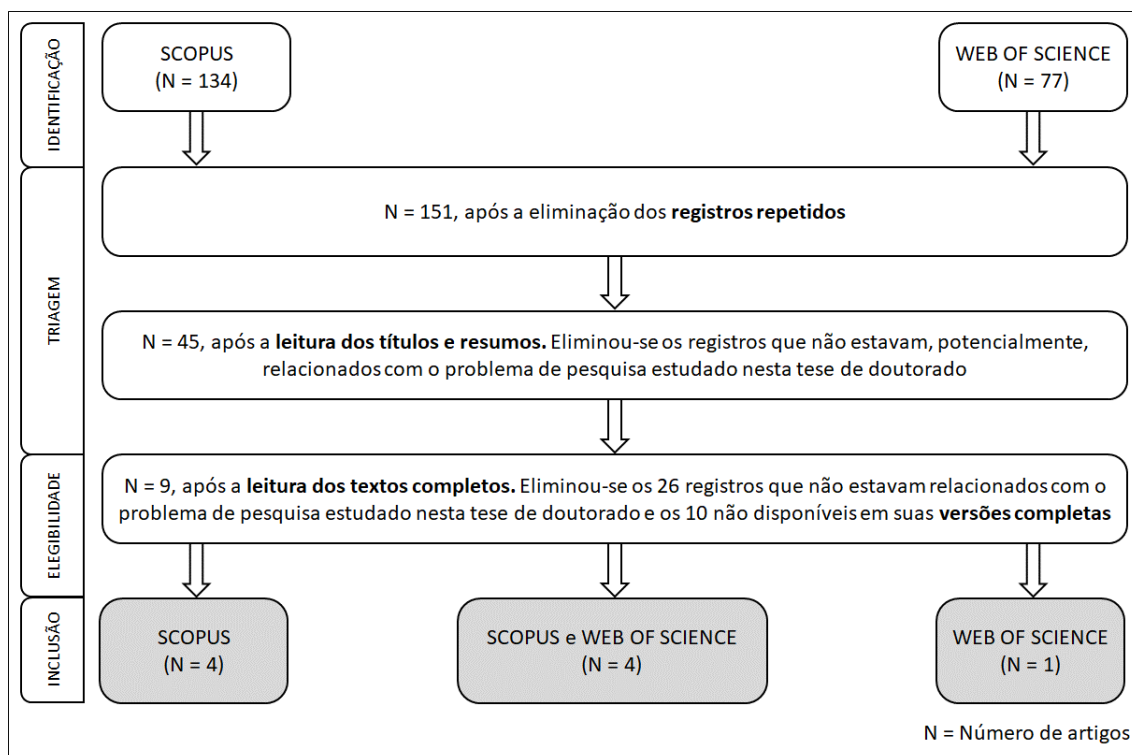


Figura 17 - Itinerário utilizado para seleção dos artigos na Revisão 2

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

- Revisão 3:

Por fim, como atividade extra, considerando-se que a Teoria de Dinâmica de Sistemas foi elencada como a metodologia para responder à questão de pesquisa desta tese de doutorado, além de se consultar as bases estruturadas *Scopus* e *Web of Science*, faz-se também uma busca específica na revista científica mais importante desta área de conhecimento: a *System Dynamics Review*, que é de responsabilidade da *System Dynamics Society*. A consulta foi realizada no portal da editora *Willey Online Library*.

Além do mais, foi ponderado que uma outra fonte relevante de textos seria os anais do congresso internacional que é organizado anualmente pela *System Dynamics Society*. É válido destacar que o prestígio dessa instituição está centrado em seu rigoroso processo de avaliação dos trabalhos que são submetidos para aceite.

Conseqüentemente, é razoável considerar que nesses eventos foram publicados parte significativa do que se encontra próximo da fronteira do conhecimento desta área, mas que ainda, muito provavelmente, não esteja disponível nas conceituadas revistas científicas, sobretudo pelo moroso processo de ajuizamento ao qual são submetidos. Em Revisão Sistemática da Literatura, esse tipo de fonte recebe o nome de literatura cinzenta.

Portanto, tomou-se o cuidado de selecionar palavras-chaves que fossem suficientemente abrangentes, para capturar o máximo possível de evidências e, concomitantemente, específicas, para evitar resultados indesejáveis. Ademais, esses vocábulos foram escritos no idioma inglês e adaptados de acordo com as características das ferramentas de busca das fontes de dados supracitadas. A estratégia de busca pode ser observada na Tabela 13.

No caso das bases estruturadas *Scopus* e *Web of Science* os campos aplicados na investigação foram títulos, resumos e palavras-chaves. Apenas assinalou-se textos do tipo artigo e escritos em inglês. Já na revista científica *System Dynamics Review*, essas opções não foram especificadas.

Já no caso dos anais do congresso internacional que é organizado anualmente pela *System Dynamics Society*, utilizou-se a ferramenta "Ctrl+L", no software *Adobe Acrobat 2022*, para se analisar todos os contextos nos quais foram encontradas as palavras-chaves elencadas para a Revisão 3, com exceção de "*System Dynamics*".

Tabela 13 - Palavras-chaves consideradas na *string* de busca da Revisão 3

BASE	STRING DE BUSCA
<b>Scopus</b>	TITLE-ABS-KEY (Agri* AND Commod* AND "System Dynamics" AND (Pric* OR Farm* OR Prof*)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English"))
<b>Web of Science</b>	TS=(Agri* AND Commod* AND "System Dynamics" AND (Pric* OR Farm* OR Prof*)) AND IDIOMA: (English) AND TIPOS DE DOCUMENTO: (Article)
<b>System Dynamics Review</b>	(Agri* AND Commod* AND (Pric* OR Farm* OR Prof*)) anywhere published in "System Dynamics Review". Na base de dados da editora "Wiley Online Library"
<b>System Dynamics Society Conferences</b>	Utilizou-se a ferramenta "Ctrl+L", no software Adobe Acrobat 2022, para se analisar a relevância do contexto em todas as vezes nas quais foram encontrados os seguintes vocábulos: "Agri", "Commod", "Pric", "Farm" e "Prof"

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Com base no objetivo na Revisão 3, explicado no protocolo de pesquisa, utilizou-se como palavras-chaves as possíveis variações para “*Agriculture/Agribusiness*”, “*Commodity*”, “*System Dynamics*”, “*Price*”, “*Farmer*” e “*Profit*”. Foram identificados 9 artigos na base *Scopus* e 5 na *Web of Science*; 27 documentos na revista científica *System Dynamics Review* e 62 nos anais dos congressos organizados pela *System Dynamics Society*, totalizando 103 textos para serem analisados.

Conforme pode ser observado na Figura 18, na primeira etapa de triagem, foram pré-selecionados 98 registros, após a exclusão dos repetidos. Na sequência, leu-se os títulos e os resumos, resultando na seleção de 22 documentos potencialmente aderentes ao contexto desta tese. Por fim, durante o processo de elegibilidade, optou-se por manter os 5 artigos que realmente faziam sentido e estavam disponíveis em suas versões completas.

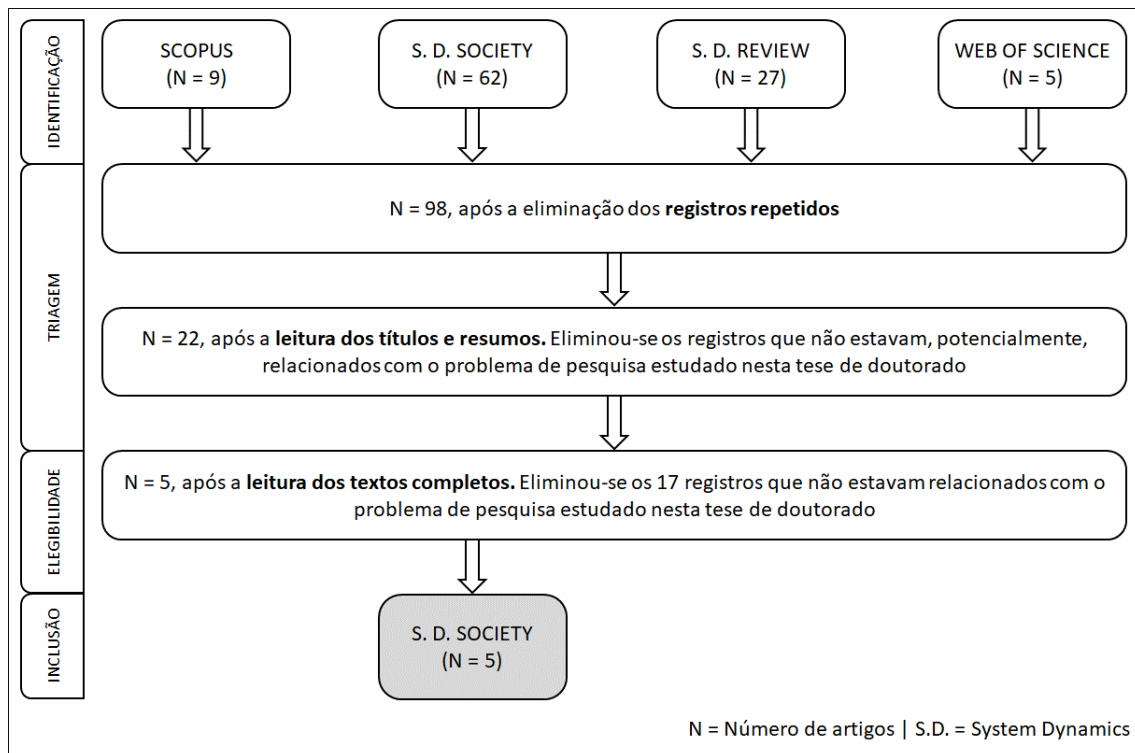


Figura 18 - Itinerário utilizado para seleção dos artigos na Revisão 3

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

### 3.2.3. Coleta de dados e avaliação da qualidade da pesquisa primária

Mediante a aplicação dos procedimentos metodológicos preconizados pela Revisão Sistemática da Literatura, esta seção colocou em perspectiva alguns nichos de informações sobre os artigos selecionados no item anterior. Optou-se por coletar e organizar as seguintes estatísticas: o ano das publicações, países onde os estudos foram aplicados, *commodities* estudadas e nuvens de palavras dos resumos dos documentos.

- Revisão 1:

Conforme salientado anteriormente, essa busca resultou na seleção de 30 artigos. Através dos quais tentou-se capturar, de um ponto de vista macro, a essência dos principais assuntos relacionados com o problema de pesquisa dessa tese de doutorado.

Na Figura 19 é possível visualizar como essas publicações estão distribuídas em um panorama cronológico, segmentando-as também de acordo com a base de dados pesquisada. No que concerne ao contexto do assunto desta tese, pode-se observar uma produção científica quase inexistente até 2000. A concentração foi entre 2006 e 2015, com picos em 2012 e 2019. Ambas as fontes dividem igualmente a quantidade de artigos.



A Figura 21 destaca as principais commodities estudadas nos 30 artigos selecionados na Revisão 1, evidenciando em quantos cada uma apareceu. Ao todo foram citados, explicitamente, 59 produtos. Cinco trabalhos usaram índices agregados, sem especificar uma mercadoria. Em termos de número de aparições, destacaram-se o milho (sendo considerado em 18 textos diferentes), soja (14), trigo (13), petróleo (13), arroz (7), algodão (6), cacau (6), café (6) e cevada (5). Os demais produtos, que não foram distinguidos no gráfico abaixo, apareceram entre 1 e 4 documentos.

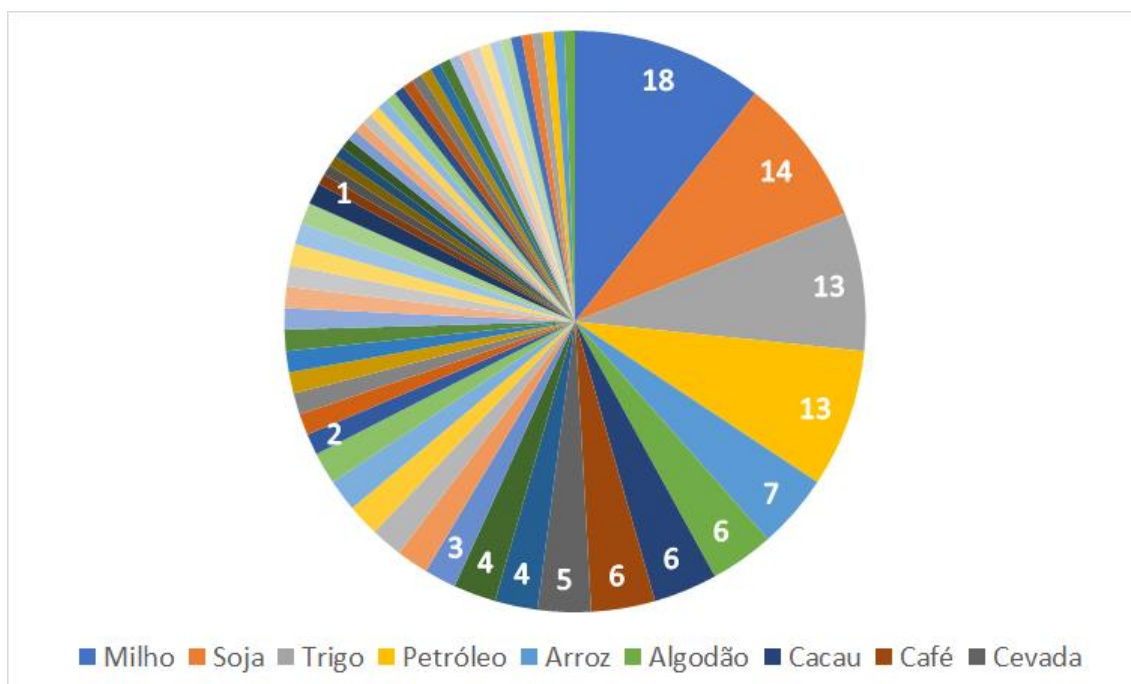


Figura 21 - Revisão 1: número de artigos no qual cada *commodity* é estudada

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Por fim, a Figura 22 apresenta as nuvens de palavras que foram elaboradas com os vocábulos dos textos que resumem cada um dos 30 artigos selecionados na Revisão 1. A ideia aqui foi (a) hierarquizar visualmente os termos mais utilizados pelos autores e (b) tentar mostrar, de maneira mais uniforme, as outras expressões que também aparecem, mas em menor frequência.

Em termos gerais, pode-se dizer que a ideia da nuvem de palavras é bastante válida, já que faz uma inferência visual sobre os assuntos mais discutidos nos documentos. Ao todo, nos 30 resumos dos textos selecionados na Revisão 1 foram utilizados 27.254 vocábulos. Para a figura ficar mais aderente ao objetivo da análise, foram excluídas as conjunções, interjeições, preposições, artigos e numerais, assim como as palavras-chaves (e suas possíveis variações) utilizadas nos mecanismos de busca das fontes de dados consultadas:



“agriculture/agribusiness” (90 ocorrências), “commodity” (60) e “price” (190). Logo, no Top 10 apareceram “oil” (50), “food” (33), “market” (29), “impact” (27), “products” (27), “crop” (25), “global” (25), “causal” (23), “energy” (23) e “result” (23).

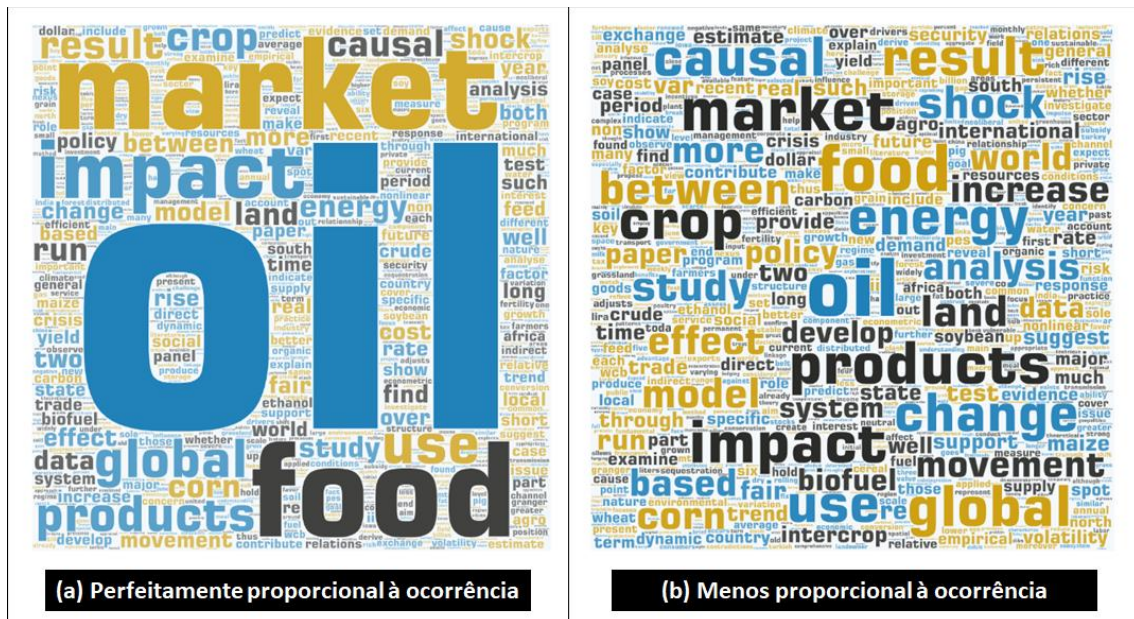


Figura 22 - Revisão 1: nuvem das palavras mais utilizadas nos textos selecionados  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

- Revisão 2 e 3

Conforme salientado anteriormente, as buscas dessas duas abordagens de revisão resultaram na seleção de 14 artigos, quando somados. Através dos quais, no contexto desta tese de doutorado, tentou-se identificar potenciais lacunas existentes na literatura.

Na Figura 23 é possível visualizar como essas publicações estão distribuídas em um panorama cronológico, segmentando-as também de acordo com a base de dados pesquisada. Pode-se observar uma produção científica bastante espaçada entre 1977 e 2019, com uma pequena concentração a partir de 2015 e pico em 2018. Dos artigos selecionados, 36% são oriundos dos anais das conferências anuais que são organizadas pela *System Dynamics Society*, 29% da base *Scopus*, 7% da *Web of Science (WoS)* e 29% foram, concomitantemente, encontrados nas duas últimas supracitadas.

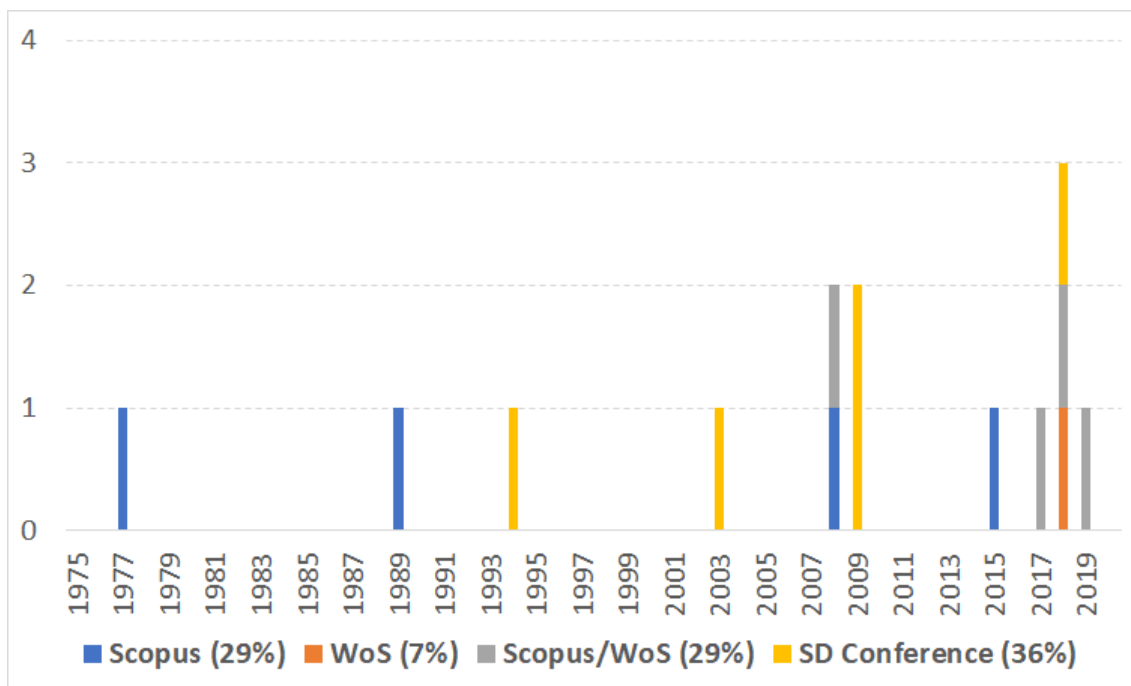


Figura 23 - Revisão 2 e 3: número de artigos por ano e base de dados

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A Figura 24 apresenta os países que serviram de plano de fundo para realização dos estudos conduzidos nos 14 artigos seleccionados nas Revisões 2 e 3. Ao todo foram citados, explicitamente, 12 países. Um deles tratou da Europa com um todo e outro teve carácter global. Estados unidos e Uganda se destacaram, aparecendo em 2 trabalhos cada.



Figura 24 - Revisão 2 e 3: artigos distribuídos por país onde o estudo foi aplicado

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A Figura 25 destaca as principais commodities estudadas nos 14 artigos selecionados nas Revisões 2 e 3, evidenciando em quantos cada uma apareceu. Ao todo foram citados, explicitamente, 19 produtos. Um trabalho usou índice agregado, sem especificar uma mercadoria. Em termos de número de aparições, destacaram-se o milho (sendo considerado em 2 textos diferentes), soja (2), café (2), frango (2), laticínios (2). Os demais produtos, que não foram distinguidos no gráfico abaixo, apareceram em 1 documento.

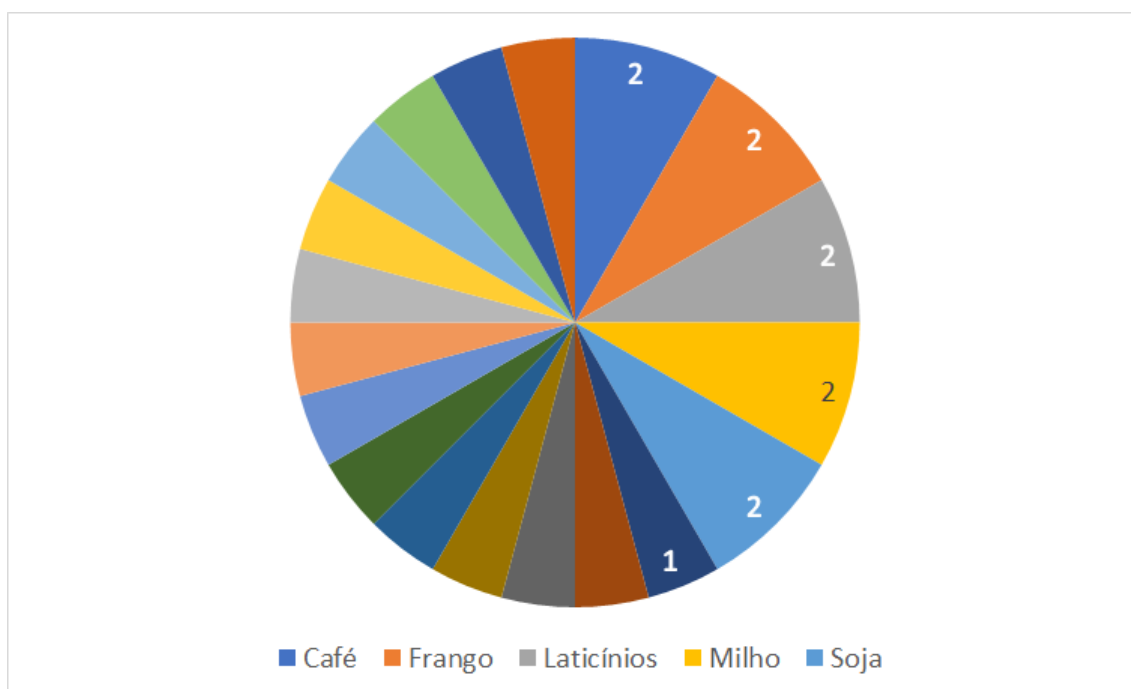


Figura 25 - Revisão 2 e 3: número de artigos no qual cada *commodity* é estudada  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Por fim, a Figura 26 apresenta as nuvens de palavras que foram elaboradas com os vocábulos dos textos que resumem cada um dos 14 artigos selecionados nas Revisões 2 e 3. A ideia aqui foi (a) hierarquizar visualmente os termos mais utilizados pelos autores e (b) tentar mostrar, de maneira mais uniforme, as outras expressões que também aparecem, mas em menor frequência.

Em termos gerais, pode-se dizer que a ideia da nuvem de palavras é bastante válida, já que faz uma inferência visual sobre os assuntos mais discutidos nos documentos. Ao todo, nos 14 resumos dos textos selecionados nas Revisões 2 e 3 foram utilizados 13.487 vocábulos. Para a figura ficar mais aderente ao objetivo da análise, foram excluídas as conjunções, interjeições, preposições, artigos e numerais, assim como as palavras-chaves (e suas possíveis variações) utilizadas nos mecanismos de busca das fontes de dados consultadas: “*agriculture/agribusiness*” (22 ocorrências), “*commodity*” (17), “*system*

dynamics” (15), “price” (68), “farmer” (19), “profit” (12). Logo, no Top 10 apareceram “product” (39), “market” (25), “model” (18), “cost” (17), “produce” (15), “increase” (15), “risk” (14), “supply” (11), “result” (10) e “policy” (10).

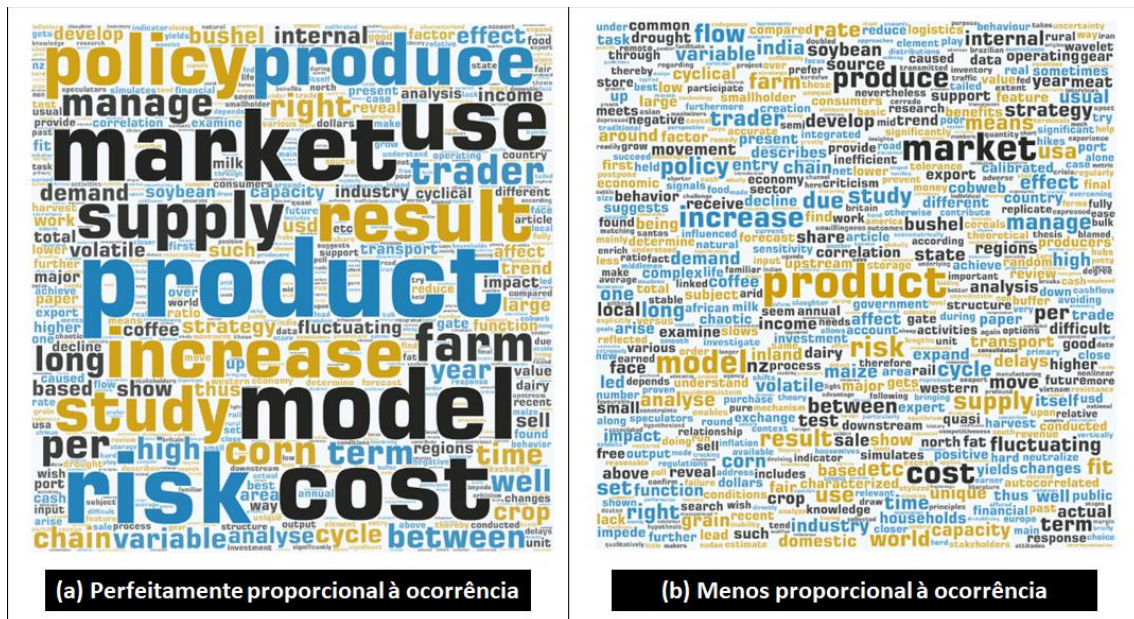


Figura 26 - Revisão 2 e 3: nuvem das palavras mais utilizadas nos textos selecionados  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

### 3.2.4. Análise sumarizada dos dados, interpretação e apresentação dos resultados

Adotando os principais passos preconizados por Thomé *et al.* (2016), durante a utilização da técnica da Revisão Sistemática da Literatura, esta seção apresenta um fichamento dos textos elencados. Estes foram organizados por tópicos correlacionados dentro da Revisão 1; e Revisão 2 e 3. No final, segundo a Tabela 14, ficará evidente que existe na literatura uma lacuna a ser preenchida, o que justifica a execução do presente trabalho.

- Revisão 1
  - Relações entre os preços do petróleo e dos alimentos

Headey e Fan (2008) consideraram que muitas das análises sobre as causas do aumento dos preços dos alimentos eram superficiais e fragmentadas. Então realizaram uma profunda investigação na literatura sobre essa questão, tentando medir o quanto as explicações convencionais eram sustentadas pela teoria econômica. Concluíram que o aumento do preço do petróleo, a depreciação do dólar americano e a demanda por biocombustíveis são as explicações mais plausíveis.

Papiez (2014) analisou econometricamente a causalidade entre os preços futuros semanais do milho, petróleo e etanol nos Estados Unidos entre 2007 e 2014. A aplicação dos procedimentos econométricos adotados permitiu investigar a persistência da estabilidade nas relações causais entre os valores estudados, além de indicar que as correlações entre eles mudaram no período analisado. Os resultados apontam que as cotações do cereal têm ascendência sobre as das commodities energéticas. Ademais, os preços do petróleo influenciam os do milho e etanol, mas não foi observado ascendência das tarifas do etanol sobre os demais.

Primeiro Nazlioglu e Soytaş (2010) utilizaram econometria para estudar as relações de transmissões de preços de curto e longo prazo entre o petróleo internacional e a taxa de câmbio £/US\$ sobre algumas commodities agrícolas individuais (algodão, girassol, milho, soja e trigo) na Turquia entre 1994 e 2010. Em linhas gerais, os autores concluíram que havia neutralidade estatística.

Depois, considerando o mesmo período supracitado, Nazlioglu (2011) analisou a existência de interdependência entre os preços do petróleo com os individuais do milho, soja e trigo. Todos sendo considerados num prisma internacional. Concluiu que a causalidade linear não influenciava um ao outro, sugerindo, novamente, a hipótese de neutralidade. Entretanto, do ponto de vista não-linear, os resultados sugeriram o contrário, ou seja, a existência de ascendência das cotações do petróleo sobre os produtos agrícolas.

Por fim, Nazlioglu e Soytaş (2012), elaboraram um estudo mais completo, onde consideraram os preços internacionais de 24 commodities agrícolas, do petróleo e do dólar norte-americano entre 1980 e 2010. Então, afirmaram com mais veemência a relação dinâmica entre essas variáveis. Além disso, os resultados do modelo econométrico mostraram que há impacto positivo de um dólar fraco nos preços dos alimentos.

Wang e McPhail (2014) recorreram a econometria para examinar os impactos dos choques nas cotações da gasolina (1) no crescimento da produtividade total dos fatores agrícola dos EUA e (2) na volatilidade dos preços dos alimentos entre 1948 e 2011. A partir dos resultados, os autores inferiram alguns *insights* interessantes:

- um choque no preço da gasolina teve um impacto negativo no crescimento da produtividade total dos fatores agrícola norte-americanos no curto prazo (1 ano);
- choques concomitantes nas cotações da gasolina e na produtividade agrícola representaram, cada um, cerca de 10% da volatilidade dos preços dos alimentos;

- o impacto dos valores da gasolina superou a contribuição da produtividade agrícola no médio prazo (3 anos);
- com impactos mais persistentes, os choques nos preços da gasolina contribuíram para a maioria (cerca de 15%) da variação das commodities no longo prazo.

Wang *et al.* (2014) empregaram um modelo econométrico para verificar as diferenças dos impactos nas cotações dos alimentos em relação ao tipo de choque nos preços no petróleo: de oferta, de demanda agregada ou específicos. O período da análise foi entre 1980 e 2012. As conclusões indicaram que o tipo de choque tem sim uma magnitude de resposta diferente sobre os valores das commodities agrícolas, principalmente após a crise alimentar que ocorreu entre 2006 e 2008.

Dillon e Barrett (2015) afirmaram que são escassas as evidências rigorosas de que os preços do petróleo impactam os dos alimentos nos países em desenvolvimento. Então utilizaram econometria para demonstrar que os valores globais do óleo cru afetam o do milho e da gasolina no leste da África, mas principalmente pelos custos de transporte, e não pelos canais de biocombustíveis ou de produção. A análise foi entre 2000 e 2012.

Rezitis (2014) construiu um modelo econométrico para estudar a relação dinâmica entre o preço do petróleo e do dólar americano sobre um grupo de 30 commodities agrícolas e 5 tipos de fertilizantes entre 1983 e 2013. O autor concluiu que há sim uma relação de causalidade entre as variáveis.

Fowowe (2016) contou com um modelo econométrico para investigar os efeitos das variações dos valores internacionais do petróleo nas cotações do girassol, milho e soja na África do Sul entre 2003 e 2014. Os resultados indicaram neutralidade entre os preços.

Su *et al.* (2019) estudaram as relações de causa e efeito entre os preços do petróleo e das commodities agrícolas. Para isso, averiguaram se o modelo econométrico de integração vertical do mercado é globalmente aplicável. Foram considerados dados entre 1990 e 2017. Os resultados mostraram que existe causalidade bidirecional positiva variável em determinados subperíodos, quando houve interação através do canal direto de biocombustível e indireto de entrada. Os autores defendem a tese de que os governos devem conter especulações no mercado de derivativos de commodities. Ademais, também ressaltam a adoção do pagamento de subsídios para determinadas mercadorias, em uma tentativa de frear o efeito contagioso da mudança repentina de preços.

Hesary *et al.* (2019) utilizaram um modelo econométrico para investigar a existência de ligações causais entre as cotações do petróleo e das commodities agrícolas em 8 países asiáticos entre 2000 e 2016. Em suma, confirmaram que existe uma relação positiva de causalidade. Também chamaram a atenção para o fato de que a inflação no preço da energia é prejudicial para a segurança alimentar. Sendo assim, defenderam a ideia de que seria necessário diminuir o consumo excessivo de combustíveis fósseis.

- Política de preços mínimos

Kim e Chavas (2002) recorreram a econometria para examinar os efeitos da política de preços mínimos do governo estadunidense na dinâmica e na volatilidade das cotações do leite em pó sem gordura entre 1970 e 2000. A partir dos resultados do modelo, os autores concluíram que o programa de suporte governamental, aliado a outras ações privadas e públicas, afetam sim a volatilidade e o preço esperado do produto.

- Mercados futuros

Gilbert (2010) alegou que a alta dos preços agrícolas é mais bem explicada por motivos comuns, em detrimento de aspectos específicos do mercado, tais como choques de oferta. Utilizando econometria, o autor defendeu a tese de que os investimentos especulativos em índices comercializados em bolsas de mercados futuros agrícolas foi o principal canal por onde fatores macroeconômicos e monetários geraram aumento nos preços de commodities alimentares entre 2007 e 2008.

Wu *et al.* (2018) exploraram um modelo econométrico para tentar explicar as relações de ajustes assimétricos entre os preços à vista e futuros do milho e da soja em Ontário, no Canadá, entre 1996 e 2014. Os resultados empíricos indicaram fortes evidências de linearidade positiva no caso do cereal e negativa para a oleaginosa. Em outras palavras, o valor à vista do milho se ajusta mais rapidamente aos aumentos dos futuros do que quando estes diminuem. Já no caso da soja, acontece o contrário.

- Choques de preços transitórios ou permanentes

Ghoshray (2019), alegando ter considerado aspectos inéditos para esse tipo de problema em sua modelagem econométrica, estudou se os choques nos preços das commodities agrícolas foram permanentes ou transitórios, entre 1960 e 2016. O autor não foi assertivo, pois seu estudo teve uma conclusão mista, com saldo favorável à natureza permanente dos choques nas cotações agrícolas.

- Bolhas de preço

Esposti e Listorti (2012) averiguaram, econometricamente, a transmissão de cotações agrícolas durante bolhas de preços. Para isso, utilizaram séries com valores dos cereais milho e trigo para o mercado italiano, norte-americano e canadense entre 2006 e 2010, um período marcado por turbulência generalizada nos mercados de alimentos. Os resultados indicaram que a bolha teve apenas um leve impacto na diferença de preços e a medida temporária de política comercial, quando efetiva, limitou esse choque.

- Impacto nos preços de rações

Niemi (2015) empregou técnicas econométricas para estimar como as mudanças nas cotações de culturas ricas em proteína e energia, tais como colza, soja e trigo, afetaram os preços das rações para aves e suínos na Finlândia. O autor concluiu que:

- o preço atual da ração era afetado pelos do trigo observados de 3 a 6 meses antes;
- alterações nos valores dos cereais, farelo de soja e colza foram transmitidas às cotações das rações com um atraso de 2 a 6 meses;
- variações nas cotações dos cereais afetavam mais a ração do que o farelo de soja;
- era mais eficiente estar preparado para os riscos de preço da ração do que para aqueles associados aos seus ingredientes.

- Assuntos ambientais

Lubowski *et al* (2006) aplicaram um modelo econométrico para estimar os ganhos econômicos dos fazendeiros norte-americanos ao manterem suas áreas com florestas em seus portfólios, visando sequestro de carbono. Essa opção foi comparada com os outros 5 principais usos privativos da terra no país. Os resultados indicaram que cerca de um terço da meta dos EUA sob o Protocolo de *Kyoto* seria alcançada de maneira econômica com o emprego de políticas de sequestro baseadas em florestas, além de estratégias de redução de carbono baseadas em energia.

Lobell e Field (2007), estudaram, no campo da econometria, o impacto do aquecimento global sobre as temperaturas e precipitações pluviométricas médias entre 1961 e 2002. O objetivo foi analisar a relação das oscilações dessas duas variáveis com a produtividade média observada em seis importantes culturas plantadas pela humanidade. Concluiu-se que desde 1981 houve perdas anuais combinadas na ordem de 40 milhões de toneladas



ou US\$ 5 bilhões no trigo, cevada e milho. Entretanto, até mesmo os autores concordam que esses valores estimados são pequenos quanto comparados aos ganhos de rendimento proporcionado pelos avanços tecnológicos no mesmo período.

O trabalho de Lobell e Field (2007) continuou a ganhar notoriedade: Brown e Funk (2008) utilizaram os dados para comentaram alguns potenciais impactos, tais como diminuição da renda dos mais pobres, desnutrição e aumento de doenças, quando mudanças climáticas interferem nas produtividades agrícolas, preços dos alimentos, renda dos produtores e segurança alimentar dos países.

Fraiture *et al.* (2008) analisaram as dicotomias do crescente mercado de biocombustíveis: por um lado, encontraram aspectos importantes como incremento na renda do produtor rural e redução na emissão de gases de efeito estufa, por outro a competição de áreas agricultadas por culturas alimentares e escassos recursos hídricos. Os autores focaram em problemas enfrentados por China e Índia, concluindo que, embora houvesse uma menor preocupação em nível global, o impacto regional, a exemplo dos dois países supracitados, pode ser substancial.

Lithourgidis *et al* (2011), no contexto da agricultura sustentável e apoiados por vários exemplos importantes da literatura, enumeram as principais vantagens, desvantagens e complexidades agrônomicas, ambientais e financeiras da prática de consorciação entre diferentes espécies de plantas numa mesma área plantada ao longo do ano.

Wright e Wimberly (2013) discutiram os potenciais impactos da acelerada conversão anual de áreas de pastagem em culturas de milho e soja no cinturão agrícola dos Estados Unidos entre 2006 e 2011. Para alguns dos estados analisados, este fenômeno se mostrou uma mudança persistente no uso da terra, em vez de uma variabilidade de curto prazo nos padrões de rotação de culturas.

- Efeitos na balança comercial

Krueger *et al* (1988) analisaram os preços médios de 12 produtos transacionados internacionalmente por 18 países em desenvolvimento entre 1975-84, com o objetivo de estimar o impacto de (1) políticas setoriais diretas e (2) econômicas indiretas sobre os incentivos agrícolas. Os autores concluíram que em quase todos os casos, o efeito de (1) é equivalente a um imposto sobre bens exportáveis (-11% em média); e o resultado de (2) é análogo a um subsídio para bens importáveis (20% em média).

- Previsão de preços

Vohra *et al.* (2019) estavam preocupados com o fato de os produtores rurais indianos não conseguirem os preços desejados para suas colheitas. Alegaram, inclusive, que este problema estaria contribuindo para com o aumento da taxa anual de suicídios no país. Sendo assim, os autores propuseram a ideia de um projeto para construir um modelo, com base em técnicas de mineração de dados, para prever os preços de commodities agrícolas. Infelizmente, os resultados não foram apresentados.

- Outros assuntos desconexos

Raynolds (2000), sob uma perspectiva sociológica, escreveu sobre o crescimento e a importância da agricultura orgânica internacional da banana e do café, assim como dos movimentos de comércio justo. A autora também discutiu o sistema agroalimentar global da época e fez críticas sobre as corporações transnacionais, que ela denominou de oligopolistas. O texto não contribuiu diretamente com essa tese de doutorado, mas está sendo citado porque foi elencado através da técnica de revisão de literatura adotada.

McAfee e Shapiro (2010) discutiram aspectos relativos à mercantilização da natureza no México, contrastando seus argumentos com opiniões economicamente neoliberais. O texto não contribuiu diretamente com essa tese de doutorado, mas está sendo citado porque foi elencado através da técnica de revisão de literatura adotada.

Cotula (2012) debateu sobre os principais fatores que podem ter impulsionado a aquisição de grandes volumes de terras agrícolas em países de baixa renda. Já McMichael (2012), criticando o neoliberalismo, debateu o investimento estrangeiro em terras localizadas em países em desenvolvimento. Ambos os textos não contribuíram diretamente com essa tese de doutorado, mas estão sendo citados porque foram elencados através da técnica de revisão de literatura adotada.

- Revisão 2 e 3

Wolfe (1977) reafirmou a máxima de que os produtores desejam expandir suas produções regularmente, desde que os valores ofertados pelo mercado propiciem receitas acima dos custos de produção. Contudo, ressaltou que os mercados globais de commodities mostram grandes e imprevisíveis flutuações, tanto na demanda quanto nos preços.

Sendo assim, descreveu como essas flutuações surgem para produtos alimentícios e sugeriu algumas abordagens para superá-las. Os exemplos apresentados no estudo foram no contexto da Grã-Bretanha, para os mercados de ovo (1957-1971); frango (1955-1977); chá (1961-1975); peru (1960-1975) e pão (1960-1975).

O autor defendeu a tese de que um mercado estável, lucrativo e em expansão pode ser atingido apenas se a agricultura acertar no processo de comercialização. Então, responsabilizou os empresários rurais a entenderem as necessidades da demanda. Logo, afirmou que se eles produzirem seus alimentos na qualidade, quantidade e momento ideal, “é provável que o preço esteja correto também”.

Speech (1989) destacou que, geralmente, pequenos agricultores têm como objetivo primordial evitar serem expostos ao risco, ao invés de maximizar o lucro. Por conseguinte, tendem a menores investimentos quando confrontados com a incerteza dos preços. O estudo foi desenvolvido no Sudão e permitiu analisar o impacto de uma seca africana no desempenho e na estrutura do mercado agrícola. O autor também ressaltou a volatilidade e alta dos preços como um fator importante na desestabilização dos mercados de commodities agrícolas.

Bisht *et al* (1994) desenvolveram um modelo de simulação de dinâmica de sistemas sobre a produção de soja na Índia. Na época da análise, essa leguminosa estava começando a ser introduzida no país como uma cultura comercial, experimentando, assim, um pujante crescimento inicial na ordem de 1.500% ao ano, tanto em área quanto em volume total produzido. Como plano de fundo, pode-se dizer que o incentivo estava embasado no aumento da capacidade de processamento industrial desse grão e a necessidade em diminuir a demanda estrangeira pelos seus derivados.

O modelo analisou a dinâmica do fluxo de área entre a soja e as várias outras opções de culturas concorrentes existentes na Índia daquela época, levando em consideração a produtividade, produção anual, preços e o custo-benefício. Os valores das constantes foram determinados por meio de levantamento junto aos agricultores e a opinião de especialistas, algo muito comum e recomendado na aplicação de Dinâmica de Sistemas.

As opções de políticas propostas foram analisadas com o objetivo de se observar maior lucratividade para os produtores no longo prazo. Sendo assim, pode-se dizer que essa é a maior contribuição deste estudo para esta tese, já que quando produtor rural tem sucesso

econômico-financeiro, tenciona-se a mola propulsora que incentivará a abertura de novas áreas e o investimento em tecnologias que colaboram para o aumento de produtividade.

Observando os números do complexo soja na Índia em 2018, 28 anos depois da pesquisa conduzida por Bisht *et al.* (1994), pode-se considerar que essas políticas, de alguma forma, lograram êxito, já que o país se encontra numa posição mais confortável quanto ao abastecimento de farelo de soja: de acordo com o USDA (2023), a Índia foi o sexto maior produtor e exportador em 2022. Entretanto, ainda há um caminho a ser percorrido rumo a autossuficiência, pois o país ainda é a nação que mais importa óleo de soja no mundo, mesmo sendo o sexto principal fabricante.

Nicholson e Fiddaman (2003) debruçaram esforços para entender as razões endógenas e dinâmicas pelas quais os preços do leite e dos laticínios norte-americanos se comportavam de maneira volátil. O modelo sugeriu diversas hipóteses que podem ter contribuído para este fenômeno, dentre as quais, se destacaram: (1) a resposta comportamental dos participantes da indústria aos sinais de preço e estoque; (2) o uso de contratos de longo prazo; (3) acumulação especulativa; (4) ciclos de longo prazo acoplados de capacidade de processamento; e (5) tamanho do rebanho de vacas leiteiras.

Fafchamps e Hill (2008) analisaram o processo de transmissão de preços do café no mercado internacional para o ugandês entre 1992 e 2003. Os resultados da pesquisa evidenciaram que um aumento nas cotações globais foi rapidamente observado nos valores do produto destinado para exportação e no mercado atacadista de Uganda. Entretanto, os fazendeiros receberam uma parcela menor dessa variação. Isso ocorreu devido ao fato de que inúmeros atravessadores compunham essa cadeia produtiva.

Bowden e Zhu (2008) empregaram uma função de *wavelets* para decompor o ciclo e a tendência, além de estudar as causalidades e detectar quebras estruturais da margem de lucro líquido dos produtores de laticínios da Nova Zelândia entre 1985 e 2005. Concluíram que os ciclos mais curtos praticamente são o resultado dos preços das commodities. Já no longo, uma interação deste fator com a taxa de câmbio neozelandesa.

Osorio e Aramburo (2009) empregaram dinâmica de sistemas para analisar os ciclos observados no preço internacional do café entre 1900 e 2008, defendendo a premissa de que essa característica oscilatória tem um efeito negativo para os países em desenvolvimento. Mesmo admitindo que o modelo apresentado estava em estágio inicial de desenvolvimento e ainda não totalmente calibrado, este estudo chamou a atenção por

incluir aspectos relacionados as causalidades existentes entre investimentos feitos pelos cafeicultores, capacidade, atrasos, demanda pelo produto e preços. Ou seja, ajudou no entendimento dos ciclos dos valores do café focando na estrutura interna do sistema.

Adl e Parvizian (2009) estudaram a dinâmica de como uma intempérie climática interferiu no preço da carne de ovelha no Irã. A hipótese do modelo centrou-se no fato de que os animais são basicamente alimentados por pastagens naturais, as quais tiveram sua oferta reduzida por causa da seca. Isso aumentou a taxa de abate dos planteis e o suprimento de carne, reduzindo o preço. Por outro lado, isso encolheu o tamanho do rebanho, culminando em menor capacidade de produção do ano seguinte, o que, conseqüentemente, provocou alta nos valores praticados pelos produtores de ovinos. Os autores concluíram que o uso de certas políticas, tais como o incentivo à importação, poderia ajudar a diminuir a volatilidade observada.

Luckmann *et al.* (2015) recorreram a um modelo econométrico para medir a magnitude do impacto da variação dos preços internacionais do milho sobre a cadeia de comercialização deste produto no Vietnã. É válido ressaltar que, além do fato de que a colheita deste cereal é de extrema importância para a composição da renda das famílias rurais deste país, este segmento da economia vietnamita é bastante integrado.

Com base nos dados, entre 2001 e 2009, os autores inferiram que as variações das cotações internacionais do milho foram totalmente transmitidas ao longo da cadeia de suprimentos vietnamita. Como no período considerado na análise houve aumento dos preços globais, era esperado que os agricultores locais tivessem lucro. Entretanto, fatores adversos, tais como o aumento dos valores dos insumos de produção, ajudaram a neutralizar esses benefícios, resultando em um declínio na renda real dos pequenos agricultores.

Kovacevic *et al.* (2017) estudaram como os custos variáveis e totais dos produtores de milho norte-americanos se relacionavam com os preços de mercado deste produto entre 1996 e 2015. Destaca-se o fato dos Estados Unidos ser o maior produtor global deste cereal, logo possui influência significativa na formação das cotações internacionais. Para cumprir o objetivo, os autores utilizaram como método estatístico as conhecidas medidas de desvio padrão, valores médios do coeficiente de variação e análise de correlação.

Os resultados mostraram que as despesas para produzir o milho têm um alto impacto na formação dos preços de mercado. Sendo assim, quando estes se aproximam dos custos

variáveis de produção, os agricultores perdem o interesse em vender e preferem armazenar o cereal. Como parte das vendas são adiadas, a oferta se reduz. Isso tende a prevenir uma nova queda nos valores. A mecânica oposta também é verdadeira, ou seja, quando os preços aumentam significativamente em relação ao custo de produção, os fazendeiros, teoricamente, obtêm lucro, incentivando, assim, a oferta do produto crescer e os preços se arrefecerem. É válido ressaltar que esta dinâmica foi observada por um dos agentes de mercado entrevistados pelo autor desta tese de doutorado, conforme pode ser conferido no Apêndice F.

Chaudhry e Miranda (2018), sob a ótica de um modelo de teia de aranha, pesquisaram sobre as flutuações semanais nos preços dos pintainhos e dos frangos de corte no Paquistão entre 2008 e 2012. Pode-se dizer que, apesar desses dois mercados estarem verticalmente vinculados, a duração de seus ciclos de produção é diferente. Então, os autores modelaram o problema para capturar interdependências mútuas entre agricultores a montante e a jusante dessa cadeia de suprimentos.

O modelo matemático foi resolvido para derivar um sistema de equações diferenciais não lineares de atraso de tempo, caracterizando a dinâmica de preços em mercados de teias de aranha verticalmente interligados. Foi evidenciado que os atrasos decorrentes dos comprimentos desiguais dos ciclos de produção a montante e a jusante têm efeitos profundos na dinâmica dos preços. Além disso, melhorias na eficiência das tecnologias de produção a jusante desta cadeia de suplemento e declínios na sensibilidade dos consumidores aos preços levam a oscilações caóticas das cotações desses produtos.

Por fim, os autores concluíram que, caso as flutuações dos valores não derivem de fatores exógenos, intervenções políticas, tais como, subsídios à produção, suporte a preços e pagamentos por deficiência podem reduzir os efeitos prejudiciais das variações caóticas das cotações sobre os agricultores e consumidores, especialmente nos países pobres.

Novickyte (2018) chamou a atenção para o importante fato de que os mercados globalmente integrados são significativamente afetados pela dinâmica da produção internacional. Além disso, eventuais mudanças nos regulamentos governamentais podem ter um impacto expressivo na lucratividade das atividades rurais. O autor defende a minimização desta situação mediante a aplicação de estratégias de gerenciamento dos riscos observados na agricultura, que, dentre os quais, destacam-se:

- Mercado: variações nas quantidades de oferta e demanda do produto, que podem afetar diretamente o preço, renda e lucratividade; taxa de juros e de câmbio;
- Produção: condições climáticas, biológicas, ambientais e melhorias tecnológicas;
- Institucional: arcabouço jurídico, regulamentações comerciais e tributárias;
- Financeiro: acesso a empréstimos, seguro e estrutura de capital.

Picchione (2018), ao se deparar com o problema de que muitos pequenos produtores rurais experimentavam fluxos de caixa voláteis em torno dos ciclos de vida das culturas plantadas em Uganda, utilizou dinâmica de sistemas para modelar as relações transacionais entre agricultores e comerciantes. Com base em sua simulação, o autor concluiu que essas oscilações tinham causalidade com o fato de que os custos de produção eram concentrados e existiam atrasos no tempo de desenvolvimento das lavouras. Sendo assim, essa pesquisa ajudou a testar e explicar os efeitos de diferentes estratégias comerciais dos mercadores no equilíbrio dos meios de subsistência dos fazendeiros.

Fliehr *et al.* (2019) entrevistaram especialistas, calcularam valores teóricos e consultaram a literatura para afirmar que eventuais aumentos nos dispêndios com transporte da área produtora até o porto de Santos-SP podem afetar a lucratividade dos fazendeiros brasileiros de soja. Geralmente, estes problemas estão atrelados, principalmente, à ineficiência dos terminais expedidores, falta de armazenamento de grãos, excessiva dependência do modal rodoviário e condição ruim das estradas. A importância deste artigo está no fato de que não são apenas as variações internacionais nos preços que podem afetar os produtores rurais, mas as vezes, também fatores internos.

### **3.2.5. Lacunas encontradas na literatura**

Ressalta-se abaixo, novamente, (1) a pergunta de pesquisa e (2) os objetivos gerais deste trabalho, pois serviram de base para a criação dos seis tópicos (3) que foram utilizados como critério de seleção dos 14 artigos aproveitados nas Revisões 2 e 3. Portanto, conforme pode ser observado na Tabela 14, destaca-se que esta tese de doutorado preencheu a lacuna que se candidatou a completar, ou seja: aplicar um modelo de dinâmica de sistemas focado nas relações de causalidade entre oscilações dos preços da soja, lucratividade do produtor rural brasileiro e o comportamento das variáveis que formam o balanço de oferta e demanda por essa oleaginosa:

1. “Por que os preços da soja oscilam e como isso impacta a lucratividade dos produtores brasileiros e o comportamento da oferta e da demanda pelo produto?”
2. “Estudar as relações de causa e efeito entre as principais variáveis presentes no sistema de produção e comercialização da soja brasileira. Sendo assim, mediante um melhor entendimento sobre o funcionamento da estrutura deste mercado, pretende-se analisar os impactos da ocorrência de eventos relevantes, assim como implicações de políticas públicas e estratégias gerenciais”.
3. Tópicos considerados como critério de seleção dos artigos:
  - A. Se houve no artigo uma tentativa de se explicar **oscilações nos preços**;
  - B. Se foram abordados aspectos relativos à **lucratividade do produtor rural**;
  - C. Se utilizou como ferramenta de análise a **Teoria de Dinâmica de Sistemas**.
  - D. Se, em algum grau, foi analisado o comportamento de **causalidade** entre as variáveis presentes no **Balanco de Oferta e Demanda**;
  - E. Se o produto estudado foi a **soja**;
  - F. Se o **Brasil** apareceu como região protagonista da análise;

Tabela 14 - Lacunas encontradas na literatura

			TÓPICOS CONSIDERADOS NA INVESTIGAÇÃO					
Nº	Ano	Autor(es)	A	B	C	D	E	F
1	1977	Wolfe	X	X				
2	1989	Speech	X					
3	1994	Bisht <i>et al</i>	X	X	X	X	X	
4	2003	Nicholson e Fiddaman	X		X	X		
5	2008	Fafchamps e Hill	X	X				
6	2008	Bowden e Zhu	X	X				
7	2009	Osorio e Aramburo	X		X	X		
8	2009	Adl e Parvizian	X		X	X		
9	2015	Luckmann <i>et al.</i>	X	X				
10	2017	Kovacevic <i>et al.</i>	X	X		X		
11	2018	Chaudhry e Miranda	X					
12	2018	Novickyte	X	X		X		
13	2018	Picchione		X	X			
14	2019	Fliehr <i>et al.</i>		X			X	X
	2023	Esta tese de doutorado	X	X	X	X	X	X

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)



## 4. TEORIA DE DINÂMICA DE SISTEMAS

O presente capítulo tem como objetivo elucidar o leitor quanto aos principais conceitos da Teoria de Dinâmica de Sistemas, facilitando, assim, o entendimento a respeito da modelagem matemática que será apresentada posteriormente.

### 4.1. Teoria de Dinâmica de Sistemas

Em suma, esse conjunto de ferramentas conceituais ajuda a compreender a estrutura e a dinâmica de sistemas complexos. Na prática, com o auxílio de uma linguagem computacional própria, se constrói um modelo matemático com o objetivo de simular, ao longo de um período específico, os resultados das interações entre os elementos presentes em um sistema. A premissa central desta maneira de ver o mundo está baseada no entendimento de que o comportamento de um sistema é determinado por sua estrutura interna.

Dentro de um panorama histórico, é válido ressaltar que este arcabouço teórico foi formalmente introduzido na literatura pelo norte-americano *Jay Wright Forrester* em 1961, quando esse engenheiro eletricitista e professor do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) publicou o livro *Industrial Dynamics*. Em suma, sob uma perspectiva dinâmica, a obra abordou os ciclos de negócios em uma cadeia industrial de suprimentos.

*Jay Wright Forrester* viveu durante 98 anos e publicou diversas obras aclamadas, que guiaram os trabalhos de diversos pesquisadores que o sucederam e contribuíram com o tema. Entretanto, para introduzir o leitor desta tese de doutorado aos conceitos-chaves de Dinâmica de Sistemas que foram consolidados ao longo das últimas décadas, optou-se por utilizar-se como base de referência principal o clássico livro *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for Complex World*, sobretudo por sua didática apurada e abordagem aprofundada dos tópicos. A primeira edição desta obra foi escrita no ano de 2000 por um dos discípulos mais proeminentes de *Forrester*: *John David Sterman*, professor de administração de empresas do MIT.

É válido destacar que, além do supracitado Sterman (2000), também foram consultadas como fontes secundárias sobre os conceitos que são apresentados neste capítulo: o livro “*Introduction to computer simulation: a system dynamics modeling approach*”, de Roberts *et al.* (1983); o livro “*The fifth discipline*”, de Senge (1990); o livro “*Systems*

*thinking and modelling: understanding change and complexity*”, de Maani e Cavana (2000); o livro “*Competitive strategy dynamics*”, de Warren (2002); o livro “*Teoría y ejercicios prácticos de dinámica de sistemas*”, de Garcia (2003); o livro “*Limits to growth: the 30 year update*”, de Meadows et al. (2004); a dissertação de mestrado “*A indústria marítima mundial: uma análise sob a perspectiva da dinâmica de sistemas*”, de Santos (2007); a tese de doutorado “*A indústria da cana-de-açúcar: uma análise sob a perspectiva da dinâmica de sistemas*”, de Santos (2012); e o livro “*Desvendando sistemas*”, de Amaral (2012).

#### **4.2. Definição de Sistema**

Um sistema pode ser definido como um conjunto de elementos que estão interligados e interagem entre si seguindo normas pré-determinadas para formar um todo organizado, mesmo que complexo, e alcançar algum objetivo. Ademais, é válido salientar que é a estrutura interna de cada sistema, ou seja, as suas regras e a maneira na qual os seus elementos estão interligados, que determinam o seu próprio padrão de comportamento ao longo do tempo.

Pode ser citado como exemplo de sistema uma empresa composta por 3 diretorias diferentes: logística, comercial e recursos humanos. Esses elementos se inter-relacionam dentro de um ambiente hierárquico conhecido, com o propósito de alcançar alguns objetivos, tais como o retorno de lucro para o acionista e a sustentabilidade do negócio no longo prazo.

Para exemplificar melhor a ideia central de que o comportamento de um sistema é determinado pela sua estrutura interna, cita-se o fisiologismo existente em todas as esferas do poder público no Brasil. Isso é afirmado de forma empírica, já que, infelizmente, a prática da corrupção em nosso país é atemporal. Mesmo havendo eleições com frequência regular, nas quais parte significativa dos elementos deste sistema, que foram escolhidos anteriormente pela população, são substituídos por novos representantes, os atos ilícitos continuam a ser manchetes nos jornais.

Logo, pode-se dizer que é o *modus operandi* o principal responsável pela perpetuação da conduta criminosa de muitos políticos, ou seja, a culpa é da estrutura carcomida do sistema político brasileiro, onde, desde sempre, boa parte das decisões são tomadas não

com base no viés ideológico, mas sim na troca de favores. Ademais, soma-se a isso a sensação de impunidade atrelada à morosidade do poder judiciário.

Em suma, a seguir são listadas as características mais importantes encontradas em um sistema complexo, acrescidos de um exemplo que facilita o entendimento geral:

- **Dinamicidade:** é dinâmico, ou seja, está em constante movimento e muda de estado com o tempo, mesmo em uma escala tão grande que não seja possível para seus observadores atuais notarem as mudanças. Exemplo: o processo de nascimento, vida e morte de uma estrela;
- **Altamente acoplado:** seus elementos estão intimamente conectados, com fortes inter-relações entre si. Exemplo: o corpo humano;
- **Dirigidos pela retroalimentação:** é de onde nasce o caráter dinâmico de um sistema, ou seja, em função da demasiada acoplagem, as ações tomadas por um elemento têm repercussões com capacidade suficiente para atingir tanto ele próprio, como outra parte do sistema. Exemplo: a adoção de péssimos hábitos alimentares, com o passar do tempo, tende a formar placas de gordura nas paredes internas das artérias. Assim, quando um coágulo de sangue de tamanho relevante se desenvolve, a passagem de oxigênio pode ser abruptamente obstruída e o coração entra em processo de infarto, podendo levar a óbito todos os demais elementos que formam o sistema chamado de corpo humano;
- **Não linearidade:** a palavra “causa” significa o motivo para algo acontecer. Já “efeito”, diz respeito ao resultado gerado por esse acontecimento. Logo, todo efeito atual é gerado por uma causa passada, estabelecendo, assim, uma relação de causalidade. Em um sistema, é possível ainda que o efeito não tenha relação de linearidade com a causa, ou seja, ele pode ser desproporcional. Exemplos: (1) um incêndio florestal causado por uma bituca de cigarro lançada pela janela do carro de uma pessoa irresponsável; (2) o princípio de Pareto, no qual afirma-se que, para muitos eventos, aproximadamente 80% dos efeitos vêm de 20% das causas;
- **Dependência histórica:** as ações tomadas no passado podem influenciar o estado atual do sistema. Por ter memória, ele carregada ao longo do tempo os efeitos de causas anteriores. Exemplo: a adoção de políticas macroeconômicas desastrosas, provoca diversas situações indesejadas para um país depois de um certo período, tais como inflação descontrolada e o desemprego de milhões de pessoas;

- Auto-organizáveis: a organização surge espontaneamente dentro do sistema, em função das múltiplas interações entre os elementos, quando objetiva-se encontrar o equilíbrio e otimizar recursos escassos. Exemplo: uma colônia de abelhas;
- Adaptativo: os elementos presentes em um sistema aprendem com as suas experiências anteriores. Isso provoca uma mudança de percepção e faz com que ações adaptativas sejam tomadas, assim, o sistema é levado a um novo estado. Exemplo: *Walt Elias Disney*, que se reergueu após múltiplas falências para criar o maior império de entretenimento do mundo;
- Contraintuitivo: é quando uma ação realizada por um dos elementos do sistema, resulta em algo diferente do que, intuitivamente, era esperado. Exemplo: quando o Banco Central do Brasil entra no mercado para vender dólares de sua reserva cambial com o objetivo do Real se valorizar, mas, ao invés disso, a taxa de câmbio R\$/US\$ fica ainda mais depreciada;
- Resistência às mudanças: alguns elementos do sistema não são capazes de entender toda a magnitude das complexas relações de causa e efeito, sobretudo quando há demasiado intervalo temporal entre uma coisa e outra. Sendo assim, esses elementos relutam em aceitar alterações nas políticas vigentes. Exemplo: adoção de um novo software de gestão em uma empresa;
- *Trade-offs*: à cada escolha, uma renúncia. Principalmente em função dos atrasos que ocorrem no processo de *feedback*, uma intervenção em um sistema complexo tende a gerar resultados antagônicos no curto e no longo prazo. Frequentemente, as políticas de (1) alta alavancagem causam um comportamento pior antes de melhorar, enquanto políticas de (2) baixa alavancagem geram uma melhora transitória antes do problema degradingolar. Exemplos: (1) do ponto de vista ortodoxo, em tese, programas econômicos com alto grau de austeridade tendem a causar uma recessão inicial, entretanto, ao equilibrar as contas, o governo tende a ajudar a pavimentar o caminho para um crescimento sustentável e duradouro; (2) leis trabalhistas que visam beneficiar os trabalhadores com imediato aumento na quantidade de benefícios sociais ou, até mesmo, correções salariais desproporcionais a situação inflacionária contemporânea no país, resultarão, no longo prazo, no aumento das taxas de desemprego e de informalidade no mercado de trabalho.

### 4.3. Passo-a-passo para a construção de um modelo de Dinâmica de Sistemas

Em seu livro “*Business Dynamics: “Systems Thinking and Modeling for a Complex World”*”, o professor *John Sterman* (2000) ofereceu à literatura um roteiro bastante didático, composto por cinco passos extremamente úteis para guiar os modeladores no processo de abordagem de um problema utilizando a Teoria de Dinâmica de Sistemas:

- a) Articulação do problema a ser estudado;
- b) Formulação da hipótese dinâmica;
- c) Desenvolvimento do modelo de simulação;
- d) Testes quanto à robustez da modelagem desenvolvida;
- e) Formulação e avaliação das políticas propostas.

Conforme pode ser observado na Figura 27, embora extremamente útil, a razão de existir um roteiro sequencial para auxiliar os modeladores no processo de análise de um problema do mundo real, no qual se preconiza a Teoria de Dinâmica de Sistemas como ferramenta de abordagem, tem uma motivação meramente didática. Afirma-se isso pelo fato de que, no cotidiano, sabe-se que existe uma forte interação entre todos os cinco passos supracitados, ou seja, não necessariamente se respeita uma sequência linear. Isso fica evidente ao se observar os segmentos de reta desenhados no interior do esquema apresentado na Figura 27.

Posto isso, é válido destacar que essa possível não-linearidade evidenciada no roteiro exibido na Figura 27 pode ser salutar, dependendo do nível de maturidade e do rigor adotado pelo modelador que está debruçando esforços no processo de modelagem. O fato é que, frequentemente, sendo forçado a revisitar os passos anteriores em busca de ajustes que possam trazer melhorias ao modelo, o trabalho tende a ficar mais aderente ao ideal.

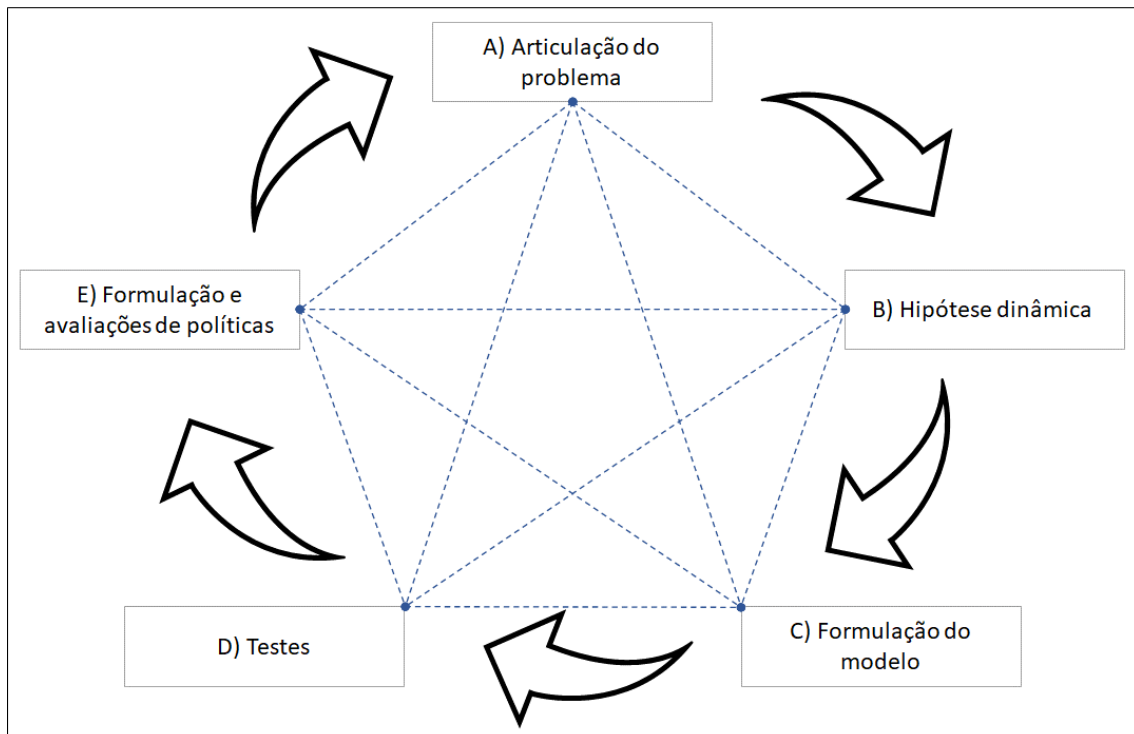


Figura 27 - Esquema do processo de modelagem em Dinâmica de Sistemas

Fonte: Adaptado de Sterman (2000)

Por fim, o objetivo dos subtópicos apresentados a seguir é exibir um resumo dos conceitos mais importantes que permeiam cada um dos passos do arcabouço supracitado. Julga-se pertinente esta abordagem, tendo em vista que é o itinerário que será adotado como plano de fundo no desenvolvimento do capítulo referente à modelagem e aplicação nesta tese.

#### 4.3.1. Passo 1: Articulação do problema

- Definir com exatidão o problema que está sendo estudado: basicamente, para que algum nível aceitável de sucesso seja atingido na modelagem utilizando a Teoria de Dinâmica de Sistemas, é fundamental que se consiga responder, indubitavelmente, duas questões: (1) qual é o problema que se está tentando resolver e (2) porque é importante que sejam gastos esforços para que ele seja estudado. Afinal, é válido lembrar o fato de que a vida é movida por perguntas, pois quando as respostas são alcançadas, já existem outros questionamentos;
- Identificar as variáveis-chave: por definição, qualquer modelo é uma representação simplificada da realidade. Sendo assim, o modelador precisa ser suficientemente astuto para selecionar apenas as variáveis e os conceitos, presentes no sistema real, que façam sentido na busca por respostas para o

problema que está sendo estudado e não no funcionamento do mundo como um todo;

- Definir o horizonte de tempo que será considerado na simulação: o mais inteligente é considerar um período que seja suficientemente longo para se capturar (1) o surgimento das raízes do problema que se está tentando resolver, assim como, (2) os eventuais resultados das políticas que serão propostas;
- Plotar o(s) modo(s) de referência: dentro do horizonte de tempo pré-definido, significa mostrar graficamente o padrão de comportamento dinâmico do problema que está sendo estudado. Em outras palavras, é a habilidade de deixar evidente em um gráfico como o problema surgiu e evoluiu ao longo do tempo. Ademais, cabe ressaltar que ele recebe esse nome devido ao fato de, ao longo de todo o processo, servir como uma referência para o sucesso da modelagem, já que as respostas do modelo à cada iteração devem imitar o que já ocorreu no passado.

#### **4.3.2. Passo 2: Formulação da hipótese dinâmica**

- Elencar uma hipótese inicial: o modelador deve sugerir uma teoria opinativa, ou seja, a sua suposição inicial para explicar a origem e o desenvolvimento do comportamento do problema estudado ao longo do tempo. Respectivamente, essa etapa recebe a alcunha de hipótese dinâmica, pelo fato de (1) ter caráter provisório, no sentido de estar sujeita a mudanças durante o amadurecimento do processo de modelagem; e (2) por buscar explicações dotadas de características dinâmicas, tais como retroalimentação e relações causais, para explicar o modo de referência (MR). Ademais, cabe destacar que é essa busca por validação das escolhas que dita a construção do modelo.
- Manter o foco endógeno: a formulação da hipótese dinâmica, que objetiva explicar o comportamento observado no modo de referência, deve estar exclusivamente pautada em variáveis e conceitos localizados dentro dos limites das fronteiras que foram determinadas para o sistema que está sendo estudado, ou seja, nas causas internas de retroalimentação.
- Mapear o problema: com base nas variáveis-chave, nas hipóteses dinâmicas iniciais, nos modos de referência e outros dados disponíveis, deve-se desenvolver mapas que reflitam a existência das estruturas de causalidade sugeridas. As ferramentas mais comuns para esse propósito são as seguintes:

- Tabela de limites do modelo: todas as variáveis consideradas para a análise são separadas em três categorias: (1) as endógenas; (2) as exógenas, ou seja, as que afetam o modelo, mas não são afetadas por ele; e (3) as excluídas, que mesmo tendo reconhecido grau de importância, serão ignoradas pois não fazem parte do foco atual do que se está modelando;
- Diagrama de subsistema: esta ferramenta é utilizada para dar ao projeto um ponto de vista macro, ou seja, para que a estrutura geral fique mais inteligível. Sendo assim, o modelo é setorizado em blocos de assuntos correlatos, nos quais estão os diversos módulos, também conhecidos como subsistemas;
- Diagrama causal: é um mapa contendo o conjunto de ciclos positivos e ou negativos inter-relacionados que é utilizado para representar as principais dinâmicas presentes em um sistema complexo;
- Diagrama de estoque e fluxo ou de *Forrester*: é o modelo matemático em si, ou seja, onde as equações são escritas. Logo, resultados objetivos das iterações entre as variáveis podem ser mensurados, o que permite o modelador tirar conclusões acuradas sobre as políticas sugeridas;

#### **4.3.3. Passo 3: Formulação do modelo de simulação**

Neste ponto do processo de simplificação da realidade, um modelo computacional é construído para se testar as hipóteses elencadas sobre o comportamento dinâmico do sistema em questão. Em suma, o que se faz na prática é combinar o diagrama de *Forrester* com um conjunto de equações diferenciais e integrais. Existem alguns *softwares* disponíveis no mercado para esse propósito. Na presente tese será utilizado o *Vensim*<sup>®</sup>, da fabricante norte-americana *Ventana Systems*. A seguir é apresentado um itinerário de como prosseguir na etapa de formulação do modelo de simulação:

- Especificar a estrutura do modelo, evidenciando as regras de decisão adotadas;
- Estimar os parâmetros, as relações comportamentais e as condições iniciais;
- Testar a consistência do modelo em relação aos seu propósito e limites.

#### **4.3.4. Passo 4: Testando o modelo desenvolvido**

Os resultados de um modelo só podem ser considerados úteis se eles forem confiáveis. Para alcançar essa chancela, é fundamental que ele seja exaustivamente testado. É válido



destacar a importância de que essas avaliações aconteçam durante todas as etapas do processo de modelagem, objetivando sempre verificar a aderência com o mundo real. A seguir é apresentado um resumo contendo os principais testes aos quais um modelo pode e deve ser submetido ao auditá-lo:

- Realizar a análise dimensional das variáveis, em busca de eventuais inconsistências matemáticas;
- Comparar o resultado do modelo com os modos de referência, verificando se há aderência entre o comportamento da curva gerada como *output* e o histórico;
- Verificar se o modelo apresenta robustez sob condições extremas, ou seja, se os resultados são coerentes quando testado com parâmetros extraordinários;
- Analisar a sensibilidade, isto é, verificar qual o comportamento do modelo em circunstâncias de incerteza para aspectos como: os parâmetros, as condições iniciais, os limites e as agregações.

#### **4.3.5. Passo 5: Concepção de políticas e avaliações dos resultados**

Depois de percorrer todos os passos supracitados, é esperado que o modelador já possua um modelo computacional que tenha êxito em imitar as dinâmicas do problema que existe no mundo real. Logo, é desejado que todo esse esforço seja útil para avaliar os impactos resultantes das medidas que serão propostas para resolver o problema que está sendo estudado através do modelo. A seguir é apresentado um resumo contendo as principais etapas necessárias ao processo de concepção de políticas e avaliações dos resultados:

- Estabelecer com clareza os cenários que serão considerados, tentando capturar as possíveis situações que podem surgir no ambiente no qual o modelo está inserido;
- Desenhar o projeto de políticas, onde estarão explicitadas as regras de decisão e as diferentes linhas de estratégia que poderão ser adotadas;
- Responder perguntas do tipo “e se...?”, visando avaliar quais são os efeitos das políticas sugeridas;
- Analisar a robustez das políticas recomendadas, sob a incerteza dos cenários e parâmetros assumidos, ou seja, realizar uma análise de sensibilidade;
- Verificar as interações entre as políticas, ponderando se há captura de sinergias ou apenas respostas compensatórias.

## 4.4. Conceitos básicos sobre modelagem utilizando a Teoria de Dinâmica de Sistemas

### 4.4.1. Relações de causalidade

Nos postulados da Teoria de Dinâmica de Sistemas, uma relação causal é a representação gráfica utilizada para demonstrar o relacionamento existente entre a causa e o seu efeito, aludidas, respectivamente, como variáveis X e Z nos exemplos desta seção. Sendo assim, X é a causa de Z quando ele é um requisito mandatório, mas não necessariamente suficiente, para o efeito existir. É válido ressaltar que, independentemente de vários outros fatores impactarem as variáveis X ou Z, o correto é analisar o sinal, que pode ser tanto positivo quanto negativo, de cada relação de causalidade individualmente, ou seja, em condições *ceteris paribus*.

Uma relação causal positiva entre as variáveis X e Z é representada por uma seta na cor azul saindo de X e apontando para Z, com um sinal de mais (+) nesta última extremidade, conforme pode ser observado na Figura 28. Nestes casos, significa que há uma relação do tipo diretamente proporcional, ou seja, se ocorrer uma variação na causa, o efeito também sofrerá uma variação no mesmo sentido e em uma magnitude diferente daquela que ele experimentaria se nada tivesse acontecido. Por exemplo, se o preço da soja (X) aumentar, os fazendeiros estarão propensos a plantar uma área maior de soja na próxima safra. O oposto também é verdadeiro, ou seja, com preços em patamares menores, o incentivo para aumentar a área plantada diminui.

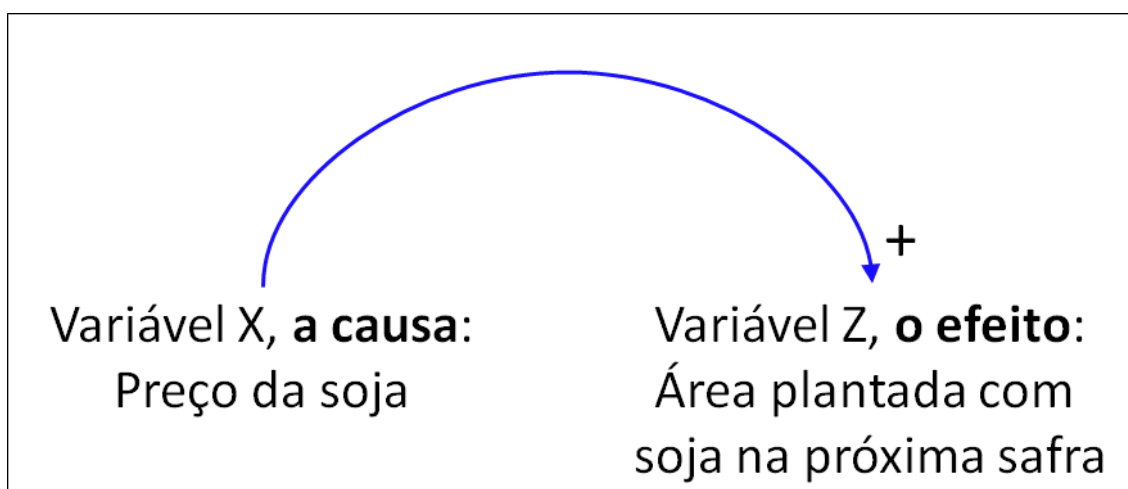


Figura 28 - Relação de causalidade positiva  
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Por outro lado, uma relação causal negativa entre outras variáveis X e Z é representada por uma seta na cor vermelha saindo de X e apontando para Z, mas com um sinal de menos (-) nesta última extremidade, conforme pode ser observado na Figura 29. Nestes casos, significa que há uma relação do tipo inversamente proporcional, ou seja, se ocorrer uma variação na causa, o efeito sofrerá uma variação no sentido oposto e em uma magnitude diferente daquela que ele experimentaria se nada tivesse acontecido. Por exemplo, se a produção de soja (X) aumentar, os preços deste produto (Z) tendem a sofrer uma diminuição. O oposto também é verdadeiro, ou seja, com menor disponibilidade de volume colhido, os preços tendem a subir.



Figura 29 - Relação de causalidade negativa  
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

#### 4.4.2. Diagrama causal

Anteriormente à fase de dispêndio de tempo e recursos para a construção de um modelo matemático robusto, utilizando um software de simulação e técnicas da Teoria de Dinâmica de Sistemas, com o intuito de resolver um problema, analisar os impactos de uma determinada ação ou entender melhor uma situação, é salutar a elaboração de um mapa sistêmico, também conhecido como diagrama causal.

As relações de causalidade sequenciais entre algumas das variáveis presentes em um sistema formam ciclos de realimentação, que podem ser (1) positivos, indicando uma relação diretamente proporcional, levando à um crescimento exponencial; ou (2) negativos, com relação assimétrica, que, no desejo por se atingir uma determinada meta, trazem estabilidade ou impõem limitações ao crescimento do sistema. Sendo assim, pode-

se definir um diagrama causal como o conjunto de ciclos positivos e ou negativos inter-relacionados que é utilizado para representar um modelo que descreve as dinâmicas presentes em um sistema complexo.

É válido ressaltar que, no interior de cada ciclo de realimentação, haverá a letra “R” ou “B”. Isso se faz necessário para facilitar a identificação da dinâmica presente em cada malha do sistema, ou seja, em cada ciclo. Esta representação indica o fenômeno de reforço ou balanceamento, respectivamente, presentes nos ciclos positivos e negativos.

Cabe observar que é inteligente construir um diagrama causal com o menor número possível de variáveis, centralizando as mais importantes e evidenciando quais são os limites pré-definidos para as fronteiras do sistema que está sendo estudado, ou seja, o que exatamente está sendo considerado na análise.

Destaca-se que um mapa sistêmico é considerado bem-sucedido, apenas quando transmite para os seus interlocutores um entendimento satisfatório das relações de causalidade que explicam o funcionamento da dinâmica em um sistema complexo. Sendo assim, é importante começá-lo pequeno e ir aumentando-o à medida que isso faça sentido, ou seja, até abranger todas as variáveis e dinâmicas que são realmente relevantes para o entendimento do sistema estudado.

Na Figura 30 pode-se observar um exemplo simples, mas intuitivo, da utilidade de um diagrama causal. Despretensiosamente, opta-se por iniciar a análise pela variável “preço da soja”. Logo, se ela sofrer uma variação positiva, ou seja, um aumento, isso fará com que a “área plantada com soja” na próxima safra também aumente, já que os produtores têm um incentivo para plantar mais. Quanto maior for a “produtividade da soja”, representando aqui uma síntese dos diversos fatores de produção envolvidos no sucesso do rendimento das lavouras, aliado ao aumento de área supracitado, fará com que maior seja o volume total de “produção de soja”. Por fim, respeitando os postulados de oferta e demanda, quanto maior for a disponibilidade de um bem, menor será o seu preço.

Dado que um impulso inicial positivo resultou para a variável “preço da soja” um impacto negativo, ficou caracterizado, assim, um ciclo de balanceamento, representado pela letra “B” no interior da Figura 30. Caso contrário, haveria a letra “R” e ter-se-ia uma malha de retroalimentação positiva, ou seja, de reforço, implicando em um crescimento exponencial.

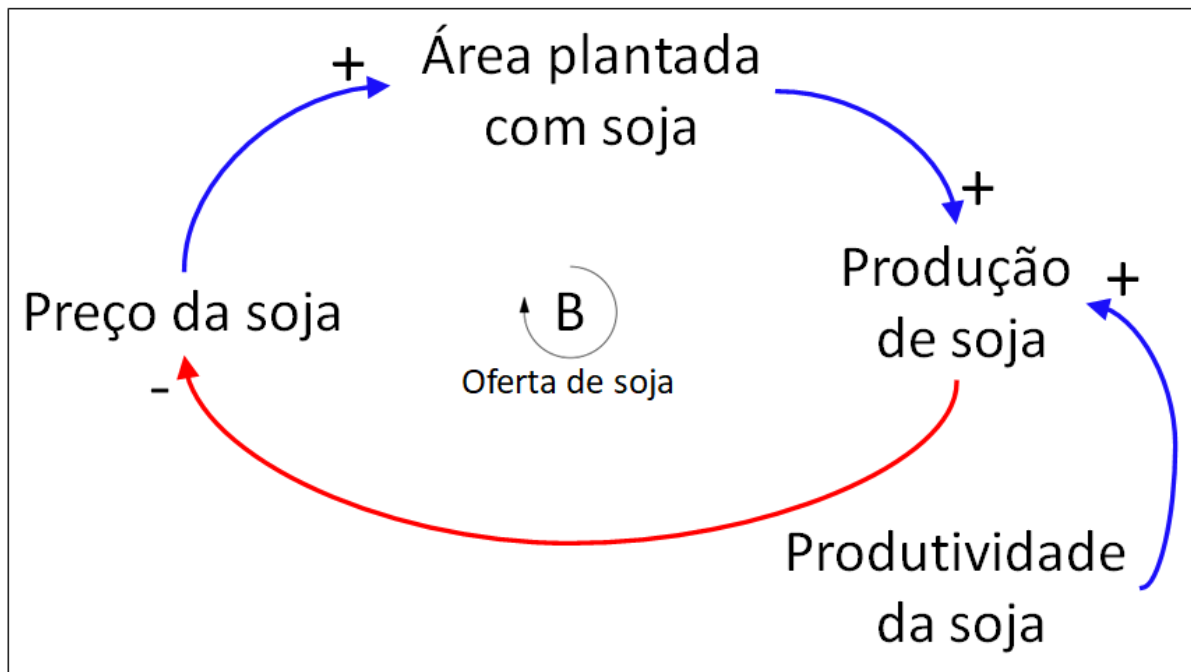


Figura 30 - Exemplo de diagrama causal

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Por fim, é válido destacar a peculiar relação de compensação existente entre as malhas de retroalimentação positivas e negativas presentes em um sistema. Respectivamente, sempre que um crescimento exponencial for observado, geralmente, haverá o surgimento espontâneo de um ou mais ciclos com o objetivo de trazer balanceamento ao sistema, ou seja, freá-lo. Logo, é essa alternância de domínio das malhas de retroalimentação que proporciona a dinâmica observada em um determinado sistema complexo.

#### 4.4.3. Diagrama de *Forrester* ou Diagrama de Estoques e Fluxos

Conforme discutido no item anterior, ficou evidente que um mapa sistêmico é uma ferramenta muito valiosa para auxiliar os modeladores, tanto a entenderem melhor o problema que está sendo analisado, quanto a se comunicarem de forma inequívoca com seus interlocutores. Isso acontece em função da didática identificação das principais malhas de retroalimentação que estão inter-relacionadas dentro das fronteiras do sistema.

Entretanto, esses diagramas de causalidade são limitados pelo fato de não terem um viés quantitativo, ou seja, não envolvem equações matemáticas capazes de evidenciar quais ciclos têm maior capacidade de alavancagem no sistema que está sendo estudado. Sendo assim, dentro deste contexto, surgiram os diagramas de estoque e fluxo, também

conhecidos como diagramas de *Forrester*, em homenagem ao famoso professor do MIT, considerado o pai da Teoria de Dinâmica de Sistemas.

Em suma, cabe destacar que o benefício fundamental da modelagem matemática utilizando o diagrama de *Forrester* em um software de simulação computacional, tal como o *Vensim*<sup>®</sup>, é testar as mais diversas hipóteses sobre o sistema complexo em análise e verificar o comportamento temporal das variáveis com base em números plotados em gráficos. Então, um modelo bem calibrado e validado proporciona uma compreensão mais acurada e palpável dos eventuais impactos que políticas propostas possam provocar no sistema em estudo. Somado a isso, tem-se ainda o benefício de não se criar externalidades negativas no mundo real. Em outras palavras, tenta-se responder perguntas do tipo “e se”.

Em um modelo computacional, concebido de acordo com os arcabouços da Teoria de Dinâmica de Sistemas, (1) os estoques são representados por retângulos e têm como objetivo mensurar algo que se acumula com o passar do tempo, ou seja, em qualquer momento, é possível saber o estado do sistema. Já (2) os fluxos são os responsáveis por causar variações nos estoques: uma operação matemática conhecida como integração. Respectivamente, eles são mensurados em “X” e “X ÷ unidade de tempo”. Por fim, (3) as variáveis auxiliares são todos os demais elementos que compõem o diagrama de *Forrester*.

Objetivando uma elucidação ainda mais completa sobre o diagrama de *Forrester*, cabe ressaltar que, por questões de conveniência no processo de modelagem, é possível estabelecer que determinados estoques são estáticos e chamá-los de variáveis auxiliares do tipo constante. Ademais, observa-se que os caracteres semelhantes ao desenho de uma nuvem representam estoques com conteúdo inesgotável.

Finalmente, na Figura 31, observa-se a tradução da Figura 30, ou seja, o diagrama de causalidade foi transformado em uma linguagem compatível com o diagrama de *Forrester*, onde pode-se inserir um conjunto de equações diferenciais e integrais para analisar o comportamento do modelo de um ponto de vista matemático. Neste exemplo simples, pode-se notar 3 regras básicas do ferramental da disciplina de Dinâmica de Sistemas: (1) os estoques apenas podem sofrer variações por influência dos fluxos; (2) mas também são capazes de afetar as variáveis auxiliares ou constantes; (3) que, por sua vez, são os parâmetros que têm a capacidade de influenciar a intensidade dos fluxos. Ou

seja, dada uma certa “taxa de nascimentos” positiva, quanto maior for a “população”, mais pessoas irão nascer. Por outro lado, quanto maior o “tempo médio de vida” considerado, menos pessoas irão morrer, sendo que a taxa de “mortes” também depende do tamanho da “população” e quanto maior ela for, menos pessoas existirão.

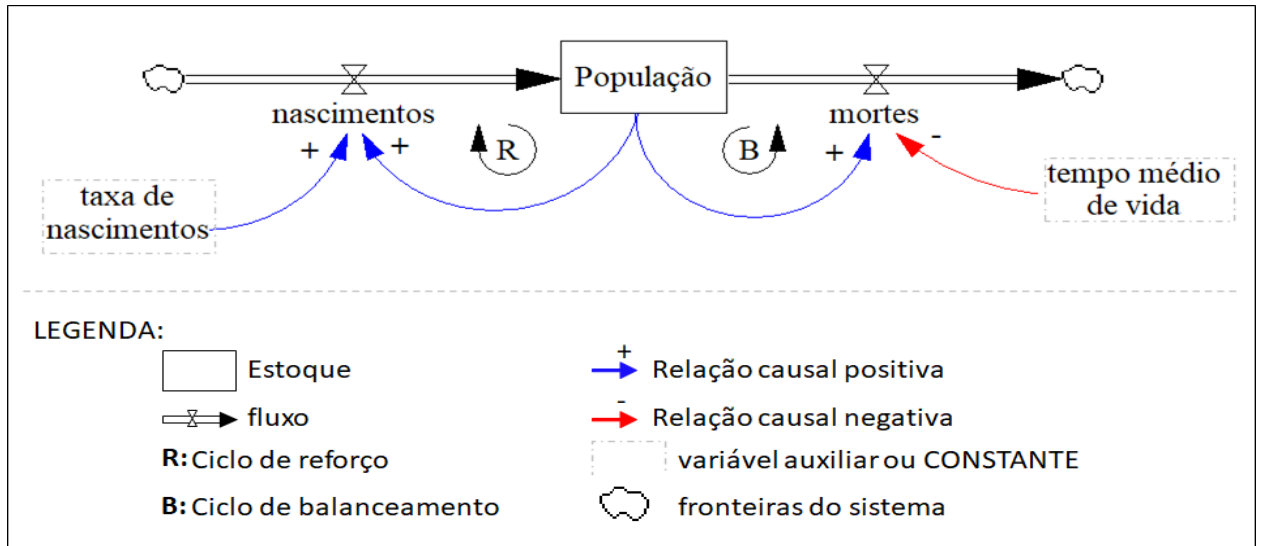


Figura 31 - Exemplo de diagrama de *Forrester*

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

## 5. MODELAGEM E APLICAÇÃO

O presente capítulo tem como objetivo apresentar ao leitor (1) a justificativa para a escolha do método de modelagem; (2) a hipótese dinâmica considerada para modelar o problema de pesquisa; (3) a tabela como os limites do modelo; (4) o diagrama de subsistemas, que objetiva mostrar, de uma maneira macro, o que foi estudado; (5) o diagrama causal, evidenciando os feedbacks de retroalimentação que foram supostos; (6) o diagrama de *Forrester*, que contém o modelo de simulação da tese. Neste caso, visando maior objetividade, apenas o Módulo 1 será explicado nesta seção. Os demais, podem ser encontrados nos apêndices; (6) a discussão dos resultados gerais; (7) e, por fim, os testes que foram feitos com o modelo.

### 5.1. Justificativa para a escolha do método de modelagem

Além de definir o que é um modelo, destacando as principais diferenças entre os tipos mental e computacional, apresenta-se sucintas descrições das metodologias mais comuns para abordagem de um problema com viés matemático: (1) eventos discretos; (2) simulação baseada em agentes; e (3) econometria. Por fim, é apresentada uma justificativa plausível de o porquê a Teoria de Dinâmica de Sistemas foi escolhida para responder à questão de pesquisa desta tese de doutorado.

#### 5.1.1. Definição de modelo

Independentemente se o assunto a ser abordado está inserido no campo das ciências sociais, biológicas ou exatas, é amplamente aceita a definição de que um modelo tem o objetivo de imitar uma situação do mundo real, com um desígnio específico e durante um certo período. Entretanto, isso acontece de forma simplificada, ou seja, expurgando-se os detalhes que não são essenciais para se entender os impactos gerados por uma ação de um elemento no sistema que se pretende estudar. Logo, pode-se dizer que, modelar é a arte de, corretamente, simplificar.

Para exemplificar a definição de modelo de forma cotidiana, cita-se a construção de uma maquete arquitetônica de um *shopping center* que ainda será edificado. O intuito é mostrar como esse empreendimento comercial ficará depois de pronto, ou seja, mesmo sem apresentar os detalhes da parte elétrica, hidráulica ou de como os produtos serão exibidos nas prateleiras das lojas, é possível ter uma ótima ideia das dimensões que o prédio terá em relação ao terreno onde será construído e a sua vizinhança.



Ainda utilizando o exemplo supracitado, destaca-se uma característica importantíssima de um modelo: ele é passível de ser simulado. Em outras palavras, é muito mais econômico e rápido analisar qualquer impacto no processo de construção da obra do *shopping center* utilizando a maquete arquitetônica do que ir construindo o empreendimento comercial e analisando os resultados.

Taxonomicamente, um modelo pode ser enquadrado em uma das duas macro categorias pré-estabelecidas na literatura, ou seja, ele pode ser do tipo físico, como o exemplo da maquete do *shopping center*, ou conceitual, tais como os modelos matemáticos que a NASA utiliza para calcular com precisão todos os aspectos envolvidos no lançamento de um foguete.

A Figura 32, produzida por Santos (2012), com base em *Forrester* (1961), oferece uma classificação comparativa bastante elucidativa sobre os tipos de modelos existentes. Em suma, independentemente se for enquadrado como físico ou abstrato, ele sempre terá ou caráter estático ou dinâmico, isto é, do tipo que apresenta alterações no comportamento do estado do sistema ao longo do tempo. Sendo assim, pode-se afirmar que os modelos conceituais são os protagonistas nos estudos que utilizam a Teoria de Dinâmica de Sistemas como ferramenta para se analisar um problema.

Em seguida, independentemente de um modelo ser descrito como dinâmico ou estático, ele será qualificado como linear ou não-linear. Cabe ressaltar que a imensa maioria dos sistemas observados na natureza apresentam relações de causalidade de caráter não-linear, ou seja, os efeitos são desproporcionais às causas. Como será visto mais adiante, essa característica é um dos pressupostos primordiais dos sistemas complexos, já que os resultados das interações entre seus elementos podem não apresentar um único sentido, desencadeando em múltiplos cenários finais possíveis.

Entretanto, é curioso o fato de que, geralmente, a maioria dos sistemas presentes no mundo real, quando modelados, são retratados como se tivessem caráter linear, ou seja, admitindo-se que os efeitos são proporcionais às causas. Muitas são as razões pelas quais isso acontece, com destaque para a limitação do ser humano em pensar complexamente e que tal modelagem é útil como a primeira tentativa de se entender o comportamento do sistema, mesmo que de forma menos precisa. Por fim, tanto um modelo rotulado como não-linear quanto um do tipo linear, ainda pode ser caracterizado com a alcunha de caráter estável ou instável.

Em suma, pode-se dizer que o modelo proposto para estudar o problema apresentado nesta tese de doutorado é do tipo abstrato, ou seja, matemático, dinâmico e não-linear, sendo uma representação mais realística do comportamento das corporações e da economia, conforme destacado por Santos (2012).

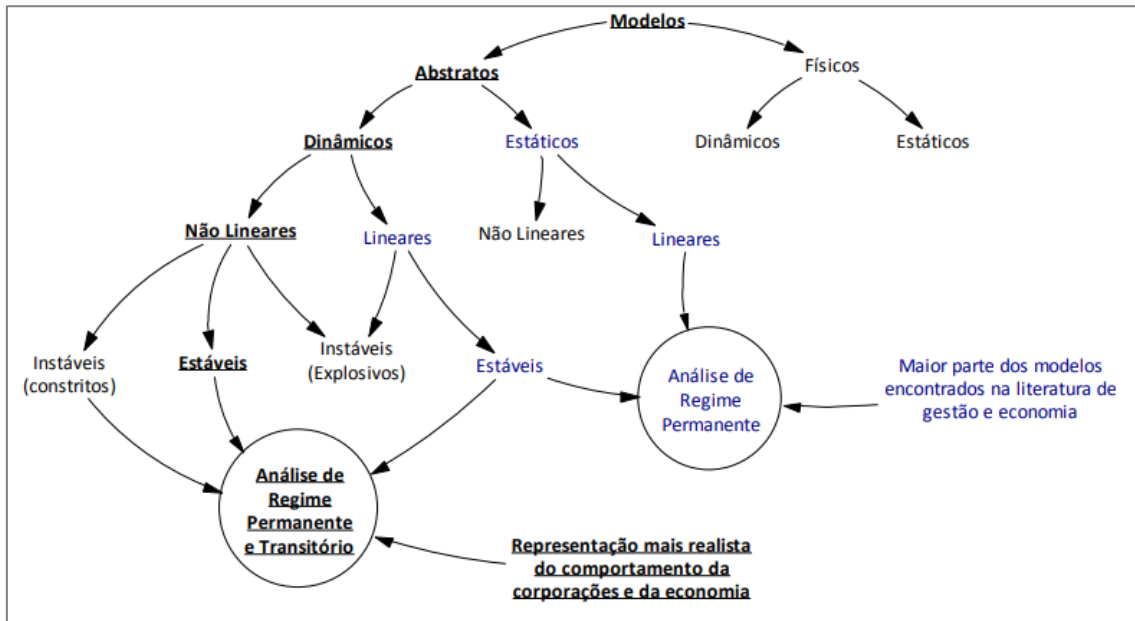


Figura 32 - Classificação dos modelos

Fonte: Santos (2012)

### 5.1.2. Antagonismos entre modelos mental e de simulação computacional

Em primeiro lugar, é válido ressaltar que, antagonicamente à opção computacional, existem os modelos mentais, que podem ser definidos como o conjunto de interpretações, adquiridas por meio de experiências passadas, que cada ser humano possui para organizar e dar sentido ao seu entendimento a respeito do funcionamento do mundo real. Em outras palavras, são pressupostos, generalizações ou mesmo imagens arraigadas que influenciam a maneira que cada tomador de decisão age, mesmo que de forma inconsciente.

Entretanto, é importante ressaltar algumas das limitações mais importantes dos modelos mentais: (1) eles são baseados no que cada indivíduo acredita ser a verdade sobre uma determinada realidade, mas isso nem sempre está correto; (2) são incompletos, dada a capacidade limitada da mente humana; (3) é praticamente impossível garantir que as demais pessoas compreendam todos os detalhes, já que esse tipo de abordagem não é devidamente documentada; (4) as fronteiras do sistema estudado não são bem definidas; (5) e nem sempre todas as hipóteses assumidas são auditáveis, fazendo com que os erros passem despercebidos.

Enfim, fica claro que um modelo mental não é um candidato eficaz para abordar o problema complexo estudado nesta tese de doutorado. Logo, resta recorrer à um modelo matemático do tipo dinâmico, com o auxílio da simulação computacional. Então, a seguir são apresentadas sucintas descrições das metodologias candidatas à essa abordagem, seguido da justificativa da escolha.

Para uma discussão mais aprofundada sobre modelos mentais, recomenda-se as leituras de Senge (1990): *The fifth discipline: the art & practice of the learning organization*; Ford (1999): *Modeling the environment: an introduction to system dynamics modeling of environmental systems*; e Wind *et al.* (2005): *A força dos modelos mentais*.

### **5.1.3. Simulação de eventos discretos**

Conforme descrito por Varga (1999), essencialmente, modela-se utilizando essa técnica quando se considera que as operações de um determinado sistema são sequências de eventos discretos no tempo, ou seja, cada fato acontece em um instante específico de tempo, marcando, assim, uma mudança de estado no sistema. Sendo assim, essa consagrada abordagem não parece atender as necessidades desta tese de doutorado.

### **5.1.4. Simulação baseada em agentes**

Segundo Wilensky e Rand (2015) este arcabouço teórico pode ser considerado um paradigma de modelagem computacional, pois atribui-se comportamento independente a um conjunto de componentes, os chamados agentes. Também é possível descrever os possíveis comportamentos que desses elementos poderão adotar, assim como as regras de iterações entre eles e as informações percebidas no ambiente. Dado as características intrínsecas a este ferramental, aliadas à necessidade de detalhamento das informações de entradas e o esforço de processamento requerido, essa parece não ser a técnica indicada para abordar o problema estudado nesta tese de doutorado.

### **5.1.5. Econometria**

Esta técnica oriunda das ciências econômicas é definida por Gujarati (2004) como o conjunto de ferramentas estatísticas utilizadas com o propósito de se entender, empiricamente, as relações entre as variáveis. Uma crítica importante à essa técnica, e que, a princípio, a desqualifica como opção de abordagem ao problema elencado nessa tese de doutorado, está no fato de que quando uma variável é de difícil manipulação e/ou os seus dados não estão disponíveis de forma estruturada para ser incluída em um modelo

matemático, geralmente, o analista opta por excluí-la. Isto pode implicar em uma eventual abrupta simplificação da realidade, o que não é desejável. Sendo assim, em comparação com a teoria de dinâmica de sistemas, pode-se dizer não possui as mesmas vantagens presentes nos modelos classificados como recursivos.

#### **5.1.6. Método adotado nesta tese de doutorado**

Recapitulando, o objetivo desta tese é “estudar as relações de causa e efeito entre as principais variáveis presentes no sistema de produção e comercialização da soja brasileira. Sendo assim, mediante um melhor entendimento sobre o funcionamento da estrutura deste mercado, pretende-se analisar os impactos da ocorrência de eventos relevantes, assim como implicações de políticas públicas e estratégias gerenciais”. Então, é razoável considerar que este problema apresenta as seguintes características:

- **Estratégico:** tem participação relevante no valor agregado do PIB; forte contribuição para formação do superávit da balança comercial e tem melhorado a qualidade de vida das pessoas que moram em cidades produtoras de soja;
- **Multidisciplinar:** exige a concatenação de diferentes áreas do conhecimento, tais como economia (receita, custo, lucro, taxa de câmbio etc.), agronomia (produção agrícola, produtividade, abertura de novas áreas etc.), comércio exterior (exportação e importação) etc.;
- **Complexo:** envolve vários atores tomando decisões concomitantemente, tais como produtores rurais, compradores e vendedores de soja, fábricas de produção de ração para aves, suínos e bovinos etc.;
- **Lapso de informações:** nem todos os dados necessários existem de uma maneira estruturada e/ou acessível.

Posto isto, é válido concluir que um modelo matemático, desenvolvido com os postulados da Teoria de Dinâmica de Sistemas, seria o mais conveniente a ser construído e simulado visando obter conclusões confiáveis sobre o comportamento que o sistema real estudado nesta tese de doutorado experimentaria. Destaca-se que o intuito principal não é prever detalhadamente o futuro, mas sim enriquecer o nível de entendimento dos envolvidos, identificando a efetividade das políticas propostas à medida que os pontos de alavancagem do sistema são identificados.

## 5.2. Hipótese dinâmica

A hipótese dinâmica foi desenvolvida para estudar o problema de pesquisa desta tese de doutorado: “**Por que os preços da soja oscilam e como isso impacta a lucratividade dos produtores brasileiros e o comportamento da oferta e da demanda pelo produto?**”

Recapitulando o que foi explicado no capítulo 5, formular uma hipótese dinâmica significa sugerir uma teoria opinativa, as vezes até provisória, para explicar a origem e o desenvolvimento do comportamento do problema estudado ao longo do tempo, que se torna evidente através dos modos de referência. Além disso, a formulação deve estar exclusivamente pautada em variáveis e conceitos endógenos. Sendo assim, tem-se:

- Seguindo uma perspectiva Keynesiana, **(1) a oferta brasileira de soja é puxada pela demanda internacional, sobretudo a chinesa.** Observou-se nas últimas décadas um aumento da renda per capita e da taxa de urbanização na China. Isso gerou mudanças nos hábitos alimentares da população, impulsionando o consumo de proteína animal, principalmente oriundas da carne suína e de frango. A composição da ração que esses animais comem para engordar tem como um dos principais ingredientes o farelo de soja. Sendo assim, como este país asiático é deficitário na produção desta oleaginosa, as importações são mandatórias. O Brasil, por sua vez, é uma nação com vocação agrícola, pois dispõe de terra arável e capacidade técnica para fornecer esta matéria-prima em larga escala. Entretanto, **(2) o produtor rural brasileiro é incentivado a aumentar ou diminuir a oferta deste grão em função da sua expectativa de lucro com a atividade,** comparando-o com o custo de oportunidade, além de analisar os resultados obtidos nos últimos anos, pois está propenso a repetir a estratégia caso esteja acumulando sucessos. Essa oscilação acontece ao se decidir investir mais ou menos recursos para variar a área plantada e/ou melhorar a produtividade desta leguminosa.

Sendo assim, de uma maneira didática e seguindo o *modus operandi* apregoado pela Teoria de Dinâmica de Sistemas, os tópicos a seguir explicam (1) a tabela de limites do modelo, assim como; (2) a sua setorização, com os respectivos subsistemas; (3) e o diagrama causal. Então, ficarão evidentes as hipóteses dinâmicas que foram elencadas.

### 5.3. Tabela de limites do modelo

Modelar é a arte de, corretamente, simplificar a realidade. Entretanto, é honesto mencionar que todo modelo tem um certo grau de subjetividade, pois, por melhor que seja, sempre será apenas a visão de mundo de quem o construiu. Por isso, é importante que em um projeto desenvolvido no âmbito da Teoria de Dinâmica de Sistemas haja o que se convencionou chamar de tabela de limites do modelo, onde, através da apresentação das variáveis/conceitos que foram considerados, estarão documentadas as principais limitações do trabalho. Assim, o leitor pode ter uma percepção mais apurada sobre o que realmente foi considerado na modelagem desenvolvida.

Ressalta-se que, (1) visando deixar o texto principal mais objetivo, as explicações e os gráficos/tabelas através dos quais essas variáveis/conceitos são apresentadas podem ser encontradas no Apêndice H da tese; (2) apesar do modelo ter sido construído em uma base anual, algumas das informações são propositalmente exibidas considerando-se as variações mensais dos seus valores, pois acredita-se que isso enriquece o material. Sendo assim, a Tabela 15 apresenta a seguinte divisão:

- Variáveis endógenas: estão incluídas dentro das fronteiras do estudo. Os seus valores são calculados ao longo do processo de simulação, pelas interações que acontecem entre as equações definidas no modelo. É válido ressaltar que toda constante também é considerada dentro deste grupo;
- Variáveis exógenas: elas afetam o modelo, mas não podem ser afetadas;
- Variáveis excluídas: têm as suas respectivas importâncias no mundo real, mas não fazem parte do escopo que está sendo estudado no momento. Além disso, servem como pontos de sugestões, os quais outros pesquisadores podem adotar em futuras fases de expansão da presente empreitada.

Tabela 15 - Tabela de limites do modelo

Nº	Variáveis endógenas	Unidade	Nº	Variáveis exógenas	Unidade	Nº	Variáveis excluídas
1	Área agricultável do Brasil	MHa	1	Consumo doméstico de soja no Brasil	Mt/ano	1	Aspectos ambientais
2	Área plantada com soja no Brasil	MHa/ano	2	Custos de produção de soja no Brasil	US\$/ton	2	Especuladores atuando na CBOT
3	Cobertura de estoque Brasil	Mt/ano	3	Demanda chinesa por proteína animal	Mt/ano	3	Fatores políticos nacionais
4	Competitividade da soja brasileira	adimensional	4	Demanda total de soja de outros países	Mt/ano	4	Leis tributárias
5	Competitividade média da soja de outros países	adimensional	5	Estoques de soja em outros países	Mt/ano	5	Logística de escoamento até o porto
6	Decisão da China sobre de onde importar soja	adimensional	6	Expectativa de lucro de culturas concorrentes	adimensional	6	Impacto de outras culturas
7	Decisão do produtor brasileiro sobre área plantada	adimensional	7	Fatores geopolíticos	adimensional		
8	Demanda Chinesa por soja	Mt/ano	8	Importações de soja do Brasil	Mt/ano		
9	Demanda total pela soja do Brasil	Mt/ano	9	Investimento em tecnologia pelo produtor	adimensional		
10	Despesas portuárias (Fobblings)	US\$/ton	10	Margem de esmagamento da soja na China	US\$/ton		
11	Efeito do lucro sobre a decisão do produtor	adimensional	11	Oferta total de soja de outros países	Mt/ano		
12	Estoque de soja na China	Mt/ano	12	Preço da soja na CBOT	US\$/ton		
13	Estoque de soja no Brasil	Mt/ano	13	Preço do frete do porto até a fazenda	US\$/ton		
14	Estoque inicial de soja no Brasil	Mt	14	Preço do frete marítimo das origens de soja até a China	US\$/ton		
15	Exportações de soja do Brasil	Mt/ano	15	Preço do prêmio da soja em outros países	US\$/ton		
16	Lucro dos produtores de soja no Brasil	US\$/ton	16	Produtividade da soja no Brasil	Mt/Mha		
17	Margem de lucro das tradings	adimensional	17	Regularidade climática no Brasil	adimensional		
18	Oferta total de soja no Brasil	Mt/ano	18	Regularidade na importação de insumos	adimensional		
19	Preço da soja ao produtor brasileiro	R\$/ton	19	Taxa de câmbio R\$/US\$	R\$/US\$		
20	Preço da soja CIF da soja Brasil na China	US\$/ton	20	Taxa líquida de crescimento populacional na China	adimensional		
21	Preço da soja CIF da soja de outros países na China	US\$/ton	21	Taxa líquida de urbanização da China	adimensional		
22	Preço da soja FOB no Brasil	US\$/ton					
23	Preço da soja FOB nos outros países	US\$/ton					
24	Preço do prêmio da soja no porto brasileiro	US\$/ton					
25	Produção de soja do Brasil	Mt/ano					
26	Produção de soja reservada para sementes no Brasil	Mt/ano					
27	Quebra técnica da produção de soja no Brasil	Mt/mês					
28	Receita dos produtores de soja no Brasil	R\$/ton					
29	Ritmo de comercialização da soja pelos produtores brasileiros	Mt/ano					
30	Variação anual de área com soja no Brasil	MHa/ano					
31	Volume comercializado de soja no Brasil	Mt/ano					

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

#### 5.4. Diagrama de subsistemas

A ideia da Figura 33 é apresentar uma visão macro sobre a estrutura do que foi modelada para estudar o problema de pesquisa da tese. Deste modo, as variáveis são aglutinadas em setores considerados chaves. Evidencia-se também os fluxos de compartilhamento de informação, de recursos financeiros e do produto soja em si. Abaixo há uma explicação sucinta sobre os setores que foram considerados:

- Preço CBOT: as informações fornecidas, tanto pelos compradores quanto pelos vendedores, alinham as expectativas responsáveis por formar o preço de equilíbrio da soja no mercado internacional. A variação desse valor estimula e/ou desestimula a demanda e a oferta pelo produto.
- Oferta Mundial: para as intenções do modelo proposto, a disponibilidade global da soja é formada pela informação da soma dos volumes oferecidos pelo (1) Brasil e (2) resto do mundo.
- Demanda Mundial: para as intenções do modelo proposto, a procura global por soja é formada pela informação da soma dos volumes demandados pela (1) China e (2) resto do mundo.
- Oferta do Brasil: inclui (1) as plantações de soja e (2) as tecnologias e (3) insumos utilizados nesse processo, (4) a regularidade do clima, (5) as terras aráveis e o (6) ritmo de venda do produto pelos fazendeiros. Esse setor oferece informação para compor o total da oferta mundial de soja para outros países através das exportações. De acordo como foco do presente estudo, deu-se ênfase apenas para a China, da qual o Brasil recebe dinheiro como pagamento e remunera os produtores rurais, ao ponto de eles decidirem se irão aumentar ou diminuir a oferta do ano seguinte. O preço dessa oleaginosa em um porto brasileiro depende da informação de quanto a soja está sendo valorada na bolsa CBOT.
- Oferta de outros países: para as intenções do modelo proposto, a disponibilidade de soja no resto do mundo é formada pela informação dos volumes oferecidos por todos os países produtores, como exceção do Brasil. O preço dessa oleaginosa em um porto de um determinado país depende da informação de quanto a soja está sendo valorada na bolsa CBOT.
- Demanda da China: agrega toda a dinâmica interna responsável por formar a decisão sobre onde e quando comprar a soja, com destaque para: (1) as taxas líquidas de



crescimento populacional e (2) urbano, (3) a variação do PIB *per capita*, (4) as mudanças dos hábitos alimentares da população, (5) as políticas públicas de estoque de segurança e (6) a margem de lucro com esmagamento. O preço dessa oleaginosa em um porto chinês depende da informação de quanto a soja está sendo valorada na bolsa CBOT. De acordo como foco do presente estudo, deu-se ênfase apenas as compras oriundas do Brasil, o qual recebe dinheiro e entrega soja.

- Demanda dos outros países: para as intenções do modelo proposto, a procura por soja pelo resto do mundo é formada pela informação dos volumes demandados por todos os países compradores, como exceção da China. O preço dessa oleaginosa em um porto de um determinado país depende da informação de quanto a soja está sendo valorada na bolsa CBOT.

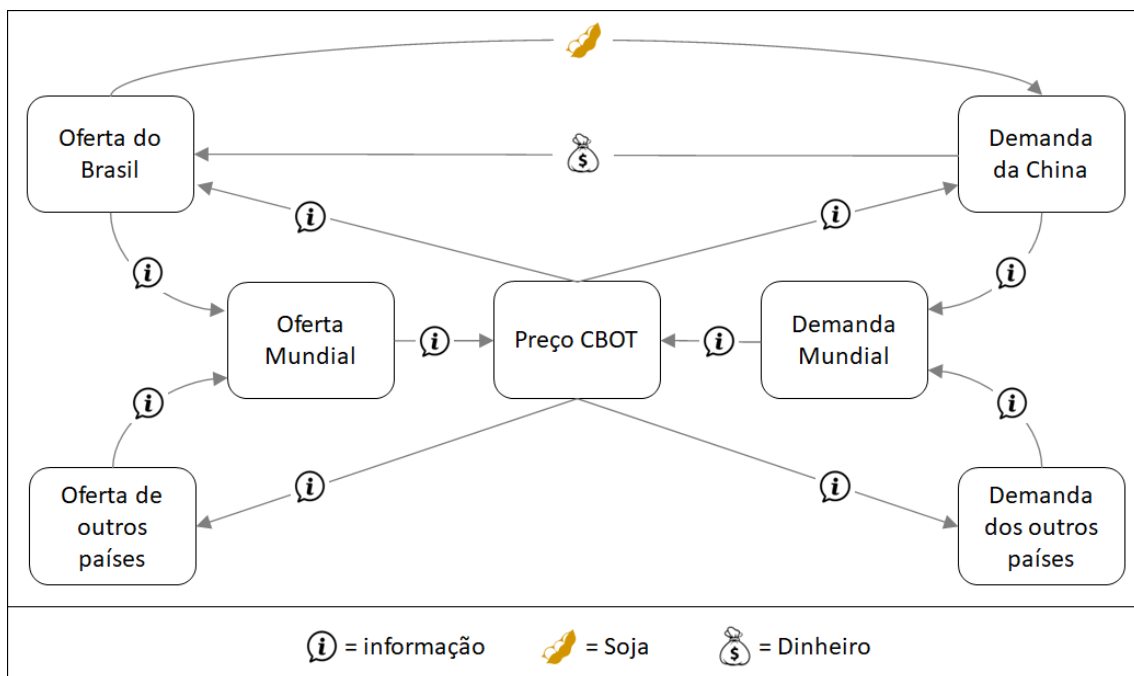


Figura 33 - Diagrama de setores do modelo

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

### 5.5. Diagrama causal

O diagrama da Figura 34 foi elaborado com o propósito de apresentar as relações causais identificadas durante a tentativa de se responder à pergunta de pesquisa desta tese de doutorado. Sendo assim, pode-se observar o conjunto de malhas de realimentação positivas e negativas que se inter-relacionam para representar as principais dinâmicas presentes neste sistema complexo, as quais são descritas abaixo.

É válido ressaltar que, seguindo as definições formais da Teoria de Dinâmica de Sistemas, uma relação causal positiva entre quaisquer duas variáveis significa que há uma relação do tipo diretamente proporcional, ou seja, se ocorrer uma variação na causa, o efeito também sofrerá uma variação no mesmo sentido e em uma magnitude diferente daquela que ele experimentaria se nada tivesse acontecido.

Por outro lado, uma relação causal negativa entre quaisquer duas variáveis significa que há uma relação do tipo inversamente proporcional, ou seja, se ocorrer uma variação na causa, o efeito sofrerá uma variação no sentido oposto e em uma magnitude diferente daquela que ele experimentaria se nada tivesse acontecido.

Entretanto, durante a descrição das diversas malhas que serão apresentadas neste capítulo, visando deixar o texto mais leve para o leitor, optou-se por simplificar e escrever apenas que se uma variável aumenta ou diminui, a outra aumenta ou diminui o seu valor.

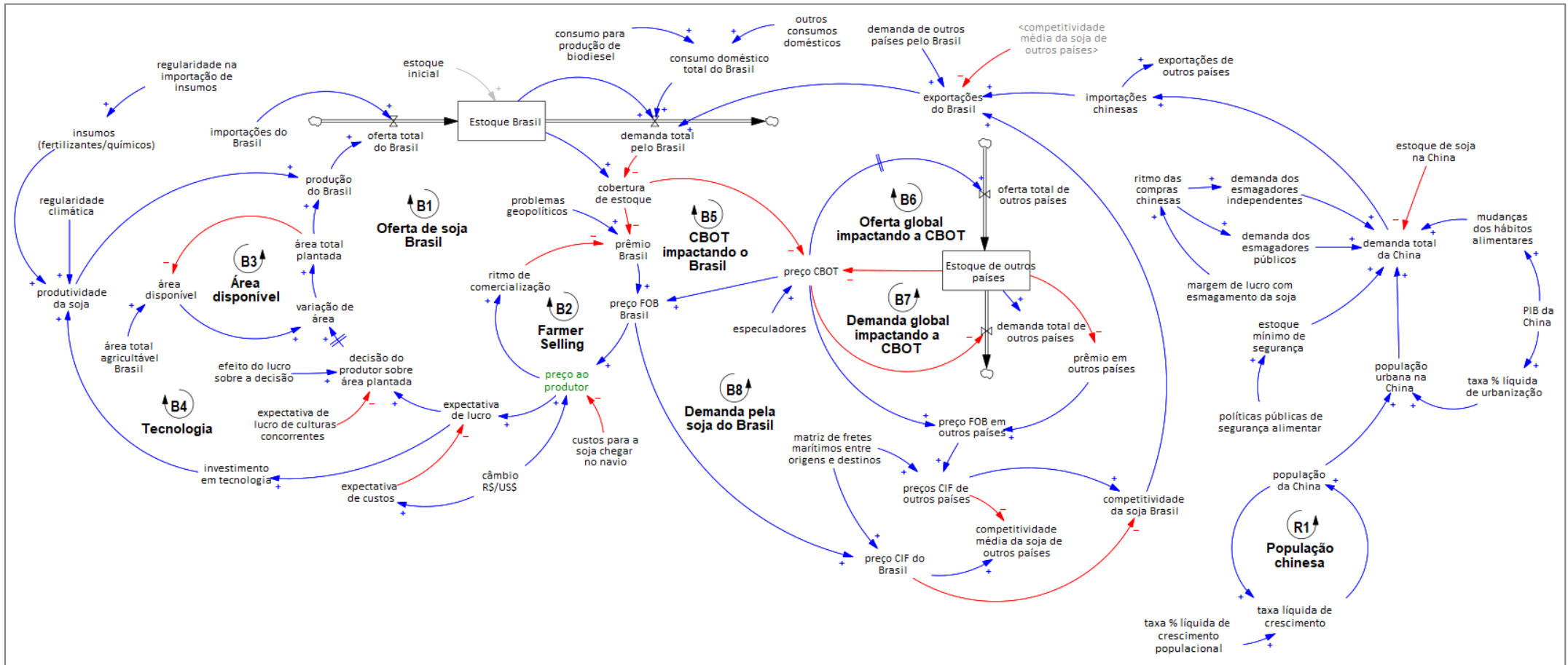


Figura 34 - Diagrama causal do problema de pesquisa

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

### 5.5.1. Malha de balanceamento B1: Oferta de soja Brasil

Conforme pode ser observado na Figura 35, admitindo-se um acréscimo na variável “área total plantada”, tem-se um aumento na “produção do Brasil”; por sua vez, haverá um crescimento da “oferta total do Brasil”. Conseqüentemente, o “Estoque Brasil” crescerá, assim como a “cobertura de estoque”, diminuindo o “prêmio Brasil”, levando a uma redução do “preço FOB Brasil” ofertado nos portos e do “preço ao produtor” no interior do país. Deste modo, se notará uma diminuição na “expectativa de lucro” do fazendeiro. Sendo assim, haverá uma menor propensão do proprietário da terra em expandir o seu negócio quando a “decisão do produtor sobre área plantada” para a próxima safra for tomada, impactando a “variação de área” na mesma direção. Inclusive, esta pode até diminuir em relação ao ano anterior. O atraso envolvido é representado pela linha tracejada cruzando o seguimento de reta que indica a relação de causalidade supracitada. Por fim, tem-se um arrefecimento na quantidade adicional de “área total plantada” com soja na temporada seguinte, colaborando para uma menor “produção do Brasil”. Como B1 é um ciclo de balanceamento, o resultado da análise seria o oposto se no começo do exercício fosse proposto um decréscimo na variável “área total plantada”.

Comentários sobre as variáveis que estão fora do ciclo B1, mas o impactam:

- Um acréscimo nas “importações do Brasil” culmina em um aumento na “oferta total do Brasil”. Por outro lado, um decréscimo nas “importações do Brasil” geraria uma diminuição na “oferta total do Brasil”.
- A variável “estoque inicial” representa o volume de soja existente no país no início de uma análise. Na prática, é a quantidade que não foi utilizada no período anterior.
- Um aumento nos “custos para a soja chegar no navio”, tais como o preço do frete da fazenda até o porto e o Fobbings, faz com que o “preço ao produtor” diminua. O oposto é verdadeiro.
- Uma valorização da taxa de “câmbio R\$/US\$” provoca um aumento do “preço ao produtor” e na “expectativa de custos, já que muitos insumos produtivos são importados, com destaque para os fertilizantes. O oposto é verdadeiro.
- Um aumento na “expectativa de custos” provoca uma diminuição na “expectativa de lucro”. O oposto é verdadeiro.
- “Problemas geopolíticos” afeta o “prêmio Brasil” na mesma direção.

- A “decisão do produtor sobre área plantada” com soja oscila no mesmo sentido que a função calculada para o “efeito do lucro sobre a decisão”, mas no sentido contrário do que acontece com a “expectativa de lucro de culturas concorrentes”. Os opostos são verdadeiros.

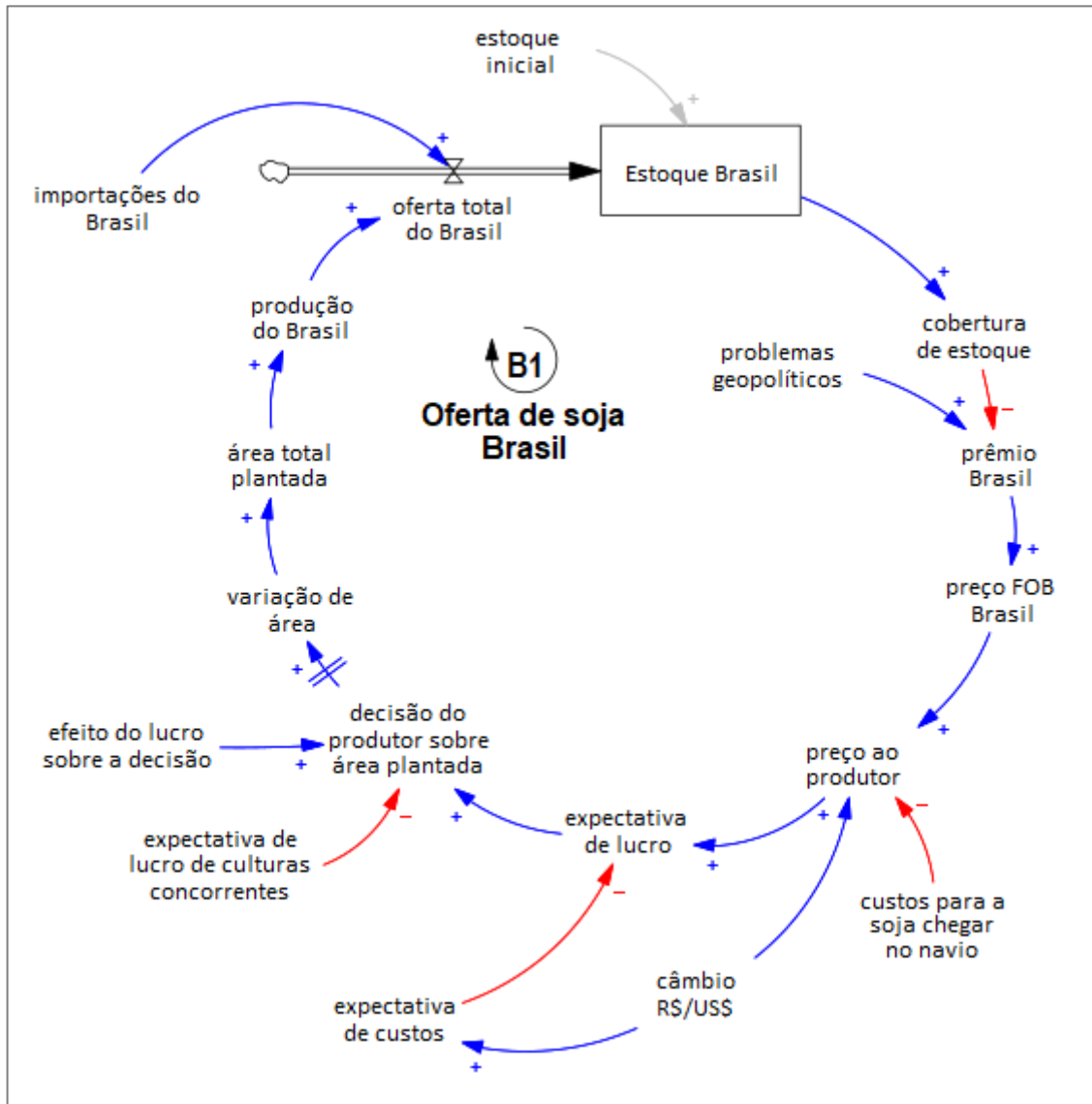


Figura 35 - Diagrama causal da malha de balanceamento B1: Oferta de soja Brasil  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

### 5.5.2. Malha de balanceamento B2: *Farmer Selling*

Conforme pode ser observado na Figura 36, admitindo-se que o “ritmo de comercialização” de soja no interior do país esteja acima do nível desejado pelos compradores, o “prêmio Brasil” irá diminuir, pois não é necessário oferecer mais dinheiro pelo produto dos fazendeiros naquele momento. Deste modo, o “preço FOB Brasil” e o “preço ao produtor” irão diminuir. Assim sendo, haverá uma redução no “ritmo de

comercialização”. Como B2 é um ciclo de balanceamento, o resultado da análise seria o oposto se no começo do exercício fosse proposto um decréscimo no “ritmo de comercialização” observado.

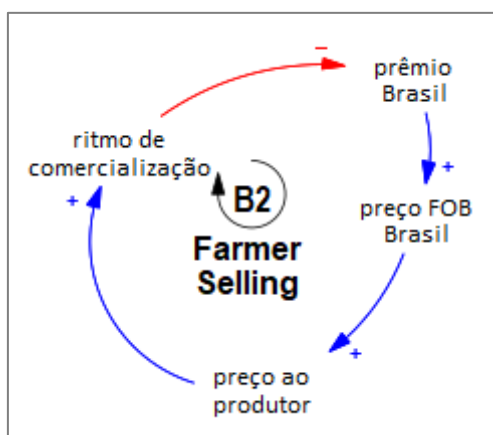


Figura 36 - Diagrama causal da malha de balanceamento B2: Farmer Selling  
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

### 5.5.3. Malha de balanceamento B3: Área disponível

Conforme pode ser observado na Figura 37, admitindo-se um acréscimo na variável “área total plantada”, tem-se uma diminuição na “área disponível” para o plantio de soja, assim sendo, haverá uma diminuição no potencial da “variação de área” que o produtor poderá decidir por incrementar ao sistema de produção do próximo ano, o que proporcionará um menor crescimento da “área total plantada”. Como B3 é um ciclo de balanceamento, o resultado da análise seria o oposto se no começo do exercício fosse proposto um decréscimo em “área total plantada”.

Comentário sobre as variáveis que estão fora do ciclo B3, mas o impactam:

- A (1) “área total agricultável Brasil” é o limite de expansão para a (2) “área disponível”. Sendo assim, se a variável (1) aumentar, (2) também crescerá. O oposto é verdadeiro.

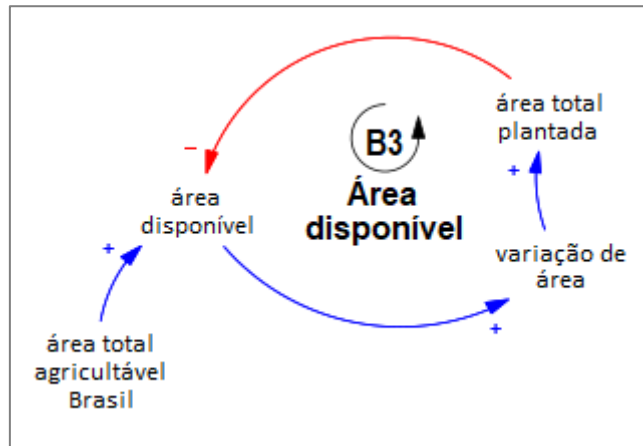


Figura 37 - Diagrama causal da malha de balanceamento B3: Área disponível  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

#### 5.5.4. Malha de balanceamento B4: Tecnologia

Conforme pode ser observado na Figura 38, admitindo-se um acréscimo na variável “expectativa de lucro”, o produtor rural tende a aumentar o “investimento em tecnologia”, o que tem o potencial de melhorar a “produtividade da soja”. Deste modo, o resultado será uma maior “produção do Brasil”. Seguindo a sequência de relações de causalidade presentes no ciclo B1, o qual já foi explicado anteriormente, haverá uma diminuição na “expectativa de lucro”. Como B4 é um ciclo de balanceamento, o resultado da análise seria o oposto se no começo do exercício fosse proposto um decréscimo em “expectativa de lucro”.

Comentários sobre as variáveis que estão fora do ciclo B4, mas o impactam:

- A (1) “regularidade climática” observada durante os estágios fenológicos de desenvolvimento da soja é algo muito desejável, pois oscila no mesmo sentido que a (2) “produtividade da soja”, ou seja, quanto mais próximo do que é considerado ideal (1) for, melhor serão os níveis de (2). O oposto também é verdadeiro.
- Quando há “regularidade na importação de insumos”, significa que não faltarão “insumos (fertilizantes/químicos)” para os fazendeiros comprarem, assim a “produtividade da soja” não será afetada. O oposto também é verdadeiro.

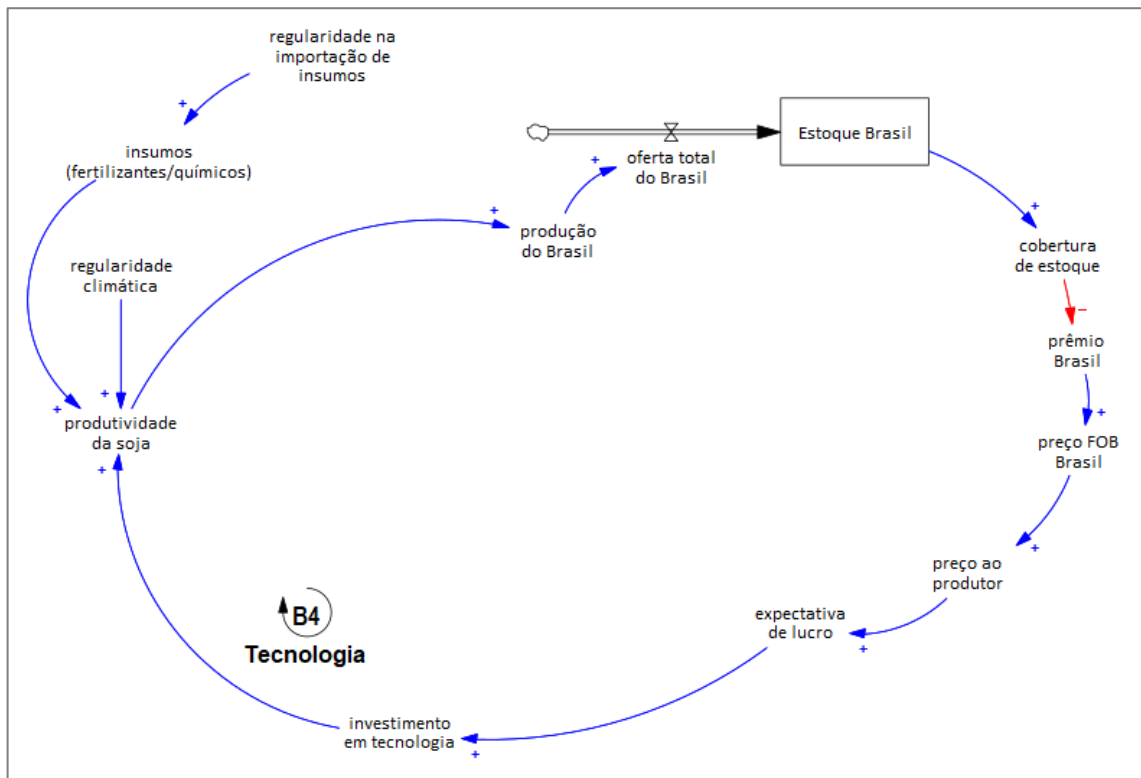


Figura 38 - Diagrama causal da malha de balanceamento B4: Tecnologia  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

### 5.5.5. Malha de balanceamento B5: CBOT impactando o Brasil

Conforme pode ser observado na Figura 39, admitindo-se um acréscimo na variável “cobertura de estoque” do Brasil, haverá uma diminuição no “preço CBOT” da soja, que é uma bolsa de valores em Chicago-IL, nos EUA, utilizada como referência para formação do preço internacional dessa oleaginosa. Logo, haverá redução no “preço FOB Brasil”. Seguindo a sequência de relações de causalidade presentes no ciclo B1, o qual já foi explicado anteriormente, haverá uma diminuição na “cobertura de estoque”. Como B5 é um ciclo de balanceamento, o resultado da análise seria o oposto se no começo do exercício fosse proposto um decréscimo na “cobertura de estoque”.

Comentários sobre a variável “preço CBOT”, que está presente nos ciclos B5, B6 e B7:

- Os agentes econômicos operam em bolsas de mercadorias e futuros por diversas razões. Porém, em linhas gerais, pode-se separá-los em 3 grandes grupos: (1) os que buscam algum tipo de proteção, tais como os produtores rurais ou comerciantes de grãos; (2) os especuladores; e (3) outros. Entretanto, é importantíssimo salientar que os fundamentos observados nas variáveis que



compõe a oferta e a demanda nem sempre são capazes de explicar, por si só, as oscilações nos preços. Isso acontece porque muitos investidores usam os mercados agrícolas para diversificar a alocação de capital ou simplesmente especular, ocasionando, assim, o descolamento entre o que apontam os fundamentos e os preços observados.

- Sendo assim, um aumento no interesse dos “especuladores” em negociar contratos na bolsa CBOT faria com que houvesse um acréscimo no “preço CBOT”. O oposto também é verdadeiro.

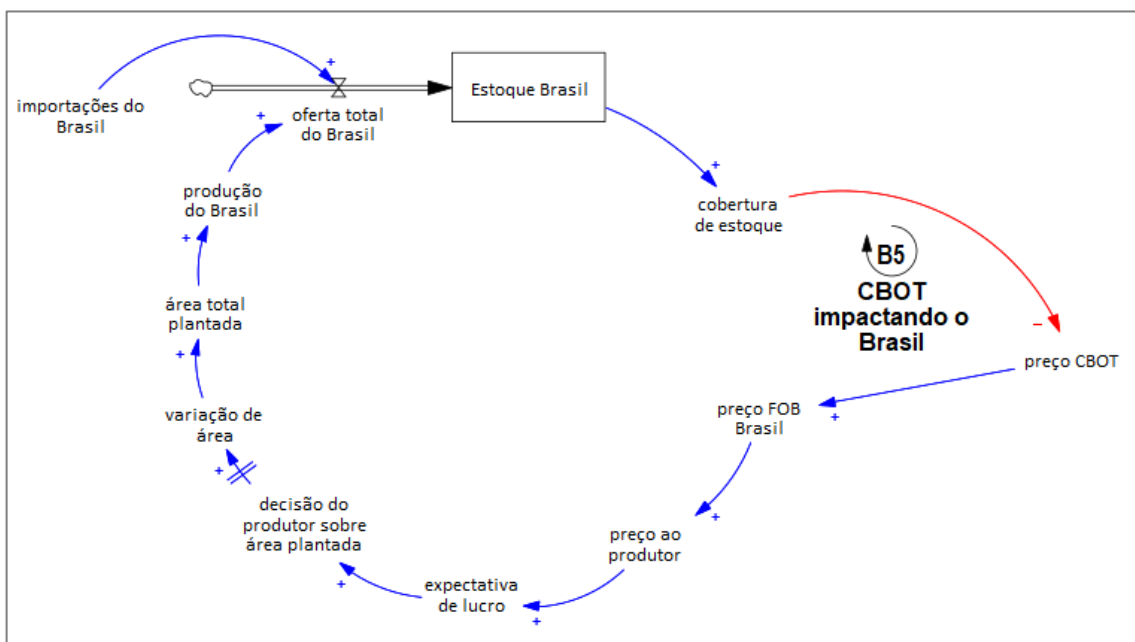


Figura 39 - Diagrama causal da malha de balanceamento B5: CBOT impactando o Brasil  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

### 5.5.6. Malha de balanceamento B6: Oferta global impactando a CBOT

Conforme pode ser observado na Figura 40, admitindo-se um acréscimo na variável “preço CBOT”, haverá um aumento na “oferta total de outros países”, já que os agentes econômicos racionais reagem a incentivos. O atraso envolvido é representado pela linha tracejada cruzando o seguimento de reta que indica a relação de causalidade supracitada. Assim sendo, o “Estoque de outros países” crescerá, já que haverá estímulo para que mais áreas sejam plantadas com soja. Isso provocará uma diminuição do “preço CBOT”. Como B5 é um ciclo de balanceamento, o resultado da análise seria o oposto se no começo do exercício fosse proposto um decréscimo no “preço CBOT”.

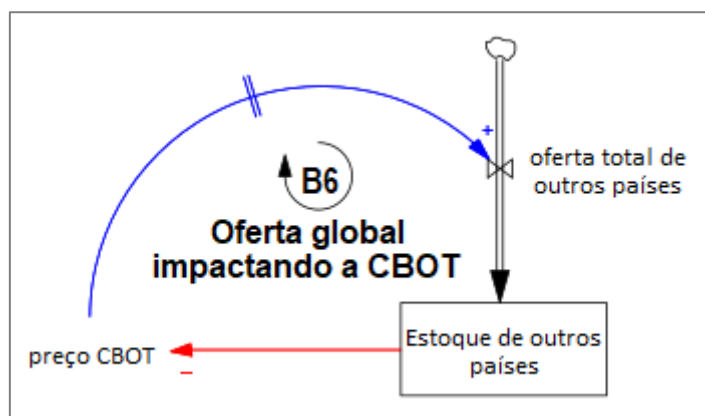


Figura 40 - Diagrama causal da malha de balanceamento B6: Oferta global impactando a CBOT

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

### 5.5.7. Malha de balanceamento B7: Demanda global impactando a CBOT

Conforme pode ser observado na Figura 41, admitindo-se um acréscimo na variável “preço CBOT”, haverá uma diminuição na “demanda total de outros países” por soja. Assim o “Estoque de outros países” crescerá, o que proporcionará uma diminuição do “preço CBOT”. Como B6 é um ciclo de balanceamento, o resultado da análise seria o oposto se no começo do exercício fosse proposto um decréscimo no “preço CBOT”.

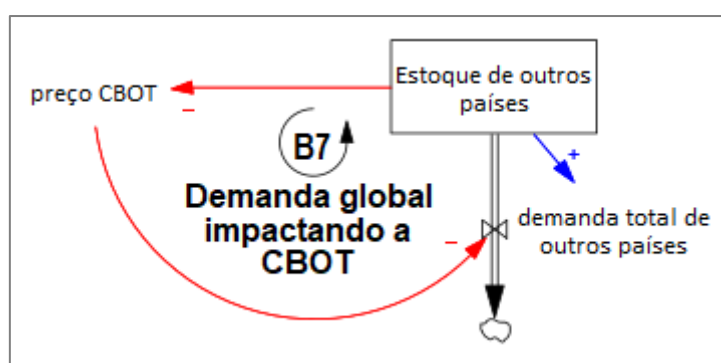


Figura 41 - Diagrama causal da malha de balanceamento B7: Demanda global impactando a CBOT

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

### 5.5.8. Malha de balanceamento B8: Demanda pela soja do Brasil

Conforme pode ser observado na Figura 42, admitindo-se um acréscimo na variável “preço FOB Brasil”, haveria um aumento no “preço CIF do Brasil”. Este sendo mais caro, afetaria negativamente a “competitividade da soja Brasil” e, conseqüentemente, as

“exportações do Brasil” e a “demanda total pelo Brasil” no mesmo sentido. Deste modo, a “cobertura de estoque” do Brasil cresceria, o que culminaria em menores valores para o “prêmio Brasil” e, por sua vez, o “preço FOB Brasil” arrefeceria. Como B8 é um ciclo de balanceamento, o resultado da análise seria o oposto se no começo do exercício fosse proposto um decréscimo no “preço FOB Brasil”.

Comentários sobre as variáveis que estão fora do ciclo B8, mas o impactam:

- Um aumento no “prêmio em outros países” faria com que houvesse um acréscimo no “preço FOB em outros países” e, por consequência, no “preços CIF de outros países”. Deste modo, haveria uma redução na “competitividade média da soja de outros países” e um aumento da “competitividade da soja Brasil”. O oposto também é verdadeiro.
- O custo de transporte até os destinos compradores, tanto da soja brasileira quanto da produzida em outros países que competem com Brasil no mercado exportador, é encontrado dentro da variável-índice “matriz de fretes marítimos entre origens e destinos”. Quanto maior for esse valor, maior será o “preço CIF do Brasil” e o “preço CIF de outros países”. O oposto também é verdadeiro.
- Um aumento das “importações chinesas” de soja, assim como da “demanda de outros países pelo Brasil”, faz com que as “exportações do Brasil” cresçam. O oposto também é verdadeiro.
- Quanto maior for a “competitividade média da soja de outros países” que competem com o Brasil no mercado exportador, menor serão as “exportações do Brasil”. O oposto também é verdadeiro.
- Quanto maior for a “demanda total pelo Brasil”, menor será o “Estoque Brasil” de soja no país. O oposto também é verdadeiro.
- No que diz respeito ao mercado brasileiro de soja, quanto maior for o “consumo para a produção de biodiesel” e/ou de “outros consumos domésticos”, maior será o “consumo doméstico total do Brasil, amentando, assim, a “demanda total pelo Brasil”. O oposto também é verdadeiro.

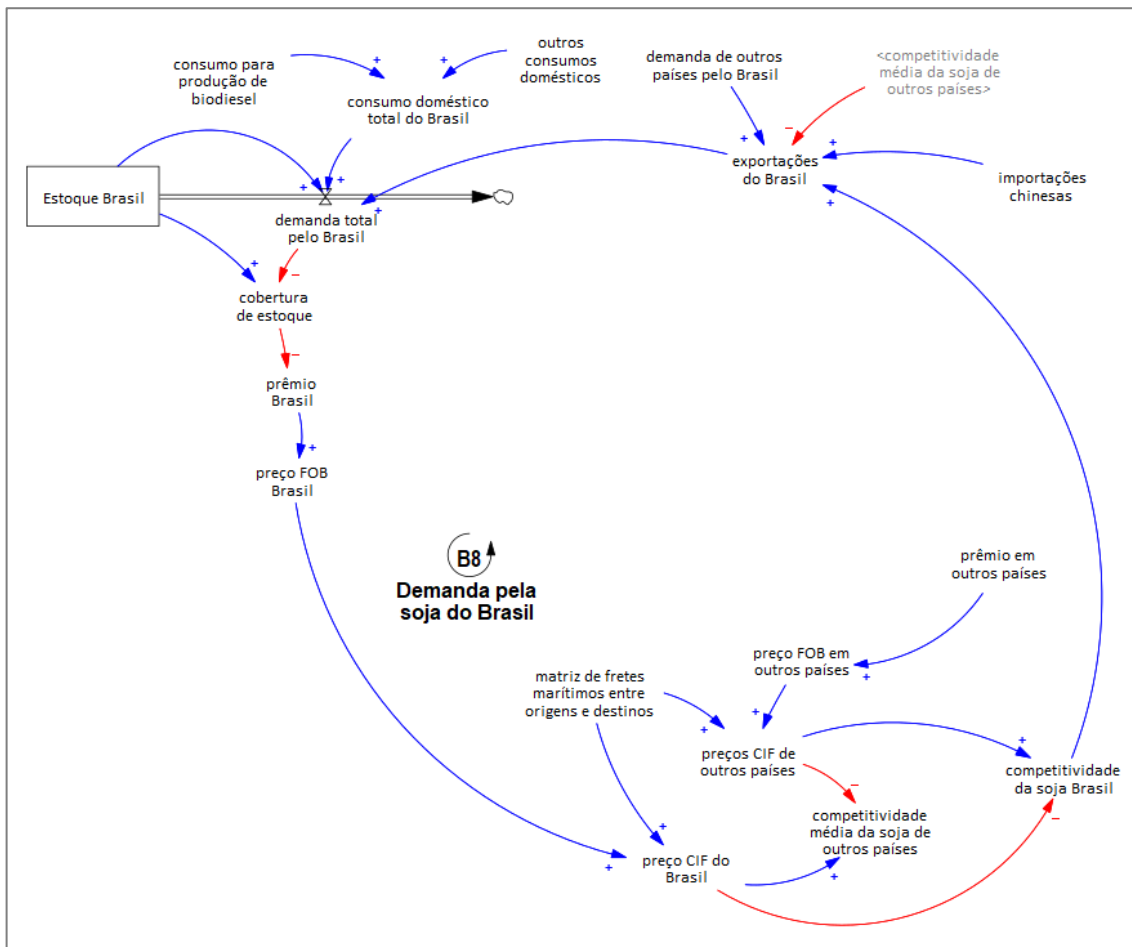


Figura 42 - Diagrama causal da malha de balanceamento B8: Demanda pela soja do Brasil  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

### 5.5.9. Malha de reforço R1: População chinesa

Conforme pode ser observado na Figura 43, admitindo-se um acréscimo na variável “taxa % líquida de crescimento populacional”, significaria que estão nascendo mais pessoas do que morrendo. Sendo assim, haverá um incremento na “taxa líquida de crescimento”. Isso faria com que a “população da China” aumentasse, levando a um novo aumento da “taxa líquida de crescimento”. Por outro lado, se a “taxa % líquida de crescimento populacional” diminuir, a “taxa líquida de crescimento” será menor, assim como a “população da China”, resultando em uma menor “taxa líquida de crescimento”. Em ambos os casos seria observado, respectivamente, curvas de crescimento e decrescimento exponenciais.

Apesar de não gerarem uma malha de balanceamento ou reforço, destaca-se a seguir importantes relações de causalidade entre variáveis que foram observadas no contexto da

China. Ficou evidente que o crescimento da indústria brasileira de soja está sendo puxado pelo crescimento de fatores exógenos a ela e sobre os quais não se tem o menor controle.

- Um aumento no “PIB da China” faria com que houvesse uma variação positiva na “taxa % líquida de urbanização” e, por consequência, na “população urbana na China”, que também varia no mesmo sentido que o número total da “população da China”. Deste modo, haveria um crescimento da “demanda total da China” por soja. O oposto também é verdadeiro.
- Um aumento no “PIB da China” também faria com que houvesse uma variação positiva nas “mudanças dos hábitos alimentares” dos chineses, já que com uma maior renda per capita, é razoável supor que as pessoas passem a consumir alimentos com maior qualidade e em maior quantidade, sendo que muitos deles teriam a soja como matéria prima básica. Deste modo, a “demanda total da China” por essa oleaginosa cresceria. O oposto também é verdadeiro.
- “Políticas públicas de segurança alimentar” mais rigorosas, fariam com que o governo chinês desejasse um “estoque mínimo de segurança” maior. Deste modo, a “demanda total da China” por soja cresceria. O oposto também é verdadeiro.
- Quando maior for o “estoque de soja na China”, menor será a “demanda total da China” por soja, diminuindo assim a necessidade de importações. O oposto também é verdadeiro.
- A “margem de lucro com esmagamento da soja” dita o “ritmo das compras chinesas”. Se ela for positiva, a cadência diária das importações aumenta. Se for negativa, desaceleram, podendo até mesmo zerar. Supondo boas margens, será observado tanto um aumento na “demanda dos esmagadores independentes” quanto na “demanda dos esmagadores públicos”. Desde modo, a “demanda total da China” por soja crescerá. O oposto também é verdadeiro.
- Um aumento na “demanda total da China” gera um crescimento da necessidade de “importações chinesas” de soja. Por consequência, há um incentivo para que as “exportações do Brasil” cresçam. Ademais, é suposto que os volumes que a China não comprar do Brasil irá favorecer as “exportações de outros países”. O oposto também é verdadeiro.

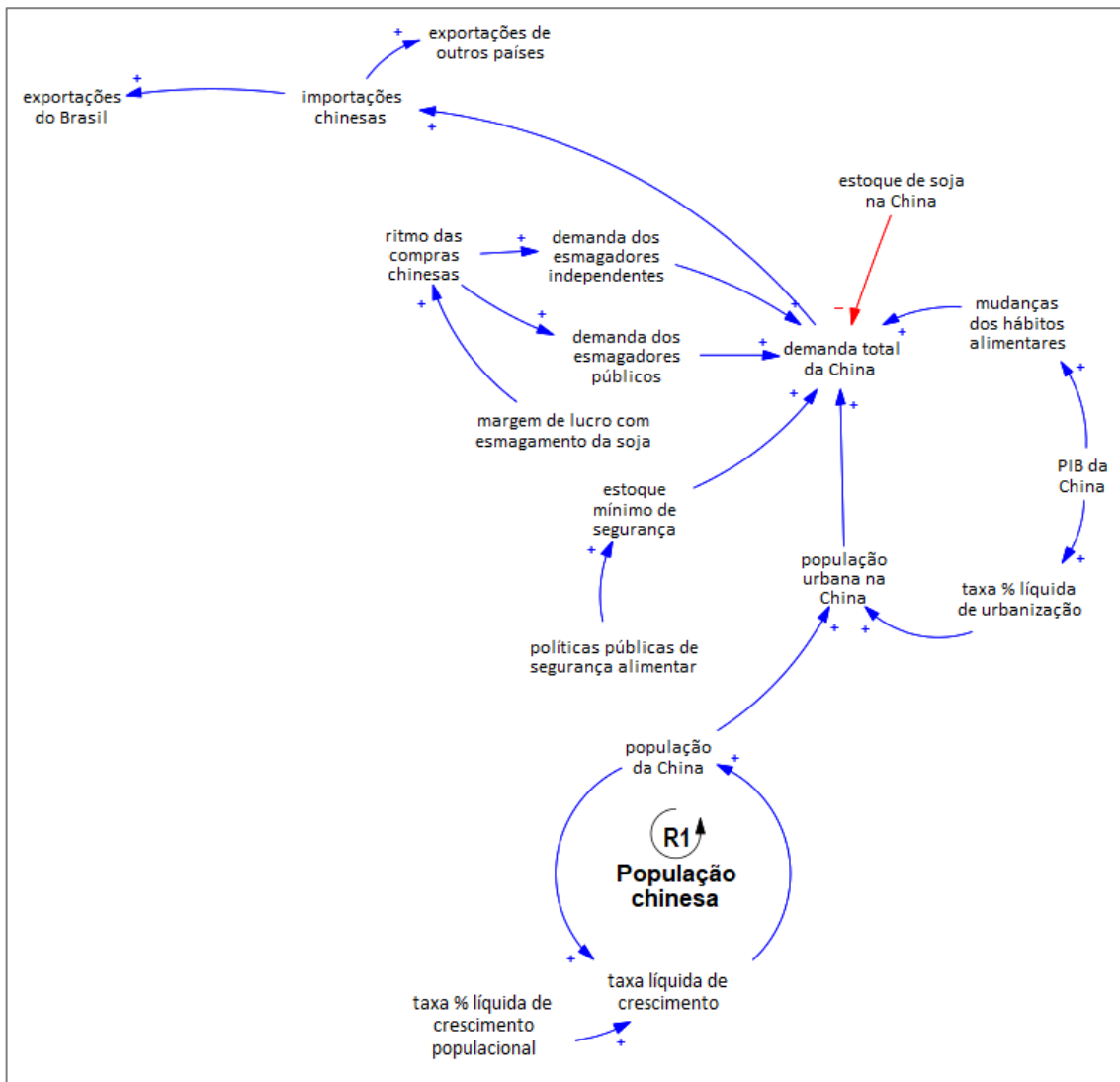


Figura 43 - Diagrama causal da malha de reforço R1: População chinesa  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

### 5.6. Diagrama de *Forrester* (modelo de simulação)

O Diagrama de *Forrester* é o próprio modelo de simulação desenvolvido para se estudar o problema de pesquisa sob a óptica da Teoria de Dinâmica de Sistemas. A seguir, além do modelo, são apresentados e discutidos os seus resultados e testes.

#### 5.6.1. Apresentação do modelo

O desenvolvimento do modelo de simulação foi segmentado em 9 módulos, sendo que sete deles contém variáveis e equações que abordam temas como a oferta e demanda da soja do Brasil, a dinâmica interna da China responsável por gerar necessidade de importar essa oleaginosa, a competitividade entre o produto brasileiro e norte-americano etc.; um a

interface de calibração; e outro as variáveis de controle. Entretanto, para deixar o texto mais enxuto, facilitando o entendimento do leitor, nesta seção há a descrição detalhada de apenas um deles, como exemplo. Os demais, que contêm os Diagramas de *Forrester* com as suas respectivas equações, estão no Apêndice A da tese.

O modelo de simulação contém 150 equações e foi desenvolvido através do software *Vensim*<sup>®</sup> PLE Plus Version 9.3.5 x64, da fabricante norte-americana *Ventana Systems*. Para garantir consistência, todas as equações são identificadas no texto desta tese usando o mesmo número que foi atribuído pelo *Vensim*<sup>®</sup>, seguindo uma ordem alfabética. Como boa prática de modelagem, as variáveis não receberam nenhum tipo de acentuação. A cor verde indica que a variável é exógena; as em maiúsculo que se trata de uma constante; e quando em preto/negrito, que são os respectivos modos de referência, oriundos de uma planilha Excel. A relação de módulos pode ser observada na Tabela 16.

Tabela 16 - Módulos do modelo de simulação

<b>Código de identificação</b>	<b>Nome do módulo</b>
P1	Parâmetros de controle
M1	Balanco de oferta e demanda de soja no Brasil
M2	Dinâmica de aquisição e/ou abandono de área com soja no Brasil
M3	Produção de soja no Brasil
M4	Formação do preço da soja ofertado ao produtor brasileiro
M5	Formação do preço do prêmio da soja brasileira
M6	Exportações brasileira de soja
M7	Dinâmica chinesa
I1	Interface de calibração

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

### 5.6.2. Módulo P1: Parâmetros de controle

Este módulo tem o propósito de explicitar os parâmetros de controle que foram escolhidos para execução das simulações. A Figura 44 exibe uma captura de tela do software *Vensim*<sup>®</sup>, onde é possível identificar os valores das variáveis de controle. As respectivas equações podem ser encontradas na Tabela 17. O número à esquerda foi atribuído pelo próprio *Vensim*<sup>®</sup>.

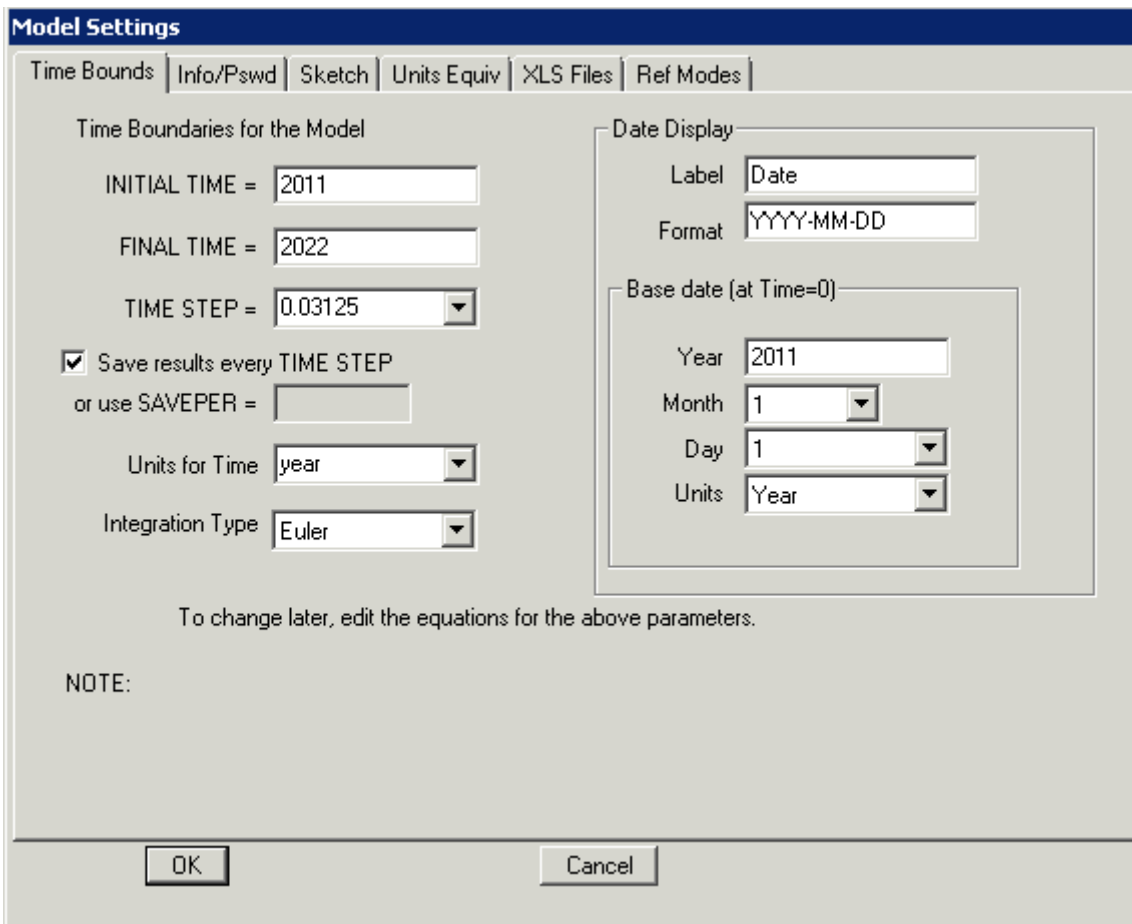


Figura 44 - Módulo P1: parâmetros de controle do modelo de simulação  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 17 - Equações do módulo P1: Parâmetros de controle do modelo de simulação

<b>Módulo P1: Parâmetros de controle do modelo de simulação</b>	
<b>(057)</b>	<b>FINAL TIME = 2022</b> Unidade: ano Comentário: representa o tempo final para a simulação.
<b>(069)</b>	<b>INITIAL TIME = 2011</b> Unidade: ano Comentário: representa o tempo inicial para a simulação.
<b>(125)</b>	<b>SAVEPER = TIME STEP</b> Unidade: ano Comentário: representa a frequência com que o <i>output</i> é armazenado.
<b>(147)</b>	<b>TIME STEP = 0.03125</b> Unidade: ano Comentário: representa o <i>time step</i> para a simulação.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)



### 5.6.3. Módulo M1: Balanço de oferta e demanda de soja no Brasil

A Figura 45 apresenta o Diagrama de *Forrester* do Módulo M1: Balanço de oferta e demanda de soja no Brasil. As equações referentes a esse módulo podem ser encontradas na Tabela 18. O número localizado à esquerda foi atribuído pelo próprio software *Vensim*<sup>®</sup> e se refere a ordem alfabética do modelo completo.

O “Estoque Brasil” é um nível que integra a diferença entre a entrada “oferta do Brasil” e a saída “demanda total pelo Brasil”. Essa dinâmica é capturada pela equação (046). O seu valor inicial diz respeito ao que foi registrado no país em 01 de janeiro de 2011.

O país pode ofertar a soma do volume que produz anualmente (equação 119) e das importações (equação 063), que apesar de serem valores pouco expressivos, não seria correto ignorá-los ao longo dos anos. Já o consumo se dá pela demanda de soja para esmagamento (equação 015), exportações (equação 056) e outras (equação 096), que considera os desperdícios durante a logística do produto (equação 099) e as reservas (equação 124) para a produção de sementes. A robustez deste módulo é garantida pela variável equação 075, que impõe que não haja estoques negativos.

As variáveis “MR produção do Brasil”, “erro % produção do Brasil”, “MR exportações do Brasil” e “erro % exportações do Brasil” são suplementares. Elas foram incluídas visando permitir uma comparação entre os *outputs* do modelo e seus respectivos modos de referência, oriundos de uma planilha externa.

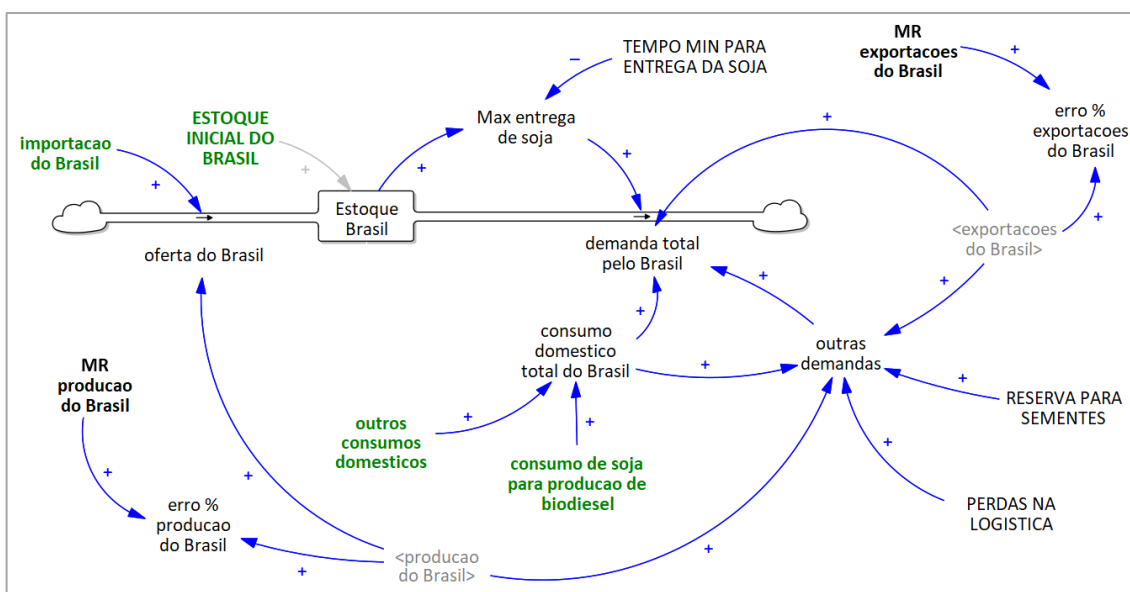


Figura 45 - Módulo M1: Balanço de oferta e demanda de soja no Brasil

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 18 - Equações do Módulo M1: Balanço de oferta e demanda de soja no Brasil

<b>Módulo M1: Balanço de oferta e demanda de soja no Brasil</b>	
<b>(014)</b>	<p><b>consumo de soja para producao de biodiesel: = GET DIRECT DATA ('Dados do modelo.xlsx' , 'Dados_Anuais' , 'A' , 'AW2')</b>                      Unidade: Mt/ano                      Comentário: representa os volumes de soja destinados para a produção de biodiesel em cada ano. Fonte: ABIOVE.</p>
<b>(015)</b>	<p><b>consumo domestico total do Brasil:INTERPOLATE:: = consumo de soja para producao de biodiesel + outros consumos domesticos</b>                      Unidade: Mt/ano                      Comentário: representa os volumes totais de soja destinados para esmagamento em cada ano. Fonte: ABIOVE.</p>
<b>(031)</b>	<p><b>demanda total pelo Brasil = MIN ((consumo domestico total do Brasil + exportacoes do Brasil + outras demandas), Max entrega de soja)</b>                      Unidade: Mt/ano                      Comentário: representa a soma dos volumes de soja destinados à exportação, ao consumo doméstico total (uso para produção de biodiesel e outros fins) e outras demandas do Brasil (sementes e perdas na logística) em cada ano.</p>
<b>(043)</b>	<p><b>"erro % exportacoes do Brasil" = (MR exportacoes do Brasil - exportacoes do Brasil) / MR exportacoes do Brasil</b>                      Unidade: Sem dimensão.                      Comentário: calcula a diferença percentual entre as "MR exportacoes do Brasil" considerado como Modo de Referência e a calculada pelo modelo de simulação.</p>
<b>(045)</b>	<p><b>"erro % producao do Brasil" = (MR producao do Brasil - producao do Brasil) / MR producao do Brasil</b>                      Unidade: Sem dimensão.                      Comentário: calcula a diferença percentual entre a "produção do Brasil" considerada como modo de referência (Fonte: CONAB) e a calculada pelo modelo de simulação.</p>
<b>(046)</b>	<p><b>Estoque Brasil= INTEG (oferta do Brasil - demanda total pelo Brasil, estoque inicial do Brasil)</b>                      Unidade: Mt                      Comentário: representa o volume de soja em estoque no Brasil em cada ponto da simulação do modelo proposto.</p>
<b>(050)</b>	<p><b>ESTOQUE INICIAL DO BRASIL:INTERPOLATE:: = 9.57</b>                      Unidade: Mt                      Comentário: representa o volume do estoque de soja no Brasil em 1/1/2011. Fonte: ABIOVE.</p>
<b>(056)</b>	<p><b>exportacoes do Brasil = demanda da China para o Brasil + demanda de outros países pelo Brasil</b>                      Unidade: Mt/ano                      Comentário: representa a soma dos volumes de soja exportados pelo Brasil em cada ano. Fonte: APS.</p>

---

**Módulo M1: Balanço de oferta e demanda de soja no Brasil**

---

**(063) importacao do Brasil:INTERPOLATE:: = GET DIRECT DATA ('Dados do modelo.xlsx', 'Dados\_Anuais', 'A', 'AU2')**

Unidade: Mt/ano

Comentário: representa o volume que o Brasil importou de soja em cada ano.

Fonte: MDIC.

---

**(075) Max entrega de soja = Estoque Brasil / TEMPO MIN PARA ENTREGA DA SOJA**

Unidade: Mt/ano

Comentário: representa um controle de primeira ordem, para que não haja estoque negativo.

---

**(086) MR exportacoes do Brasil: = GET DIRECT DATA ('Dados do modelo.xlsx', 'Dados\_Anuais', 'A', 'AZ2')**

Unidade: Mt/ano

Comentário: representa a soma dos volumes de soja exportados pelo Brasil em cada ano. Fonte: APS.

---

**(090) MR producao do Brasil: = GET DIRECT DATA ('Dados do modelo.xlsx', 'Dados\_Anuais', 'A', 'AT2')**

Unidade: Mt/ano

Comentário: representa o total de soja produzido pelo Brasil em cada ano.

Fonte: CONAB.

---

**(095) oferta do Brasil = importacao do Brasil + producao do Brasil**

Unidade: Mt/ano

Comentário: representa a soma dos volumes de soja importados + os produzidos dentro do Brasil em cada ano.

---

**(096) outras demandas = (producao do Brasil \* RESERVA PARA SEMENTES) + ((consumo domestico total do Brasil + exportacoes do Brasil) \* PERDAS NA LOGISTICA)**

Unidade: Mt/ano

Comentário: representa a soma dos volumes de soja que são separados para a produção de sementes para plantio da próxima safra e dos volumes de soja que são desperdiçados durante a logística do produto em cada ano.

---

**(098) outros consumos domesticos: = GET DIRECT DATA ('Dados do modelo.xlsx', 'Dados\_Anuais', 'A', 'AX2')**

Unidade: Mt/ano

Comentário: representa os volumes de soja destinados para consumo que não seja a produção de biodiesel em cada ano. Fonte: ABIOVE.

---

**(099) PERDAS NA LOGISTICA = 0.01125**

Unidade: Sem dimensão.

Comentário: representa a soma dos volumes de soja que são desperdiçados durante a logística do produto em cada ano. Adotou-se um percentual fixo, segundo estimativas do mercado.

---

**(119) producao do Brasil = MIN (Area total a ser colhida \* produtividade da soja, MAX producao do Brasil)**

Unidade: Mt/ano

Comentário: representa o total de soja produzido pelo Brasil em cada ano.

---

## Módulo M1: Balanço de oferta e demanda de soja no Brasil

### (124) RESERVA PARA SEMENTES = 0.01125

Unidade: Sem dimensão.

Comentário: representa a soma dos volumes de soja que são separados para a produção de sementes para plantio da próxima safra. Adotou-se um percentual fixo, segundo estimativas do mercado.

### (142) TEMPO MIN PARA ENTREGA DA SOJA = 0.125

Unidade: ano

Comentário: representa o tempo mínimo para haver soja disponível.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

#### 5.6.4. Módulo I1: Interface de calibração

A Figura 46 apresenta o Módulo I1: Interface de calibração. Trata-se de uma captura de tela do software de simulação *Vensim*<sup>®</sup>. Nota-se que aqui não há variáveis ou equações, mas sim parâmetros selecionados de outros módulos, os quais foram utilizados para calibrar o modelo. Os gráficos exibem uma comparação entre os resultados das variáveis consideradas mais relevantes para o sistema estudado e os seus respectivos modos de referências. As análises/comentários estão na seção subsequente.

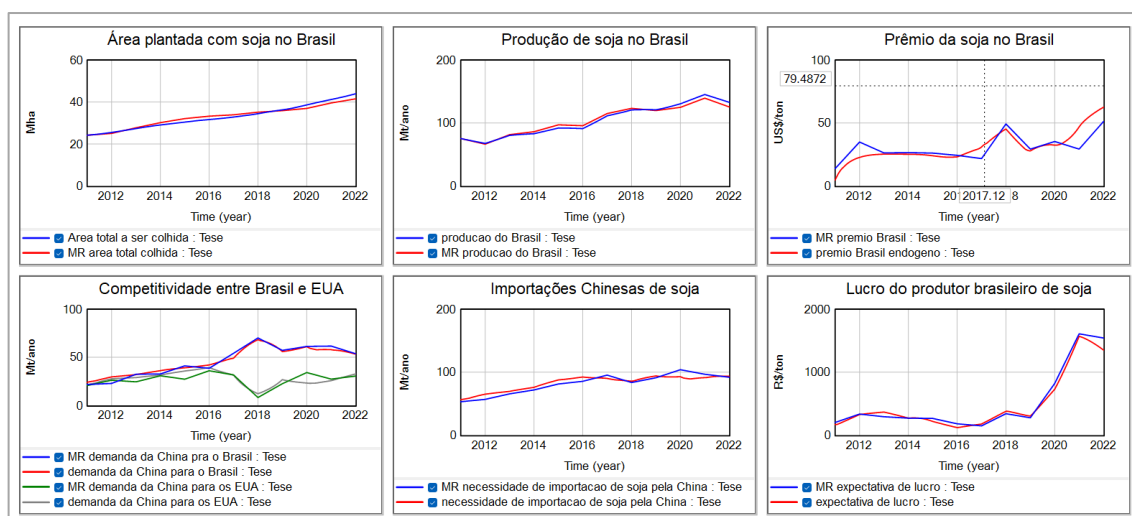


Figura 46 - Módulo I1: Interface de calibração

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

#### 5.6.5. Apresentação e discussão dos resultados

Para se medir os resultados do modelo, as variáveis de interesse, abaixo elencadas, foram analisadas através de três métricas diferentes: (1) comparação entre o comportamento do (A) modo de referência com o respectivo (B) *output* gerado pelo modelo de simulação; (2) análise do erro percentual médio entre (A) e (B); e (3) a decomposição do erro de

simulação em suas fontes características, usando o método econométrico dos coeficientes de *Theil*, verificando, assim, a qualidade do modelo em relação a erros sistemáticos:

- Área com soja a ser colhida no Brasil;
- Exportações do Brasil para a China;
- Prêmio da soja no Brasil;
- Lucro médio do produtor brasileiro de soja.

#### 5.6.5.1. Área com soja a ser colhida no Brasil

A Figura 47 apresenta um comparativo entre os comportamentos das variáveis “área com soja a ser colhida no Brasil” e o seu modo de referência, de acordo com a Conab (2023). As diferenças observadas entre 2014 e 2017 e entre 2020 e 2022 podem ser explicadas pela tabela de efeito que foi calculada, onde foi medido o total de área que o fazendeiro desejaria adquirir/abandonar para a próxima safra, de acordo com a expectativa de lucro. Isso fica evidente na Figura 48, onde a evolução dos erros percentuais do modelo é exibida.

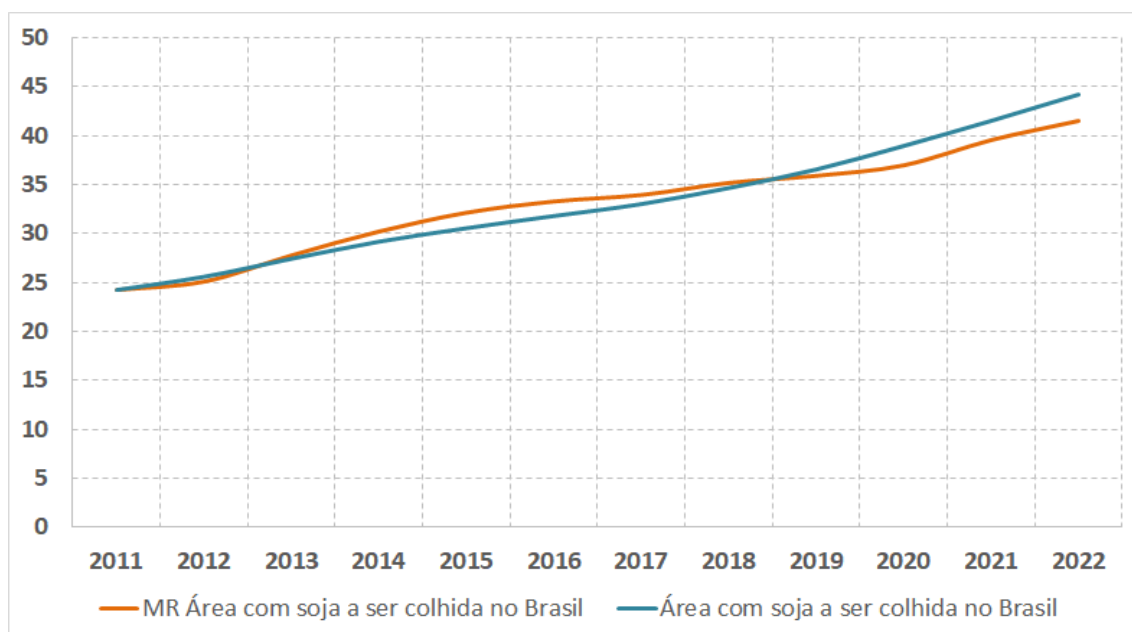


Figura 47 - Comparação entre o modo de referência da variável “área com soja a ser colhida no Brasil” e o seu output do modelo de simulação, em milhões de hectares

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

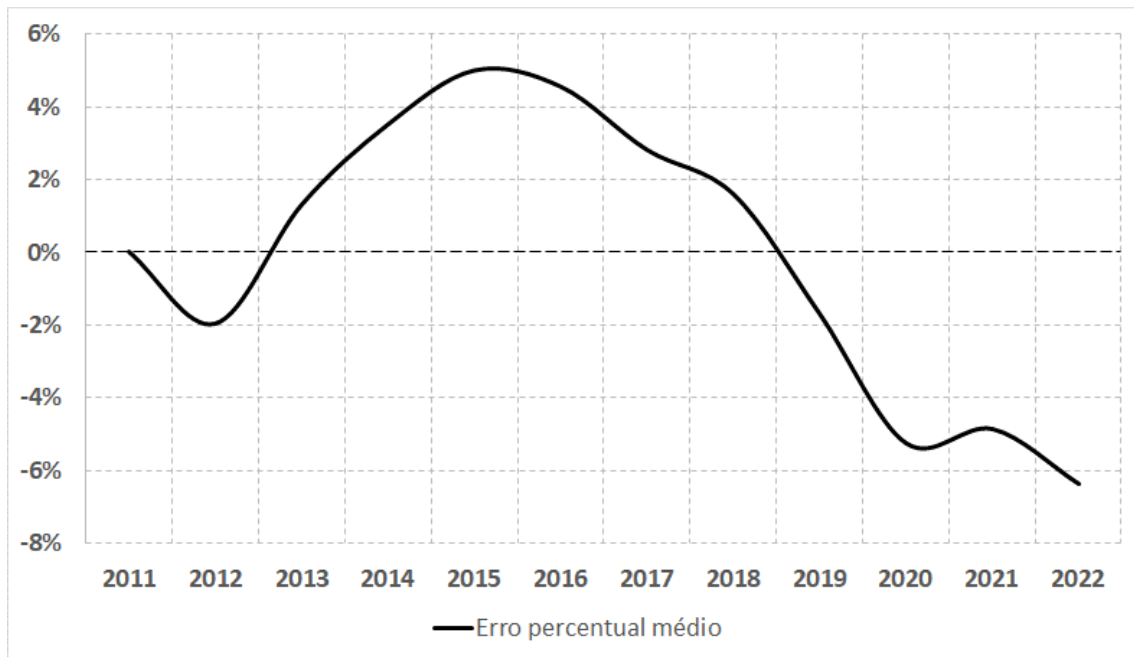


Figura 48 - Análise do erro percentual médio entre o modo de referência da variável “área com soja a ser colhida no Brasil” e o seu *output* do modelo de simulação  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

De acordo com Sterman (1984), Oliva (1985), Santos (2012) e Hoffmann (2016), o cálculo dos coeficientes de desigualdade de Theil é uma ferramenta útil no âmbito da Teoria de Dinâmica de Sistemas, já que ajuda a analisar as possíveis causas responsáveis por gerar as diferenças sistemáticas observadas entre uma variável e o seu respectivo modo de referência. Sendo assim, ele pode ser utilizado para calibrar o modelo de simulação e para validar, estatisticamente, os resultados alcançados.

Em suma, conforme explicado por Sterman (1984) e Santos (2012), os coeficientes de desigualdade de Theil decompõem o erro médio quadrático em três tipos, conforme listado abaixo. Para uma explicação mais aprofundada sobre o tema, sugere-se a leitura de Pindyck e Rubinfeld (2004) e Hoffmann (2016).

- $U^M$ : representa a contribuição da média para o erro percentual médio;
- $U^S$ : representa a contribuição da variância para o erro percentual médio;
- $U^C$ : representa a contribuição da covariância para o erro percentual médio;
- Um modelo que imite perfeitamente a realidade, teria:  $U^M = U^S = 0$  e  $U^C = 1$ .

De acordo com a análise da Figura 49, os coeficientes de desigualdade de Theil indicam o que foi explicado acima. Ao se analisar  $U^M$ , pode-se dizer que o modelo capturou muito bem as decisões dos produtores brasileiros de soja em relação a variação positiva de área

plantada que ocorreu entre 2011 e 2013. No geral, a aderência das curvas pode ser considerada boa, pois o erro percentual médio ficou entre -6.5% e 5%. O erro sistemático identificado pelos valores de  $U^M$  observados entre 2014 e 2017 e entre 2020 e 2022 sugere que sejam feitas alterações na estrutura do modelo em versões futuras, tais como: (1) analisar o país de forma regionalizada, como por exemplo por estado; (2) considerar outros efeitos que podem influenciar a tomada de decisão sobre área a ser semeada para o próximo ano, não apenas o lucro médio esperado.

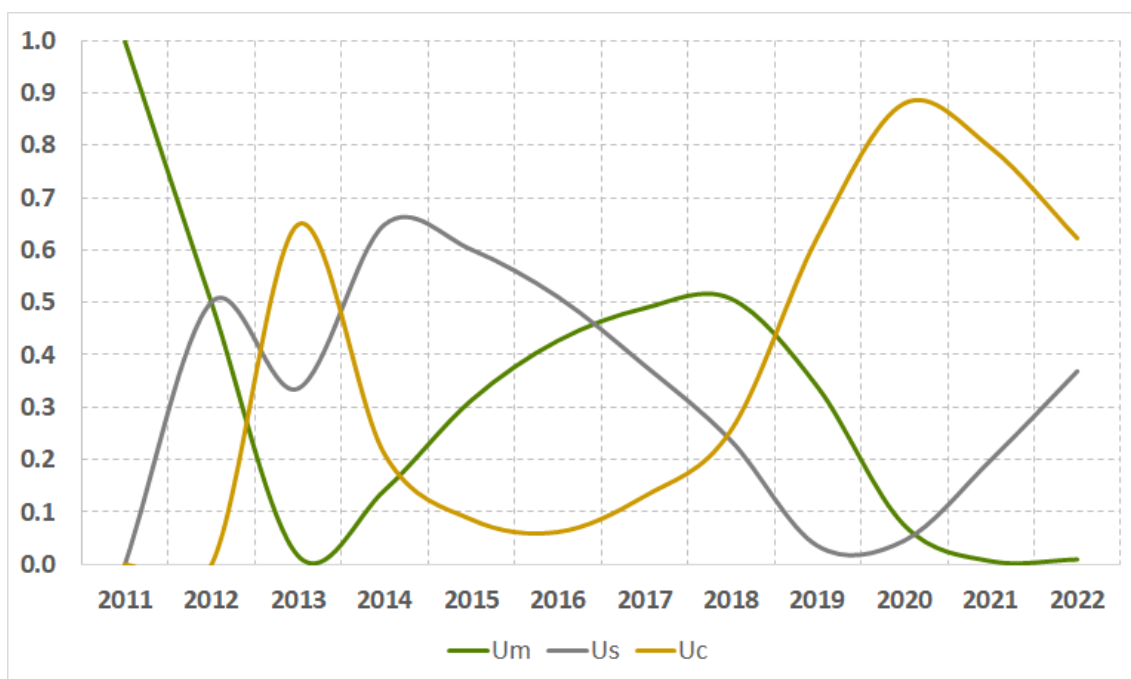


Figura 49 - Comportamento do coeficiente de desigualdade de *Theil* para a variável “área com soja a ser colhida no Brasil”

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

#### 5.6.5.2. Exportações do Brasil para a China

A Figura 50 apresenta um comparativo entre os comportamentos das variáveis “exportações do Brasil para a China” e o seu modo de referência, de acordo com a Cargonave (2016) e APS (2023). Com exceção de 2012, pode-se considerar que as curvas têm ótima aderência, ou seja, o modelo de simulação teve sucesso ao capturar o que aconteceu no mundo real. Isso fica evidente na Figura 51, onde a evolução dos erros percentuais do modelo é exibida e constata-se que depois de 2012 ele não oscilou acima de 10 p.p. Ademais, na Figura 52, é possível visualizar a consistente queda de  $U^M$ .

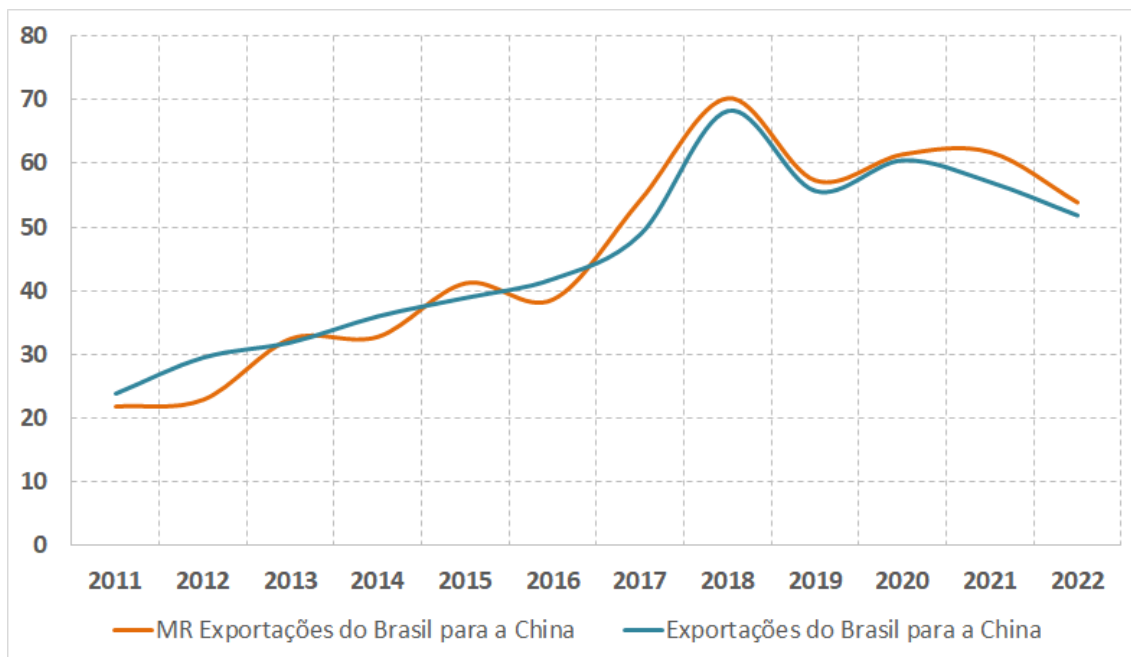


Figura 50 - Comparação entre o modo de referência da variável “exportações do Brasil para a China” e o seu *output* do modelo de simulação, em milhões de toneladas  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

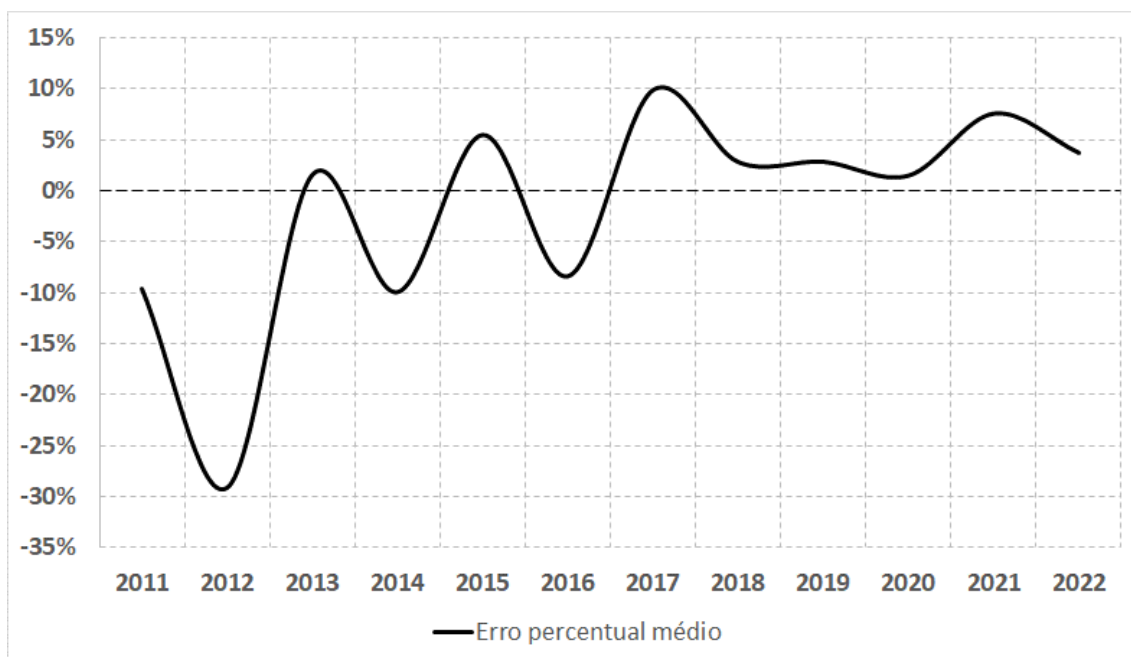


Figura 51 - Análise do erro percentual médio entre o modo de referência da variável “exportações do Brasil para a China” e o seu *output* do modelo de simulação  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2023)



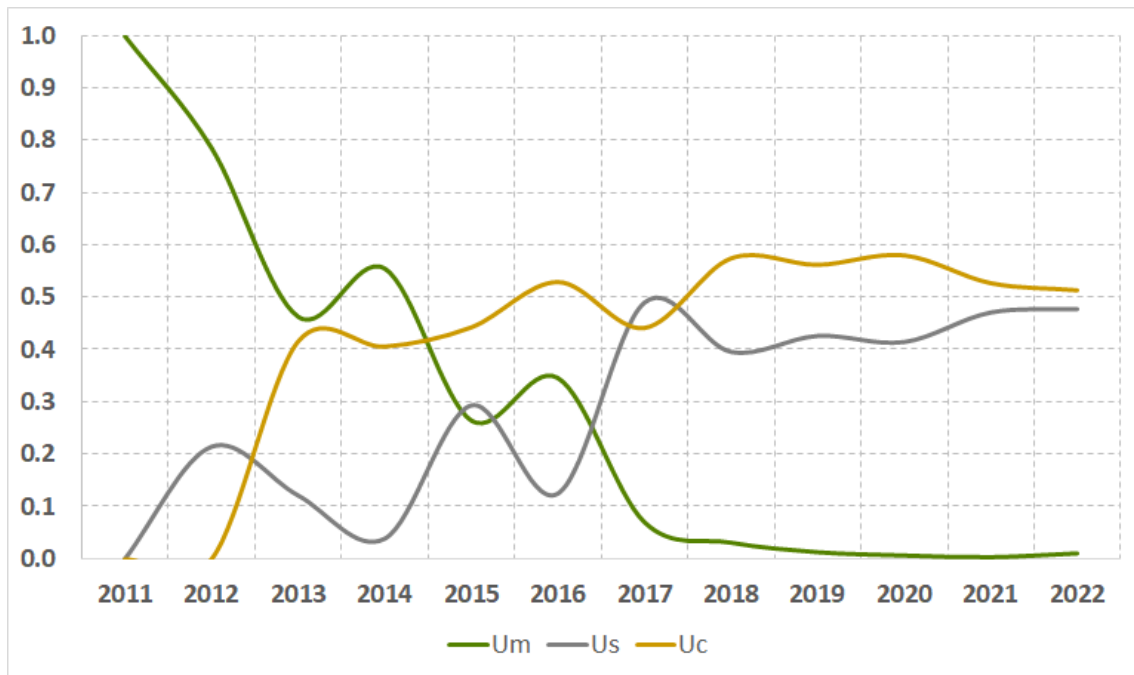


Figura 52 - Comportamento do coeficiente de desigualdade de *Theil* para a variável exportações do Brasil para a China

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Desde a época da campanha eleitoral que conduziu o presidente Donald Trump ao salão oval já havia rumores de que, caso vencesse, ele implementaria uma política externa que entraria em rota de colisão com os interesses chineses. Após eleito, isso se concretizou, ficando conhecido, como: a guerra comercial sino-americana. Neste contexto, entre 2018 e 2019, tentando castigar os eleitores de Trump, majoritariamente localizados em cidades dependentes da prosperidade dos cinturões agrícolas norte-americano, a China implementou uma cobrança de imposto de 25% sobre a soja dos EUA.

Corroborando com o que foi discutido acima, a Figura 53 apresenta uma captura de tela do software Vensim®, onde pode-se observar o quanto de soja que a China comprou do Brasil e dos EUA entre 2011 e 2022, assim como os seus respectivos modos de referência. Ficou evidente que, em função da guerra comercial, houve uma quebra de confiança dos chineses no suprimento de soja dos EUA, que ainda não foi reconquistada. É válido destacar que, durante a construção do modelo de simulação isso não foi elencado por nenhum dos entrevistados. Para maiores detalhes sobre este tema, recomenda-se a leitura de Zylbersztajn e Omta (2009): *Advances in supply chain analysis in agri-food systems*.

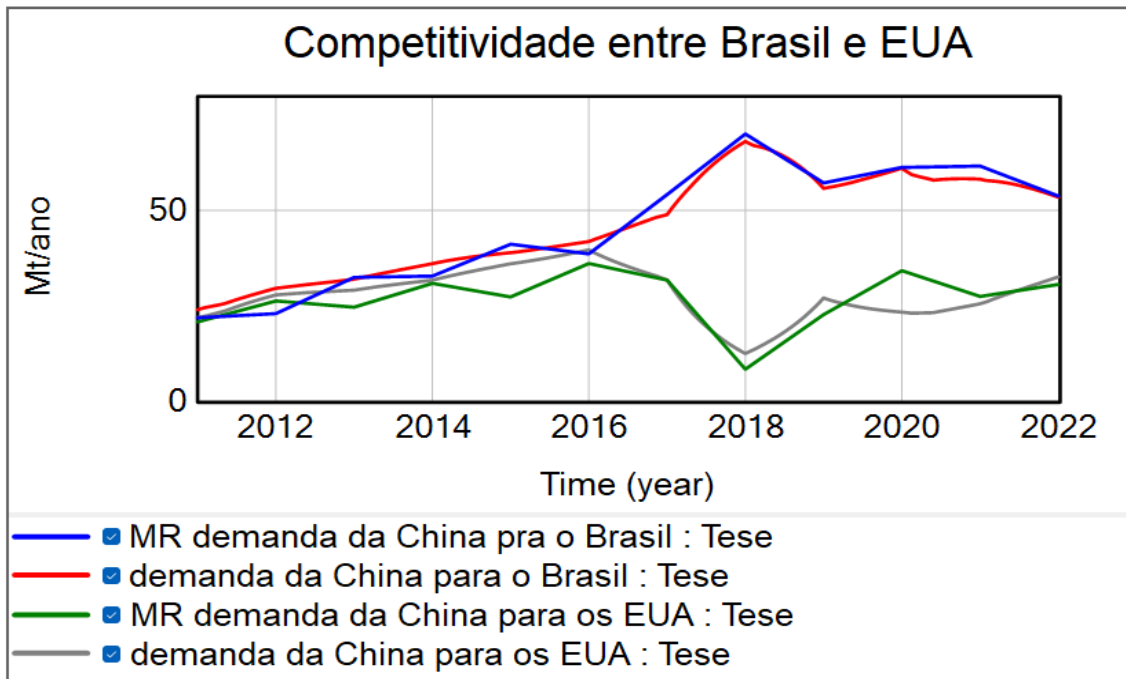


Figura 53 - Quebra de confiança da China no suprimento de soja dos EUA  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

### 5.6.5.3. Prêmio da soja no Brasil

A Figura 54 apresenta um comparativo entre os comportamentos das variáveis “prêmio da soja no Brasil” e o seu modo de referência, de acordo com Reuters (2023b), ABIOVE (2023) e McDonald Pelz (2023). O modelo até captura a dinâmica do sistema durante alguns anos, mas com um certo atraso. Sendo assim, o resultado não pode ser considerado muito satisfatório. Isso fica claro ao observar-se a Figura 55, onde é exibido o erro percentual médio.

Conforme nota-se na Figura 56, há uma queda consistente do coeficiente de Theil  $U^M$  entre 2011 e 2012, ao passo que  $U^C$  cresce ao longo do processo de simulação. Entretanto, acredita-se que em versões futuras deste estudo, a modelagem do prêmio da soja no Brasil possa ser aperfeiçoada da seguinte forma: (1), considerar outros portos de exportação, não apenas Paranaguá-PR, ponderando os valores em função do volume expedido por cada localidade; (2) considerar as cotações diárias do prêmio em relação à todos os períodos de embarque negociados, não apenas utilizar um único valor *nearby* para cada data; (3) provavelmente, ter trabalhado com média de médias prejudicou o resultado; (4) considerar eventuais atrasos que existem nos processos de decisão; (5) e incluir a influência que os especuladores têm nesse mercado.

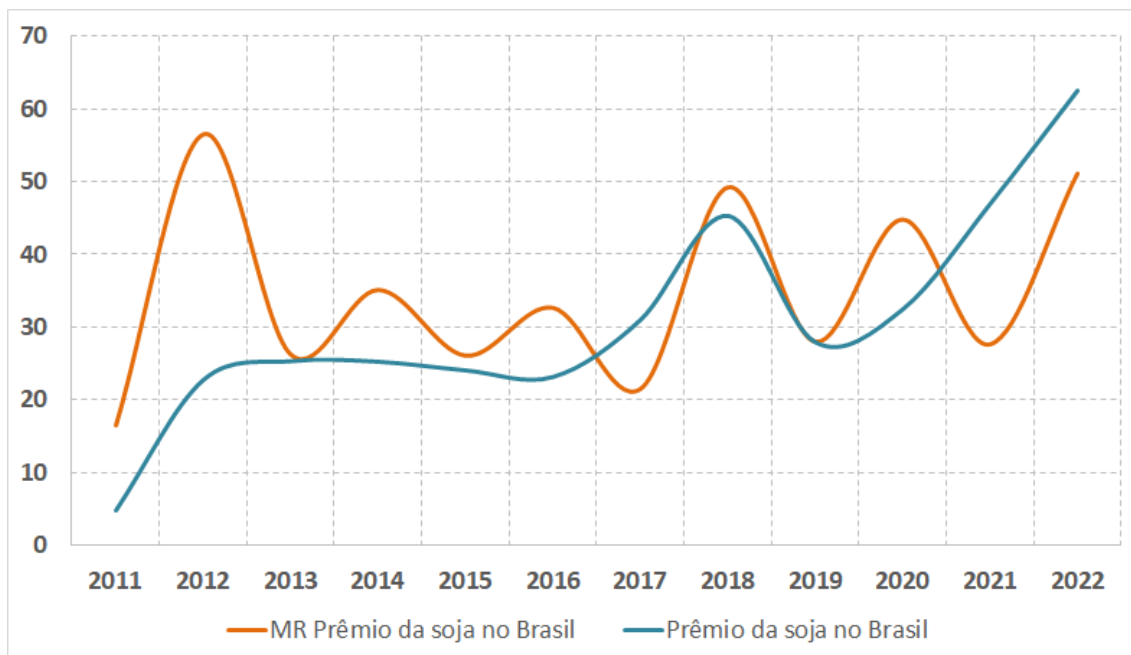


Figura 54 - Comparação entre o modo de referência da variável “prêmio da soja no Brasil” e o seu *output* do modelo de simulação, em US\$/ton  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

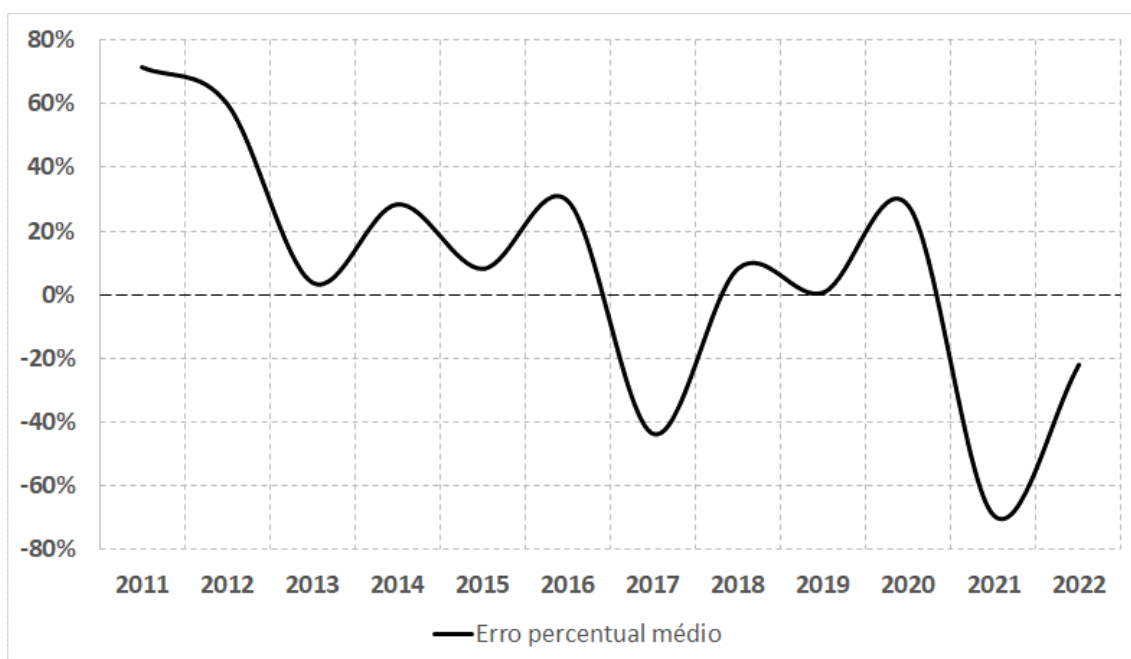


Figura 55 - Análise do erro percentual médio entre o modo de referência da variável “prêmio da soja no Brasil” e o seu *output* do modelo de simulação  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

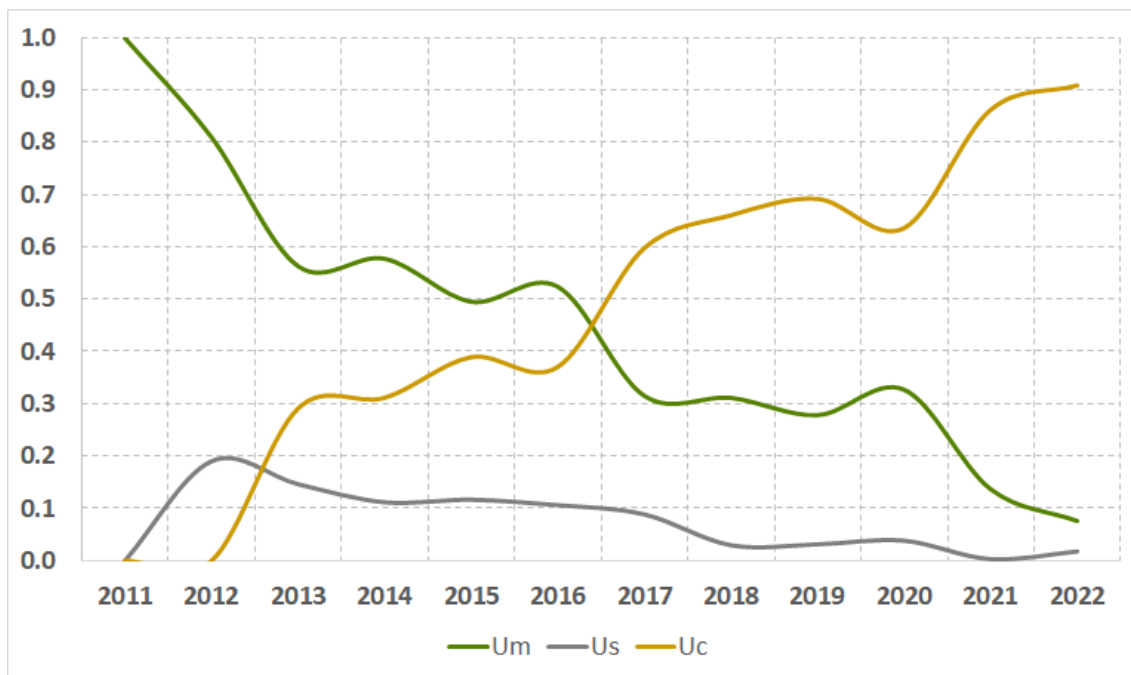


Figura 56 - Comportamento do coeficiente de desigualdade de *Theil* para a variável “prêmio da soja no Brasil”

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

#### 5.6.5.4. Lucro do produtor brasileiro de soja

A Figura 57 apresenta um comparativo entre os comportamentos das variáveis “lucro do produtor brasileiro de soja” e o seu modo de referência, de acordo com CONAB (2023, 2023b), BACEN (2023) e CEPEA-ESALQ/USP (2023b). Considera-se que o modelo captura a dinâmica do sistema de forma bastante satisfatória. Isso fica claro ao observar-se a Figura 58, onde é exibido o erro percentual médio. Apenas os anos de 2013, 2016 e 2017 destoaram do que seria considerado ideal.

Conforme nota-se na Figura 59, há uma queda consistente do coeficiente de Theil  $U^M$  já a partir do primeiro ano da simulação, ao passo que  $U^C$  tem uma trajetória de crescimento ao longo dos anos, com exceção de 2022. Mesmo assim, pode-se ponderar que a variável “lucro do produtor brasileiro de soja” tem um desempenho muito bom, quando comparada com a sua *proxy* para o mundo real. Entretanto, acredita-se que em versões futuras deste estudo, a modelagem sobre este tema possa ser aperfeiçoada tornando endógenas as seguintes variáveis: (1) o preço do “frete do porto até a fazenda”, utilizando não apenas uma média do modal rodoviário para o Brasil, mas segmenta-lo entre diversas origens produtoras e portos de destino, além de se considerar opções multimodais de transporte,

sobretudo a ferroviária; (2) os “custos (CONAB)” para se produzir soja no Brasil; (2) e a dinâmica de formação do “preço CBOT”.

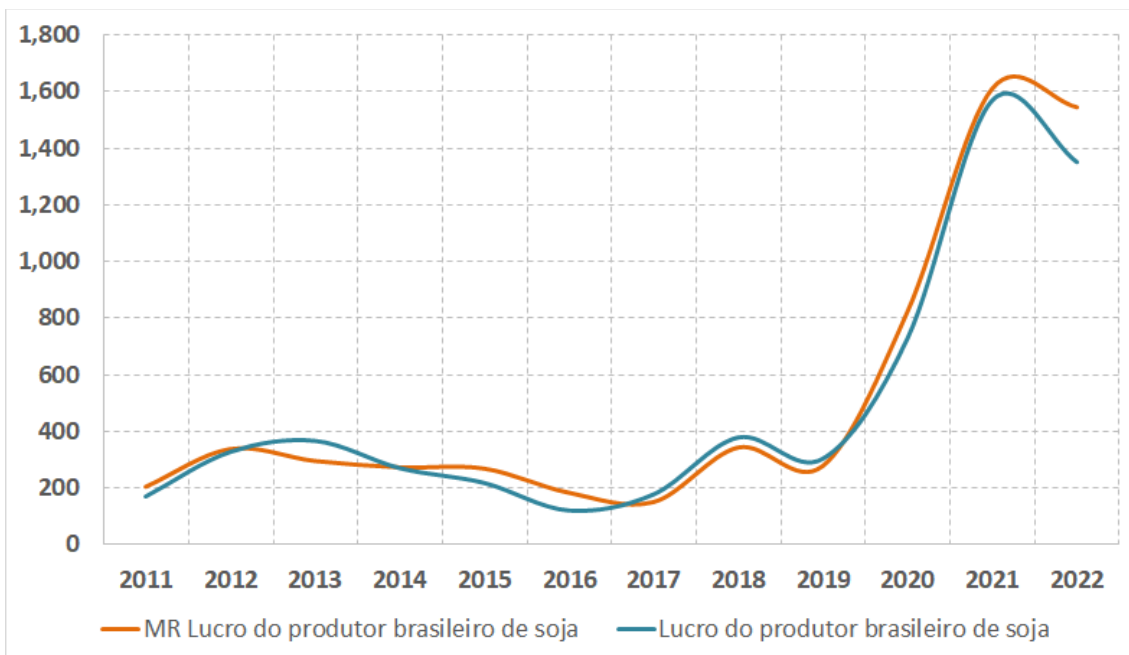


Figura 57 - Comparação entre o modo de referência da variável “lucro do produtor brasileiro de soja” e o seu *output* do modelo de simulação, em R\$/ton

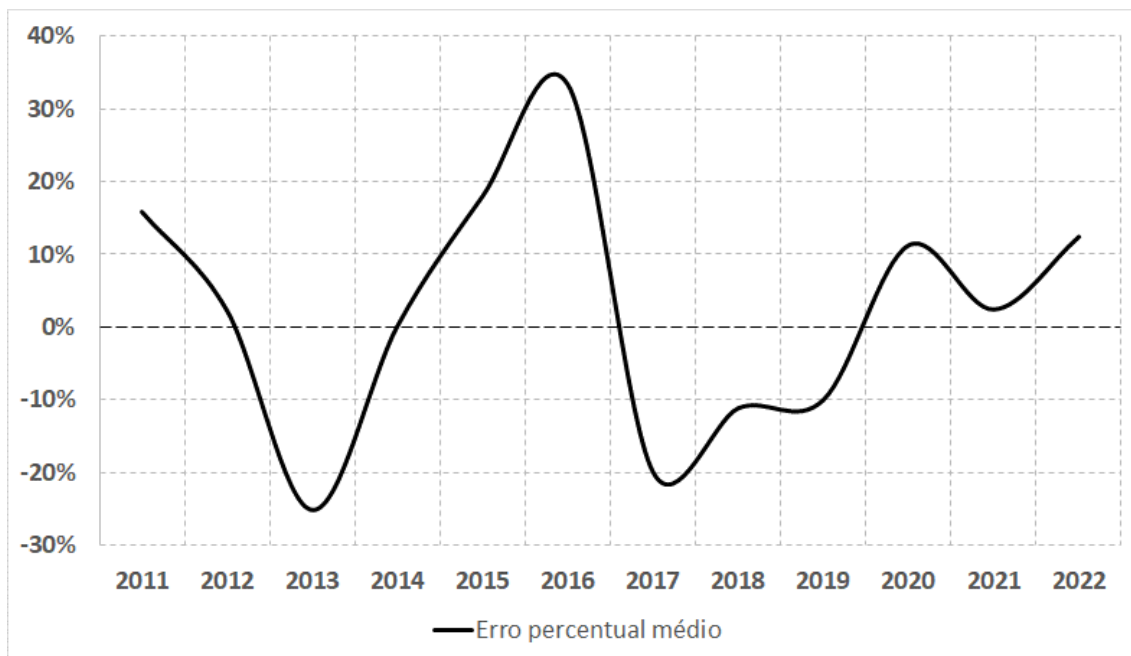


Figura 58 - Análise do erro percentual médio entre o modo de referência da variável “lucro do produtor brasileiro de soja” e o seu *output* do modelo de simulação

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

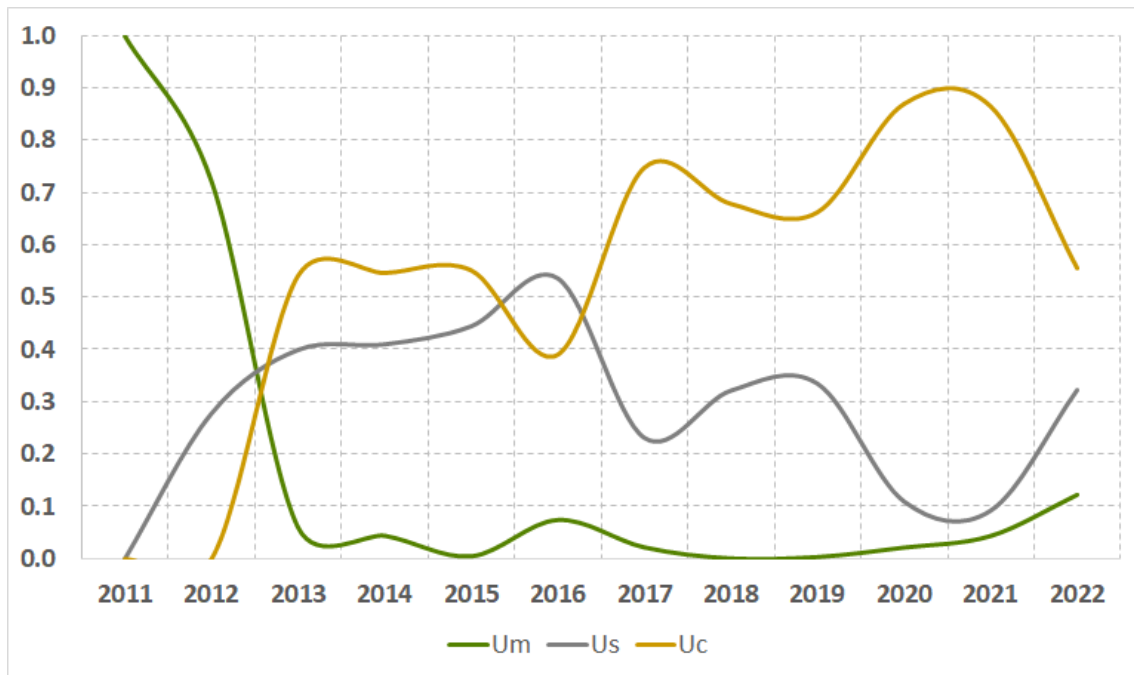


Figura 59 - Comportamento do coeficiente de desigualdade de Theil para a variável “lucro do produtor brasileiro de soja” e o seu output do modelo de simulação

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

#### 5.6.6. Testes do modelo

No capítulo 21 de seu livro, o professor Sterman (2000) apresenta um extenso conjunto de testes que podem ser aplicados em modelos de simulação que foram desenvolvidos utilizando a Teoria de Dinâmica de Sistemas. Acredita-se que o modelo desta tese não apenas colabora com a discussão sobre o problema de pesquisa elencado, mas também apresenta de forma estruturada muitas das relações de causalidade que existem no negócio global da soja, o que foi amplamente discutido com importantes agentes deste mercado no Brasil, nos EUA e na China. Sendo assim, para aumentar a confiança no modelo, inspirando-se no que fez Santos (2012), exibe abaixo os testes aos quais ele foi submetido, assim como os resultados:

##### 1) Adequabilidade dos limites do modelo:

- A maioria dos conceitos relevantes foram tornados endógenos ao modelo de simulação. Sugere-se que em versões futuras deste trabalho, o mesmo tratamento seja aplicado para: (1) produtividade da soja no Brasil; (2) custos de produção da soja no Brasil; (3) e a formação do preço da soja na bolsa de Chicago, principalmente levando em consideração o papel desempenhado pelos especuladores de mercado.

- 2) Avaliação da estrutura:
  - Principalmente em função das 33 entrevistas conduzidas durante a elaboração deste trabalho, pode-se dizer que a estrutura do modelo de simulação se mostrou consistente com o conhecimento descritivo do sistema.
- 3) Consistência dimensional:
  - Os parâmetros de todas as equações são dimensionalmente consistentes e têm significado no mundo real.
- 4) Avaliação dos parâmetros:
  - Os valores aparentaram ser consistentes com o conhecimento quantitativo e/ou qualitativo do sistema e com significado no mundo real.
- 5) Condições extremas:
  - É importante frisar que todas as equações têm significado no mundo real. Todavia, os testes de valores extremos foram feitos de maneira limitada e devem ser ampliados em versões futuras do modelo de simulação. Como exemplo, cita-se o teste que evidenciou forte queda na oferta brasileira de soja, quando se supõe um cenário hipotético onde haja redução no fornecimento de alguma matéria-prima importante, como é o caso dos fertilizantes. É evidente que há uma relação de interdependência, pois países vendedores, tais como a Rússia, também dependem dos recursos financeiros oriundos das exportações desses insumos e o Brasil é um cliente extremamente relevante. Entretanto, o que se tentou reforçar é o risco que os fazendeiros brasileiros têm na obtenção de fatores de produção que são indispensáveis para o sucesso de suas lavouras, mas que são fabricados a milhares de quilômetros de suas fazendas, tendo eles pouco ou nenhum controle sobre essa cadeia de abastecimento.
- 6) Erro de integração:
  - Os resultados não são sensíveis às variações do intervalo de integração.
- 7) Reprodução de comportamento:
  - Pode-se considerar que o modelo de simulação reproduziu satisfatoriamente o comportamento da maioria das variáveis de interesse, quando comparadas com seus respectivos modos de referência.
- 8) Anomalia de comportamento:
  - Não se conduziu testes de alterações ou exclusões nas hipóteses adotadas.

9) Tipo:

- O modelo de simulação proposto gera o comportamento que foi observado em outras instâncias do mesmo sistema.

10) Comportamento surpreendente:

- Não se foi extensivo no estudo de políticas, logo não se pode afirmar que o modelo de simulação gere comportamentos não observados previamente.

11) Análise de sensibilidade:

- Foram conduzidas diversas análises de sensibilidade durante a elaboração e calibração do modelo de simulação;
- Notou-se que as inúmeras e necessárias alterações de estrutura ocorridas ao longo do processo de modelagem tornaram o modelo mais estável e menos sensível à variação de parâmetros;
- É importante frisar que a verificação da sensibilidade do modelo de simulação a políticas teve um caráter limitado e deve ser expandida em futuras versões deste estudo.

12) Melhorias do sistema:

- Acredita-se que o modelo de simulação, assim como as discussões levantadas durante a sua elaboração, contribuirão para a mudança do sistema.



## **6. PROJETO E ANÁLISE DE POLÍTICA**

Este capítulo tem por objetivo apresentar um exemplo dos desdobramentos da aplicação da sugestão de uma política para intervir no problema de pesquisa. Sendo assim, além do (1) contexto, serão exibidos: (2) a política proposta, que nesse contexto seria pública, ou seja, fomentada pelo Estado; (3) as alterações necessárias na estrutura do modelo de simulação, visando refletir o novo cenário; e (4) a análise dos efeitos, utilizando variáveis de interesse.

### **6.1. Panorama de um potencial risco para o setor sojicultor brasileiro**

Em fevereiro de 2022 houve o início de uma série de conflitos bélicos entre Rússia e Ucrânia. Especula-se que Jair Bolsonaro, o então presidente brasileiro, precisou viajar às pressas para a região e interceder junto ao mandatário *Vladimir Putin*, visando garantir que o suprimento de insumos russos não fosse cessado ao Brasil.

É verdade que todos os países que fabricam os insumos que são demandados pela atual agricultura profissionalizada e de alta performance dependem do dinheiro obtido com as vendas desses itens ao exterior. Ademais, o Brasil pode ser considerado como um cliente indispensável, já que, segundo informações da CONAB (2023), IBGE (2023) e EMBRAPA (2017), pode-se estimar que o país plantou em 2022 cerca de 75 milhões de hectares. Para que se tenha uma ordem de grandeza comparativa, isso representa mais de duas vezes todo o território da Alemanha.

Entretanto, o ponto relevante aqui é o risco que os fazendeiros brasileiros têm na obtenção de insumos de produção que são indispensáveis para o sucesso de suas lavouras, mas que são fabricados a milhares de quilômetros de suas fazendas, tendo eles pouco ou nenhum controle sobre essa cadeia de abastecimento.

Ademais, é válido ressaltar que, uma eventual frustração na produtividade das lavouras brasileiras, em função de problemas no fornecimento de insumos, teriam o potencial de impactar não apenas da porteira para dentro, mas também parte significativa da sociedade, já que, como foi discutido no capítulo 1, a soja é importante não apenas para a geração de divisas para a balança comercial do país, mas também na formação do PIB, que impacta diretamente a qualidade de vida nas cidades onde ela é plantada.

## 6.2. Por que o Brasil não é autossuficiente na produção de insumos agrícolas?

Uma produção de soja bem-sucedida demanda a disponibilidade de uma gama enorme de insumos. Porém, porque a problemática é semelhante à de outros produtos, optou-se por exemplificar apenas através da discussão do contexto de uma das matérias-primas mais importantes: o potássio (K), elemento presente na formulação do complexo NPK. A saber, os outros dois são o nitrogênio (N) e o fósforo (P).

Almeida (2022) destacou que “uma pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais mostra que o Brasil tem reservas que poderiam garantir o abastecimento de potássio até 2100. Segundo o professor Raoni Rajão, do departamento de Engenharia de Produção da UFMG, dois terços das reservas se concentram nos estados de Sergipe, São Paulo e Minas Gerais. Já entre as reservas que estão na Amazônia, apenas 11% se sobrepõem a terras indígenas ainda não homologadas. Os números foram levantados com base em dados do Ministério de Minas e Energia. Atualmente, de acordo com dados da Embrapa, 50% da importação do insumo vem da Rússia e de Belarus”.

Vilarino (2022), corroborou dizendo que “embora importe 95% do que consome, o Brasil possui a sétima maior reserva de potássio do mundo, distribuída em duas bacias sedimentares: a do Amazonas-Solimões e a de Sergipe. Ao todo, elas somam cerca de 13 bilhões de toneladas minerais potássicos, dos quais 92,3% encontram-se na bacia de Sergipe. É nessa região que o Brasil realiza, desde 1985, sua produção interna de potássio. A unidade foi vendida pela Vale à Mosaic em 2018 e, apesar da sua dimensão, conta com apenas uma pequena fração considerada efetivamente lavrável, que encontra-se próxima do seu esgotamento e até hoje é a única fonte de potássio no mercado nacional”.

Além disso, Vilarino (2022) ainda disse que “a maior reserva brasileira de silvinita está na Amazônia, o que explica a pressão pela liberação da exploração mineral nessa região, na qual estima-se haver mais de um bilhão de toneladas do mineral. No município de Autazes, a Potássio do Brasil, controlada pela canadense Forbes & Manhattan, chegou a iniciar o processo para produção de potássio em 2015, quando o governo do Amazonas concedeu licença ambiental prévia à empresa. O licenciamento, contudo, foi suspenso após acordo com o Ministério Público Federal em 2017. O órgão apontou a ausência de consulta às comunidades indígenas locais afetadas pela exploração, o que viola a Convenção 169 da Organização Internacional do Trabalho da qual o Brasil é signatário”.

Por fim, Vilarino (2022) afirmou que, “segundo informações divulgadas pelo governo do Amazonas na época, mais de US\$ 2,5 bilhões seriam investidos na construção de um complexo industrial para a extração e tratamento do potássio com uma expectativa de atender até 25% do mercado de consumo nacional numa área localizada a oito quilômetros das terras indígenas de Jauary e Paracuhuba. O projeto, segundo a empresa, prevê, além da estrutura de processamento, a construção de uma estrada, linha de transmissão de energia elétrica e um porto em Urucurituba para o escoamento da produção”.

Ademais, segundo Portela (2022), “para destravar a produção de silvinita no Amazonas, o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) sugere ao governo federal a criação um grupo de trabalho no âmbito da Casa Civil da Presidência, envolvendo a empresa Potássio Brasil, o Governo do Amazonas, Secretaria de Assuntos Estratégicos, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), a Fundação Nacional do Índio (FUNAI), Agência Nacional de Mineração (ANM), Serviço Geológico do Brasil, Petrobras, Comissões de Agricultura da Câmara e Senado, e o próprio IBRAM”.

Não é o foco desta tese se aprofundar na discussão sobre esta problemática histórica. Entretanto, no caso do potássio, é possível concluir que o Brasil possui reservas do produto em quantidades satisfatórias e, mesmo que algumas delas estejam em locais de difícil exploração ou em áreas proibitivas pela legislação vigente, a iniciativa privada está disposta a investir. Porém, essa é uma questão complexa e com diversos tomadores de decisão, muitas vezes com interesses diversos, o que dificulta uma resolução rápida.

### **6.3. Proposta de política visando dirimir o risco identificado**

É sabido que o Brasil é um país rico em recursos naturais. Em suma, como discutido no tópico anterior, devido a uma série de fatores, dentre os quais se destacam (1) uma retórica ambientalista, (2) a autodenominada proteção dos territórios e cultura dos povos originários e a (3) falta de incentivos que garantam investimentos sólidos e contínuos, há diversos impedimentos para que essas riquezas possam ser utilizadas. Exigindo, assim, a importação de matérias-primas que podem ser encontradas no país.

Então, sugere-se que o governo federal encabece a elaboração de uma política de Estado para lidar com o problema, onde as regras sejam claras. Assim, de fato, essa riqueza

poderia ser utilizada. Desta forma, todos seriam beneficiados: os índios poderiam auferir renda e ficariam cada vez menos à mercê de ONGs com interesses escusos; empregos e uma nova infraestrutura de logística e transporte seriam criadas, assim como outras benfeitorias para atender a nova dinâmica que surgiria nas regiões onde essa riqueza existe; a produção de soja teria insumos nacionais garantidos e ficaria mais independente das potenciais oscilações observadas na oferta estrangeira; e o governo arrecadaria mais impostos.

Para um entendimento mais aprofundado sobre como propor e analisar políticas no contexto de modelos de simulação que utilizam o Pensamento Sistêmico como arcabouço teórico, sugere-se a leitura do livro “*Thinking in systems*”, Meadows (2009).

#### **6.4. Modificações na estrutura do modelo de simulação para analisar os impactos da proposta de uma política que vise dirimir o risco identificado**

Analisou-se o que teria acontecido com a safra de soja de 2022 se (1) a oferta das matérias-primas necessárias para a produção fosse, repentinamente, interrompida e (2) se o Brasil fosse autossuficiente em todos os insumos demandados. A Figura 60 apresenta as modificações que foram feitas no Diagrama de *Forrester* do módulo 3: Produção de soja no Brasil. Em suma, foram acrescentadas as variáveis que estão destacadas na cor roxo:

- “VALOR NORMAL DA REGULARIDADE NA IMPORTACAO DE INSUMOS”: igual a 1, com o modelo em equilíbrio.
- REDUCAO DA REGULARIDADE NA IMPORTACAO DE INSUMOS: igual a 1, indicando que não houve importação de insumos a partir do período desejado.
- “Efeito na reducao da regularidade na importacao de insumos”: utiliza-se uma função do tipo STEP para forçar o efeito desejado começar em 2021.
- “INICIO DO IMPACTO NA REGULARIDADE NA IMPORTACAO DE INSUMOS”: igual a 2021, onde parte dos insumos para a safra analisada começaram a ser importados.

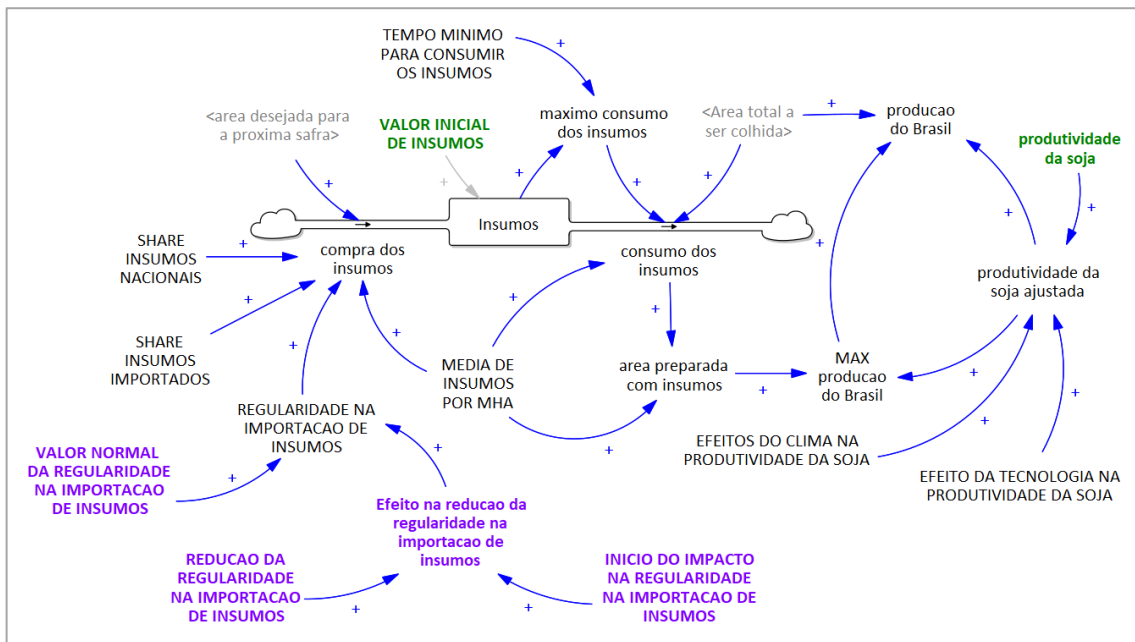


Figura 60 - Modificações necessárias no Diagrama de Forrester do módulo 3: Produção de soja no Brasil, para se analisar os resultados da política proposta

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

### 6.5. Avaliação da política pública proposta visando a diminuição da dependência de insumos agrícolas importados

A Figura 61 apresenta o *output* do modelo de simulação, com destaque para a produção de soja no Brasil em 2022. Em condições *ceteris paribus*, considerando-se que não tivesse acontecido a importação de nenhum dos insumos necessários, ou seja, não apenas os fertilizantes, em função de quaisquer problemas ou simplesmente por decisão dos países ofertantes, o total colhido teria sido de apenas 72 milhões de toneladas, aproximadamente, ou seja, contando apenas com os insumos nacionais. Isso representaria uma quebra de volume na ordem de 43%, ou ainda, valorados pelo preço FOB médio de 2022, US\$ 33,2 bilhões de receita teriam sido retirados de circulação no país.

É válido ressaltar que, nos anos seguintes, as consequências agrônômicas seriam exponenciais, já que o material residual presente no perfil solo iria se esvaír com o tempo, impactando ainda mais a produtividade ou sendo necessário abrir mais áreas para manter o patamar de oferta de soja.

Por outro lado, a Figura 62 demonstra que, em condições *ceteris paribus*, nada teria acontecido com a produção brasileira de soja se políticas públicas e estratégias gerenciais que tornasse o país autossuficiente na fabricação de insumos agrícolas já tivessem sido

implementadas no passado. Ressalta-se que o resultado é o que de fato aconteceu com a safra colhida no país em 2022, entretanto, com o risco embutido de depender de matérias-primas produzidas a milhares de quilômetros de distância.

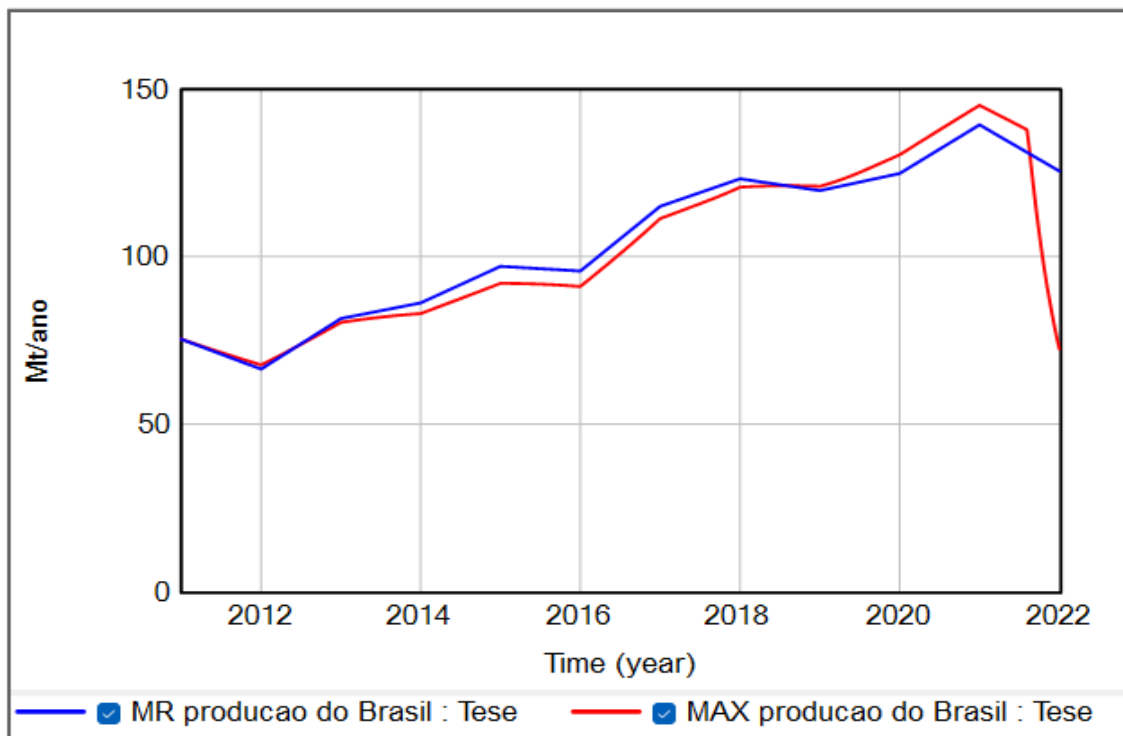


Figura 61 - Produção brasileira de soja, considerando-se que o Brasil não tivesse conseguido importar insumos em 2022.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

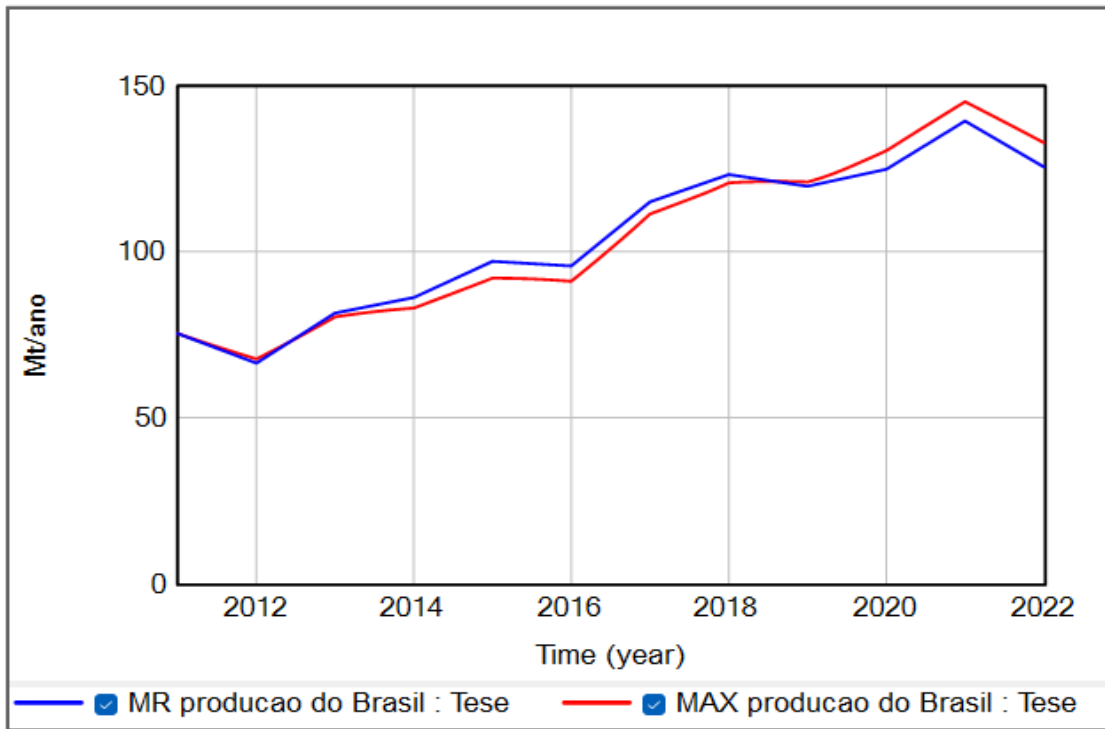


Figura 62 - Produção brasileira de soja, considerando-se que o Brasil fosse autossuficiente na fabricação de insumos agrícolas

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

## **7. CONCLUSÕES E DIRECIONAMENTOS PARA TRABALHOS FUTUROS**

Este trabalho objetivou estudar as relações de causa e efeito entre as principais variáveis presentes no sistema de produção e comercialização da soja brasileira e responder porque os preços da soja oscilam e como isso impacta a lucratividade dos produtores brasileiros e o comportamento da oferta e da demanda pelo produto. Sendo assim, mediante a elaboração de uma diagrama causal e um modelo de simulação alicerçado na Teoria de Dinâmica de Sistemas, foi possível ter um melhor entendimento sobre o funcionamento da estrutura deste mercado, e analisar os impactos da ocorrência de eventos relevantes, assim como implicações de políticas públicas e estratégias gerenciais. Deste modo, o presente capítulo sumariza os principais aprendizados obtidos durante a execução deste trabalho. Ademais, são sumarizadas as limitações encontradas, assim como as recomendações para estudos futuros.

### **7.1. Conclusões**

A soja é um produto agrícola de suma importância para a sociedade moderna. Dentre muitas finalidades, destacam-se a sua ampla utilização como (1) ingrediente na fabricação de rações necessárias para nutrir aves e suínos, que serão abatidos para a obtenção de proteína animal, algo que é indispensável para a manutenção da vida humana; e (2) a produção de biocombustíveis, que ajudam em questões ambientais, ao diminuir a dependência de energia derivada do petróleo.

A cadeia produtiva da soja se mostrou de extrema importância para a sociedade brasileira nos últimos anos, tanto do ponto de vista econômico, por gerar divisas para a balança comercial do país, através das exportações, e contribuição na formação da riqueza nacional (PIB), quanto social, por melhorar a qualidade de vida das pessoas através da criação de empregos e aumento da renda. Dentro deste contexto, este trabalho concluiu que, comparativamente com as médias dos respectivos estados, as cidades com maior área de produção de soja tendem a ser mais desenvolvidas, considerando-se a métrica do IDH, utilizada pela Organização das Nações Unidas.

Do ponto de vista da oferta mundial de soja, ficou claro que tanto a produção quanto o fornecimento desta oleaginosa está concentrado em países localizados no continente americano, já que, considerando uma média entre 2018 e 2022, apenas Brasil, Estados Unidos e Argentina responderam por 81.4% do total colhido e 88.9% das exportações.



Por outro lado, a China se destacou como a grande importadora global, pois, para o mesmo período analisado, respondeu por 58.8% do total demandado.

Ao se analisar os números da soja no Brasil, esta pesquisa observou que a produção experimentou forte crescimento no período analisado, sendo capaz de gerar volumes excedentes suficientes que fizeram com que as exportações mais do que dobrassem de tamanho. Concluiu-se que a demanda da China foi a protagonista responsável por incentivar os fazendeiros brasileiros a expandirem a área plantada com essa leguminosa no país. Através da compilação de 33 entrevistas com diversos agentes do setor, formulou-se uma hipótese dinâmica, na tentativa de explicar as relações de causalidade por trás deste fenômeno:

- Seguindo uma perspectiva Keynesiana, a oferta brasileira de soja é puxada pela demanda internacional, sobretudo a chinesa;
- O aumento da renda per capita e da taxa de urbanização na China gerou mudanças nos hábitos alimentares da população, impulsionando o consumo de proteína animal, principalmente oriundas da carne suína e de frango. A composição da ração que esses animais comem para engordar tem como um dos principais ingredientes o farelo de soja. Sendo assim, como este país asiático é deficitário na produção desta oleaginosa, as importações são mandatórias.
- O Brasil, por sua vez, é uma nação com vocação agrícola, pois dispõe de terra arável e capacidade técnica para fornecer esta matéria-prima em larga escala. Entretanto, a principal razão para o produtor rural brasileiro aumentar ou diminuir a oferta deste grão é a expectativa de lucro com a atividade, comparando-o com o custo de oportunidade, sobretudo com o de outros produtos que concorrem pelos mesmos recursos, além de analisar os resultados obtidos nos últimos anos, pois está propenso a repetir a estratégia caso esteja acumulando sucessos. Essa oscilação acontece ao se decidir investir mais ou menos recursos para variar a área plantada e/ou melhorar a produtividade.

Neste sentido, as conversas com 18 produtores rurais, especialmente com dois ex-presidentes da Aprosoja Brasil, levantaram maior interesse sobre este tema. Eles observaram que, na média, a lucratividade parece boa, mas que muitos fazendeiros ainda alcançam baixa rentabilidade financeira, além de estarem altamente alavancados e endividados. Acrescenta-se a isso o fato de que o lucro apresentou oscilação no horizonte

de tempo deste estudo. Então, concluiu-se que isso pode representar considerável risco para a sustentabilidade da soja no Brasil no longo prazo, já que a saúde financeira do setor é fundamental para que haja (1) continuidade da abertura de novas áreas de produção, assim como (2) adoção de tecnologias onerosas, capazes de aumentar a produtividade marginal das terras já em uso, culminando, assim, em maiores volumes colhidos e na geração de riqueza para o país e alimentos para o mundo. Foi nesse contexto que surgiu a pergunta de pesquisa da tese: “Por que os preços da soja oscilam e como isso impacta a lucratividade dos produtores brasileiros e o comportamento da oferta e da demanda pelo produto?”

Sendo assim, utilizou-se as palavras chaves da pergunta de pesquisa e o método da revisão sistemática da literatura para confirmar que, dentro do contexto estudado nesta tese, existia a lacuna que o presente trabalho se candidatou a preencher. Ao se comparar as abordagens mais comuns utilizadas para se estudar, matematicamente, esse tipo de problema, se concluiu que a Teoria de Dinâmica de Sistemas seria a mais adequada, já que ela é útil quando o problema apresenta as seguintes características: é estratégico, multidisciplinar, complexo e há lapso de informações. Em outras palavras, pode-se dizer que possui as vantagens presentes nos modelos classificados como recursivos.

Observando-se as ferramentas apregoadas pela Teoria de Dinâmica de Sistemas, anteriormente à fase de dispêndio de tempo e recursos para a construção de um modelo matemático robusto, foi salutar a elaboração de um diagrama causal. Após a validação dele, através de conversas com 9 agentes que atual, globalmente, no mercado da soja, foi possível concluir que:

- O tempo de cobertura do estoque influencia na formação do prêmio pago pela soja brasileira. Este também pode ser impactado por problemas geopolíticos, tais como guerras comerciais e o ritmo de comercialização do produto por parte dos fazendeiros.
- O prêmio pago pela soja brasileira, somada a cotação observada na Bolsa de Chicago, resulta no valor do produto já embarcado em um navio ancorado no Brasil. Descontados os custos pertinentes, tem-se o montante que é ofertado para o fazendeiro no interior do país.
- A expectativa de lucro do produtor rural, comparada com a de outras culturas que competem pelos mesmos recursos, é o principal fator que irá incentivá-lo a decidir

se abrirá mais área e/ou investirá em mais tecnologia. Ainda é válido lembrar que, geralmente, ele avalia os resultados obtidos nos últimos anos, pois está propenso a repetir a estratégia caso esteja acumulando sucessos.

- A regularidade no padrão climático e no fornecimento de insumos garantem o sucesso dos índices de produtividade das lavouras e do volume total colhido.
- O crescimento exponencial da demanda chinesa por soja foi explicado pelo aumento de renda e do número de pessoas morando em cidades. Esse acelerado ritmo de urbanização fez com que cada vez mais fossem consumidos alimentos que têm essa oleaginosa como matéria prima básica. Essa dinâmica é incômoda para a indústria brasileira de soja, já que o seu crescimento depende de fatores exógenos, sobre os quais ela não se tem o menor controle.
- Do ponto de vista da operacionalização das compras chinesas, conclui-se que:
  - O governo compra soja para compor os seus estoques de segurança, alinhado a política de segurança alimentar do país. Tanto o total corrente quanto o valor mínimo aceitável do volume em estoque são consideradas informações estratégicas e altamente secretas. Agentes do mercado estimam algo entre 20 e 50 milhões de toneladas. Parâmetros como preço do produto ou margem de lucro auferida no esmagamento de soja têm importância secundária no momento da tomada de decisão.
  - O governo chinês também atua como *trading* internacional e operadora de fábricas que transformam soja em óleo e farelo. Neste caso, a decisão sobre quando, em qual país e o ritmo das compras dessa matéria-prima está embasada na margem de lucro que a operação irá gerar. Ou seja, se for boa, compram diariamente para maximizar o lucro. Se for ruim, ou até mesmo negativa, diminuem o ritmo e adquirem o mínimo possível, apenas visando manter o funcionamento das fábricas e perder menos dinheiro possível. Sendo assim, são comparados os preços CIFs, ou seja, o valor do produto entregue em um porto na China que cada origem, geralmente Brasil, EUA ou Argentina, está ofertando.
  - Os esmagadores independentes seguem uma lógica parecida com braço do chinês que atua como trading. Porém, dado o regime de governo instaurado na China, não é possível afirmar como exatidão o grau de autonomia que essas empresas privadas realmente possuem no momento de tomar decisão.

Na sequência, um modelo de simulação foi desenvolvido seguindo as técnicas da Teoria de Dinâmica de Sistemas. Assim, didaticamente, ele foi segmentado em 9 módulos e possui 150 equações, o que proporcionou as seguintes conclusões e aprendizados:

- A variação de área com soja no Brasil para a safra seguinte é diretamente impactada pela expectativa de lucro dos fazendeiros.
- As exportações de soja do Brasil foram ditadas pelo crescente apetite da indústria da China. Também foi possível concluir que, após o início da guerra comercial, houve uma quebra de confiança dos chineses no suprimento de soja dos EUA, que ainda não foi reconquistada. Ressalta-se que isso não foi elencado por nenhum dos 33 entrevistados, sendo assim, considera-se que esta constatação é uma das mais importantes contribuições desta tese para a literatura.
- Em função das análises do comportamento do erro percentual médio e do coeficiente de desigualdade de *Theil* que foram observados, sugere-se que novos esforços sejam debruçados nas modelagens concernentes as variáveis “prêmio da soja no Brasil” e “lucro médio do fazendeiro brasileiro”.
- Quanto a aplicação de políticas utilizando o modelo de simulação proposto, ficou evidente a importância de o Brasil dirimir o seu risco de oferta de soja ao nacionalizar a fabricação de insumos. Caso tivesse tido problemas em 2022, o total colhido teria sido de apenas 72 milhões de toneladas, aproximadamente. Isso representaria uma quebra de produção na ordem de 43%, ou ainda, valorados pelo preço FOB médio de 2022, U\$ 33,2 bilhões teriam sido retirados de circulação no país.

## **7.2. Contribuições da tese**

Conforme o que foi exposto acima, pode-se dizer que esta tese de doutorado respondeu à pergunta de pesquisa a qual se candidatou a pesquisar. Sendo assim, abaixo estão sumarizadas as principais contribuições práticas, tanto do ponto de vista teórico quanto de políticas públicas e estratégias gerenciais, assim como as suas respectivas implicações:

- Do ponto de vista teórico, através da construção de um diagrama causal, amplamente discutido com pessoas relevantes para o setor sojicultor mundial, esta tese fornece uma ferramenta útil para que os tomadores de decisão possam entender, de forma holística, o sistema no qual estão inseridos, assim com as causalidades envolvidas. Além do mais, o texto deixa claro tanto o processo de

decisão da China para comprar a sua demanda internacional de soja quanto do fazendeiro brasileiro em plantar o produto.

- Ainda do ponto de vista teórico, o modelo de simulação capturou que, após o início da guerra comercial, houve uma quebra de confiança dos chineses no suprimento de soja dos EUA, que ainda não foi reconquistada. Isso tem sido bom para o Brasil, que viu um crescimento da sua área plantada e, conseqüentemente, das suas exportações.
- Destaca-se que a tese, meticulosamente, organizou e disponibiliza para os leitores estatísticas coesas, que estavam espalhadas em diversas fontes de dados, sobre a soja tanto no Brasil, quanto na Argentina e EUA.
- Do ponto de vista gerencial, ficou explícito o risco que o país corre ao exportar a maior parte da sua produção de soja para apenas um cliente. Em média, entre 2018 e 2022, a China comprou mais de 63% das vendas totais do Brasil. Essa dinâmica é incômoda para a indústria brasileira de soja, já que o seu crescimento depende de fatores exógenos, sobre os quais ela não se tem o menor controle.
- No que concerne a política pública, o Estado brasileiro precisa, urgentemente, se organizar e propor um plano claro que leve o país a ser autossuficiente nos insumos necessários para se produzir soja. Isso seriam benéfico para todos os principais agentes envolvidos neste setor: os índios poderiam auferir renda e ficariam cada vez menos à mercê de ONGs com interesses escusos; empregos e uma nova infraestrutura de logística e transporte seriam criadas, assim como outras benfeitorias para atender a nova dinâmica que surgiria nas regiões onde essa riqueza existe; a produção de soja teria insumos nacionais garantidos e ficaria mais independente das potenciais oscilações observadas na oferta estrangeira; e o governo arrecadaria mais impostos.

### **7.3. Limitações e direcionamentos futuros**

O modelo de simulação proposto nesta tese de doutorado é uma simplificação da realidade. Sendo assim, naturalmente, possui limitações. As mais importantes são listadas abaixo, consideradas como oportunidades de melhoria e sugestões para trabalhos futuros:

- Sugere-se estender os limites do modelo. Deste modo, variáveis como o “preço CBOT” poderiam ser modeladas como elementos endógenos. Assim, seria possível incorporar no Diagrama de *Forrester* as alterações necessárias para que

os efeitos que os especuladores causam nas cotações internacionais da soja fossem refletidas;

- Mensalizar os *inputs* do modelo, tentando, assim, capturar eventuais efeitos que o ritmo de plantio, colheita e comercialização de soja têm mensalmente sobre as variáveis de interesse discutidas no capítulo 5, sobretudo o lucro médio do produtor brasileiro;
- Sugere-se que a variável “produtividade da soja” seja modelada endogenamente, assim como todos os outros elementos que a impactam;
- A temática envolvendo a formação do prêmio Brasil tem potencial para ser modelada de forma que o erro percentual médio seja menor;
- Inserir no modelo de simulação as variáveis necessárias para refletir as dinâmicas observadas na estrutura de transporte e logística brasileira. Em outras palavras, analisar os impactos do chamado “custo Brasil”.
- Por fim, é indicado que outras políticas sejam formuladas e avaliadas, já que o capítulo 8 se resumiu a apenas um exemplo. Neste sentido, abre-se oportunidade para que o modelo de simulação seja submetido a mais testes, aumentando, assim, cada vez mais, a confiança dos tomadores de decisão ao utilizá-lo.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIOVE - Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. **Estatísticas mensais do complexo soja**. 2023. Disponível em: <https://abiove.org.br/estatisticas>. Acessado em: 21 de março de 2023.

Adl, A.; Parvizian, J. *Drought and production capacity of meat: a system dynamics approach*. In *27<sup>th</sup> International Conference of the System Dynamics Society*. Albuquerque, United States of America, 2009.

Almeida, P. Brasil tem reservas de potássio para abastecer agricultura até 2100, diz pesquisa. **CNN Brasil**. Rio de Janeiro, 08/03/2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/brasil-tem-reservas-de-potassio-para-abastecer-agricultura-ate-2100-diz-pesquisa>. Acessado em 01 de setembro de 2023.

Amaral, J. A. A. **Desvendando Sistemas**. São Paulo, Do Autor, 2012.

AMIS - *Agricultural Market Information System*. **Crop calendar**. 2012. Disponível em: <http://www.amis-outlook.org>. Acessado em 04 de setembro de 2021.

ANP - Agência Nacional do Petróleo. **Produção de biocombustíveis**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-estatisticos>. Acessado em: 28 de março de 2023.

APROSOJA - Associação Brasileira dos Produtores de Soja. **Uso da soja**. 2014. Disponível em: <https://aprosojabrasil.com.br/a-soja>. Acessado em 28 de fevereiro de 2023.

APS - Agri Port Services. **Base com as exportações brasileiras de soja entre 2016 e 2022**. 2023. Mensagem recebida por e-mail em 12 de janeiro de 2023.

Araújo, M. **O segredo do grão: o comércio de commodities agrícolas**. Curitiba, Do Autor, 2017.

BACEN - Banco Central do Brasil. **Consulta de cotações e boletins do dólar dos EUA**. 2023. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/historicocotacoes>. Acessado em 13 de janeiro de 2023.

BACEN - Banco Central do Brasil. **Metas para a inflação: Taxa Selic**. 2023b. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>. Acessado em 18 de abril de 2023.

Bisht, B. S.; Sahu, K. C.; Vizayakumar, K. *A system dynamics model of soybean production in India*. In *12<sup>th</sup> International Conference of the System Dynamics Society*. Stirling, Scotland, 1994.

Bolsa de Cereales. **Informes y Datos: Panorama Agrícola Semanal (PAS)**. Disponível em: <https://www.bolsadecereales.com/estimaciones-informes>. Acessado em 21 de janeiro de 2023.

Bowden, R.; Zhu, J. *The agribusiness cycle and its wavelets*. **Empirical Economics**. Springer Link, 34, 2008. pp. 603-622.

Brown, M. E.; Funk, C. C. *Food security under climate change*. **Science**. American Association for the Advancement of Science, 319(5863), 2008. pp. 580-581.

Cargonave. **Base com as exportações brasileiras de soja entre 2011 e 2015**. 2016. Mensagem recebida por e-mail em 11 de novembro de 2022.

Casaroli, D.; Fagan, E. B.; Simon, J.; Medeiros, S. P.; Manfron, P. A.; Neto, D. D.; Lier, Q. J.; Muller, L.; Martin, N. Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja - uma revisão. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**. 14(2), 2007. pp. 102-120.

CME - *Chicago Mercantile Exchange Group Inc.* **Commitment of Traders**. 2023b. Disponível em <https://www.cmegroup.com/tools-information/quikstrike/commitment-of-traders.html>. Acessado em 17 de janeiro de 2023.

CME - *Chicago Mercantile Exchange Group Inc.* **Soybean futures quotes**. 2023. Disponível em <https://www.cmegroup.com/markets/agriculture/oilseeds/soybean.quotes.html>. Acessado em 17 de janeiro de 2023.

CEPEA-ESALQ/USP - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo. **PIB do agronegócio brasileiro**. 2023. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acessado em 14 de abril de 2023.



CEPEA-ESALQ/USP - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo. **Preços agropecuários**. 2023b. Disponível em: <https://www.reuters.com/differentiator>. Acessado em 10 de fevereiro de 2023.

Chaudhry, M. I.; Miranda, M.J. *Complex price dynamics in vertically linked cobweb markets*. **Economic Modeling**. ELSEVIER, 72, 2018. pp. 363-378.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Custos de produção da soja**. 2023b. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/soja>. Acessado em 10 de janeiro de 2023.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Série histórica das safras: soja**. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>. Acessado em 15 de janeiro de 2023.

Cotula, L. *The international political economy of the global land rush: A critical appraisal of trends, scale, geography and driver*. **The Journal of Peasant Studies**. Taylor & Francis Online, 39(3-4), 2012. pp. 649-680.

Dillon, B. M.; Barrett, C. B. *Global Oil Prices and Local Food Prices: Evidence from East Africa*. **American Journal of Agricultural Economics**. Wiley Online Library, 98(1), 2015. pp. 154-171.

Donato, H.; Donato, M. Etapas na Condução de uma Revisão Sistemática. **Revista Científica da Ordem dos Médicos**. Acta Médica Portuguesa, 32(3), 2019. pp. 227-235.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Síntese ocupação e uso das terras no Brasil**. 2017. Disponível em: <https://www.empraba.br/car/sintese>. Acessado em 28 de dezembro de 2022.

Esposti, R.; Listorti, G. *Agricultural price transmission across space and commodities during price bubbles*. **The Journal of the International Association of Agricultural Economists**. Wiley Online Library, 44(1), 2012. pp. 125-139.

Fafchamps, M.; Hill, R. V. *Price transmission and trader entry in domestic commodity markets*. **Economic Development and Cultural Change**. The University of Chicago Press Journals, 56(4), 2008. pp. 729-766.

Fliehr, O; Zimmer, Y.; Smith L. H. *Impacts of transportation and logistics on Brazilian soybean prices and exports. Transportation Journal. Penn State University Press*, 58(1), 2019. pp. 65-77.

Ford, A. *Modeling the environment: an introduction to system dynamics modeling of environmental systems. Washington: Island Press*, 1999.

Forrester, J. W. *Industrial Dynamics. Cambridge: MIT Press*, 1961.

Fowowe, B. *Do oil prices drive agricultural commodity prices? Evidence from South Africa. Energy. ELSEVIER*, 104, 2016. pp. 149-157.

Fraiture, C.; Giordano, M.; Liao, Y. *Biofuels and implications for agricultural water use: blue impacts of green energy. Water Policy. IWA Publishing*, 10(1), 2008. pp. 67-81.

Garcia, J. M. *Teoría y ejercicios prácticos de dinámica de sistemas. Barcelona: Do Autor*, 2003.

Ghoshray, A. *Are Shocks Transitory or Permanent? Journal of Agricultural Economics. Wiley Online Library*, 70(1), 2019. pp. 26-43.

Gilbert, C. L. *How to Understand High Food Prices. Journal of Agricultural Economics. Wiley Online Library*, 61(2), 2010. pp. 398-425.

Gujarati, D. *Basic Econometrics. New York: Tata McGraw Hill*, 2004.

Headey, D.; Fan, S. *Anatomy of a crisis: the causes and consequences of surging food prices. Agricultural Economics. Wiley Online Library*, 39(1), 2008. pp. 375-391.

Hesary, F. T.; Rasoulinezhad, E.; Yoshino, N. *Energy and Food Security: Linkages through Price Volatility. Energy Policy. ELSEVIER*, 128, 2019. pp. 796-806.

Hoffmann, R. **Análise de regressão: uma introdução à econometria [recurso eletrônico]**. Piracicaba: Do Autor, 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Áreas Territoriais**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial>. Acessado em 28 de janeiro de 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Índice de Desenvolvimento Humano**. 2011. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/indicadores>. Acessado em 21 de março de 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **PIB do Brasil**. 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/37/30255>. Acessado em 13 de maio de 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal**. 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acessado em 15 de setembro de 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal**. 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acessado em 19 de janeiro de 2023.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2014. **A influência da taxa de câmbio sobre os fluxos de comércio exterior**. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream>. Acessado em 19 de novembro de 2022.

Kim, K.; Chavas, J. P. *A dynamic analysis of the effects of a price support program on price dynamics and price volatility*. **Journal of Agricultural and Resource Economics**. *Western Agricultural Economics Association*, 27(2), 2002. pp. 495-514.

Kovacevic, V.; Jelocnik, M.; Subic, J.; Zekic, V.; Milic, D.; Zubovic, J. *Causality between corn production cost and cash corn price*. **Custos e Agronegócio**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 13(4), 2017. pp. 2-16.

Krueger, A. O.; Schiff, M.; Valdés, A. *Agricultural incentives in developing countries: Measuring the effect of sectoral and economywide policies*. **The World Bank Economic Review**. *Oxford University Press*, 2(3), 1988. pp. 255-271.

Lima, J.; Echeveste, M.; Ribeiro, J. Fatores que subsidiam a tomada de decisão no âmbito da produção agrícola - um estudo de caso no sudoeste do Paraná. **Enciclopédia Biosfera**. Centro Científico Conhecer, 10(18), 2014. pp. 1760.

Lithourgidis, A. S.; Dordas, C. A.; Damalas, C. A.; Vlachostergios, D. N. *Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture*. **Australian Journal of Crop Science**. *Informit*, 5(4), 2011. pp. 396-410.

- Lobell, D. B.; Field, C. B. *Global scale climate - crop yield relationships and the impacts of recent warming. Environmental Research Letters. IOP Publishing*, 2(1), 2007.
- Lubowski, R. N.; Plantinga, A. J.; Stavins, R. N. *Land-use change and carbon sinks: Econometric estimation of the carbon sequestration supply function. Journal of Environmental Economics and Management. ELSEVIER*, 51(2), 2006. pp. 135-152.
- Luckmann, J.; Ihle, R.; Kleinwechter, U.; Grethe, H. *Do Vietnamese upland farmers benefit from high world market prices for maize? The Journal of the International Association of Agricultural Economists. Wiley Online Library*, 46(1), 2015. pp. 1-11.
- Maani, K. E.; Canava, R. Y. *Systems thinking and modelling: understanding change and complexity*. Auckland: Prentice Hall, 2000.
- Martins, E. **Contabilidade de custos**. São Paulo: Atlas, 2003.
- McAfee, K.; Shapiro, E. N. *Payments for Ecosystem Services in Mexico: Nature, Neoliberalism, Social Movements, and the State. Annals of the Association of American Geographers. Taylor & Francis Online*, 100(3), 2010. pp. 579-599.
- McDonald Pelz. **Informações sobre o complexo soja no mundo**. 2023. Mensagem recebida por e-mail em 22 de fevereiro de 2023.
- McMichael, P. *The land grab and corporate food regime restructuring. The Journal of Peasant Studies. Taylor & Francis Online*, 39(3-4), 2012. pp. 681-701.
- MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Exportações e importações brasileiras**. 2023. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br>. Acessado em 09 de março de 2023.
- Meadows, D. H.; Randers, J.; Meadows, D. L. *Limits to growth: the 30 year update*. London: Earthscan, 2004.
- Meadows, D. H.; Meadows D. L.; Randers J.; Behrens W. W. III. *The Limits to Growth - Club of Rome*. Switzerland: Potomac Associates Universe Books, 1972.
- Meadows, D. H.; **Thinking in systems**. London: Earthscan, 2009.
- MINAGRI - *Ministerio de Agroindustria da Argentina*. 2023b. **Consumo de soja en Argentina**. Disponível em: <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar>. Acessado em 12 de fevereiro de 2023.

MINAGRI - *Ministerio de Agroindustria da Argentina*. 2023. **Importación de soja**. Disponível em: <https://comex.indec.gob.ar>. Acessado em 12 de fevereiro de 2023.

MINAGRI - *Ministerio de Agroindustria da Argentina*. 2021. **Superficie sembrada de soja**. Disponível em: <https://datos.magyp.gob.ar/dataset/soja-siembra-cosecha-produccion-rendimiento>. Acessado em 07 de abril de 2022.

Moraes, M. **Prêmio de exportação da soja brasileira**. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2002.

Mulrow, C. D. *Systematic Reviews: Rationale for systematic reviews*. **The BMJ**. 32(3), 1994. pp. 597-599.

Nabsa. **Base com as exportações argentinas de soja entre 2016 e 2022**. 2023. Mensagem recebida por e-mail em 26 de janeiro de 2023.

Nazlioglu, S.; Soytaş, U. *Oil price, agricultural commodity prices, and the dollar: A panel cointegration and causality analysis*. **Energy Economics**. *ELSEVIER*, 34(4), 2012. pp. 1098-1104.

Nazlioglu, S.; Soytaş, U. *World oil prices and agricultural commodity prices: Evidence from an emerging market*. **Energy Economics**. *ELSEVIER*, 33(3), 2010. pp. 488-496.

Nazlioglu, S. *World oil and agricultural commodity prices: Evidence from nonlinear causality*. **Energy Policy**. *ELSEVIER*, 39(5), 2011. pp. 2935-2943.

Nicholson, C.; Fiddaman, T. *Dairy policy and price volatility*. In *21<sup>st</sup> International Conference of the System Dynamics Society*. New York City, United States of America, 2003.

Niemi, J. K. *An autoregressive model to estimate the impacts of price shocks on feed prices*. **Nordic view to sustainable rural development**. *NFJ Congress*, 2015. pp. 457-461.

North Carolina Soybean Producers Association. **Use of soybean**. 2014. Disponível em: <http://ncsoy.org/media-resources/uses-of-soybeans>. Acessado em 21 de fevereiro de 2023.

Novickyte, L. *Income Risk Management in Agriculture using Financial Support*. **European Journal of Sustainable Development**. *European Center of Sustainable Development*, 7(4), 2018. pp. 191-202.

Oliva, R. *A Vensim module to calculate summary statistics for historical fit*. Cambridge: System Dynamics Group, 1985. – Memo D-4584.

OECD - *Organisation for Economic Co-operation and Development*. **Meat consumption**. 2023. Disponível em: <https://data.oecd.org/agrouput/meat-consumption>. Acessado em 28 de dezembro de 2022.

Osorio, F.; Aramburo, S. *A system dynamics model for the world coffee market*. In 27<sup>th</sup> *International Conference of the System Dynamics Society*. Albuquerque, United States of America, 2009.

Papiez, M. *A dynamic analysis of causality between prices of corn, crude oil and ethanol*. **MPRA Paper**. 56540 *University Library of Munich*, 2014.

Pátria Agronegócios. **Sazonalidade média semanal do plantio e da colheita das lavouras de soja no Brasil entre 2018 e 2022**. 2023. Mensagem recebida por e-mail em 01 de março de 2023.

Pera, T. G. **Modelagem das perdas na agrológica de grãos no Brasil: uma aplicação de programação matemática**. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2017.

Picchione, K. *An explanation of oscillating cashflows experienced by Ugandan smallholder farmers: the first use of a model to simulate the effects of trader business strategies on farmer livelihoods*. In 36<sup>th</sup> *International Conference of the System Dynamics Society*. Reykjavík, Iceland, 2018.

Pindyck, R. S.; Rubinfeld, D. L. **Econometria: modelos & previsões**. Rio de Janeiro: ELSEVIER, 2004.

Popp, M. P.; Keisling, T. C.; Mcnew, R. W.; Oliver, R. L.; Dillon, C. R.; Wallace, D. M. *Planting date, cultivar, and tillage system effects on dryland soybean production*. **Agronomy Journal**. *Wiley Online Library*, v.94, 2002. pp. 81-88.

Portela, M. Fertilizantes: Brasil está parado desde 2014. **Correio Braziliense**. Brasília, 02/03/2022. Disponível em: <https://correio braziliense.com.br/economia-fertilizantes-brasil-esta-parado-desde-2014>. Acessado em 01 de setembro de 2023.

Raynolds, L. T. *Re-embedding global agriculture: The international organic and fair trade movements*. **Agriculture and Human Values**. *Springer Link*, 17, 2000. pp. 297-309.

Reuters. *Ocean freight of agricultural commodities*. 2023. Disponível em <https://www.reuters.com/differentiator>. Acessado em 17 de janeiro de 2023.

Reuters. *Soybean premiums*. 2023b. Disponível em <https://www.reuters.com/differentiator>. Acessado em 22 de janeiro de 2023.

Reuters. *Soybean crushing margins in China*. 2023c. Disponível em <https://www.reuters.com/differentiator>. Acessado em 12 de fevereiro de 2023.

Rezitis, A. N. *The relationship between agricultural commodity prices, crude oil prices and US dollar exchange rates: a panel VAR approach and causality analysis*. *International Journal of Applied Economics*. SSRN, 29, 2014. pp. 403-434.

Richards, P.; Pellegrina, H.; Vanwey, L.; Spera Spera, S. *Soybean development: the impact of a decade of agricultural change on urban and economic growth in Mato Grosso, Brazil*. *Plos One*. *Plos One Collection*, 10(4), 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122510>.

Roberts, N.; Andersen, D.; Deal, R.; Garet, M.; Shaffer, W. *Introduction to computer simulation: a system dynamics modeling approach*. Portland: Productivity Press, 1983.

Santos, J. R. **A indústria marítima mundial: uma análise sob a perspectiva da dinâmica de sistemas**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

Santos, J. R. **A indústria da cana-de-açúcar: uma análise sob a perspectiva da dinâmica de sistemas**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

Senge, P. *The Fifth Discipline: The Art & Practice of the Learning Organization*. New York: Doubleday, 1990.

Singh, G. H., et al. *The soybean: botany, production and uses*. Cambridge: Cabi, 2010.

Speech, M. *Market performance of agricultural commodities in semi-arid South Kordofan, Sudan*. *Geoforum*. ELSEVIER, 20(4), 1989. pp. 409-424.

Sterman, J. D. *Appropriate summary for evaluating the historical fit of system dynamics model*. *Dinamica*, 1984. - 10 (Winter). – 51-66.

Sterman, J. D. *Business Dynamics: Systems thinking and modeling for complex world*. New York: Irwin McGraw-Hill, 2000.

Su, W. C.; Wang, X. Q.; Tao, R.; Ramona, L. O. *Do oil prices drive agricultural commodity prices? Further evidence in a global bio-energy context*. *Energy*. ELSEVIER, 172, 2019. pp. 691-701.

Thomé, A. M. T.; Scavarda, L. F.; Scavarda, A. J. *Conducting systematic literature review in operations management*. *Production Planning & Control*. SAGE Journals, 4(3), 2005. pp. 356-367.

Torraco, R. J. *Writing Integrative Literature Reviews: Guidelines and Examples*. *Human Resource Development Review*. Taylor & Francis Group, 27(5), 2016. pp. 408-420.

UN - United Nations. *Human development reports*. 2020. Disponível em: <http://www.hdr.undp.org>. Acessado em 21 de fevereiro de 2023.

UNCTAD - United Nations Conference on Trade and Development. *Trade and development report*. 2016. Disponível em: [http:// unctad.org.org](http://unctad.org.org). Acessado em 28 de fevereiro de 2023.

United Soybean Board. *Industrial uses of soybean*. 2016. Disponível em: <http://unitedsoybean.org>. Acessado em 28 de fevereiro de 2023.

USDA - United States Department of Agriculture. *Area planted with soybean in the US*. 2021. Disponível em: <https://quickstats.nass.usda.gov>. Acessado em 30 de setembro de 2022.

USDA - United States Department of Agriculture. *Soybean crop progress in the US*. 2023e. Disponível em: <https://quickstats.nass.usda.gov>. Acessado em 01 de março de 2023.

USDA - United States Department of Agriculture. *Foreign agricultural service: China Soybean imports*. 2023. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline>. Acessado em 10 de março de 2023.

USDA - United States Department of Agriculture. *Foreign agricultural service: Soybean exports*. 2023b. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline>. Acessado em 19 de fevereiro de 2023.



USDA - *United States Department of Agriculture. Foreign agricultural service: Soybean imports*. 2023d. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline>. Acessado em 19 de fevereiro de 2023.

USDA - *United States Department of Agriculture. Soybean numbers in the US*. 2023f. Disponível em: <https://quickstats.nass.usda.gov>. Acessado em 12 de abril de 2023.

USDA - *United States Department of Agriculture. Soybean World S&D*. 2023c. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline>. Acessado em 19 de fevereiro de 2023.

USDA - *United States Department of Agriculture. Table 8: Monthly Brazilian soybean export truck transportation cost index (xls)*. 2023h. Disponível em: <https://www.ams.usda.gov/services/transportation-analysis/brazil-datasets>. Acessado em 29 de março de 2023.

USDA - *United States Department of Agriculture. US agricultural trade totals*. 2023g. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/gats>. Acessado em 05 de abril de 2023.

Vargas, A. *Using the OMNeT++ discrete event simulation system in education. Institute of Electrical and Electronics Engineers*. 42(4), 1999. 11 pp.

Vilarino, C. Por que Brasil não produz fertilizante suficiente e importa da Rússia? **Globo Rural**. São Paulo, 04/03/2022. Disponível em: <https://globorural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2022/03/por-que-o-brasil-depender-de-fertilizante-importado-entenda>. Acessado em 01 de setembro de 2023.

Vohra, A.; Pandey, N.; Khatri, S. K. *Decision Making Support System for Prediction of Prices in Agricultural Commodity. In Amity International Conference on Artificial Intelligence. Dubai, United Arab Emirates, 2019*.

Wang, S. L.; McPhail, M. *Impacts of energy shocks on US agricultural productivity growth and commodity prices - a structural VAR analysis. Energy Economics. ELSEVIER*, 46, 2014. pp. 435-444.

Wang, Y.; Wu, F.; Yang, L. *Oil price shocks and agricultural commodity prices. Energy Economics. ELSEVIER*, 44, 2014. pp. 22-35.

Warren, K. *Competitive strategy dynamics*. Chichester: John Wiley & Sons, 2002.

Wilensky, U.; W. Rand. *An Introduction to Agent-Based Modeling: Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo*. Cambridge: The MIT Press, 2015.

Wind, Y.; Crook, C.; Gunther, R. E. **A força dos modelos mentais**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

Wolfe, A. R. *Commodity Marketing and Generic Promotion*. *European Journal of Marketing*. Emerald Insight, 11(7), 1977. pp. 532-547.

World Bank. 2023. **Population, total - China**. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator>. Acessado em 8 de abril de 2023.

World Bank. 2023b. **Urban population in China**. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator>. Acessado em 8 de abril de 2023.

Wright, C. K.; Wimberly, M. C. *Recent land use change in the Western Corn Belt threatens grasslands and wetlands*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. The National Academies Press, 110(10), 2013. pp. 4134-4139.

Wu, Z.; Maynard, A.; Weersink, A.; Hailu, G. *Asymmetric spot-futures price adjustments in grain markets*. *The Journal of Futures Markets*. Wiley Online Library, 38(12), 2018. pp. 1549-1564.

Zylbersztajn, D.; Omta, S. W. F.; (Editors). *Advances in supply chain analysis in agri-food systems*. São Paulo: Singular, 2009.

## APÊNDICE A: Módulos do modelo de simulação

Este capítulo tem como objetivo apresentar os módulos considerados no modelo de simulação, onde podem ser observados os Diagramas de *Forrester*, assim como as equações e respectivas unidades.

### A.1. Módulo 1: Balanço de oferta e demanda do Brasil

Já apresentado e no corpo da tese.

### A.2. Módulo 2: Dinâmica da área para produção de soja no Brasil

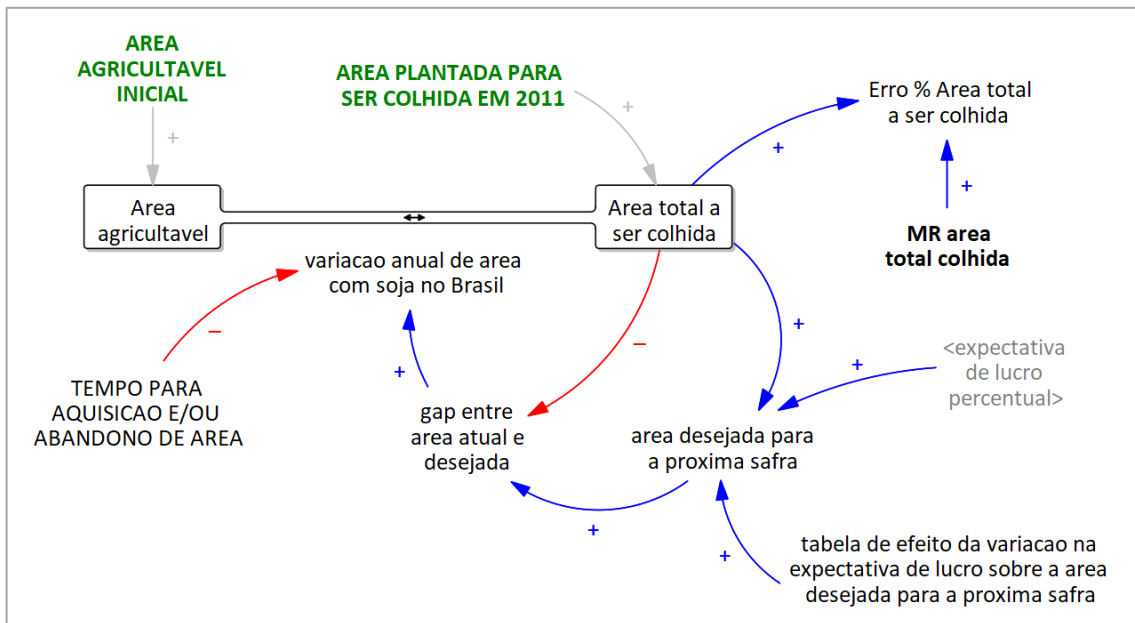


Figura 63 - Diagrama de *Forrester* do módulo 2: Dinâmica da área para produção de soja no Brasil

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 19 - Equações do módulo 2: Dinâmica da área para produção de soja no Brasil

#### Módulo M2: Dinâmica da área para produção de soja no Brasil

(001) **Area agricultavel** = INTEG (-variacao anual de area com soja no Brasil, area agricultavel inicial)

Unidade: Mha

Comentário: representa o estoque de hectares sobre o qual a área de soja plantada ainda pode avançar durante cada ponto da simulação.

---

**Módulo M2: Dinâmica da área para produção de soja no Brasil**

---

**(002) AREA AGRICULTAVEL INICIAL = 110**

Unidade: Mha

Comentário: representa, teoricamente, o estoque de soja sobre o qual a área de soja poderia avançar a partir de 2011. Para maiores detalhes, consultar o Apêndice H da tese.

**(003) area desejada para a proxima safra = tabela de efeito da variacao na Expectativa de lucro sobre a area desejada para a proxima safra (expectativa de lucro percentual)\*Area total a ser colhida**

Unidade: Mha

Comentário: representa a variação (acréscimo ou decréscimo) de área efetiva de um ano para outro, com base no resultado financeiro atual da atividade.

**(004) AREA PLANTADA PARA SER COLHIDA EM 2011 = 24,181**

Unidade: Mha

Comentário: representa a área que foi colhida em 2011. Fonte: Conab.

**(006) Area total a ser colhida = INTEG (variacao anual de area com soja no Brasil, area plantada para ser colhida em 2011)**

Unidade: Mha

Comentário: representa o total de área colhida em cada ponto da simulação do modelo proposto.

**(041) "Erro % Area total a ser colhida" = (MR area total colhida-Area total a ser colhida)/MR area total colhida**

Unidade: Sem dimensão.

Comentário: calcula a diferença percentual entre a "MR área total colhida" em cada ano, de acordo com o Modo de Referência (Fonte: CONAB) e a área calculada pelo modelo de simulação.

**(053) expectativa de lucro percentual = (preco ao produtor-custos de producao)/preco ao produtor**

Unidade: Sem dimensão.

Comentário: representa o lucro médio percentual anual do produtor brasileiro de soja.

**(062) gap entre area atual e desejada = area desejada para a proxima safra-Area total a ser colhida**

Unidade: Mt

Comentário: representa a diferença entre a área total colhida no ano X-1 e a desejada para o ano X.

**(079) MR area total colhida:INTERPOLATE:: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx', 'Dados\_Anuais', 'A', 'BE2' )**

Unidade: Mha

Comentário: representa o total anual de área colhida. Fonte: CONAB.

**(130) tabela de efeito da variacao na expectativa de lucro sobre a area desejada para a proxima safra ([-1,0)-[1,2]], (-1,0), (-0.5,0.9), (0,1.025), (0.15,1.035), (0.2,1.045), (0.3,1.045), (0.4,1.07), (0.45,1.07), (0.5,1.07), (0.75,1.05), (1,1.05))**

Unidade: Mt/ano

Comentário: representa um controle de primeira ordem, para que não haja estoque negativo.

---



---

### Módulo M3: Produção de soja no Brasil

---

**(006) Area total a ser colhida= INTEG (variação anual de área com soja no Brasil, área plantada para ser colhida em 2011)**

Unidade: Mha

Comentário: comentário: representa o total de área colhida em cada ponto da simulação do modelo proposto.

---

**(011) compra dos insumos = (área desejada para a próxima safra \* MÉDIA DE INSUMOS POR MHA \* SHARE INSUMOS IMPORTADOS \* REGULARIDADE NA IMPORTAÇÃO DE INSUMOS) + (área desejada para a próxima safra \* MÉDIA DE INSUMOS POR MHA \* SHARE INSUMOS NACIONAIS)**

Unidade: Mti/ano

Comentário: representa o total de insumos comprados, de acordo com o tamanho da área e a sua respectiva necessidade.

---

**(016) consumo dos insumos = MIN (Área total a ser colhida \* MÉDIA DE INSUMOS POR MHA, máximo consumo dos insumos)**

Unidade: Mti/ano

Comentário: representa o total de insumos consumidos, de acordo com o tamanho da área e a sua respectiva necessidade.

---

**(035) EFEITOS DA TECNOLOGIA NA PRODUTIVIDADE DA SOJA = 1**

Unidade: Sem dimensão.

Comentário: está igual a 1 pois os seus esses efeitos são considerados inertes nesta fase de construção do modelo de simulação, pois está sendo replicado os valores de produtividade da CONAB (2023).

---

**(040) EFEITOS DO CLIMA NA PRODUTIVIDADE DA SOJA = 1**

Unidade: Sem dimensão.

Comentário: está igual a 1 pois os seus esses efeitos são considerados inertes nesta fase de construção do modelo de simulação, pois está sendo replicado os valores de produtividade da CONAB (2023).

---

**(070) Insumos = INTEG (compra dos insumos - consumo dos insumos, valor inicial de insumos)**

Unidade: Mti.

Comentário: representa o total de insumos em cada ponto da simulação do modelo proposto.

---

**(076) MAX produção do Brasil = Max (área preparada com insumos \* produtividade da soja, 0)**

Unidade: Mt/ano

Comentário: representa o total máximo de soja que pode ser produzido pelo Brasil em cada ano, em função da disponibilidade de insumos.

---

**(077) máximo consumo dos insumos = Insumos / TEMPO MÍNIMO PARA CONSUMIR OS INSUMOS**

Unidade: Mti/ano

Comentário: representa o consumo máximo de insumos que pode ser consumido, em função do tempo e da respectiva disponibilidade.

---

---

### Módulo M3: Produção de soja no Brasil

---

- (078) **MEDIA DE INSUMOS POR MHA = 2**  
Unidade: Mti/Mha/ano  
Comentário: representa, em média, quantos milhões de toneladas de insumos (Mti) são necessárias para se colher um milhão de hectares (Mha) por ano.
- 
- (119) **producao do Brasil = MIN(Area total a ser colhida\*produtividade da soja,MAX producao do Brasil)**  
Unidade: Mt/ano  
Comentário: representa o total de soja produzido pelo Brasil em cada ano.
- 
- (120) **produtividade da soja:INTERPOLATE::= GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'BF2' )**  
Unidade: Mt/Mha/ano  
Comentário: representa a produtividade média da soja no Brasil, medida em milhões de toneladas por milhões de hectares por ano. Fonte (CONAB).
- 
- (122) **produtividade da soja ajustada: = produtividade da soja\*EFEITOS DO CLIMA NA PRODUTIVIDADE DA SOJA \*EFEITO DA TECNOLOGIA NA PRODUTIVIDADE DA SOJA**  
Unidade: Mt/Mha/ano  
Comentário: representa a produtividade média da soja no Brasil, medida em milhões de toneladas por milhões de hectares por ano. Fonte (CONAB).
- 
- (123) **REGULARIDADE NA IMPORTACAO DE INSUMOS = 1**  
Unidade: Sem dimensão  
Comentário: quando igual a 1, significa que não há problemas para o Brasil importar os insumos necessários para a produção de soja.
- 
- (128) **SHARE INSUMOS IMPORTADOS = 0.8**  
Unidade: Sem dimensão  
Comentário: representa a participação percentual dos insumos importados na produção total de soja. Fonte: SLC.
- 
- (129) **SHARE INSUMOS NACIONAIS = 0.2**  
Unidade: Sem dimensão  
Comentário: representa a participação percentual dos insumos fabricados no Brasil na produção total de soja. Fonte: SLC.
- 
- (144) **TEMPO MINIMO PARA CONSUMIR OS INSUMOS = 0.5**  
Unidade: ano  
Comentário: representa o tempo mínimo necessário para que todos (nacionais e importados) os insumos comprados sejam consumidos.
- 
- (148) **VALOR INICIAL DE INSUMOS = 48,362**  
Unidade: ano  
Comentário: representa a quantidade de insumos que foi genericamente arbitrada para a área de soja que foi colhida em 2011.
- 

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

#### A.4. Módulo 4: Formação do preço da soja no Brasil

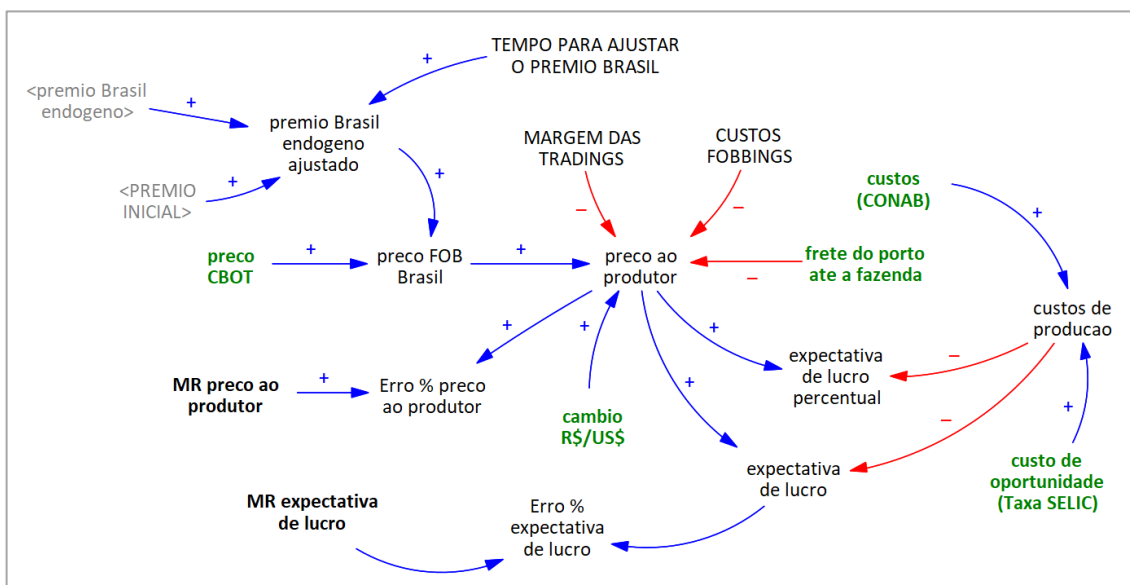


Figura 65 - Diagrama de *Forrester* do módulo 4: Formação do preço da soja no Brasil  
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 21 - Equações do módulo 4: Formação do preço da soja no Brasil

<b>Módulo M4: Formação do preço da soja no Brasil</b>	
(010)	<p><b>"cambio R\$/US\$":INTERPOLATE:: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados_Anuais' , 'A' , 'b2' )</b>                      Unidade: R\$/US\$                      Comentário: representa a taxa de câmbio reais por dólar americano. Fonte: Bacen.</p>
(018)	<p><b>"custo de oportunidade (Taxa SELIC)":INTERPOLATE:: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados_Anuais' , 'A' , 'BZ2' )</b>                      Unidade: Sem dimensão.                      Comentário: representa o custo de oportunidade ao não se plantar outras culturas, designando a área para soja. Para maiores explicações sobre esse conceito, favor consultar o livro "Contabilidade de Custos" (Martins, 2003).</p>
(020)	<p><b>"custos (CONAB)":INTERPOLATE:: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados_Anuais' , 'A' , 'AH2' )</b>                      Unidade: R\$/ton                      Comentário: representa a soja do custo fixo e do custo variável para se produzir soja no Brasil. Fonte: Conab</p>
(021)	<p><b>custos de producao = "custos (CONAB)" * (1 + "custo de oportunidade (Taxa SELIC)")</b>                      Unidade: R\$/ton                      Comentário: representa os custos totais para se produzir soja no Brasil, incluindo o de oportunidade.</p>



---

#### Módulo M4: Formação do preço da soja no Brasil

---

**(022) CUSTOS FOBBINGS = 10**

Unidade: US\$/ton

Comentário: representa todas as despesas que incidem nas operações portuárias, como por exemplo: fumigação, análises diversas, supervisão de embarque, documentação, arqueação de calados, despachante, seguro da mercadoria, armazenamento e elevação do produto até o navio etc.

---

**(042) "Erro % expectativa de lucro" =  $\frac{\text{MR expectativa de lucro} - \text{expectativa de lucro}}{\text{MR expectativa de lucro}}$**

Unidade: Sem dimensão.

Comentário: calcula a diferença percentual entre o "expectativa de lucro" considerado como modo de referência (Fonte: CONAB e CEPEA/ESALQ-USP) e o calculado pelo modelo de simulação.

---

**(044) "Erro % preço ao produtor" =  $\frac{\text{MR preço ao produtor} - \text{preço ao produtor}}{\text{MR preço ao produtor}}$**

Unidade: Sem dimensão.

Comentário: calcula a diferença percentual entre o "preço ao produtor" considerado como modo de referência (Fonte: CONAB e CEPEA/ESALQ-USP) e o calculado pelo modelo de simulação.

---

**(052) expectativa de lucro = preço ao produtor - custos de produção**

Unidade: R\$/ton

Comentário: representa o lucro médio anual absoluto do produtor brasileiro de soja.

---

**(053) expectativa de lucro percentual =  $\frac{\text{preço ao produtor} - \text{custos de produção}}{\text{preço ao produtor}}$**

Unidade: Sem dimensão

Comentário: representa o lucro médio percentual anual do produtor brasileiro de soja.

---

**(059) frete do porto ate a fazenda:INTERPOLATE:: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'O2' )**

Unidade: US\$/ton

Comentário: representa o custo médio do frete para se transportar a soja do interior do Brasil até um porto. Fonte: USDA contratando a ESALQ-LOG.

---

**(071) MARGEM DAS TRADINGS = 0.1**

Unidade: Sem dimensão.

Comentário: representa a margem de lucro das tradings que operam no Brasil.

---

**(085) MR expectativa de lucro: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'AR2' )**

Unidade: R\$/ton

Comentário: representa a expectativa de lucro médio do produtor brasileiro de soja. Fonte: CONAB e CEPEA/ESALQ-USP

---

**(088) MR preço ao produtor: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'U2' )**

Unidade: R\$/ton

Comentário: representa o preço médio anual da soja pago ao produtor brasileiro de soja. Fonte: CEPEA/ESALQ-USP

---

---

#### Módulo M4: Formação do preço da soja no Brasil

---

**(106) preço ao produtor = (preço FOB Brasil-CUSTOS FOBBINGS - frete do porto ate a fazenda - (preço FOB Brasil \* MARGEM DAS TRADINGS)) \* "cambio R\$/US\$"**

Unidade: R\$/ton

Comentário: representa o preço médio anual da soja pago ao produtor brasileiro de soja calculado pelo modelo de simulação.

---

**(107) preço CBOT: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'C2' )**

Unidade: US\$/ton

Comentário: representa a média anual dos valores dos contratos nearby de soja negociados diariamente na bolsa de Chicago.

---

**(109) preço FOB Brasil = preço CBOT + prêmio Brasil**

Unidade: US\$/ton

Comentário: representa o preço médio anual da soja carregada em um navio no porto de Paranaguá, no Brasil.

---

**(112) prêmio Brasil endogeno = Expectativa do prêmio Brasil \* efeito do tempo de cobertura no prêmio Brasil \* efeito dos custos totais de produção da soja no prêmio Brasil \* efeito da confiança da China nos EUA\*efeito do ritmo de comercialização**

Unidade: US\$/ton

Comentário: os preços do prêmio da soja no Brasil negociados pelos agentes de mercado ajustam suas crenças sobre o preço de equilíbrio subjacente em resposta às pressões do mercado, como o equilíbrio entre oferta e demanda, aqui representado pela cobertura de estoque em relação ao nível normal e custos unitários.

---

**(113) prêmio Brasil endógeno ajustado = DELAY1I(prêmio Brasil endogeno, tempo para ajustar o prêmio Brasil , prêmio inicial)**

Unidade: US\$/ton

Comentário: artifício para corrigir problema de referência circular. Isso não afeta os resultados do modelo.

---

**(116) PREMIO INICIAL = 13.8**

Unidade: US\$/ton

Comentário: Comentário: representa o prêmio médio anual da soja negociada no Brasil em 2011. Fonte: Reuters.

---

**(145) TEMPO PARA AJUSTAR O PREMIO BRASIL = 0.08**

Unidade: ano

Comentário: artifício para corrigir problema de referência circular. Isso não afeta os resultados do modelo.

---

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)



---

**Módulo M5: Formação do prêmio da soja brasileira**

---

- (033) **efeito da confiança da China nos EUA:INTERPOLATE:: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'CB2' )**  
Unidade: Sem dimensão.  
Comentário: representa a quebra de confiança da China no suprimento norte-americano de soja após o início da guerra comercial.
- 
- (036) **EFEITO DO RITMO DE COMERCIALIZACAO = 1**  
Unidade: Sem dimensão.  
Comentário: representa o efeito que o ritmo de comercialização tem sobre o prêmio da soja no Brasil. Como o modelo está anualizado, não faz muito sentido destrinchar este tópico. Entretanto, ele é mencionado aqui indicar para o leitor a sua importância, assim como uma sugestão de expansão do modelo de simulação em uma fase futura.
- 
- (037) **efeito do tempo de cobertura no premio Brasil = (TEMPO DE COBERTURA DESEJADO DO ESTOQUE BRASILEIRO DE SOJA/tempo de cobertura do estoque brasileiro de soja) ^ SENSIBILIDADE DO PREMIO BRASIL AO TEMPO DE COBERTURA DO ESTOQUE BRASILEIRO DE SOJA**  
Unidade: Sem dimensão.  
Comentário: o preço sobe quando a cobertura de estoque é menor que o normal e cai quando é maior. A sensibilidade do preço à cobertura do estoque controla a magnitude da resposta.
- 
- (038) **efeito dos custos totais de producao da soja no premio Brasil = 1+SENSIBILIDADE DO PREMIO BRASIL AOS CUSTOS TOTAIS DE PRODUCAO DE SOJA\*((expectativa dos custos de producao de soja/Expectativa do premio Brasil)-1)**  
Unidade: Sem dimensão.  
Comentário: o preço responde à lacuna entre as crenças dos agentes de mercado sobre o preço de equilíbrio subjacente e suas crenças sobre os custos de produção. Quando os custos esperados aumentam acima do preço esperado, os preços tendem a subir e vice-versa. Fonte: Sterman (2000).
- 
- (046) **Estoque Brasil = INTEG (oferta do Brasil-demanda total pelo Brasil, estoque inicial do Brasil)**  
Unidade: Mt  
Comentário: representa o volume de soja em estoque no Brasil em cada ponto da simulação do modelo proposto.
- 
- (051) **expectativa custos variaveis da producao de soja = SMOOTH("custos variaveis da producao de soja (CONAB U\$\$)", TEMPO DE AJUSTE DAS EXPECTATIVAS DE CUSTOS VARIÁVEIS DA PRODUCAO DE SOJA )**  
Unidade: US\$/ton  
Comentário: representa a expectativa dos custos variáveis da produção de soja no Brasil, utilizada como um proxy para o "prêmio variável".
-

---

**Módulo M5: Formação do prêmio da soja brasileira**

---

**(054) Expectativa do premio Brasil= INTEG (mudanca de expectativa no premio Brasil, premio inicial)**

Unidade: US\$/ton

Comentário: os formadores de preços e comerciantes acreditam que o mercado ficaria limpo se a demanda e a oferta estivessem em equilíbrio e não existissem outras pressões para alterar o preço. Fonte: Sterman (2000)

---

**(055) expectativa dos custos de producao de soja = SMOOTH("custos (CONAB US\$)", TEMPO DE AJUSTE DAS EXPEXTATIVAS NO LONGO PRAZO)**

Unidade: US\$/ton

Comentário: os custos de produção esperados representam crenças entre os agentes do mercado sobre os custos unitários de produção (variáveis e fixos, incluindo margens de lucro normais). Os custos esperados, portanto, representam crenças sobre o que seria um preço "justo", ou o preço de equilíbrio de longo prazo. Os custos esperados ajustam-se aos custos reais com um atraso que representa o tempo necessário para obter informações e ajustar as crenças sobre os custos. Fonte: Sterman (2000).

---

**(089) MR premio Brasil = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'G2' )**

Unidade: US\$/ton/ano

Comentário: representa o modo de referência para o prêmio da soja no Brasil. Os valores representam o resultado de um painel construído a partir de médias anuais de ABIOVE (2023), McDonald Pelz (2023) e Reuters (2023b).

---

**(091) mudanca de expectativa no premio Brasil = (premio Brasil indicado-Expectativa do premio Brasil)/TEMPO DE AJUSTE NA MUDANCA DE EXPECTATIVA DO PREMIO BRASIL**

Unidade: US\$/ton/ano

Comentário: as crenças dos agentes de mercado sobre o preço de equilíbrio subjacente se ajustam em resposta à diferença entre o preço indicado e a crença atual. O preço subjacente esperado se ajusta por meio de expectativas adaptativas de primeira ordem ao preço real, limitado a ser superior a um nível mínimo. Fonte: Sterman (2000)

---

**(112) premio Brasil endogeno = Expectativa do premio Brasil\*efeito do tempo de cobertura no premio Brasil \* efeito dos custos totais de producao da soja no premio Brasil \* efeito da confianca da China nos EUA \* efeito do ritmo de comercialização**

Unidade: US\$/ton

Comentário: os preços do prêmio da soja no Brasil negociados pelos agentes de mercado ajustam suas crenças sobre o preço de equilíbrio subjacente em resposta às pressões do mercado, como o equilíbrio entre oferta e demanda, aqui representado pela cobertura de estoque em relação ao nível normal e custos unitários.

---

**(113) premio Brasil endogeno ajustado = DELAY1I(premio Brasil endogeno, tempo para ajustar o premio Brasil , premio inicial)**

Unidade: US\$/ton

Comentário: serve para corrigir erro de referência circular.

---

---

### Módulo M5: Formação do prêmio da soja brasileira

---

- (114) **premio Brasil indicado = Max (premio Brasil mínimo, premio Brasil endogeno)**  
Unidade: US\$/ton  
Comentário: as crenças sobre o preço de equilíbrio subjacente nunca são inferiores a um nível de preço mínimo que captura os custos variáveis dos bens.  
Fonte: Sterman (2000)
- 
- (115) **premio Brasil mínimo = expectativa custos variaveis da producao de soja**  
Unidade: US\$/ton  
Comentário: com base no "prêmio variável", esse seria um indicativo do valor mínimo para o valor do prêmio Brasil.
- 
- (116) **PREMIO INICIAL = 13.8**  
Unidade: US\$/ton  
Comentário: representa o prêmio médio anual da soja negociada no Brasil em 2011. Fonte: Reuters
- 
- (126) **SENSIBILIDADE DO PREMIO BRASIL AO TEMPO DE COBERTURA DO ESTOQUE BRASILEIRO DE SOJA = -1.5**  
Unidade: Sem dimensão.  
Comentário: controla a resposta do preço à cobertura do estoque. Deve ser negativo para que o estoque alto leve a preços mais baixos. Valores absolutos mais altos levam a mudanças de preços maiores para qualquer nível de cobertura de estoque. Fonte: Sterman (2000), capítulo 20. O coeficiente -1.5 foi obtido com ajuda do otimizador do software *Vensim*<sup>®</sup>. Sugere-se um maior aprofundamento sobre o tema em fases futuras de expansão deste estudo.
- 
- (127) **SENSIBILIDADE DO PREMIO BRASIL AOS CUSTOS TOTAIS DE PRODUCAO DE SOJA = 0.1**  
Unidade: Sem dimensão.  
Comentário: controla a resposta do preço às discrepâncias entre o preço esperado e o custo esperado de produção. Fonte: Sterman (2000), capítulo 20. O coeficiente 0.1 foi obtido com ajuda do otimizador do software *Vensim*<sup>®</sup>. Sugere-se um maior aprofundamento sobre o tema em fases futuras de expansão deste estudo.
- 
- (134) **TEMPO DE AJUSTE DAS EXPECTATIVAS DE CUSTOS VARIAVEIS DA PRODUCAO DE SOJA = 0.5**  
Unidade: ano  
Comentário: representa a crença dos agentes de mercado de que o preço de equilíbrio subjacente se ajusta aos preços reais durante este período. Este coeficiente parece fazer sentido com o mundo real e foi obtido com ajuda do otimizador do software *Vensim*<sup>®</sup>. Sugere-se um maior aprofundamento sobre o tema em fase futuras de expansão do estudo.
- 
- (135) **TEMPO DE AJUSTE DAS EXPEXTATIVAS NO LONGO PRAZO = 2**  
Unidade: ano  
Comentário: representa a crença dos agentes de mercado de que o custo de equilíbrio subjacente ajusta aos custos reais durante este período.
-

**Módulo M5: Formação do prêmio da soja brasileira**

**(137) TEMPO DE AJUSTE NA MUDANÇA DE EXPECTATIVA DO PREMIO BRASIL = 0.5**

Unidade: ano

Comentário: representa a crença dos agentes de mercado de que o preço de equilíbrio subjacente se ajusta aos preços reais durante este período.

**(139) TEMPO DE COBERTURA DESEJADO DO ESTOQUE BRASILEIRO DE SOJA = 0.5**

Unidade: ano

Comentário: representa o tempo de cobertura desejado do estoque brasileiro de soja pelos agentes do mercado.

**(140) tempo de cobertura do estoque brasileiro de soja = Estoque Brasil / demanda total pelo Brasil**

Unidade: ano

Comentário: representa o tempo de cobertura do estoque brasileiro de soja.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

**A.6. Módulo 6: Atratividade e exportações da soja brasileira**

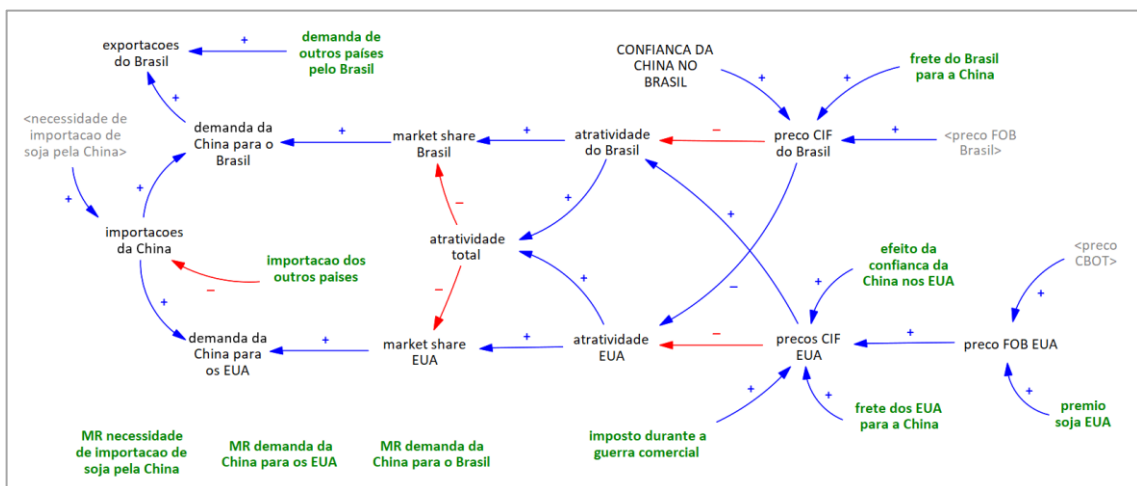


Figura 67 - Diagrama de Forrester do módulo 6: Atratividade e exportações da soja brasileira

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 23 - Equações do módulo 6: Atratividade e exportações da soja brasileira

**Módulo M6: Atratividade e exportações da soja brasileira**

**(007) atratividade do Brasil = preços CIF EUA/preço CIF do Brasil**

**Unidade: Sem dimensão.**

Comentário: representa o quanto a soja brasileira é atrativa em relação à norte-americana.

---

**Módulo M6: Atratividade e exportações da soja brasileira**

---

- (008) **atratividade EUA = preco CIF do Brasil/preco CIF EUA**  
**Unidade: Sem dimensão.**  
Comentário: representa o quanto a soja norte-americana é atrativa em relação à brasileira.
- 
- (009) **atratividade total = atratividade do Brasil+atratividade EUA**  
**Unidade: Sem dimensão.**  
Comentário: representa a soma entre a atratividade da soma brasileira com a norte-americana.
- 
- (012) **CONFIANCA DA CHINA NO BRASIL = 1**  
**Unidade: Sem dimensão.**  
Comentário: representa que a China não perdeu a confiança no suprimento brasileiro de soja.
- 
- (026) **demanda da China para o Brasil = importacoes da China\*market share Brasil**  
**Unidade: Mt/ano**  
Comentário: representa a parcela da demanda chinesa atribuída ao Brasil.
- 
- (027) **demanda da China para os EUA = importacoes da China\*market share EUA**  
**Unidade: Mt/ano**  
Comentário: representa a parcela da demanda chinesa atribuída aos EUA.
- 
- (028) **demanda de outros países pelo Brasil: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'BL2' )**  
**Unidade: Mt/ano**  
Comentário: representa a soma dos volumes de soja exportados pelo Brasil para todos os países, exceto a China, em cada ano. Fonte: APS
- 
- (033) **efeito da confianca da China nos EUA:INTERPOLATE:: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'CB2' )**  
**Unidade: Sem dimensão.**  
Comentário: representa a quebra de confiança da China no suprimento norte-americano de soja após o início da guerra comercial.
- 
- (056) **exportacoes do Brasil = demanda da China para o Brasil+demanda de outros países pelo Brasil**  
**Unidade: Mt/ano**  
Comentário: representa a soma dos volumes de soja exportados pelo Brasil em cada ano. Fonte: APS e Dados calculados pelo modelo de simulação, no caso da demanda Chinesa.
- 
- (058) **frete do Brasil para a China: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'BV2' )**  
**Unidade: US\$/ton**  
Comentário: representa o custo de transporte da soja brasileira do porto de Paranaguá-PR até a China. Fonte: Reuters
- 
- (060) **frete dos EUA para a China: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'BW2' )**  
**Unidade: US\$/ton**  
Comentário: representa o custo de transporte da soja norte-americana de um porto no Golfo do México até a China. Fonte: Reuters
-



---

**Módulo M6: Atratividade e exportações da soja brasileira**

---

**(064) importacao dos outros paises:INTERPOLATE:: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'CN2' )**

**Unidade: Mt/ano**

Comentário: representa a parcela da demanda chinesa atribuída a outros países que não sejam os EUA ou o Brasil.

---

**(065) importacoes da China = necessidade de importacao de soja pela China-importacao dos outros paises**

**Unidade: Mt/ano**

Comentário: representa a parcela da demanda chinesa atribuída aos EUA e ao Brasil.

---

**(067) imposto durante a guerra comercial: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'CA2' )**

**Unidade: Sem dimensão.**

Comentário: representa o imposto de 25% sobre o produto norte-americano, referente ao contexto da guerra comercial que esses dois países travaram.

---

**(072) market share Brasil = atratividade do Brasil/atratividade total**

**Unidade: Sem dimensão.**

Comentário: representa a parcela da demanda chinesa atribuída ao Brasil.

---

**(073) market share EUA = atratividade EUA/atratividade total**

**Unidade: Sem dimensão.**

Comentário: representa a parcela da demanda chinesa atribuída aos EUA.

---

**(082) MR demanda da China para o Brasil:INTERPOLATE:: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'BG2' )**

Unidade: Mt/ano

Comentário: representa o modo de referência para a demanda da China por soja do Brasil.

---

**(083) MR demanda da China para os EUA:INTERPOLATE:: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'BH2' )**

Unidade: Mt/ano

Comentário: representa o modo de referência para a demanda da China por soja dos EUA.

---

**(087) MR necessidade de importacao de soja pela China:INTERPOLATE:: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'BK2' )**

Unidade: Mt/ano

Comentário: representa o modo de referência para a demanda da China por soja dos EUA.

---

**(092) necessidade de importacao de soja pela China = demanda de soja da China+variacao de demanda para ajustar estoque-producao da China**

**Unidade: Mt/ano**

Comentário: representa o volume de soja que a China precisa comprar de outros países para atender a demanda interna.

---

---

**Módulo M6: Atratividade e exportações da soja brasileira**

---

- (107) **preco CBOT: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'C2' )**  
**Unidade: US\$/ton**  
Comentário: representa a média anual dos valores dos contratos nearby de soja negociados diariamente na bolsa de Chicago.
- 
- (108) **preco CIF do Brasil = (preco FOB Brasil+frete do Brasil para a China)\*confianca da China no Brasil**  
**Unidade: US\$/ton**  
Comentário: representa o valor da soja brasileira entregue em um porto na China.
- 
- (109) **preco FOB Brasil = preco CBOT+premio Brasil**  
**Unidade: US\$/ton**  
Comentário: representa o preço médio anual da soja carregada em um navio no porto de Paranaguá, no Brasil.
- 
- (110) **preco FOB EUA = (preco CBOT+premio soja EUA)**  
**Unidade: US\$/ton**  
Comentário: representa o preço médio anual da soja carregada em um navio no Golfo do México, nos EUA.
- 
- (111) **preco CIF EUA = ((preco FOB EUA+frete dos EUA para a China)\*imposto durante a guerra comercial)\*efeito da confianca da China nos EUA**  
**Unidade: US\$/ton**  
Comentário: representa o valor da soja norte-americana entregue em um porto na China.
- 
- (117) **premio soja EUA:INTERPOLATE:: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'E2' )**  
**Unidade: US\$/ton**  
Comentário: representa a média anual dos valores dos prêmios da soja norte-americana negociados diariamente entre os agentes de mercado. Fonte: Reuters
- 

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

## A.7. Módulo 7: Dinâmica da demanda chinesa por soja

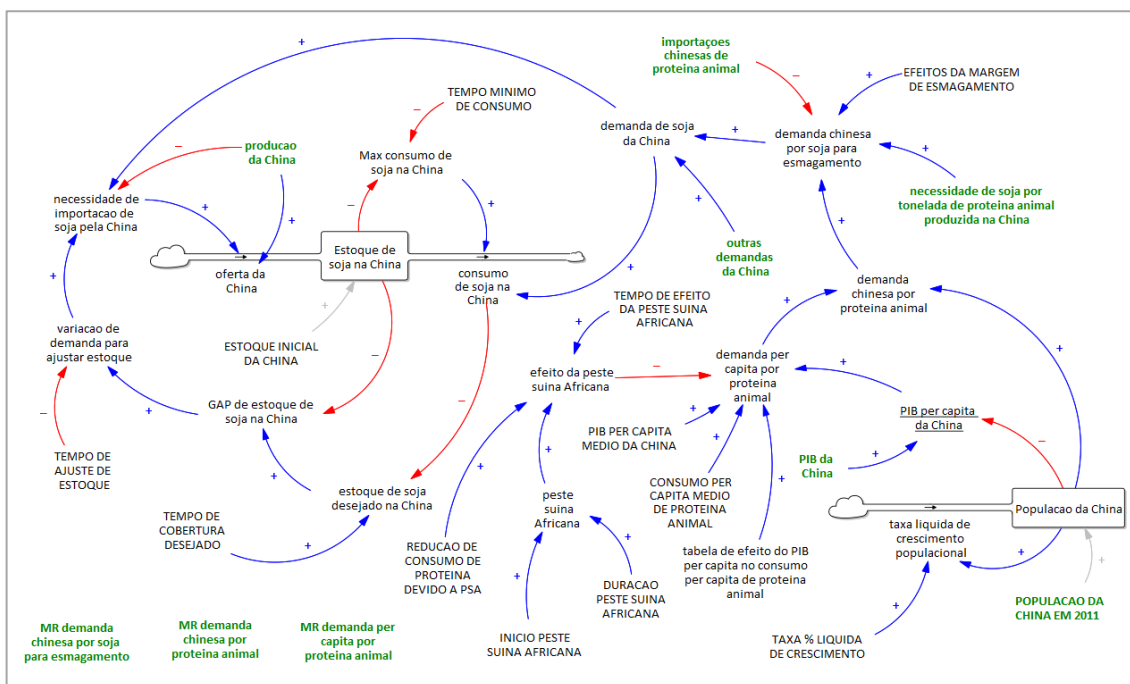


Figura 68 - Diagrama de *Forrester* do módulo 7: Dinâmica da demanda China por soja  
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 24 - Equações do módulo 7: Dinâmica da demanda chinesa por soja

### Módulo M7: Dinâmica da demanda chinesa por soja

**(013) consumo de soja na China = Max(Max consumo de soja na China, demanda de soja da China)**

Unidade: Mt/ano

Comentário: representa o volume de soja que é retirado do estoque chinês em cada ano.

**(017) CONSUMO PER CAPITA MEDIO DE PROTEINA ANIMAL = 0.0532367**

Unidade: Mtp/(ano\*peessoa)

Comentário: representa o consumo per capita médio de proteína animal (carne de aves, suínos e bovinos) na China entre 2001 e 2017. Fonte: OECD.

**(024) demanda chinesa por proteína animal = (demanda per capita por proteína animal\*Populacao da China)/1e+006**

Unidade: Mtp/ano

Comentário: representa a demanda anual de proteína animal (carne de aves, suínos e bovinos) na China.

**(026) demanda chinesa por soja para esmagamento = (demanda chinesa por proteína animal-importações chinesas de proteína animal\*EFEITOS DA MARGEM DE ESMAGAMENTO)\*necessidade de soja por tonelada de proteína animal produzida na China**

Unidade: Mt/ano

Comentário: representa a demanda anual chinesa de soja para esmagamento.

---

**Módulo M7: Dinâmica da demanda chinesa por soja**

---

- (029) demanda de soja da China = demanda chinesa por soja para esmagamento + outras demandas da China**  
Unidade: Mt/ano  
Comentário: representa a demanda total anual por soja na China.
- 
- (030) demanda per capita por proteína animal = (tabela de efeito do PIB per capita no consumo per capita de proteína animal (PIB per capita da China/PIB PER CAPITA MEDIO DA CHINA)\*CONSUMO PER CAPITA MEDIO DE PROTEINA ANIMAL)\*efeito da peste suína Africana**  
Unidade: Mtp/pessoa/ano  
Comentário: representa o consumo per capita de proteína animal (carne de aves, suínos e bovinos) na China em função da renda. Não encontrou-se dados para segmentá-la em rural ou urbana.
- 
- (032) DURACAO PESTE SUINA AFRICANA = 2.4**  
Unidade: ano  
Comentário: representa o período estimado dos efeitos da peste suína africana no rebanho chinês.
- 
- (034) efeito da peste suína Africana = DELAY1(IF THEN ELSE(peste suína Africana, REDUCAO DE CONSUMO DE PROTEINA DEVIDO A PSA, 1), TEMPO DE EFEITO DA PESTE SUINA AFRICANA )**  
Unidade: Sem dimensão.  
Comentário: representa a redução no consumo de proteína na China devido aos efeitos da peste suína africana no rebanho chinês.
- 
- (039) EFEITOS DA MARGEM DE ESMAGAMENTO = 1**  
Unidade: Sem dimensão.  
Comentário: representa o conceito de que é a margem de esmagamento que dita o ritmo de compras de soja pela China. Como o modelo está em uma base anual, esse valor foi considerado como 1. Em uma fase de evolução do modelo de simulação, esse tópico deve ser estudado mais a fundo.
- 
- (047) estoque de soja desejado na China = consumo de soja na China\*TEMPO DE COBERTURA DESEJADO**  
Unidade: Mt  
Comentário: representa o estoque de soja desejado na China.
- 
- (048) Estoque de soja na China= INTEG (oferta da China-consumo de soja na China, estoque inicial da China)**  
Unidade: Mt  
Comentário: representa o volume de soja em estoque na China em cada ponto da simulação do modelo proposto.
- 
- (049) ESTOQUE INICIAL DA CHINA = 37**  
Unidade: Mt  
Comentário: representa o volume do estoque de soja na China em 1/1/2011.  
Fonte: McDonald Pelz.
-

---

**Módulo M7: Dinâmica da demanda chinesa por soja**

---

- (061) GAP de estoque de soja na China = estoque de soja desejado na China – Estoque de soja na China**  
Unidade: Mt  
Comentário: representa a diferença entre o estoque real de soja na China e o desejado.
- 
- (066) importações chinesas de proteína animal: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'CL2' )**  
Unidade: Mtp/ano  
Comentário: representa a quantidade de proteína animal (carne de aves, suínos e bovinos) que a China compra pronto para consumo em outros países.
- 
- (068) INICIO PESTE SUINA AFRICANA = 2018**  
Unidade: ano  
Comentário: representa o início estimado dos efeitos da peste suína africana no rebanho chinês.
- 
- (074) Max consumo de soja na China = Estoque de soja na China/TEMPO MINIMO DE CONSUMO**  
Unidade: Mt/ano  
Comentário: representa um controle de primeira ordem, para que não haja estoque negativo.
- 
- (080) MR demanda chinesa por proteína animal: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'BN2' )**  
Unidade: Mtp/ano  
Comentário: representa o modo de referência para a demanda chinesa por proteína animal.
- 
- (081) MR demanda chinesa por soja para esmagamento: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'CI2' )**  
Unidade: Mt/ano  
Comentário: representa o modo de referência para a demanda chinesa por soja para esmagamento.
- 
- (084) MR demanda per capita por proteína animal:INTERPOLATE:: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'CK2' )**  
Unidade: Mtp/(ano\*pessoa)  
Comentário: representa o modo de referência para a demanda chinesa per capita por proteína animal.
- 
- (092) necessidade de importacao de soja pela China = demanda de soja da China+variacao de demanda para ajustar estoque-producao da China**  
Unidade: Mt/ano  
Comentário: representa o volume de soja que a China precisa comprar de outros países para atender a demanda interna.
-

---

**Módulo M7: Dinâmica da demanda chinesa por soja**

---

- (093) necessidade de soja por tonelada de proteína animal produzida na China**  
**:INTERPOLATE::=GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' ,**  
**'Dados\_Anuais' , 'A' , 'CM2' )**  
Unidade: Mt/Mtp  
Comentário: representa o volume médio de soja utilizado para produção média de proteína animal na China (carne de aves, suínos e bovinos). Os valores foram validados pela JBS e SLC.
- 
- (094) oferta da China = necessidade de importacao de soja pela China + producao da China**  
Unidade: Mt/ano  
Comentário: representa a soma dos volumes de soja importados + os produzidos dentro da China em cada ano.
- 
- (097) outras demandas da China: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' ,**  
**'Dados\_Anuais' , 'A' , 'CJ2' )**  
Unidade: Mt/ano  
Comentário: representa outros usos para a soja na China, que não o esmagamento.
- 
- (100) peste suína Africana = PULSE(INICIO PESTE SUINA AFRICANA, DURACAO PESTE SUINA AFRICANA)**  
Unidade: Sem dimensão.  
Comentário: representa o período estimado dos efeitos da peste suína africana no rebanho chinês.
- 
- (101) PIB da China: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' ,**  
**'Dados\_Anuais' , 'A' , 'BQ2' )**  
Unidade: US\$/ano  
Comentário: representa o PIB anual da China, em trilhões de dólares.
- 
- (102) PIB per capita da China = PIB da China/Populacao da China**  
Unidade: US\$/pessoa/ano  
Comentário: representa o PIB anual per capita médio da China.
- 
- (103) PIB PER CAPITA MEDIO DA CHINA = 4406**  
Unidade: US\$/pessoa/ano  
Comentário: representa o PIB anual per capita médio da China entre 2001 e 2017.
- 
- (104) Populacao da China= INTEG (taxa liquida de crescimento populacional, populacao da China em 2011)**  
Unidade: pessoa  
Comentário: Representa o tamanho da população chinesa.
- 
- (103) POPULACAO DA CHINA EM 2011 = 1.34.504.000**  
Unidade: pessoa  
Comentário: representa o número de pessoas morando na China em 2011. Fonte: World Bank.
-

---

**Módulo M7: Dinâmica da demanda chinesa por soja**

---

- (118) **producao da China:INTERPOLATE:: = GET DIRECT DATA( 'Dados do modelo.xlsx' , 'Dados\_Anuais' , 'A' , 'CG2' )**  
Unidade: Mt/ano  
Comentário: representa a produção de soja anual na China.
- 
- (122) **REDUCAO DE CONSUMO DE PROTEINA DEVIDO A PSA = 0.855**  
Unidade: Sem dimensão.  
Comentário: representa a redução no consumo de proteína na China devido aos efeitos da peste suína africana no rebanho chinês.
- 
- (131) **tabela de efeito do PIB per capita no consumo per capita de proteina animal [(0,0)-(10,10)], (0.1,0.72), (0.25,0.85), (0.5,0.94), (0.75,0.99), (1,1.03), (1.25,1.06), (1.5,1.09), (1.75,1.11), (2,1.13), (5,0.95))**  
Unidade: Sem dimensão.  
Comentário: representa o efeito da variação do PIB per capita no consumo de proteína animal (carne de aves, suínos e bovinos) per capita na China.
- 
- (132) **"TAXA % LIQUIDA DE CRESCIMENTO" = 0.00445006**  
Unidade: 1/ano  
Comentário: representa a média geométrica de crescimento populacional na China entre 2011 e 2021. Fonte: calculado pelo autor a partir de dados do World Bank.
- 
- (133) **taxa liquida de crescimento populacional = Populacao da China\*"TAXA % LIQUIDA DE CRESCIMENTO"**  
Unidade: pessoa/ano  
Comentário: representa a variação anual do tamanho da população.
- 
- (136) **TEMPO DE AJUSTE DE ESTOQUE = 0.5**  
Unidade: ano  
Comentário: representa o tempo de ajuste do estoque na China.
- 
- (138) **TEMPO DE COBERTURA DESEJADO = 0.5**  
Unidade: ano  
Comentário: representa o tempo de cobertura desejado do estoque de soja na China.
- 
- (141) **TEMPO DE EFEITO DA PESTE SUINA AFRICANA = 1.6**  
Unidade: ano  
Comentário: representa o período estimado dos efeitos da peste suína africana no rebanho chinês.
- 
- (143) **TEMPO MINIMO DE CONSUMO = 0.5**  
Unidade: ano  
Comentário: representa o tempo mínimo para consumo da soja disponível.
- 
- (150) **variacao de demanda para ajustar estoque = GAP de estoque de soja na China/TEMPO DE AJUSTE DE ESTOQUE**  
Unidade: Mt/ano  
Comentário: representa a variação de demanda necessária para ajustar o estoque de soja na China.
- 

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

## **APÊNDICE B: Detalhamento sobre a soja nos Estados Unidos da América**

Este capítulo tem como objetivo principal situar o leitor sobre os números relativos aos tópicos de produção e exportação da soja nos EUA com um maior nível de detalhamento. Além disso, apresentam-se o avanço da fronteira agrícola desta oleaginosa numa periodicidade decenária, iniciando-se em 1980; o caráter sazonal do calendário de plantio e colheita desta leguminosa; e o balanço de oferta e demanda pelo produto.

### **B.1. Avanço da fronteira agrícola da soja nos EUA**

Conforme pode ser notado na Figura 69, elaborado com dados do USDA (2021), em 2020 as lavouras de soja norte-americanas ocuparam, basicamente, as mesmas áreas que em 1980. Dentre os principais fatores explicativos, destacam-se: (1) essa cultura começou a ser introduzida no país na década de 20, então já estava espacialmente consolidada em 1980; (2) não cresceu mais em função de limitações geográficas, tais como a existência de desertos e cadeias montanhosas próximas às fronteiras agrícolas e a concorrência com outras culturas, com destaque para o milho e o trigo.

Entretanto, destaca-se que eles tiveram sucesso em elevar a produtividade dessas mesmas áreas, seja por meio da invenção de novos maquinários, adoção de técnicas de manejo, melhoria genética das plantas etc. Em suma, em 1980 os EUA colheu 48,9 milhões de toneladas de soja, já em 2020, um total de 114,7, ou seja, um crescimento de 134,5%.



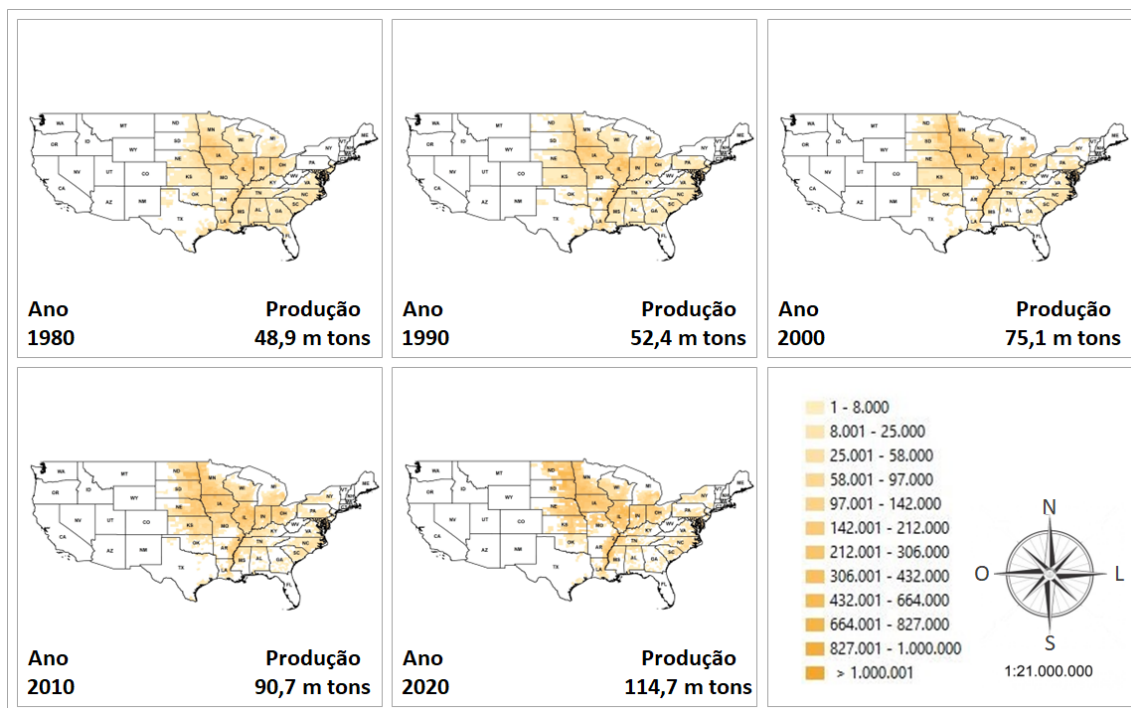


Figura 69 - Evolução do volume de soja colhido por município nos EUA  
 Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do USDA (2021)

## B.2. Calendário de plantio e colheita da soja nos EUA

A Figura 70 foi elaborada com os dados do USDA (2023e) e diz respeito a sazonalidade média semanal das atividades de plantio e colheita da soja nos EUA entre 2018 e 2022. É possível observar que, em média, o ciclo de instalação das lavouras começou em meados de abril, atingindo seu ápice entre o final de maio e meados de junho e finalizou na primeira semana de agosto. Já do ponto de vista da colheita, os trabalhos no campo se iniciaram em meados de setembro e terminaram no final de dezembro, tendo seu apogeu entre meados de outubro e novembro.

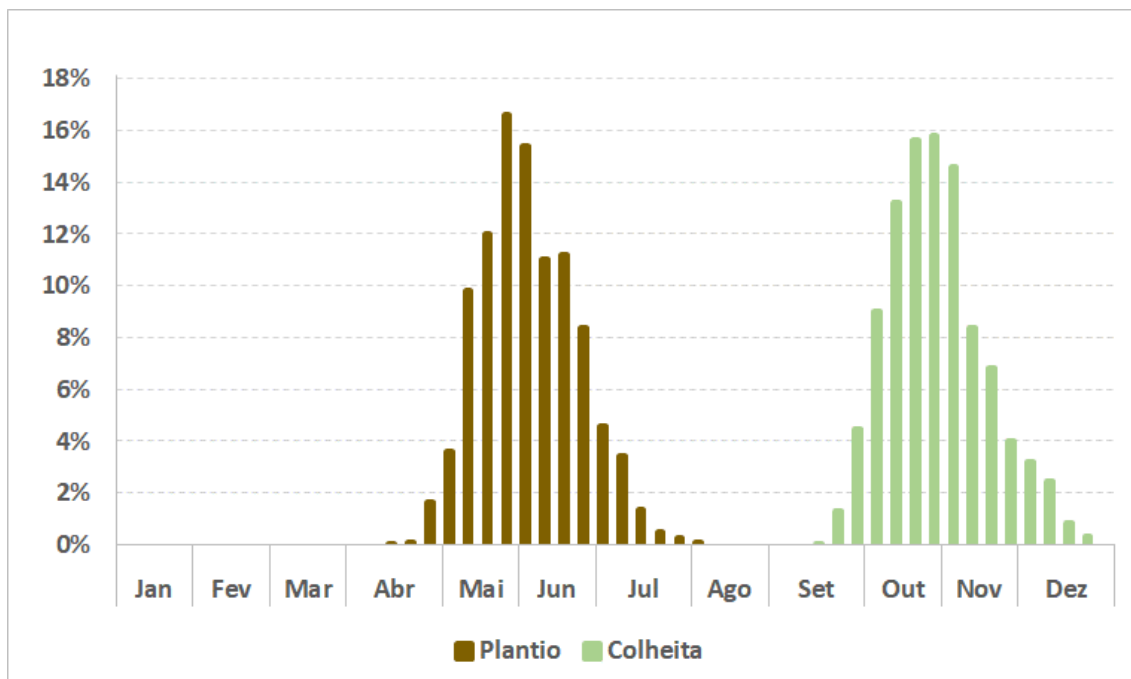


Figura 70 - Sazonalidade média semanal do plantio e da colheita das lavouras de soja nos EUA entre 2018 e 2022

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do USDA (2023e)

### B.3. Área destinada ao plantio da soja nos EUA

Conforme pode ser observado na Tabela 25, de acordo com os dados divulgados pelo USDA (2023f), o estado de Illinois apresentou a maior porcentagem de área destinada ao plantio da soja nos EUA em 2022, com 12,3% do total de 35,4 milhões de hectares.

Logo em seguida, formando o top 5 no mesmo período supracitado, tem-se: Iowa (11,5%), Minnesota (8,5%), Missouri (7,0%) e Indiana (6,7%). Esses 5 estados estão localizados em uma região conhecida como “planícies centrais” e/ou “cinturão do milho” e somaram 46,1% do total. Além disso, Tabela 25 pode-se observar o comportamento da distribuição da área plantada entre os dez principais estados norte-americanos produtores de soja entre os anos de 2018 e 2022.

Tabela 25 - Área com plantio de soja nos EUA entre 2018 e 2022, em milhões de hectares

Nº	Estado	UF	2022	%	2021	2020	2019	2018
<b>TOTAL</b>			<b>35.4</b>	<b>100.0</b>	<b>35.3</b>	<b>33.7</b>	<b>30.8</b>	<b>36.1</b>
1º	Illinois	IL	4.4	12.3	4.3	4.2	4.0	4.4
2º	Iowa	IA	4.1	11.5	4.1	3.8	3.7	4.0
3º	Minnesota	MN	3.0	8.5	3.1	3.0	2.8	3.1
4º	Missouri	MO	2.5	7.0	2.3	2.4	2.1	2.4
5º	Indiana	IN	2.4	6.7	2.3	2.3	2.2	2.4
6º	Nebraska	NE	2.3	6.6	2.3	2.1	2.0	2.3
7º	Dakota do Norte	ND	2.3	6.5	2.9	2.3	2.3	2.8
8º	Ohio	OH	2.1	5.8	2.0	2.0	1.7	2.0
9º	Dakota do Sul	SD	2.1	5.8	2.2	2.0	1.4	2.3
10º	Kansas	KS	2.0	5.8	2.0	1.9	1.8	1.9
Outros			1.3	3.6	1.2	1.1	1.1	1.3

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do USDA (2023f)

#### B.4. Produtividade da soja nos EUA

Conforme pode ser observado na Tabela 26, de acordo com os dados divulgados pelo USDA (2023f), o estado de Illinois obteve a maior produtividade dos EUA em 2022, ou seja, cada hectare colhido apresentou um rendimento médio de 4,2 toneladas. Isso significou uma performance 27,2% maior do que a média nacional de 3,3 tons/ha.

Logo em seguida, formando o top 5 no mesmo período supracitado, tem-se: Iowa (18,1% acima da média do país), Indiana (+16,1%), Ohio (+12,1%) e Mississippi (+9,0%). Além disso, na Tabela 26 pode-se observar o comportamento das produtividades dos dez principais estados norte-americanos entre os anos de 2018 e 2022.

Tabela 26 - Produtividade da soja nos EUA entre 2018 e 2022, em tons/hectare

N°	Estado	UF	2022	Δ%	2021	2020	2019	2018
<b>TOTAL</b>			<b>3.3</b>		<b>3.5</b>	<b>3.4</b>	<b>3.2</b>	<b>3.4</b>
1°	Illinois	IL	4.2	27.2	4.3	4.0	3.6	4.3
2°	Iowa	IA	3.9	18.1	4.2	3.6	3.7	3.8
3°	Indiana	IN	3.9	16.1	4.0	4.0	3.4	3.9
4°	Ohio	OH	3.7	12.1	3.8	3.7	3.3	3.8
5°	Mississippi	MS	3.6	9.0	3.6	3.6	3.4	3.6
6°	Wisconsin	WI	3.6	9.0	3.7	3.5	3.2	3.2
7°	Arkansas	AR	3.5	5.0	3.4	3.5	3.3	3.4
8°	Kentucky	KY	3.4	3.0	3.8	3.7	3.1	3.4
9°	Minnesota	MN	3.4	1.0	3.2	3.4	3.0	3.3
10°	Nebraska	NE	3.3	-1.1	4.2	3.9	3.9	3.9
Outros			2.6	-23.4	2.7	2.9	2.6	2.8

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do USDA (2023f)

### B.5. Produção da soja nos EUA

Conforme pode ser observado na Tabela 27, de acordo com os dados divulgados pelo USDA (2023f), o estado de Illinois foi o maior produtor de soja dos EUA em 2022, respondendo por 15,8% de um total de 116,4 milhões de toneladas. Compreende-se essa maior produção associando-se as supracitadas Tabela 25 e Tabela 26, dado que, ele possuiu naquele ano a maior área utilizada no cultivo de soja e a melhor produtividade média.

Logo em seguida, formando o top 5 no mesmo período supracitado, tem-se: Iowa (13,7%), Minnesota (8,6%), Indiana (7,8%) e Ohio (6,6%). Nota-se que apenas essas 5 localidades somaram 52,6% do total. Além do mais, na Tabela 27 pode-se observar o comportamento da distribuição dos volumes colhidos entre os dez principais estados norte-americanos produtores de soja entre os anos de 2018 e 2022.

Tabela 27 - Produção de soja nos EUA entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas

Nº	Estado	UF	2022	%	2021	2020	2019	2018
<b>TOTAL</b>			<b>116.4</b>	<b>100.0</b>	<b>120.7</b>	<b>114.7</b>	<b>96.7</b>	<b>120.5</b>
1º	Illinois	IL	18.4	15.8	18.3	16.7	14.5	18.1
2º	Iowa	IA	16.0	13.7	16.9	13.8	13.7	15.0
3º	Minnesota	MN	10.1	8.6	9.7	10.0	8.1	10.2
4º	Indiana	IN	9.1	7.8	9.1	9.2	7.4	9.3
5º	Ohio	OH	7.7	6.6	7.5	7.4	5.7	7.7
6º	Nebraska	NE	7.6	6.5	9.6	8.1	7.7	8.8
7º	Missouri	MO	7.5	6.4	7.5	8.1	6.3	7.0
8º	Dakota do Norte	ND	5.4	4.6	4.9	5.3	4.6	6.5
9º	Dakota do Sul	SD	5.2	4.5	5.9	6.2	4.0	6.8
10º	Arkansas	AR	4.5	3.8	4.2	3.9	3.5	4.4
Outros			3.6	3.1	5.2	5.3	5.1	5.5

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do USDA (2023f)

### B.6. Exportações de soja nos EUA

No que concerne as exportações norte-americanas de soja, a Figura 71, elaborada com dados do USDA (2023g), ilustra a contabilização do volume anual expedido entre 2018 e 2022. No intervalo de tempo considerado, os EUA oscilaram entre 46,2 e 63,7 milhões de toneladas vendidas ao exterior. Essa variação de 38% é explicada por divergências políticas com o seu principal comprador, a China, na época da presidência de Donald Trump, o que culminou em uma guerra comercial entre 2018 e 2019, fazendo com que a soja norte-americana foi boicotada, via cobrança de uma alíquota de 25% em impostos.

Já na Figura 72, também construída com dados do USDA (2023g), as exportações norte-americanas de soja são analisadas através do prisma da sazonalidade anual, assim como pelos valores máximos e mínimos históricos de cada mês entre 2018 e 2022. Logo, fica evidente que os meses de outubro, novembro e dezembro são os mais importantes, pois, conforme mostrado na Figura 70, coincidem com os picos de colheita da soja nos EUA, ou seja, momento no qual há maior disponibilidade deste produto no país.

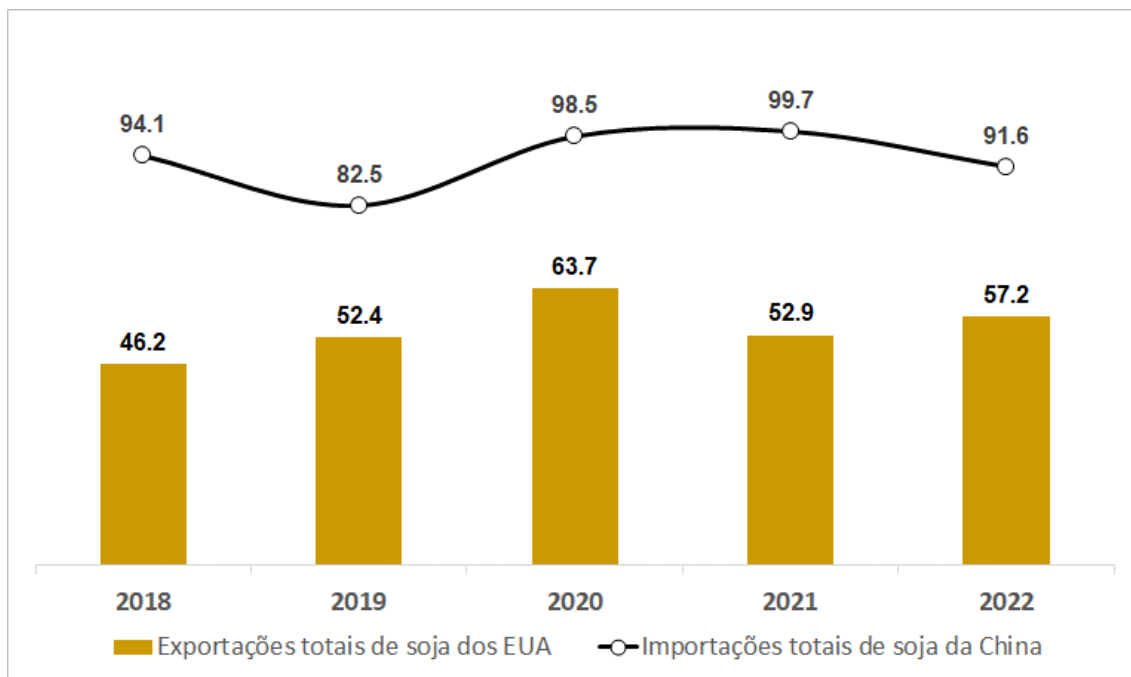


Figura 71 - Exportações norte-americanas e importações chinesas de soja entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do USDA (2023g)

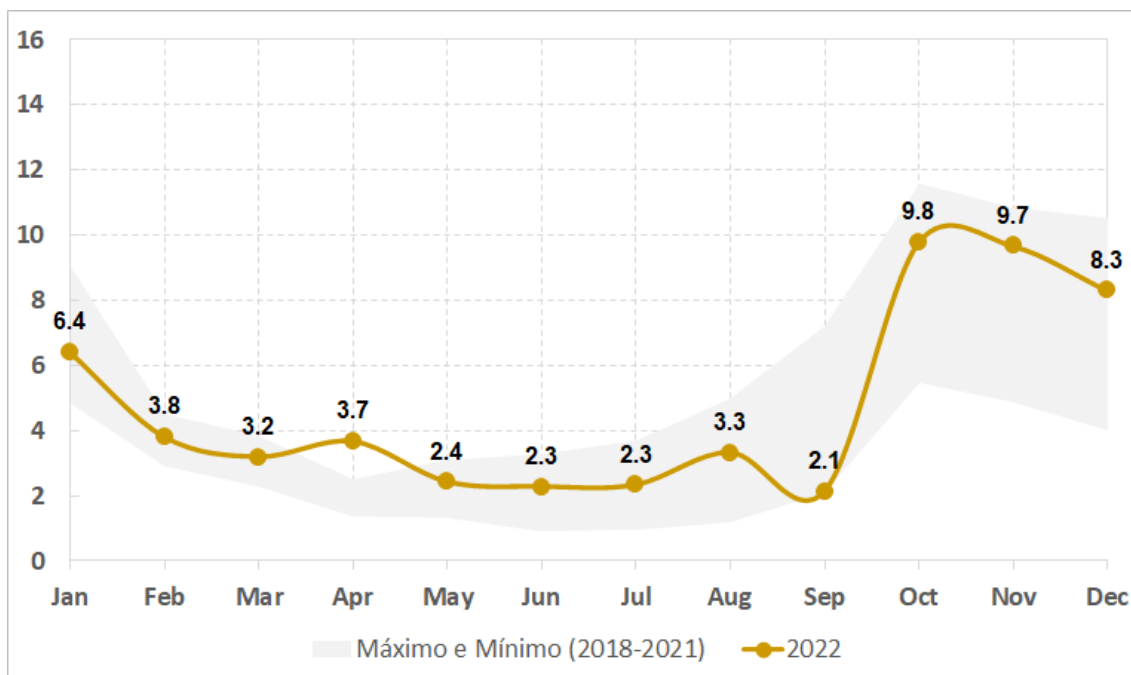












Figura 72 - Sazonalidade das exportações norte-americanas de soja entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do USDA (2023g)

No que diz respeito aos diferentes países que importaram a soja norte-americana, de acordo com os dados divulgados pelo USDA (2023g), pode-se observar na Tabela 28 um destaque para a China, tendo em vista que foi o destino de 53,1% do volume total expedido, ou seja, 30,4 dos 57,2 milhões de toneladas que foram embarcadas nos portos dos EUA em 2022. Para o mesmo período, reforça-se a importância deste país asiático ao se notar que o segundo cliente mais importante foi o vizinho México, sendo responsável por apenas 10,2% do total, ou seja, 5,9 milhões de toneladas.

Também é possível notar na Tabela 28 o comportamento histórico dos dez principais destinos das exportações norte-americanas de soja entre 2018 e 2022. É válido ainda destacar que, em média, entre os anos de 2018 e 2022, a China comprou 43,9% do total vendido pelos EUA, enquanto o Top 5 de 2022 somou 66,9%.

Tabela 28 - Destinos da soja norte-americana entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas

Nº	País	2022	%	2021	2020	2019	2018
	<b>TOTAL</b>	<b>57.2</b>	<b>100.0</b>	<b>52.9</b>	<b>63.7</b>	<b>52.4</b>	<b>46.2</b>
1º	China 	30.4	53.1	27.4	34.2	22.6	8.2
2º	México 	5.9	10.2	4.9	4.9	5.2	4.8
3º	Egito 	3.2	5.6	2.8	4.0	2.8	3.2
4º	Japão 	2.8	4.9	2.4	2.5	2.5	2.3
5º	Alemanha 	2.4	4.1	1.7	1.5	1.4	1.2
6º	Indonésia 	2.0	3.5	2.0	2.4	2.4	2.6
7º	Taiwan 	1.8	3.2	1.4	1.5	1.9	2.3
8º	Itália 	0.9	1.6	0.5	0.5	0.4	0.9
9º	Coreia do Sul 	0.8	1.3	0.6	0.6	1.1	0.8
10º	Vietnã 	0.7	1.2	0.7	1.0	0.7	1.3
	Outros	6.4	10.0	8.4	10.5	11.4	18.6

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da USA (2023g)

### B.7. Importações de soja nos EUA

Assim como o Brasil, os EUA têm claramente a vocação para ser um país exportador de soja. Contudo, importações significativas podem ocorrer em anos de quebra de safra. Isso acontece para manter ativa a pujante indústria esmagadora dessa oleaginosa. Somando-se a isso, por ser um país com dimensões continentais, eventualmente, algum volume do produto supracitado é importado, ou por questões logísticas, no caso de regiões localizadas próximas as fronteiras com o Canadá ou por razões econômicas pontuais.

Entretanto, nesses últimos dois eventos mencionados, as quantidades são inexpressivas quando comparadas ao total que é produzido e exportado pelos EUA. Portanto, optou-se por não apresentar um detalhamento concernente ao tópico de importação.

### B.8. Balanço de oferta e demanda da soja norte-americana

As informações concernentes ao balanço de oferta e demanda da soja norte-americana entre 2018 e 2022 podem ser observadas na Tabela 29. Para facilitar a comparação com o Brasil, os dados divulgados pelo USDA (2023f,g) foram organizados dentro de um calendário romano, ou seja, de janeiro a dezembro. Destaca-se que, no cotidiano, os agentes de mercado preferem uma visualização que começa em setembro e termina no próximo mês de agosto, pois assim eles analisam os números a partir do início da colheita. Esse método de mensuração também é conhecido como “ano comercial”.

De acordo com a Tabela 29, nota-se que o ano de 2022 começou com um estoque inicial de 78,0 milhões de toneladas de soja, oriundos de 2021. No final do período, transferiu-se 75,2 para 2023, em forma de estoques de passagem. Este montante variou em relação ao ano anterior em função da diminuição da produção; e aumento do consumo doméstico e das exportações. Finalmente, pode-se dizer que o volume remanescente de 2022 foi capaz de atender 62,8% da demanda deste mesmo ano.

Tabela 29 - Balanço de oferta e demanda da soja norte-americana entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas

	2018	2019	2020	2021	2022
<b>OFERTA TOTAL</b>	<b>200.7</b>	<b>192.7</b>	<b>195.1</b>	<b>191.8</b>	<b>194.9</b>
◦ <b>Estoque Inicial</b>	<b>79.7</b>	<b>95.7</b>	<b>80.0</b>	<b>69.7</b>	<b>78.0</b>
◦ <b>Produção</b>	<b>120.5</b>	<b>96.7</b>	<b>114.7</b>	<b>121.5</b>	<b>116.4</b>
◦ <b>Importação</b>	<b>0.5</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>
<b>DEMANDA TOTAL</b>	<b>105.1</b>	<b>112.7</b>	<b>125.4</b>	<b>113.8</b>	<b>119.7</b>
◦ <b>Consumo Doméstico</b>	<b>55.9</b>	<b>56.9</b>	<b>58.9</b>	<b>58.3</b>	<b>60.0</b>
◦ <b>Exportação</b>	<b>46.2</b>	<b>52.4</b>	<b>63.7</b>	<b>52.9</b>	<b>56.9</b>
◦ <b>Outros</b>	<b>2.9</b>	<b>3.4</b>	<b>2.8</b>	<b>2.6</b>	<b>2.8</b>
<b>ESTOQUE FINAL</b>	<b>95.7</b>	<b>80.0</b>	<b>69.7</b>	<b>78.0</b>	<b>75.2</b>
<b>% DE USO DO ESTOQUE</b>	<b>91.1%</b>	<b>71.0%</b>	<b>55.6%</b>	<b>68.6%</b>	<b>62.8%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do USDA (2023f,g)



## **APÊNDICE C: Detalhamento sobre a soja na Argentina**

Este capítulo tem como objetivo principal situar o leitor sobre os números relativos aos tópicos de produção e exportação da soja na Argentina com um maior nível de detalhamento. Além disso, apresentam-se o avanço da fronteira agrícola desta oleaginosa numa periodicidade decenária, iniciando-se em 1980; o caráter sazonal do calendário de plantio e colheita desta leguminosa; e o balanço de oferta e demanda pelo produto.

### **C.1. Avanço da fronteira agrícola da soja na Argentina**

Conforme pode ser notado na Figura 73, elaborado com dados do MINAGRI (2021), em 1980 as lavouras de soja já estavam difundidas em muitas províncias argentinas, com destaque para a produção ao sul de Santa Fé. Com o passar dos anos, não foi possível observar um alastramento expressivo do cultivo dessa oleaginosa para outras partes do país, mas sim um aumento da produtividade, basicamente, nos mesmos lugares.

É válido destacar que isso aconteceu porque tanto ao oeste quanto ao sul do país existem áreas montanhosas e desérticas, ambas inóspitas ao cultivo da soja, com destaques para a Cordilheira dos Andes e a Patagônia. Em suma, em 1980 a Argentina colheu 3,5 milhões de toneladas de soja, já em 2020, um total de 48,8, ou seja, um crescimento de 1.294%.

Na atual conjuntura, é plausível afirmar que a Argentina encontra limitações para aumentar, expressivamente, a sua produção de soja em um horizonte de curto e médio prazo, podendo contar, basicamente com: (1) o advento de futuras tecnologias que proporcionem um aumento da produtividade sobre terras onde essa oleaginosa já está instalada ou (2) avançar sobre áreas que são utilizadas por outras culturas fortes no país, tais como milho, trigo, sorgo e/ou atividades de pecuária.

Em contrapartida, nos últimos anos, os fazendeiros argentinos enfrentaram condições climáticas bastante adversas durante as principais etapas de desenvolvimento fenológico das plantas de soja. Isso reduz o retorno sobre o capital investido e desestimula novas empreitadas, além de, potencialmente, aumentar o endividamento.

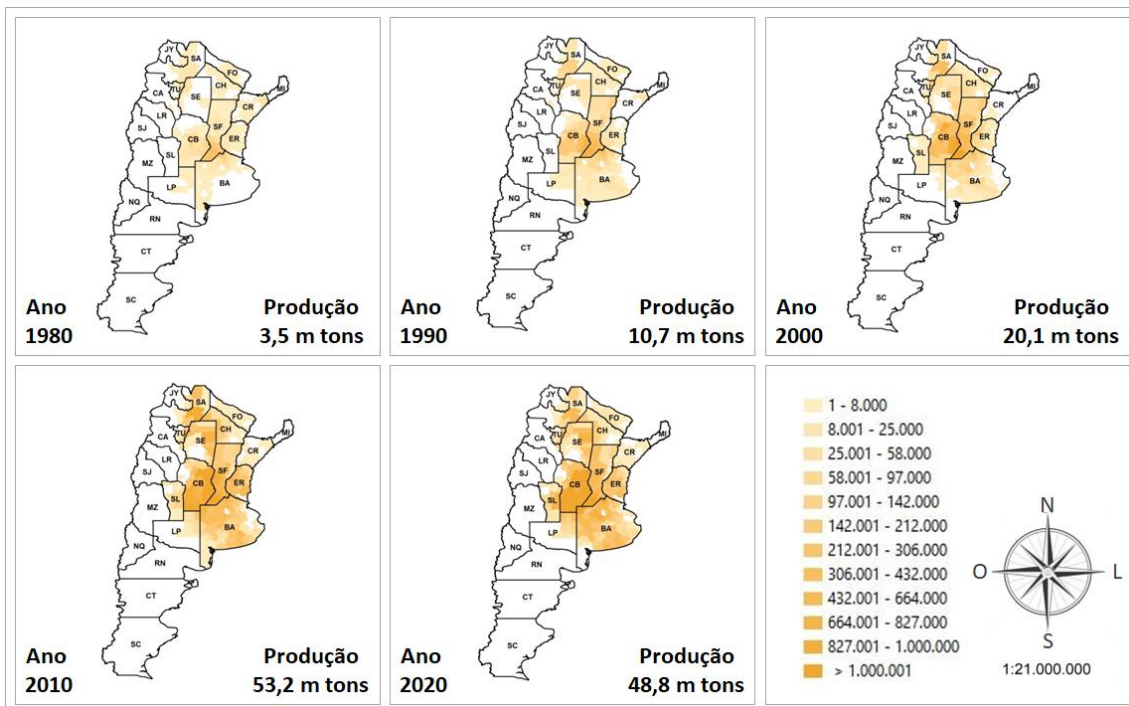


Figura 73 - Evolução do volume de soja colhido por município na Argentina  
 Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do MINAGRI (2021)

## C.2. Calendário de plantio e colheita da soja na Argentina

A Figura 74 foi elaborada com os dados da Bolsa de Cereales (2023) e diz respeito a sazonalidade média semanal das atividades de plantio e colheita da soja na Argentina entre 2018 e 2022. É possível observar que, em média, o ciclo de instalação das lavouras começou em meados de outubro e atingiu seu ápice entre novembro, manteve o ritmo em dezembro e finalizou em fevereiro. Já do ponto de vista da colheita, em média, os trabalhos no campo se iniciaram na primeira semana de março do ano seguinte e terminaram no início de julho, tendo seu apogeu no durante os meses de abril e maio.

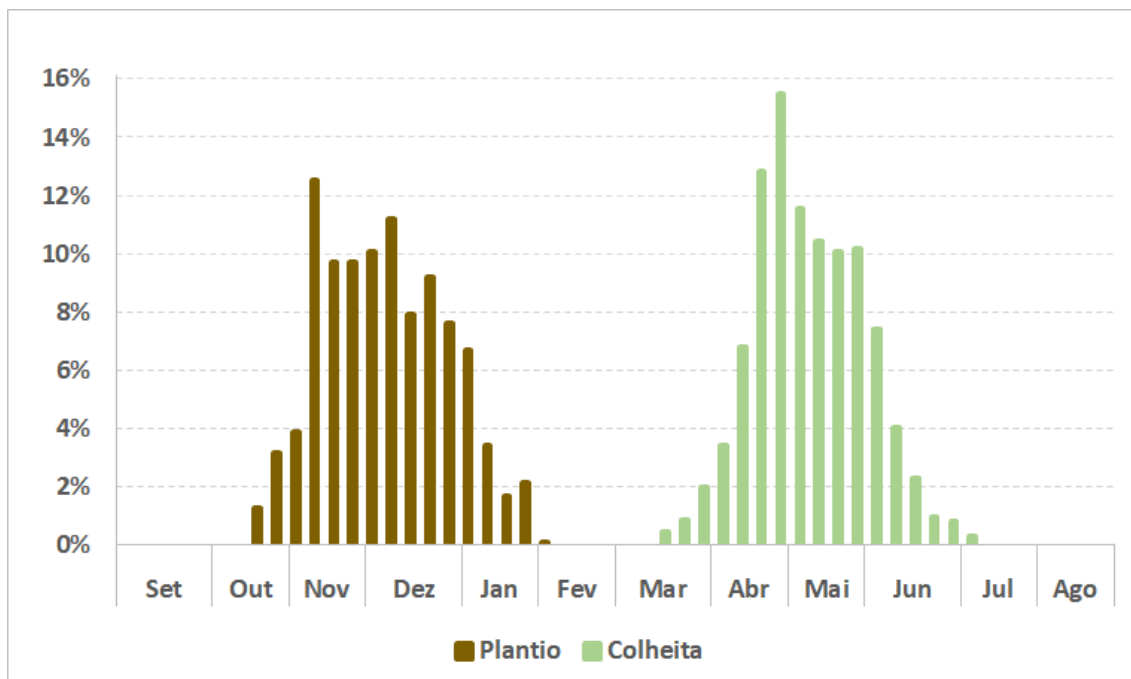


Figura 74 - Sazonalidade média semanal do plantio e da colheita das lavouras de soja na Argentina entre 2018 e 2022

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da Bolsa de Cereales (2023)

### C.3. Área destinada ao plantio da soja na Argentina

É importante destacar que, optou-se por utilizar os dados da Bolsa de Cereales (2023) nessa e nas duas próximas seções, em detrimento do MNAGRI. Isso aconteceu, pelo fato deles serem publicados com uma periodicidade semanal, trazendo mais confiabilidade para a análise. Entretanto, este instituto tem por praxe agregar as informações por zonas pré-definidas, ao invés da tradicional forma estatual. Sendo assim, pode ser observado na Tabela 30, que a região denominada como “Cinturão Sul” apresentou a maior porcentagem de área destinada ao plantio da soja na Argentina em 2022, com 13,5% do total de 16,3 milhões de hectares.

Logo em seguida, formando o top 5 no mesmo período supracitado, tem-se: “Cinturão Norte” (12,8%), “N. La Pampa/O. BA<sup>1</sup>” (11,3%), “Sul de Córdoba” (10,4%) e “Nordeste” (10,2%). Apenas essas 5 zonas somaram 58,2% do total. Além disso, na Tabela 30 pode-se observar o comportamento da distribuição da área plantada entre as dez principais regiões argentinas produtoras de soja entre os anos de 2018 e 2022.

<sup>1</sup>N. La Pampa/O. BA = Norte de La Pampa e oeste de Buenos Aires

Tabela 30 - Área com plantio de soja na Argentina entre 2018 e 2022, em milhões de hectares

N°	Região	Zona	2022	%	2021	2020	2019	2018
<b>TOTAL</b>			<b>16.3</b>	<b>100.0</b>	<b>16.9</b>	<b>17.1</b>	<b>17.1</b>	<b>17.2</b>
1°	Cinturão Sul	VII	2.2	13.5	2.3	2.3	2.1	2.2
2°	Cinturão Norte	VI	2.1	12.8	2.2	2.3	2.3	2.2
3°	N. La Pampa/O. BA	IX	1.9	11.3	1.8	1.9	1.9	1.8
4°	Sul de Córdoba	III	1.7	10.4	1.8	1.9	1.9	2.0
5°	Nordeste	IV	1.7	10.2	1.6	1.7	1.7	1.6
6°	C.N. de Córdoba	II	1.6	9.7	1.6	1.5	1.4	1.7
7°	C.N. de Santa Fe	I	1.1	6.9	1.4	1.0	1.0	1.1
8°	Noroeste	V	1.0	6.3	1.1	1.1	1.1	1.1
9°	C.L. de Entre Ríos	VIII	1.0	6.2	1.1	1.1	1.1	1.0
10°	Centro de BA	X	0.7	4.2	0.7	0.7	0.8	0.7
Outros			1.3	8.3	1.3	1.6	1.9	1.8

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da Bolsa de Cereales (2023)

#### C.4. Produtividade da soja na Argentina

Conforme pode ser observado na Tabela 31, de acordo com os dados divulgados pela Bolsa de Cereales (2023), a região denominada como “Cinturão Sul” obteve a maior produtividade da Argentina em 2022, ou seja, cada hectare colhido apresentou um rendimento médio de 3,2 toneladas. Isso significou uma performance 16,3% maior do que a média nacional de 2,8 tons/ha.

Logo em seguida, formando o top 5 no mesmo período supracitado, tem-se: “Cinturão Norte” (14,0% acima da média do país), “N. La Pampa/O. BA<sup>2</sup>” (12,2%), “Sul de Córdoba” (5,9%) e “Nordeste” (5,5%). Além disso, na Tabela 31 pode-se observar o comportamento das produtividades das dez principais regiões argentinas produtoras de soja entre os anos de 2018 e 2022.

<sup>2</sup> N. La Pampa/O. BA = Norte de La Pampa e oeste de Buenos Aires

Tabela 31 - Produtividade da soja na Argentina entre 2018 e 2022, em tons/hectare

N°	Região	Zona	2022	Δ%	2021	2020	2019	2018
<b>TOTAL</b>			<b>2.8</b>		<b>2.7</b>	<b>3.0</b>	<b>3.4</b>	<b>2.2</b>
1°	Cinturão Sul	VII	3.2	16.3	2.9	3.4	3.8	2.9
2°	Cinturão Norte	IX	3.2	14.0	2.8	3.4	3.7	2.6
3°	N. La Pampa/O. BA	IV	3.1	12.2	2.9	2.9	3.3	2.0
4°	Sul de Córdoba	VI	3.0	5.9	3.0	3.4	4.2	2.8
5°	Nordeste	V	2.9	5.5	2.9	3.2	3.2	1.9
6°	C.N. de Córdoba	II	2.8	2.1	2.1	2.8	3.0	2.1
7°	C.N. de Santa Fe	III	2.6	-7.0	3.1	3.2	3.8	1.9
8°	Noroeste	XIII	2.5	-10.2	2.7	1.3	2.4	1.8
9°	C.L. de Entre Ríos	X	2.5	-11.5	2.4	2.7	3.0	1.5
10°	Centro de BA	VIII	2.4	-13.7	2.0	2.0	2.8	1.0
Outros			1.9	-33.4	2.1	2.2	2.2	1.8

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da Bolsa de Cereales (2023)

### C.5. Produção da soja na Argentina

Conforme pode ser observado na Tabela 32, de acordo com os dados divulgados pela Bolsa de Cereales (2023), a região denominada como “Cinturão Sul” foi a maior produtora de soja na Argentina em 2022, respondendo por 15,8% de um total de 43,3 milhões de toneladas. Compreende-se essa maior produção associando-se as supracitadas Tabela 30 e Tabela 31, dado que, esta zona possuiu naquele ano a maior área utilizada no cultivo de soja e a melhor produtividade média.

Logo em seguida, formando o top 5 no mesmo período supracitado, tem-se: “Cinturão Norte” (13,6%), “N. La Pampa/O. BA<sup>3</sup>” (12,8%), “Sul de Córdoba” (11,6%) e “Nordeste” (9,9%). É notável que apenas essas 5 localidades somem 63,7% do total. Além do mais, na Tabela 32 pode-se observar o comportamento da distribuição dos volumes colhidos entre as dez principais regiões argentinas produtoras de soja entre os anos de 2018 e 2022.

<sup>3</sup> N. La Pampa/O. BA = Norte de La Pampa e oeste de Buenos Aires

Tabela 32 - Produção de soja na Argentina entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas

N°	Região	Zona	2022	%	2021	2020	2019	2018
<b>TOTAL</b>			<b>43.3</b>	<b>100.0</b>	<b>43.1</b>	<b>49.0</b>	<b>54.5</b>	<b>35.5</b>
1°	Cinturão Sul	VII	6.9	15.8	6.5	7.5	7.9	6.0
2°	Cinturão Norte	VI	5.9	13.6	6.5	7.8	9.3	6.1
3°	N. La Pampa/O. BA	IX	5.5	12.8	4.8	6.2	6.6	4.4
4°	Sul de Córdoba	IV	5.0	11.6	4.6	4.8	5.4	3.2
5°	Nordeste	II	4.3	9.9	3.2	4.2	3.4	3.4
6°	C.N. de Córdoba	III	4.2	9.7	5.3	5.9	6.9	3.6
7°	C.N. de Santa Fe	V	2.9	6.6	2.9	3.4	3.2	1.9
8°	Noroeste	I	2.4	5.5	3.4	2.4	2.9	2.6
9°	C.L. de Entre Ríos	VIII	2.3	5.3	1.9	2.2	2.8	1.0
10°	Centro de BA	X	1.6	3.7	1.6	1.8	2.4	0.8
Outros			2.4	5.4	2.5	2.9	3.6	2.6

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da Bolsa de Cereales (2023)

### C.6. Exportações de soja na Argentina

No que concerne as exportações argentinas de soja, a Figura 75, elaborada com dados da NABSA (2023), ilustra a contabilização do volume anual expedido entre 2018 e 2022. No intervalo de tempo considerado, o Argentina demonstrou oscilação no patamar de vendas ao exterior, indo de 3,7 a 10, depois estabilizando em torno de 5 milhões de toneladas. Esses valores são muito baixos se comparado com Brasil e EUA, respectivamente, o primeiro e segundo maiores exportadores do produto no mundo.

Pode-se dizer que isso aconteceu devido a alguns fatores que se interrelacionam, com destaque para: (1) existência de uma elevada carga tributária para a soja em grãos deixar a Argentina, algo em torno de 33% de impostos sobre o produto; (2) proporcionalmente ao volume total colhido, é bastante alta a capacidade instalada para esmagar internamente essa oleaginosa e fabricar produtos com maior valor agregado. É válido ressaltar que esse país sul-americano embarca cerca de 40% do farelo de soja que é comercializado no mundo. A Figura 75 também contrasta a relativa irrelevância das exportações deles em comparação com as importações de soja pela China durante o mesmo período supracitado.

Já na Figura 76, construída com dados da NABSA (2023), as exportações argentinas de soja são analisadas através do prisma da sazonalidade anual, assim como pelos valores máximos e mínimos históricos de cada mês entre 2018 e 2022. Logo, em contraste com Brasil e EUA, fica evidente que os embarques não seguiram um padrão definido e/ou

correlacionados com a época da colheita, ou seja, momento no qual há maior disponibilidade deste produto no país. Provavelmente, isso aconteceu em função (1) das constantes quebras de safras que foram observadas no último quinquênio; e (2) mudanças nas políticas tributárias após a eleição presidencial de 2019, onde se notou aumento dos impostos, dentre outros problemas.

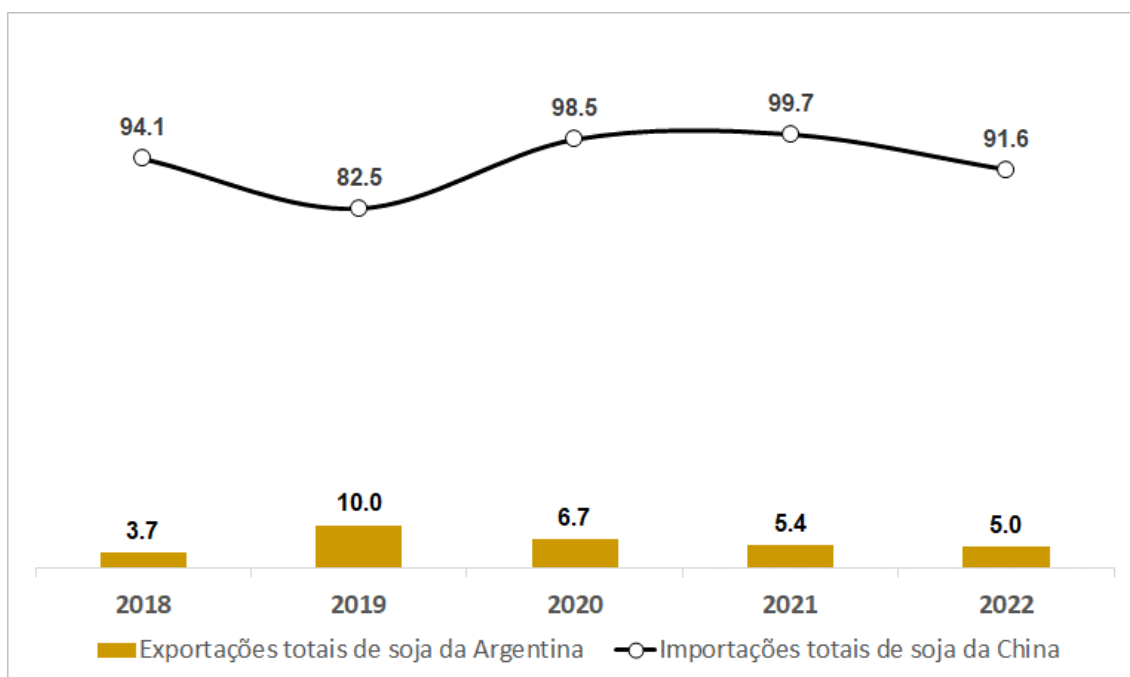


Figura 75 - Exportações argentinas e importações chinesas de soja entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da NABSA (2023) e USDA (2023)

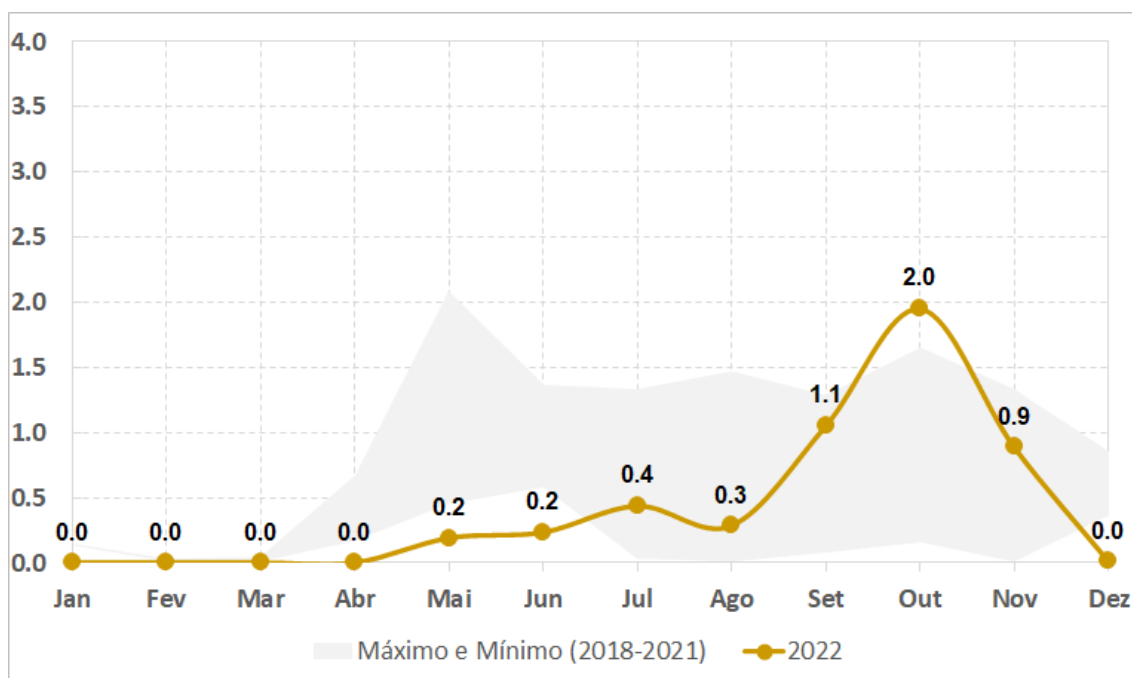


Figura 76 - Sazonalidade das exportações argentinas de soja entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da NABSA (2023)

No que diz respeito aos diferentes países que importam a soja argentina, de acordo com os dados divulgados pela NABSA (2023), pode-se observar na Tabela 33 um destaque para a China, tendo em vista que foi o destino de 94,5% do volume total expedido, ou seja, 4,77 dos 5,05 milhões de toneladas que foram embarcadas nos portos da Argentina em 2022. Para o mesmo período, reforça-se a importância deste país asiático ao se notar que o segundo cliente mais importante foi o Egito, sendo responsável por apenas 0,9% do total, ou seja, 0,05 milhões de toneladas.

Também é possível notar na Tabela 33 o comportamento histórico dos dez principais destinos das exportações argentinas de soja entre 2018 e 2022. É válido ainda destacar que, em média, entre os anos de 2018 e 2022, a China comprou 86,6% do total vendido pela Argentina, enquanto o Top 5 de 2022 somou 94,3%.



Tabela 33 - Destinos da soja argentina entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas

N°	País	2022	%	2021	2020	2019	2018
<b>TOTAL</b>		<b>5.05</b>	<b>100.0</b>	<b>5.4</b>	<b>6.6</b>	<b>9.8</b>	<b>3.7</b>
1°	China 	4.77	94.5	4.0	5.5	8.6	3.4
2°	Egito 	0.05	0.9	0.6	0.5	0.6	-
3°	Vietnã 	0.03	0.6	0.0	0.0	0.1	-
4°	Filipinas 	0.03	0.6	0.0	-	-	-
5°	Rússia 	0.03	0.6	0.1	0.1	0.1	0.1
6°	Holanda 	0.03	0.6	-	0.0	-	-
7°	Estados Unidos 	0.03	0.5	0.1	0.0	0.1	0.0
8°	Arábia Saudita 	0.02	0.5	0.1	0.1	0.1	0.0
9°	Taiwan 	0.02	0.4	-	0.1	-	-
10°	Indonésia 	0.02	0.4	0.1	-	-	-
Outros		0.02	10.0	0.4	0.2	0.2	0.1

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da NABSA (2023)

### C.7. Importações de soja na Argentina

Conforme pôde ser constatado nas informações apresentadas nos tópicos anteriores, a Argentina exporta uma pequena parte da sua produção de soja. Contudo, importações significativas podem ocorrer em anos de quebra de safra. Isso acontece para manter ativa a pujante indústria esmagadora dessa oleaginosa. Logo, eventualmente, algum volume do produto supracitado é importado, ou por questões logísticas, no caso de regiões localizadas próximas as fronteiras com o Brasil, Paraguai, Bolívia e Uruguai, ou por razões econômicas pontuais. Entretanto, nesses últimos dois eventos mencionados, as quantidades são pequenas quando comparadas ao total que é produzido pela Argentina. Portanto, optou-se por não apresentar um detalhamento concernente ao tópico de importação.

### C.8. Balanço de oferta e demanda da soja argentina

As informações concernentes ao balanço de oferta e demanda da soja argentina entre 2018 e 2022 podem ser observadas na Tabela 34. Para isso, foram considerados, respectivamente, os dados da McDonald Pelz (2023) e Bolsa de Cereales (2023) para os subitens estoque inicial e produção; MINAGRI (2023, 2023b) para importação e consumo doméstico; e NABSA (2023) para exportação.

De acordo com a Tabela 34, nota-se que o ano de 2022 começou com um estoque inicial de 12,3 milhões de toneladas de soja, oriundos de 2021. No final do período, transferiu-se 8,2 para 2023, em forma de estoques de passagem. Este montante variou em relação ao ano anterior em função da diminuição das importações, consumo doméstico e exportações. Finalmente, pode-se dizer que o volume remanescente de 2022 foi capaz de atender 16,3% da demanda deste mesmo ano. Nota-se que é o menor valor da série histórica, indicando que houve maior pressão nos preços desta commodity.

Tabela 34 - Balanço de oferta e demanda da soja argentina entre 2018 e 2022, em milhões de toneladas

	2018	2019	2020	2021	2022
<b>OFERTA TOTAL</b>	<b>61.3</b>	<b>73.2</b>	<b>69.4</b>	<b>67.4</b>	<b>59.0</b>
◦ <b>Estoque Inicial</b>	<b>19.3</b>	<b>14.2</b>	<b>15.1</b>	<b>19.5</b>	<b>12.3</b>
◦ <b>Produção</b>	<b>35.5</b>	<b>54.5</b>	<b>49.0</b>	<b>43.1</b>	<b>43.3</b>
◦ <b>Importação</b>	<b>6.4</b>	<b>4.5</b>	<b>5.3</b>	<b>4.9</b>	<b>3.3</b>
<b>DEMANDA TOTAL</b>	<b>47.1</b>	<b>58.1</b>	<b>49.9</b>	<b>55.1</b>	<b>50.7</b>
◦ <b>Consumo Doméstico</b>	<b>36.7</b>	<b>41.2</b>	<b>36.1</b>	<b>42.4</b>	<b>38.5</b>
◦ <b>Exportação</b>	<b>3.7</b>	<b>10.0</b>	<b>6.7</b>	<b>5.4</b>	<b>5.0</b>
◦ <b>Outros</b>	<b>6.7</b>	<b>6.9</b>	<b>7.1</b>	<b>7.2</b>	<b>7.2</b>
<b>ESTOQUE FINAL</b>	<b>14.2</b>	<b>15.1</b>	<b>19.5</b>	<b>12.3</b>	<b>8.2</b>
<b>% DE USO DO ESTOQUE</b>	<b>30.0%</b>	<b>26.0%</b>	<b>39.0%</b>	<b>22.4%</b>	<b>16.3%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da Bolsa de Cereales (2023), McDonald Pelz (2023), MINAGRI (2023, 2023b), NABSA (2023) e USDA (2023)

## APÊNDICE D: Entrevistas com produtores brasileiros de soja

Com o intuito de tentar entender o processo de decisão sobre expansão ou contração de área plantada para a próxima safra, foi perguntado para 18 produtores de soja, proprietários de fazendas espalhadas por diversas regiões do Brasil, quais foram/são as razões que os levaram/levam, tanto eles quanto os fazendeiros vizinhos das regiões onde estão inseridos, a tomarem essa decisão. Abaixo pode ser encontrado um resumo com os principais pontos levantados por cada entrevistado:

- **Produtor 1:** ressaltou que o proprietário abre mais área buscando melhorar e valorizar o imóvel. Entretanto, o preço da soja incentiva a expansão e atrai os arrendatários, que objetivam ganhos financeiros ou diluição de custos sobre capital já investido em terrenos próximos. Muitos acabam por inflacionar o mercado de aluguéis de terra. Quando não são remunerados suficientemente, já que, geralmente, as cotações dos insumos seguem a variação positiva dos valores da soja, mas não retornam proporcionalmente quando o preço da oleaginosa arrefece, quebram e saem da atividade. São absorvidos por novos entrantes ou fazendeiros/grupos já estabilizados.
- **Produtor 2:** destacou que a nova área tem que estar no raio de ação do maquinário já adquirido e localizada em uma fronteira agrícola. Lembrou também que não adianta crescer apenas pensando na diluição do custo total, pois existe um ponto de equilíbrio que, além dele, a qualidade do produto e da gestão são penalizadas. Levantou um ponto interessante: o aumento do número de pedidos de recuperação judicial (RJ) pode ser um efeito colateral grave do crescimento exacerbado de alguns produtores;
- **Produtor 3:** ressaltou que a expectativa de lucro é importante, principalmente quando comparada com outros produtos que concorrem pela mesma área. Além disso, também analisa os resultados obtidos nos últimos anos, pois está propenso a repetir a estratégia caso esteja acumulando sucessos. Por fim, outro fator de destaque é o amor pela terra e orgulho em produzir alimentos, além do fato de, geralmente, nascer em um ambiente onde ser produtor rural já uma tradição.
- **Produtor 4:** destacou os benefícios trazidos pelo ganho de escala ao se aumentar a quantidade de área plantada, principalmente em anos de preços ruins, e a redução dos custos fixos. Ressaltou também a importância da expectativa de lucro com a atividade da soja, principalmente quando comparada com outros produtos que

concorrem pela mesma área. Além disso, também analisa os resultados obtidos nos últimos anos, pois está propenso a repetir a estratégia caso esteja acumulando sucessos. Ademais, o fato de não ter interesse em sair da atividade motiva os produtores a sempre buscarem mais crescimento.

- **Produtor 5:** ressaltou a questão da sucessão familiar, quando a expansão é necessária porque à medida que a família cresce, surgem novos herdeiros. Abrir mais área faz com que suba o valor da propriedade rural. Destacou também a importância da expectativa de lucro com a atividade da soja, principalmente quando comparada com outros produtos que concorrem pela mesma área. Além disso, também analisa os resultados obtidos nos últimos anos, pois está propenso a repetir a estratégia caso esteja acumulando sucessos.
- **Produtor 6:** destacou que o produtor rural não pensa em adquirir mais área por motivos de especulação imobiliária. Planta por ser a sua vocação.
- **Produtor 7:** ressaltou que o produtor rural brasileiro é um empreendedor e reinveste o que ganha em terra, tecnologia, máquinas e qualidade de vida. Analisando a demanda mundial, ele tem a percepção de que as coisas continuarão boas por muito tempo. Existe também a questão da sucessão familiar, então precisam expandir porque a família cresce e surgem novos herdeiros. Além disso, ele investe mais para ganhar escala, o que é bom em anos de preços baixos. Geralmente, mais área propicia mais crédito no mercado. Por fim, ressaltou que o lado negativo de todo esse crescimento é o fato de o produtor estar altamente endividado.
- **Produtor 8:** destacou a busca crescente para ganhar escala, o que é bom em tempos de preços mais baixos. Ressaltou também a questão da sucessão familiar, pois precisam expandir à medida que a família cresce e surgem novos herdeiros. Além disso, existe o amor pela terra e orgulho em produzir alimentos, além do fato de, geralmente, nascer em um ambiente onde ser produtor rural já uma tradição. Por fim, comentou sobre a necessidade de otimizar o maquinário já adquirido, utilizando-o em fazendas próximas às novas áreas abertas.
- **Produtor 9:** ressaltou que o principal fator que levou os agricultores a abrirem mais áreas foi a rentabilidade e liquidez da soja nos últimos anos, principalmente quando comparada com outros produtos que concorrem pela mesma área, algo fortemente sustentado pela crescente demanda mundial de alimentos. Como o

mercado é muito firme e estável, favorece uma programação de longo prazo quando se pensa em abrir área ou arrendar por longos períodos. Ademais, quando o mercado de bovinos está com preços defasados e pouca rentabilidade, isso favorece que a soja crescesse sobre pastagem degradada. Lembrou também que não adianta crescer apenas pensando na diluição do custo total, pois existe um ponto de equilíbrio que, além dele, a qualidade do produto e da gestão são penalizadas.

- **Produtor 10:** destacou que, no passado, muitos produtores abriam áreas de soja em lugares com agricultura relativamente consolidada para que a propriedade rural se valorizasse. Então vendia e migrava para regiões de fronteira, onde era possível adquirir glebas maiores com o dinheiro obtido. Com o advento do milho de segunda safra houve a necessidade de investimentos em mais maquinários, para realização do plantio e colheita de ambos os grãos dentro da janela ideal de chuvas. Buscando a diluição desses novos custos, buscou-se arrendar ou abrir mais áreas. Ademais, quanto mais áreas abertas se possui, maiores são as facilidades na obtenção de crédito com bancos e outras intuições financeiras.
- **Produtor 11:** ressaltou que existem os casos de crescimento em função de motivações financeiras, mas uma razão importante a ser citada é a vocação em produzir alimentos e fato de que a maioria dos fazendeiros brasileiros são descendentes de alemães e italianos, povos cujo uma das características mais marcante é o empreendedorismo e a busca constante pela prosperidade. Comentou também que mesmo em épocas de preços nominais bons, muitos produtores erram na hora de comercializar a soja, sendo obrigados a se descapitalizarem, o que geralmente acontece quando começam a comprar menos insumos à vista ou se endividando além do saudável. A tendência é que esses agentes saiam do mercado, vendendo suas glebas para os mais assertivos, que têm capacidade de maiores investimentos e ganho de escala para abrir ou arrendar mais áreas.
- **Produtor 12:** destacou que, geralmente, é vantajoso comprar mais terra pelo simples motivo de que quando o fazendeiro utiliza dinheiro atrelado ao CNJP da fazenda, diminui-se o lucro líquido projetado. Assim, a alíquota de imposto devido é aplicada sobre uma base menor. Deste modo, aumenta-se o patrimônio usando um dinheiro que iria para o governo. Também comentou que, na média, os produtores encontram bons preços nos últimos 10 anos (2010-2020), tanto para a soja quanto para culturas que podem ser plantadas em outros meses do ano, tais

como o milho safrinha e outros grãos alternativos (também conhecidos como *pulses*: feijão, grão-de-bico, lentilha e ervilha, por exemplo). Isso incentivou novos investimentos e abertura de área;

- **Produtor 13:** ressaltou que as terras localizadas nas fronteiras agrícolas do Brasil expressavam baixas produtividades. Logo, as pesquisas em ciência e tecnologia, com grande destaque para a EMBRAPA, trouxeram materiais genéticos adaptados, o que propiciou competitividade ao produtor rural. Esse fato pode ser apontado como umas das molas propulsoras do aumento de área observado. Ademais, a rentabilidade e liquidez da soja nos últimos anos, algo fortemente sustentado pela crescente demanda mundial por alimentos também colaborou.
- **Produtor 14:** destacou que o aumento da procura por áreas em regiões de fronteira nos últimos anos fez com que o preço do arrendamento subisse a um nível que já gera preocupações se todo esse passivo será honrado. Ademais, produtor quer crescer para se autofinanciar e evitar altos juros de mercado;
- **Produtor 15:** ressaltou questões relacionadas a vocação em produzir alimentos, valorização do imóvel e sucessão familiar. Mencionou que existe relação entre aumento de preços da soja e mais investimento na atividade no ano corrente ou seguinte. Entretanto, externou preocupações sobre o fato de que demora um certo tempo para se alcançar boas produtividades nas novas áreas e pode acontecer de que quando se tem mais volume para ofertar, os preços estão piores.
- **Produtor 16:** destacou que os sojicultores aproveitaram para crescer em cima de áreas de pastagens degradadas, pois além de ser financeiramente vantajoso, propiciava a recuperação do solo e a valorização da propriedade rural. O aumento de área é importante do ponto de vista do ganho de escala, pois facilita nas negociações de compra de insumos e maquinários, além de ficar mais próximo da viabilidade de investir no próprio armazém. Ademais, mencionou que, geralmente, é vantajoso comprar mais terra pelo simples motivo de que quando o fazendeiro utiliza dinheiro atrelado ao CNJP da fazenda, diminui-se o lucro líquido projetado. Assim, a alíquota de imposto devido é aplicada sobre uma base menor. Deste modo, aumenta-se o patrimônio usando um dinheiro que iria para o governo.
- **Produtor 17:** ressaltou que além da atratividade de bons preços e a expectativa de lucratividade, em regiões de fronteira agrícola, há abundante oferta de áreas,

principalmente formada por pastagens degradadas. Isso incentiva o crescimento da atividade sojicultora. Também tem a percepção de que a demanda por alimentos e energias limpas crescerá indefinidamente, ou pelo menos enquanto ele for beneficiário dos retornos da propriedade. Assim, é incentivado a investir e crescer em um setor indispensável para manutenção da vida e da paz no planeta.

- **Produtor 18:** destacou que o produtor tenta aumentar a área visando ganhar mais renda e aproveitar oportunidades sobre pastagens degradadas. Ademais, boa parte dos fazendeiros brasileiros são descendentes de alemães e italianos, povos cujo uma das características mais marcante é o empreendedorismo e a busca constante pela prosperidade.

## APÊNDICE E: Entrevistas com traders de soja

Foi perguntado para 6 traders, responsáveis por departamentos comerciais de soja em grandes empresas multinacionais, **quais são as razões que fizeram/fazem com que um comprador chinês decida por optar entre a soja oriunda do Brasil e outros país, com grande destaque para os EUA**. Abaixo pode ser encontrado um resumo com os principais pontos levantados por cada um dos entrevistados:

- **Trader 1:** Ressaltou que como a soja é uma commodity, então, é basicamente o seu preço final que faz com que um comprador chinês decida sobre em qual origem demandar o produto. A exceção é quando existem conflitos políticos, como foi o caso da guerra comercial entre China e EUA durante o mandato do presidente Donald Trump.
- **Trader 2:** Destacou que os preços da soja oscilam basicamente em função dos mecanismos de oferta e demanda. A China é uma compradora com base no preço CIF, então sempre optará pelo mais barato. Também comentou que a demanda por proteínas de origem animal faz com que aumente a procura por farelo e por consequência por soja.
- **Trader 3:** Ressaltou que, excluindo-se as compras com o intuito de mostrar boa-fé, que estavam seguindo o ritmo de compras necessárias para garantir os acordos firmados para encerrar a guerra comercial, a decisão é puramente racional para o comprador chinês, levando em consideração disponibilidade e o preço CIF no destino. Ademais, existem questões relacionadas as perspectivas de embarque nos períodos de entressafra de cada origem versus o tempo de trânsito do produto.
- **Trader 4:** Destacou que a China compra soja por uma questão de segurança nacional, por isso se vê empresas, direta ou indiretamente, controladas pelo governo atuando globalmente no abastecimento de grãos para a China, com destaque para a *SinoGrain* (armazenagem) e a COFCO (trading). Os crescimentos populacional e econômico geram uma demanda por proteína, seja ela animal e/ou vegetal, fazendo com que a margem de esmagamento da soja seja a principal variável que dita o ritmo das compras, considerando também as expectativas quanto aos tamanhos das safras de Brasil e Estados Unidos. Ademais, 95% compram na modalidade CIF, não negociando o frete, e optando pelo produto mais barato, ou seja, o que trará melhores margens para os esmagadores.



- **Trader 5:** Ressaltou que todos os esmagadores chineses, desde a COFCO até as empresas independentes, que são os compradores finais do produto, devem ter um certo nível médio de demanda anual para atender. O que faz com que eles comprem acima ou abaixo dessa média são as margens de esmagamento. Se elas foram boas, comprarão diariamente para maximizar o lucro. Se forem ruins, diminuem o ritmo e compram o mínimo para manter a produção das fábricas e perder menos dinheiro possível.
- **Trader 6:** Destacou que o governo chinês tem grande capacidade para influenciar nas decisões de compra de soja, já que precisa compor os seus estoques de segurança. Tanto o total corrente quanto o valor mínimo aceitável do volume em estoque são consideradas informações estratégicas e altamente secretas. Agentes do mercado estimam algo entre 20 e 50 milhões de toneladas. Nesse sentido, parâmetros como preço do produto ou margem de lucro auferida no esmagamento de soja têm importância secundária no momento da tomada de decisão.

Dado as opiniões acima, em linhas gerais, pode-se inferir que a China investiu ao longo dos anos para ampliar a sua capacidade instalada de esmagamento de soja, atendendo assim a crescente demanda por matéria-prima para o setor de proteína animal. Para remunerar seu pátio fabril da melhor maneira possível, ela busca comprar soja nas origens que melhor maximize a margem de lucro média ao longo do ano. Em outras palavras, pode-se concluir que o processo de decisão ocorre da seguinte maneira: (1) o governo, conhecendo o estoque real disponível, pode orientar o quanto, aproximadamente, é necessário comprar por ano; (2) o ritmo das compras fica em função da qualidade da margem de lucro de esmagamento de soja; (3) a origem é determinada pelo menor preço CIF médio, que guarda relação intrínseca com o tamanho e a época de colheita em cada país ofertante.

Durante a construção do modelo de dinâmica de sistema, foi possível captar um efeito que não foi elencado por nenhum dos entrevistados: a quebra de confiança dos chineses no suprimento dos EUA em função da guerra comercial. Isso fez com o que Brasil fosse favorecido e os EUA não retomasse os seus valores médios exportados para a China durante o período pré-guerra comercial.

## **APÊNDICE F: Entrevistas com agentes do setor durante o processo de construção do diagrama causal desenvolvido para estudar o problema de pesquisa**

Durante as diversas fases de desenvolvimento e aprimoramento do modelo de dinâmica de sistemas apresentado nesta tese, o diagrama causal foi apresentado e discutido com 9 agentes que atuam, direta ou indiretamente, no mercado global da soja. Dentre essas pessoas, estão ex-presidentes de entidades como a CONAB e a APROSOJA; ex-diretor comercial de uma grande empresa que atua com trading de commodities agrícolas; gerentes de departamentos de inteligência de mercado no Brasil e nos EUA; professor universitário com vasto conhecimento em diversas cadeias agrícolas, além de frequentemente publicar artigos acadêmicos em periódicos de renome; corretores de soja com forte atuação no Brasil, EUA e China; produtores ruais; e proprietário de empresa de consultoria. Abaixo pode ser encontrado um resumo com as principais contribuições de cada agente de mercado. Muitas foram implementadas no modelo final:

- **Agente de mercado 1:** (1) Ressaltou que mesmo os EUA não sendo o maior produtor e exportador de soja na atual conjuntura, a CBOT continua sendo utilizada como a bolsa internacional de referência para formação dos preços dessa oleaginosa. Talvez pela sua tradição, transparência e enorme liquidez. Entretanto, é importantíssimo salientar que os fatores fundamentalistas observados nas variáveis que compõe a oferta e a demanda nem sempre são capazes de explicar, por si só, as oscilações nos preços. Por exemplo, em alguns momentos, o número de contratos negociados na CBOT pode exceder o tamanho das colheitas de todos os países somados. Isso acontece porque muitos investidores usam os mercados agrícolas para diversificar a alocação de capital ou simplesmente especular, ocasionando, assim, descolamento entre o que apontam os fundamentos e os preços observados. (2) Sobre a expansão da área de soja, comentou que os proprietários de terra comparam a expectativa de lucro da soja com a de outras culturas que podem competir pela mesma área, além da sua própria aptidão em lidar com essa leguminosa. (3) Reforçou que o crescimento da demanda global por soja acontece não apenas pelo aumento da necessidade de proteína animal, mas também por biodiesel, ligado a implementação de uma agenda pró-descarbonização. (4) Lembrou que a margem de lucro da produção de carnes na China é o que determina a margem de esmagamento da soja.

- **Agente de mercado 2:** (1) Comentou que o diagrama causal, aliado ao texto explicativo, fornece um documento bastante completo quanto as principais dinâmicas observadas no mercado da soja. (2) Quanto ao Ciclo B2, opinou que acredita que a área total disponível até pode ser um limitante algum dia, mas não é hoje e nem num futuro próximo. Se fosse necessário ranquear as limitações, essa deveria ser a mais baixa de todas, pois mesmo com um incentivo justo, isso somente seria uma eventual limitação daqui muito tempo.
- **Agente de mercado 3:** (1) Comentou que o diagrama causal, aliado ao texto explicativo, fornece um documento bastante completo quanto as principais dinâmicas observadas no mercado da soja. (2) Ademais, comentou sobre o fato de que o sucesso da produção brasileira de soja aguardar forte dependência de insumos importados. Apesar de que, em linhas gerais, o Brasil sempre ter tido acesso à fertilizantes e químicos (fungicida, herbicida e inseticida), sugeriu que fosse modelado o aconteceria com a expansão de área/ safra se esse suprimento fosse cortado no Brasil.
- **Agente de mercado 4:** (1) Comentou que o diagrama causal é claro e intuitivo. (2) Sugeriu três pontos para reflexão: a) incluir a demanda chinesa e de outros países pela soja brasileira na mesma malha. b) nas variáveis de consumo, questionou se seria melhor considerar, além do crescimento populacional, a questão da urbanização e dados de distribuição de renda/crescimento, que impactam no acesso à comida c) aconselhou incluir no diagrama o uso de soja para a produção de biodiesel.
- **Agente de mercado 5:** (1) Comentou que o diagrama pode ser de difícil interpretação sem o auxílio do texto explicativo. Porém, não há relação de causalidade errada ou que não faça sentido no mundo real. Todos os ciclos importantes foram contemplados.
- **Agente de mercado 6:** (1) Mencionou que é plausível separar a demanda da China em 3 tipos de compradores na China: (a) o governo, para compor estoques de segurança (Sinograin); (b) o governo, atuando como trading e esmagador operando fábricas (COFCO); (c) esmagadores independentes. O (a) tem o foco em segurança alimentar, então o preço pode ser secundário. Já (b) e (c) tendem a aumentar o ritmo de compra quando as margens estão melhores. Porém, isso é meio obscuro, pois empresas privadas podem estar obedecendo ordens do governo para não serem prejudicadas. Já do ponto de vista do chinês independente, ele vai

comprar onde tem o preço CIF mais barato. Isso geralmente ocorre nos contratos de embarque que coincidem com os momentos de colheita da soja nos países ofertantes.

- **Agente de mercado 7:** (1) Comentou que, além do diagrama causal ser claro e intuitivo, não há relação de causalidade errada ou que não faça sentido no mundo real. Ademais, a figura pode ser útil para explicar, em as linhas gerais, as dinâmicas observadas no mercado. (2) Contribuiu também explicando sobre o processo de decisão das compras chinesas: (a) foco na margem de esmagamento pelas empresas privadas e a COFCO e (b) o nível de estoque do governo. Essa informação é altamente confidencial e decidida pelo Comitê de Desenvolvimento e Reforma do Estado, por isso que as vezes algumas compras parecem não fazer sentido do ponto de vista econômico-financeiro, já que apenas eles conhecem os verdadeiros números do balanço de oferta e demanda. (3) Disse que o valor do estoque de segurança da China pode variar bastante, mas, pessoalmente, acredita que o governo tenta manter um mínimo de 20 milhões de toneladas. Uma estimativa de 50 milhões também seria factível.
- **Agente de mercado 8:** (1) comentou que a pesquisa é muito relevante para o setor da sojicultura mundial. Ademais, fez as seguintes contribuições: (2) apesar da demanda chinesa por soja ser muito importante, cerca de 70%, o que os outros países compram também tem um impacto que não deve ser desprezado; (3) o prêmio é uma variável de ajuste e depende bastante do que acontece na bolsa de Chicago (CBOT); quando há oferta elevada de soja no país, durante os meses de colheita, é a época na qual o Brasil enfrenta dificuldade de escoamento do produto, então os preços tendem a serem pressionados; (4) o ritmo de venda dos produtores (conhecido no mercado pelo jargão *farmer selling*) é muito importante e pode impactar o valor do prêmio, já que se os fazendeiros não quiserem vender, ele precisa ser ajustado para incentivar a comercialização, independentemente do tamanho da safra; (5) o efeito do lucro pode não ser tão direto como se supõe, já que os produtores analisam o retorno da soja comparado com o de outras atividades que competem pelos mesmos fatores de produção, por exemplo: o retorno da soja em um determinado ano pode ser promissor, mas a área não cresce, proporcionalmente, porque a expectativa sobre o milho é superior. Por outro lado, a rentabilidade da soja pode ser pouco atrativa, mas se for positiva e melhor do que a de outras culturas, a área plantada tende a se expandir; (6) os preços da soja

negociados na bolsa de Chicago (CBOT) refletem os valores do balanço de oferta e demanda dos EUA, o que impacta o Brasil é a expectativa do fluxo global de comércio (*trade flow*). Por exemplo: supondo-se uma maior produção de soja no Brasil → haverá um estoque maior → então os prêmios tendem a cair → fazendo com que o produto do país seja mais competitivo no *trade flow* mundial → diminuindo, assim, as exportações dos EUA → aumentando os estoques norte-americanos → e diminuindo o preço da soja na bolsa de Chicago; (7) mais importante do que o crescimento da população total da China, é o aumento da urbanização, pois os níveis de consumo de proteína animal são muito diferentes. Foi esse êxodo rural que alavancou a demanda por soja nos últimos anos.

- **Agente de mercado 9:** (1) Comentou que o diagrama causal, aliado ao texto explicativo, fornece um documento bastante completo quanto as principais dinâmicas observadas no mercado brasileiro da soja até mesmo para uma pessoa leiga. Para alguém com conhecimento sobre o mercado, apenas uma legenda esclarecendo a interpretação das polaridades “+” e “-” já seria o suficiente; (2) Aconselhou ajuste do nome do ciclo B7, visando evitar ambiguidades; (3) Sugeriu adicionar uma variável para capturar os efeitos das relações de causalidade dos acordos/desacordos bilaterais; (4) Ressaltou a importância das mudanças observadas nos patamares de renda, que propiciaram mudanças nos hábitos alimentares dos chineses, em detrimento de se considerar apenas o crescimento populacional; (5) Sugeriu adicionar uma variável para representar a relação entre a confiança do produtor rural brasileiro no governo federal e a expansão de área/investimento dos outros fatores de produção; (6) aconselhou incluir no ciclo B7 os eventuais impactos nas exportações brasileiras em função de uma agenda pró-descarbonização e anti-desmatamento, apregoada por outros clientes que não são a China, como é o caso dos europeus.

## **APÊNDICE G: Outras entrevistas/contribuições para a tese**

Esta seção apresenta outras entrevistas que contribuíram com essa tese de doutorado.

**Contribuição 1:** Entrevistas conduzidas com Marcos da Rosa e Bartolomeu Braz Pereira, ex-presidentes (respectivamente, nas gestões 2015-2018 e 2018-2021) da Aprosoja Brasil em 2019, foram importantes devido ao fato de chamarem a atenção do autor sobre as apreensões que os produtores rurais expõem sobre as oscilações da lucratividade média. Isso ajudou a reforçar o que já se elaborada como problema de pesquisa.

**Contribuição 2:** Pedro Luz, que me ensinou os conceitos por trás da formação do preço FOB da soja em um porto brasileiro.

**Contribuição 3:** Bruno Quirino explicou a dinâmica e forneceu informações sobre as despesas portuárias (Fobbings).

**Contribuição 4:** Gabriel Chaparro, que me ajudou a estimar o volume de soja destinado a produção de biocombustíveis no Brasil.

## APÊNDICE H: Detalhamento das variáveis do modelo

Este capítulo tem como objetivo apresentar ao leitor o comportamento e as respectivas explicações/comentários das variáveis/conceitos que foram consideradas como (H.1.) endógenas, (H.2.) exógenas e (H.3.) excluídas do modelo de simulação. As sessões foram organizadas em ordem alfabética.

### H.1. Variáveis endógenas

- **Área agricultável do Brasil**

Segundo o IBGE (2023), o país é formado por um total de 851,6 milhões de hectares. De acordo com a EMBRAPA (2017), todas as lavouras instaladas no Brasil ocupavam cerca de 7,8% do território, já as áreas com pastagens nativas (8,0%) e plantadas (13,2%), sobre as quais é mais factível que essa oleaginosa avance, foram equivalentes a 21,2% do total. Maiores detalhes sobre o estudo supracitado podem ser observados na Figura 77.

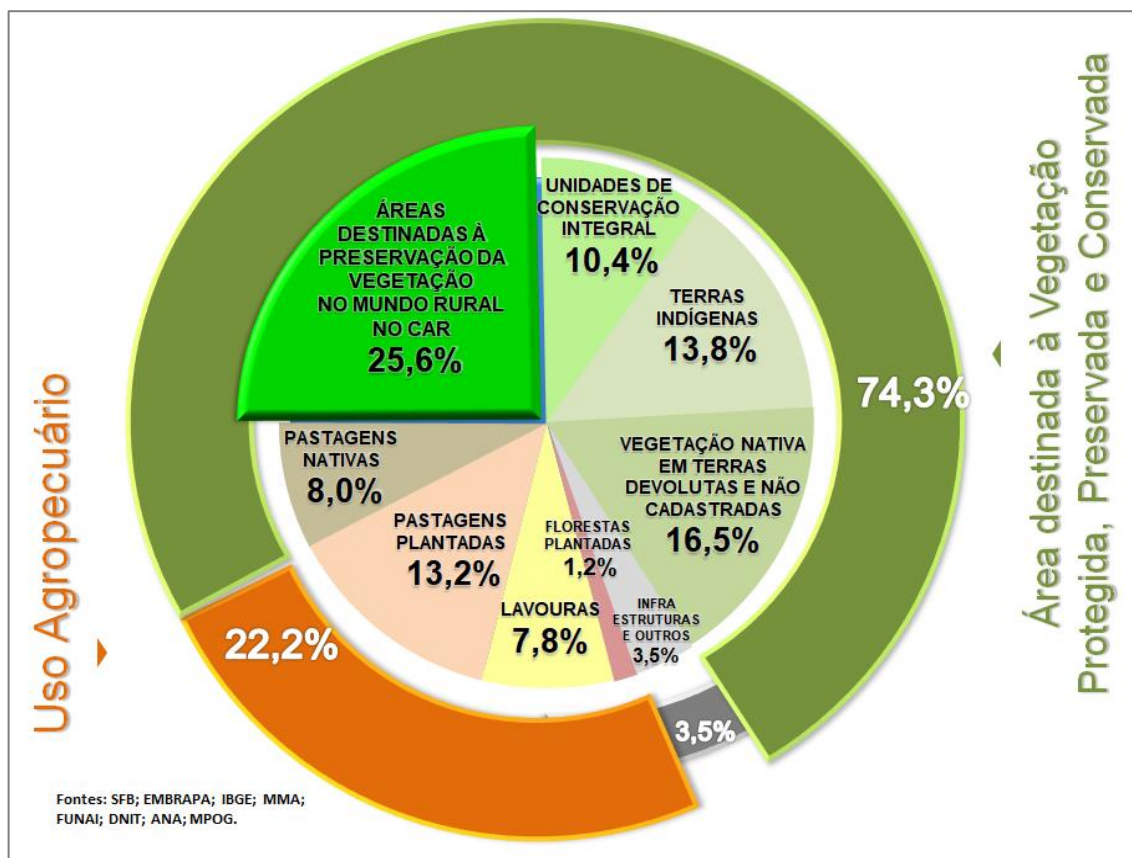


Figura 77 - Ocupação e uso do território brasileiro em 2017

Fonte: EMBRAPA (2017)

Parte das terras classificadas como pastos em 2017 encontram-se degradadas e/ou precisam ser reformadas. Logo, são pouco rentáveis para a prática da pecuária. Então, acredita-se que são sobre essas áreas que uma futura expansão da produção de soja vai acontecer, minimizando, assim, eventuais problemas ambientais, tais como o desmatamento de florestas etc.

Entretanto, a pecuária é uma atividade muito importante para o Brasil, tanto na produção de alimentos e geração de emprego para as pessoas quanto na obtenção de receitas com exportações de carne, por exemplo. Sendo assim, considerou-se como premissa que a soja poderia avançar sobre, no máximo, 50% desses 21,2% de área com algum tipo de pastagem. Em 2017 esse valor seria equivalente a 90,3 milhões de hectares. Então, adotou-se que em 2011, primeiro ano considerado no modelo de simulação, ele era igual a 110 milhões de hectares. A título de curiosidade, supondo que a soja não dispute esse espaço hipotético com outras culturas e que a sua área plantada em 2022 cresça anualmente na mesma taxa geométrica média observada entre 2011 e 2022, ou seja, 4,60%, apenas em 2046 esse espaço potencial seria totalmente utilizado.

- **Área plantada<sup>4</sup> com soja no Brasil**

Conforme pode ser notado na Figura 78, de acordo com os dados divulgados pela CONAB (2023), a área total destinada as safras de soja que foram colhidas no Brasil entre 2011 e 2022 experimentou um aumento significativo, quando atingiu o seu ápice histórico de 41,5 milhões de hectares em 2022. Para o período em questão, observou-se uma taxa de crescimento geométrico médio anual de 4,60%.

---

<sup>4</sup> Nesta tese de doutorado, considera-se, indiscriminadamente, que: área plantada = área colhida



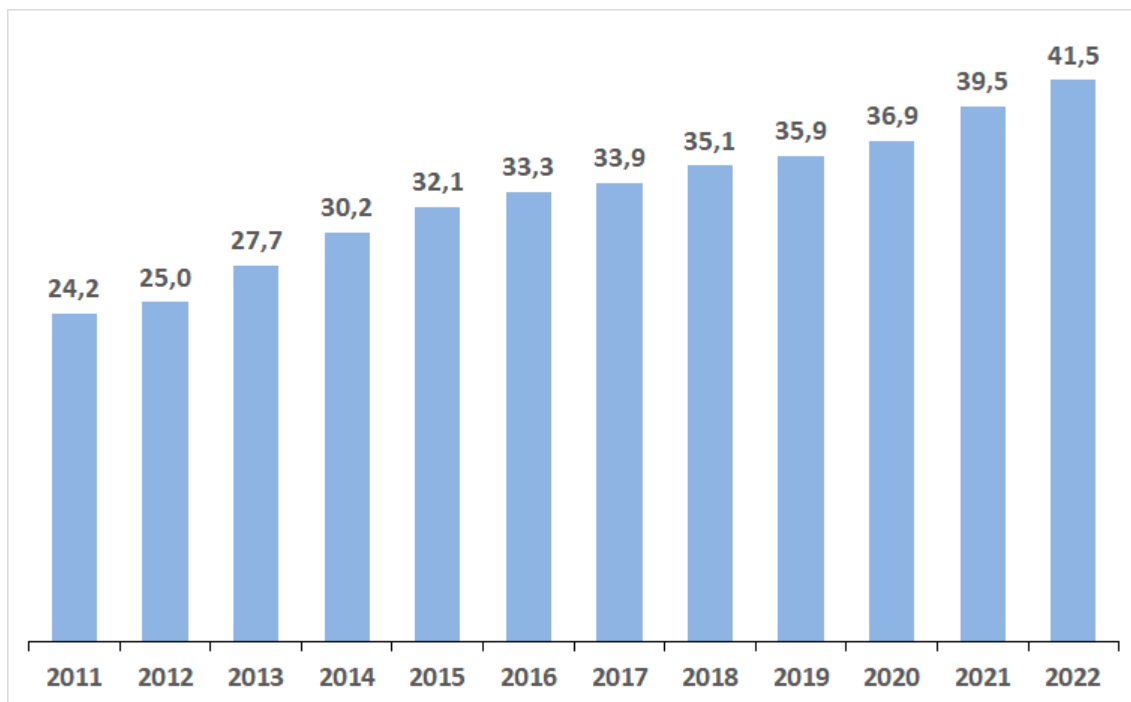


Figura 78 - Comportamento da área total destinada às safras de soja que foram colhidas no Brasil entre 2011 e 2022, em milhões de hectares

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CONAB (2023)

- **Cobertura de estoque do Brasil**

Considerou-se a cobertura de estoque do Brasil como a divisão entre as variáveis “Estoque Brasil” e “demanda total pelo Brasil”.

- **Competitividade da soja brasileira**

Adotou-se que a competitividade da soja brasileira é apresentada pela divisão entre as variáveis “preço CIF Brasil” (CIF = *Cost, Insurance and Freight*) e “preço CIF EUA”. Por se tratar de uma commodity, é esperado que agentes econômicos racionais optem por comprar o mais barato.

- **Competitividade média da soja de outros países**

Considerou-se a competitividade média da soja de outros países como a divisão entre as variáveis “preço CIF outros países” e “preço CIF Brasil”. Por se tratar de uma commodity, é esperado que agentes econômicos racionais optem por comprar o mais barato.

- **Decisão da China sobre de onde importar soja**

De acordo com entrevistas conduzidas pelo autor desta tese com traders e corretores que atuam comprando e vendendo soja no mercado chinês, a decisão sobre quando e onde comprar soja pode ser resumida da seguinte forma:

- O governo chinês compra soja para compor os seus estoques de segurança, alinhado a política de segurança alimentar do país. Geralmente ele usa uma empresa com controle estatal, conhecida como *SinoGrain*. Ela atua na área de gestão de qualidade e armazenamento do produto. Tanto o total corrente quanto o valor mínimo aceitável do volume em estoque são consideradas informações estratégicas e altamente secretas. Agentes do mercado estimam algo entre 20 e 50 milhões de toneladas. Parâmetros como preço do produto ou margem de lucro auferida no esmagamento de soja têm importância secundária no momento da tomada de decisão;
- O governo chinês, por meio de uma empresa com controle estatal chamada COFCO atua como trading internacional e operadora de fábricas que transformam soja em óleo e farelo. Muito provavelmente ela também tem uma meta mínima de volume para ser comprado durante o ano. Porém, neste caso, a decisão sobre quando, em qual país e o ritmo das compras dessa matéria-prima está embasada na margem de lucro que a operação irá gerar. Ou seja, se for boa, compram diariamente para maximizar o lucro. Se for ruim, ou até mesmo negativa, diminuem o ritmo e adquirem o mínimo possível, apenas visando manter o funcionamento das fábricas e perder menos dinheiro possível. Sendo assim, são comparados os preços CIFs, ou seja, o valor do produto entregue em um porto na China que cada origem, geralmente Brasil, EUA ou Argentina, está ofertando.
- Os esmagadores independentes seguem uma lógica parecida com a da COFCO. Porém, dado o regime de governo instaurado na China, não é possível afirmar como exatidão o grau de autonomia que essas empresas privadas realmente possuem no momento de tomar decisão.
- Uma visão macro do que foi exposto acima pode ser observada no diagrama de influência apresentado na Figura 79.

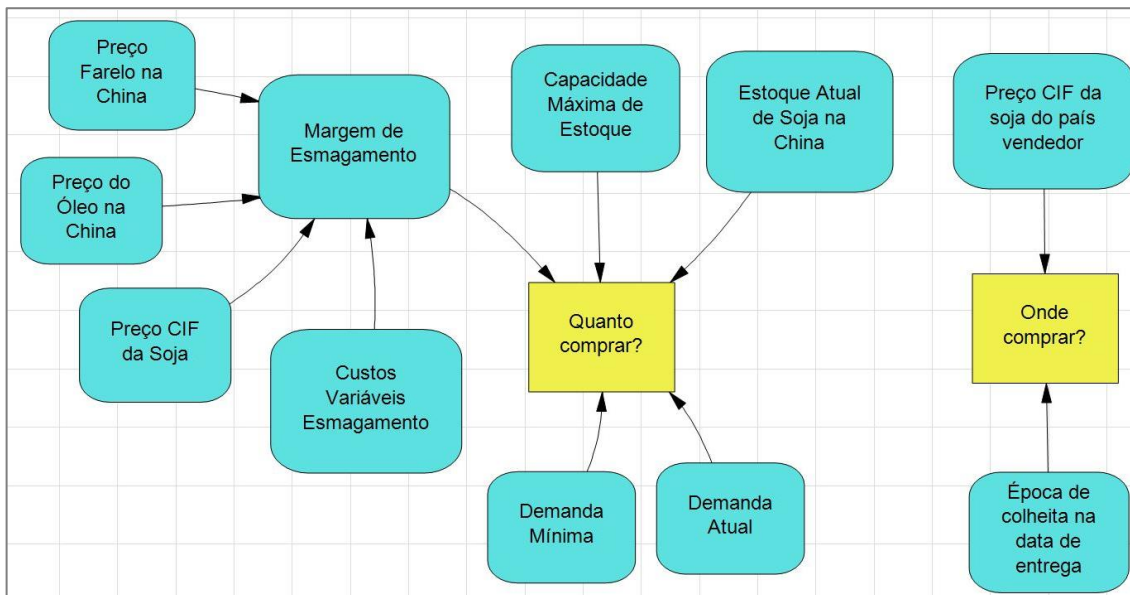


Figura 79 - Diagrama de influência para a decisão das compras chinesas de soja  
 Fonte: Elaborado pelo autor

- **Decisão do produtor brasileiro sobre área plantada**

Com o intuito de tentar entender o processo de decisão sobre expansão ou contração de área plantada para a próxima safra, o autor desta tese conduziu 18 entrevistas com produtores de soja proprietários de fazendas espalhadas por diversas regiões do Brasil. Abaixo pode-se encontrar um compilado com as justificativas mais recorrentes:

- Expectativa de lucro da soja, comparada com a de outros produtos que concorrem pela mesma área.
- Analisa os resultados obtidos nos últimos anos, pois está propenso a repetir a estratégia caso esteja acumulando sucessos.
- Diluição dos custos sobre o capital já investido na propriedade, em função dos ganhos de escala. Além disso, aumenta-se o poder de barganha nas negociações para compra de insumos e maquinários;
- O aumento de área aproxima o produtor rural da viabilidade de investir no próprio armazém, quando isso é uma meta. É válido lembrar que nem todos tem esse objetivo, preferindo terceirizar este serviço;
- Otimização do maquinário já adquirido, utilizando-o em fazendas próximas às novas áreas abertas;
- Quanto mais áreas abertas se possui, maiores são as facilidades na obtenção de crédito com bancos e outras intuições financeiras;

- Geralmente, é vantajoso comprar mais terra pelo simples motivo de que quando o fazendeiro utiliza dinheiro atrelado ao CNJP da fazenda, diminui-se o lucro líquido projetado. Assim, a alíquota de imposto devido é aplicada sobre uma base menor. Deste modo, aumenta-se o patrimônio usando um dinheiro que iria para o governo;
- Tem a percepção de que a demanda por alimentos e energias limpas crescerá indefinidamente, ou pelo menos enquanto ele for beneficiário dos retornos da propriedade. Assim, é incentivado a investir e crescer em um setor indispensável para manutenção da vida e da paz no planeta.
- Tentativa de melhorar e valorizar o imóvel, principalmente em oportunidades existentes sobre áreas com pastagens degradadas;
- Amor pela terra e orgulho em produzir alimentos, além do fato de, geralmente, nascer em um ambiente onde ser produtor rural já uma tradição de várias gerações. Deste modo, essa vocação eleva o interesse em nunca sair da atividade e motiva a busca por mais crescimento;
- Sucessão familiar: à medida que a família cresce, surgem novos herdeiros e a expansão é necessária para manutenção do ganho per capita médio e da qualidade de vida de todos os membros que dependem e/ou tem direito a uma receita mensal;
- Boa parte dos fazendeiros brasileiros são descendentes de alemães e italianos, povos cujo uma das características mais marcante é o empreendedorismo e a busca constante pela prosperidade;

Ademais, Lima *et al.* (2014) estudaram os fatores mais relevantes presentes no processo de decisão dos fazendeiros no que concerne à qual produto e o quanto de área plantar na próxima safra. A pesquisa foi abrangente, abordando qualitativamente, por meio de entrevistas, alguns produtores rurais localizados no sudoeste paranaense, assim como, sindicatos rurais, órgãos governamentais, instituição de crédito e consulta à bibliografia pertinente. Em síntese, este estudo corrobora com o que foi dito pelos 18 entrevistados e com a ideia central do modelo geral das commodities (Meadows *et at.* (1972) e Sterman (2000)).

Sendo assim, com base no que foi exposto acima, é razoável considerar no modelo de simulação desta tese que um produtor rural, assim como qualquer outro agente econômico racional, têm suas decisões guiadas pela expectativa de lucro da atividade, conforme fica evidente no diagrama de influência apresentado na Figura 80. Então, afirma-se que os

fazendeiros brasileiros que plantam soja decidem aumentar ou diminuir a área plantada e o nível do pacote tecnológico empregado conforme o preço de venda e os custos estimados dessa oleaginosa no momento do cultivo, conforme resumido abaixo.

- Produtor rural plantará mais soja: se a expectativa de (receita-custo) > zero
- Produtor rural não plantará soja: se expectativa de (receita-custo) < zero
- Nível do pacote tecnológico empregado dependerá da expectativa de lucro
- Quando se fala em expectativa de lucro, entende-se que o retorno da soja sempre será comparado com o custo de oportunidade de outras culturas que concorrem pela mesma área;

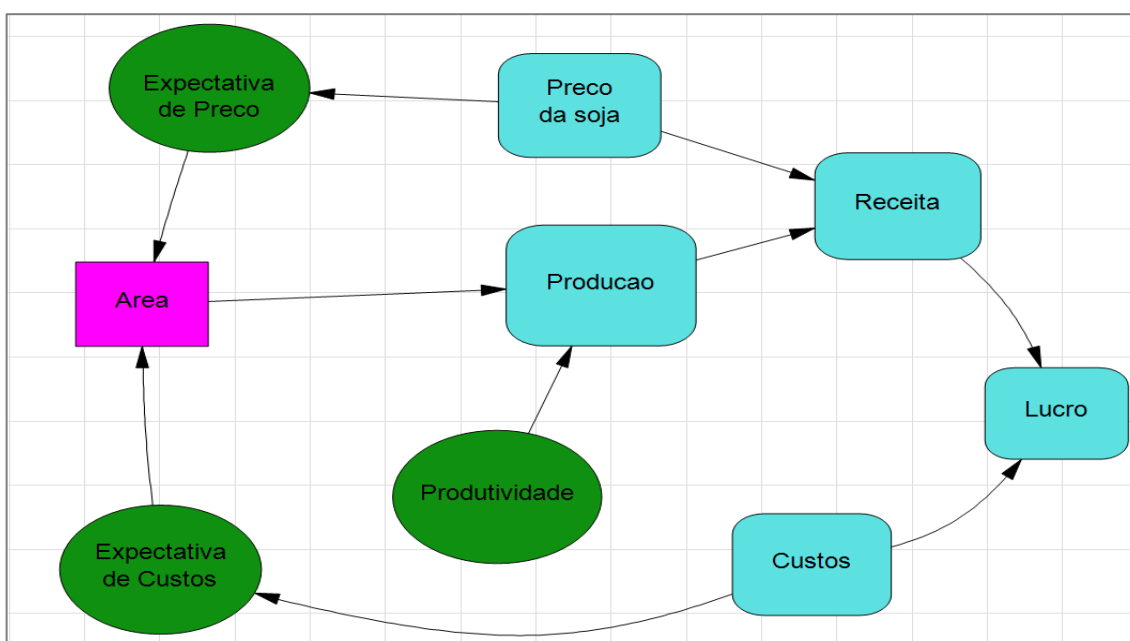


Figura 80 - Diagrama de influência para a decisão do produtor brasileiro de soja  
Fonte: Elaborado pelo autor

- **Demanda Chinesa por soja**

A Figura 81 foi desenvolvida utilizando informações da APS (2023), Cargonave (2016), NABSA (2023) e USDA (2023). Utilizou-se os valores que cada país produtor exportou para a China como sendo a sua demanda total mensal por soja entre 2011 e 2022. É válido destacar: (1) a dependência dos asiáticos pelo grão brasileiro e norte-americano; (2) o revezamento sazonal entre Brasil e EUA, que acontece em função das diferentes épocas de colheita de cada país. Esse comportamento apenas não se repetiu entre 2018 e 2019, em razão da guerra comercial sino-americana; (3) os volumes totais quase triplicaram em 12 anos.

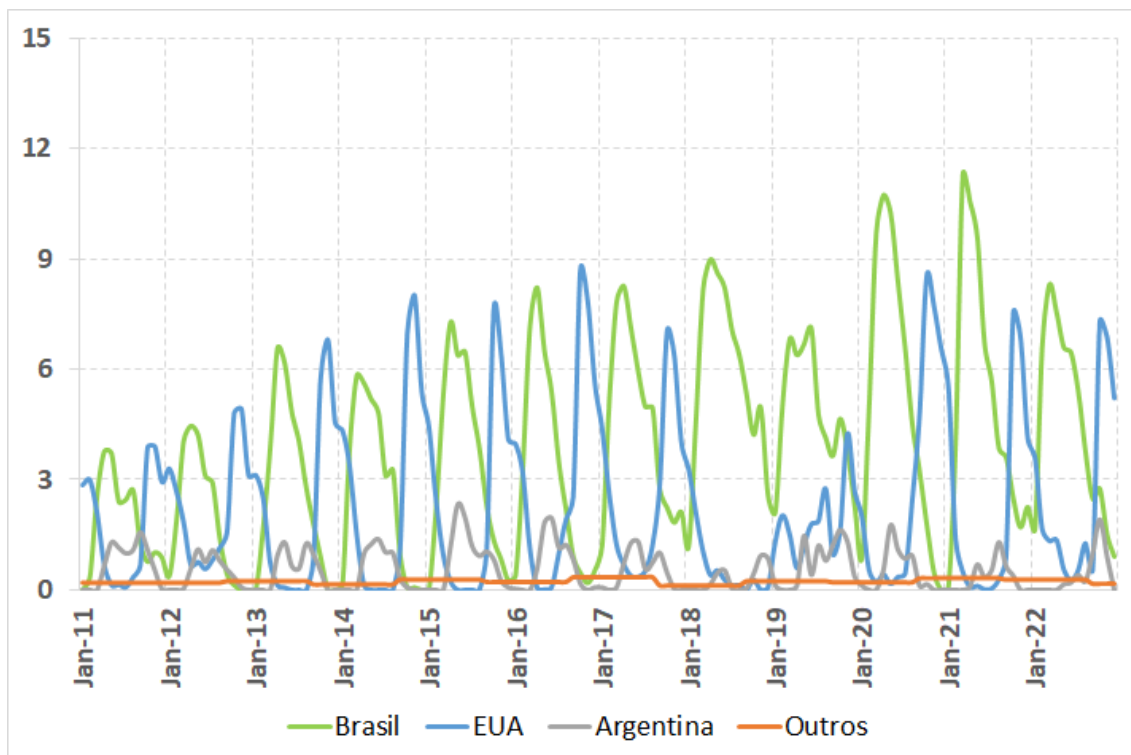


Figura 81 - Comportamento da demanda chinesa de soja por país de importação entre 2011 e 2022, em milhões toneladas

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da APS (2023), Cargonave (2016), NABSA (2023) e USDA (2023)

- **Demanda total pela soja do Brasil**

Recapitulando o que foi explicado no capítulo 3, dentro de um balanço de oferta e demanda, a demanda total é o resultado da soma dos subitens (1) consumo doméstico, (2) exportação e (3) outros. É válido lembrar que este último representa a totalização do volume de grãos que será separado para a produção das sementes utilizadas no plantio da próxima safra e as perdas durante os processos de colheita, armazenamento, transporte etc.

Neste sentido, utilizando dados da ABIOVE (2023), Cargonave (2016) e APS (2023), a Figura 82 apresenta os volumes mensais destes 3 subitens que compuseram a demanda total pela soja do Brasil entre 2011 e 2022. Além da visível sazonalidade, nota-se claramente a importância que a conta exportação alcançou ao longo desses anos. Em uma base anualizada, passou de 46,0% do total demandado em 2011 para 59,5% em 2022. No mesmo período, as exportações do Brasil cresceram 136%. Isso ocorreu, majoritariamente, em função do crescente apetite chinês.

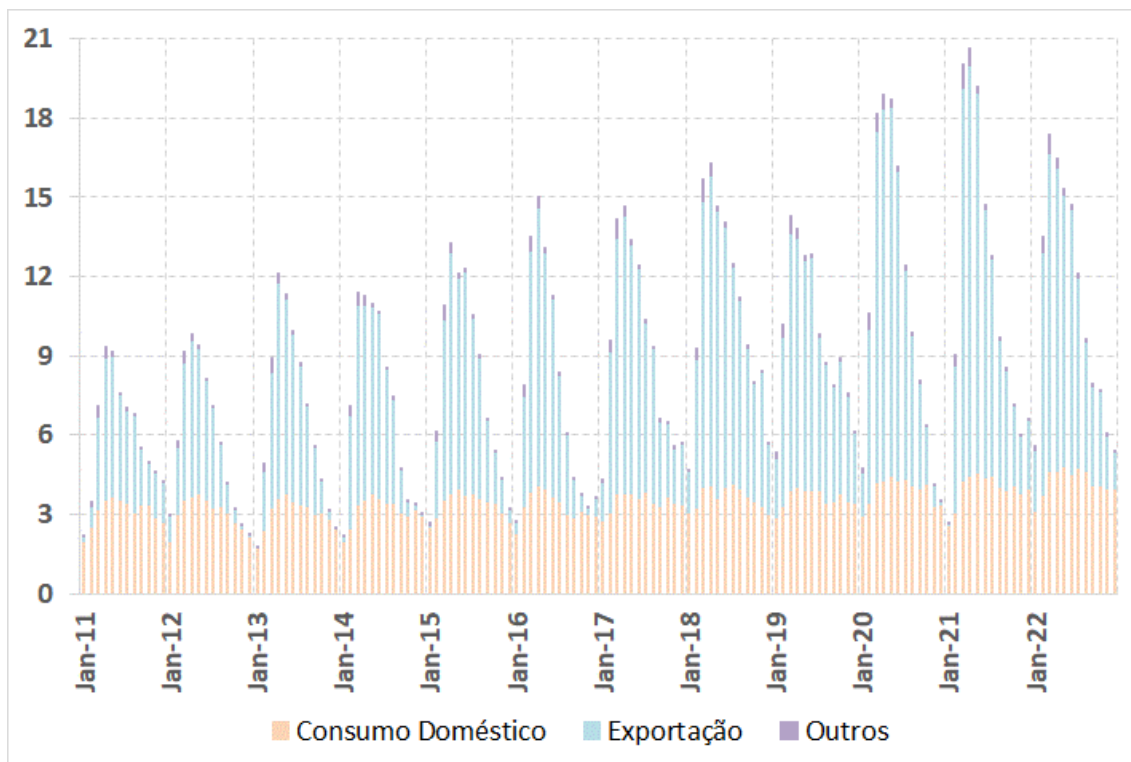


Figura 82 - Comportamento da demanda brasileira de soja entre 2011 e 2022, em milhões toneladas

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da ABIOVE (2023) e Cargonave (2016) e APS (2023)

- **Despesas portuárias (Fobbings)**

De acordo com entrevista conduzida pelo autor desta tese com um gerente portuário de empresa exportadora de soja atuante no Brasil, considerou-se uma média constante de 10 dólares por tonelada, entre 2011 e 2022. Neste valor estão inclusas todas as despesas que incidem nas operações portuárias, como por exemplo: fumigação, análises diversas, supervisão de embarque, documentação, arqueação de calados, despachante, seguro da mercadoria, armazenamento e elevação do produto até o navio etc.

- **Efeito do lucro sobre a decisão do produtor**

A Figura 83 foi elaborada com informações do CEPEA-ESALQ/USP (2023b) e CONAB (2023). Usando dados entre 2002 e 2020, calculou-se uma regressão linear simples para mostrar a aderência matemática da hipótese de que a expectativa de lucro influencia a decisão do produtor rural sobre quanta área plantar na safra seguinte. Portanto, considera-se essa variável como endógena porque os seus valores servirão de base para calcular uma curva do tipo vlookup, que será usada durante o processo de simulação do modelo.

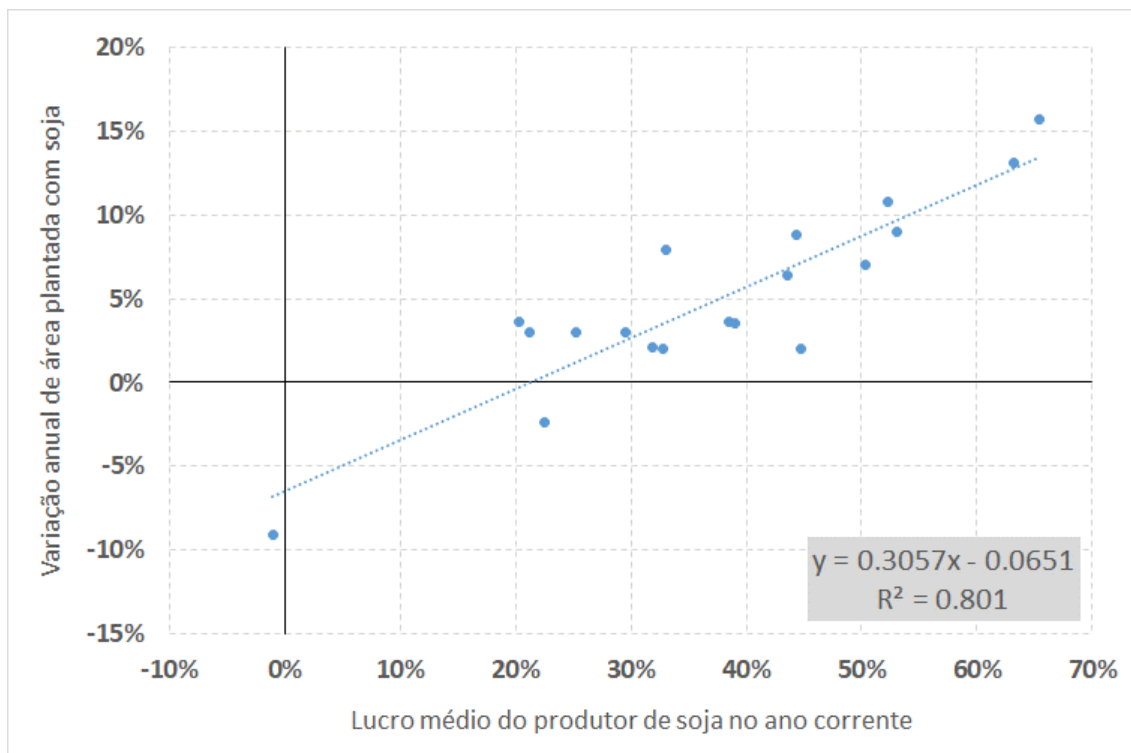


Figura 83 - Efeito da expectativa de lucro com soja sobre a decisão do produtor sobre a quantidade de área a ser plantada na safra seguinte

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do CEPEA-ESALQ/USP (2023b) e CONAB (2023)

- **Estoque de soja na China**

A Figura 84, elaborada com dados da ABIOVE (2023), APS (2023), Bolsa de Cereales (2023), CONAB (2023), McDonald Pelz (2023), MDIC (2023), MINAGRI (2023), NABSA (2023) e USDA (2023b,c,d) exibe os volumes totais disponíveis como estoque de soja na China no final de cada ano entre 2011 e 2022.



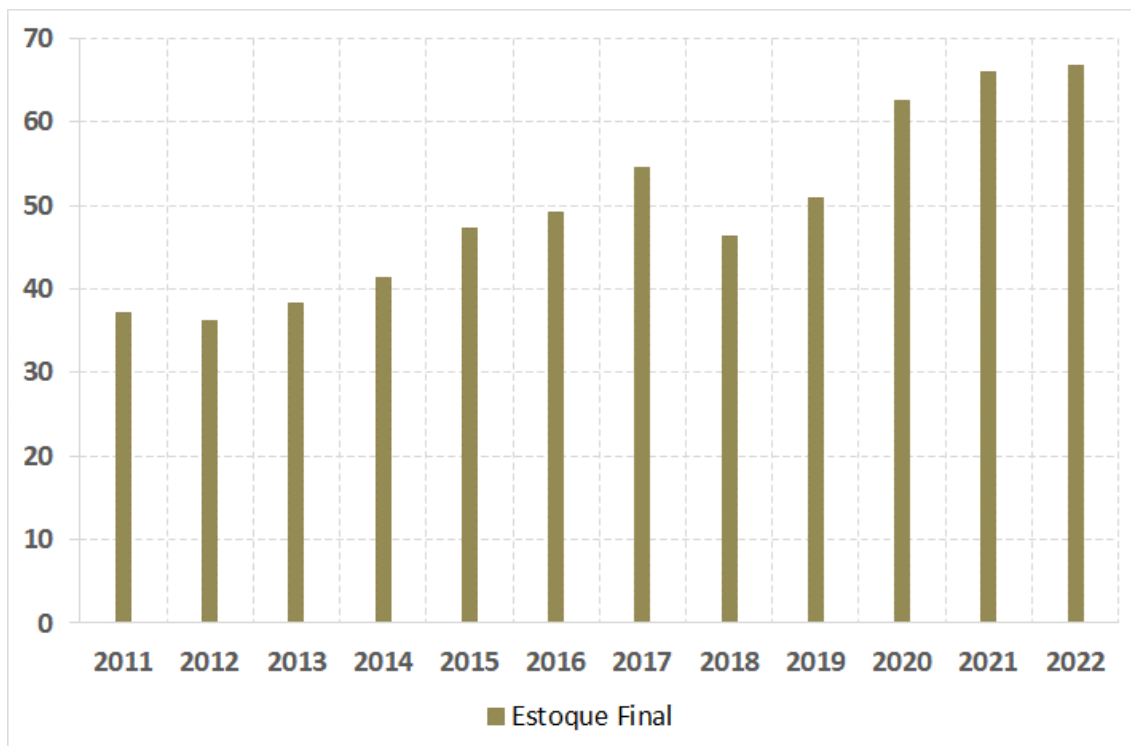


Figura 84 - Comportamento dos estoques de soja na China no final de cada ano entre 2011 e 2022, em milhões de toneladas

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da ABIOVE (2023), APS (2023), Bolsa de Cereales (2023), CONAB (2023), McDonald Pelz (2023), MDIC (2023), MINAGRI (2023), NABSA (2023) e USDA (2023b,c,d)

- **Estoque de soja no Brasil**

Sumarizando o que foi exposto no capítulo 3 sobre os itens que compõem um balanço de (1) oferta e (2) demanda, convencionou-se que, estoque, é, simplesmente, o resultado instantâneo da subtração de (1) menos (2).

Sendo assim, Figura 85 - exibe os volumes totais disponíveis no Brasil no final de cada mês entre 2011 e 2022. Os valores são mais altos são observados no primeiro quadrimestre, já que é a época da colheita do produto. Então, eles são consumidos ao longo do ano. Ademais, em uma análise anualizada, no final de todos os dezembros do período considerado, o estoque de passagem foi, em média, 10,5% da oferta total, sendo 15,2% em 2011 e 3,4% em 2022. Esse decréscimo ocorreu, majoritariamente, em função do apetite chinês, que cresceu 136% no mesmo período.

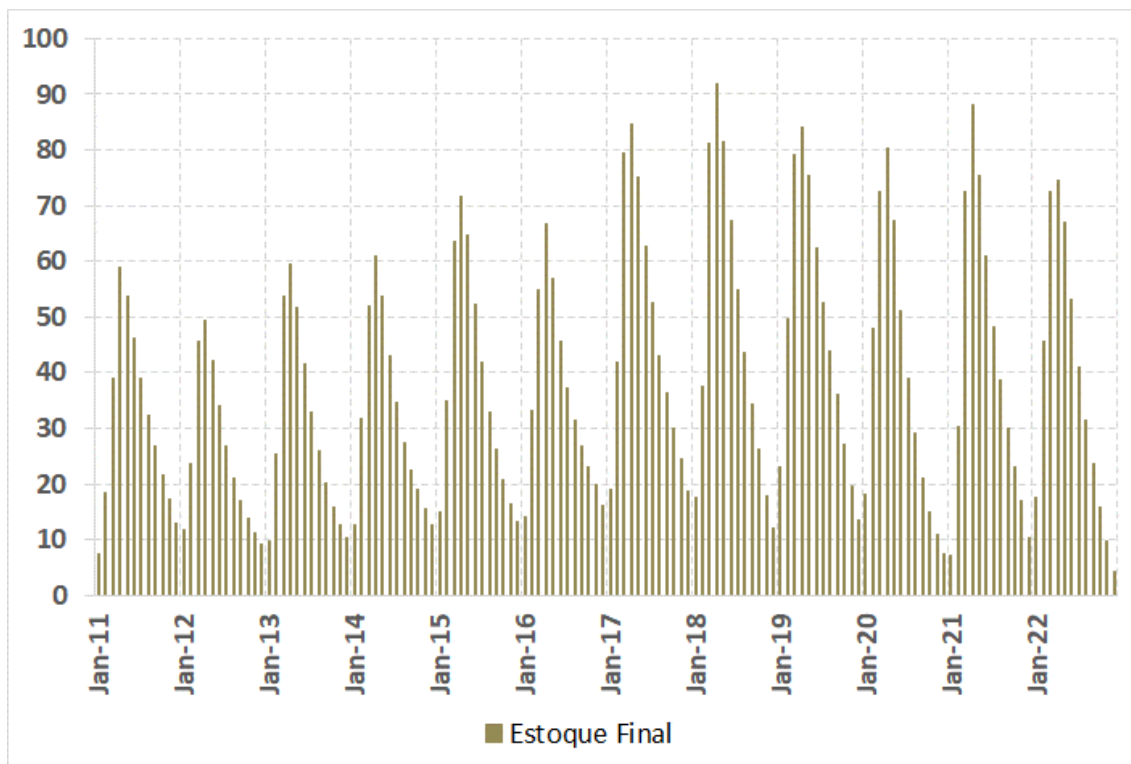


Figura 85 - Comportamento dos estoques de soja no Brasil no final de cada mês entre 2011 e 2020, em milhões de toneladas

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da ABIOVE (2023), APS (2023), Cargonave (2023), CONAB (2023) e MDIC (2023)

- **Estoque inicial de soja no Brasil**

Considerou-se como o volume total de soja em estoque no Brasil em 1 de janeiro de 2011 o saldo remanescente de 31 de dezembro de 2010, que segundo a ABIOVE (2023) era de 9,6 milhões de toneladas.

- **Exportações de soja do Brasil**

De acordo com os dados disponibilizados pela APS (2023) e Cargonave (2016), a Figura 86 apresenta o volume mensal de soja exportada pelo Brasil entre 2011 e 2022. Para o período em questão, observou-se uma taxa de crescimento geométrico médio mensal de 1,47% e anual de 7,42%, sendo que os picos históricos foram abril de 2021 e 2021, com, respectivamente, 15,5 e 86,7 milhões de toneladas. Entretanto, cabe destacar a evidente sazonalidade vivenciada nesta atividade, algo que está intrinsecamente relacionado ao ciclo de plantio e colheita desta oleaginosa. As exportações foram responsáveis por consumir, em média, 58,4% do total de soja produzida no Brasil nos últimos 12 anos.

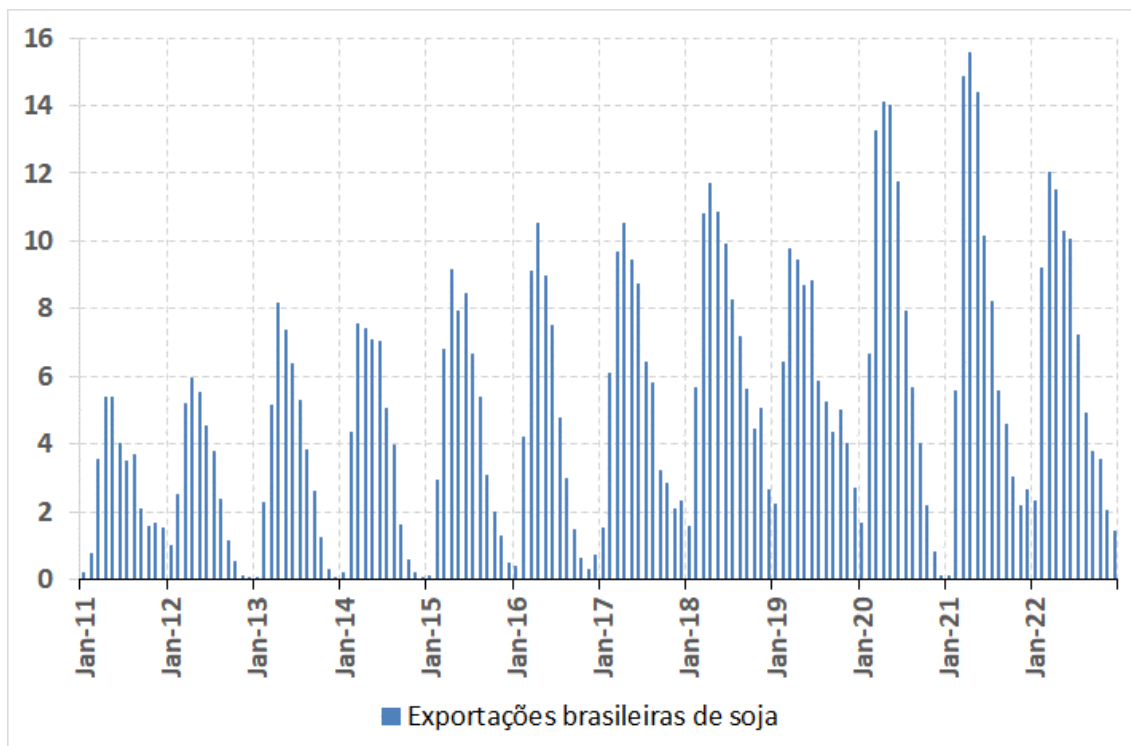


Figura 86 - Comportamento das exportações brasileiras de soja entre 2011 e 2022, em milhões de toneladas

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da Cargonave (2016) e APS (2023)

- **Lucro dos produtores de soja no Brasil**

Analogicamente, pode-se pensar no lucro de uma atividade econômica como se fosse o saldo remanescente de uma caixa d'água. Ele é aumentado pelo fluxo de entrada e diminuído pelo de saída, respectivamente, conhecidos como receita e custo.

Pensando nisso, a Figura 87 foi elaborada com dados da CONAB (2023b) sobre estimativas de custos para se produzir uma tonelada de soja nas safras colhidas entre 2011 e 2022 e as respectivas produtividades observadas; por outro lado, o preço mensal de venda pelo produtor foi obtido junto ao CEPEA-ESALQ/USP (2023b). Destaca-se que esses valores foram ponderados de acordo com a participação de cada estado no total colhido, segundo a própria CONAB (2023), resultando em um preço médio para o Brasil. Já a taxa de câmbio tem como fonte o Banco Central do Brasil (BACEN, 2023).

Nota-se na Figura 87 que o lucro médio mensal do produtor brasileiro de soja oscilou freneticamente entre 2011 e 2022. Essa variação pode ser considerada indesejável, já que tem capacidade de trazer instabilidade ao setor, dificultando o planejamento de longo prazo. É interessante destacar algumas possíveis explicações para as oscilações observadas:

- Em 2012, aconteceu uma grande quebra de safra nos Estados Unidos, maior produtor desta oleaginosa na época, o que trouxe forte demanda para o Brasil, acirrando a competição e elevando os preços ofertados para os produtores brasileiros;
- Em 2018 houve o início de uma guerra comercial entre EUA e China. Então, como retaliação aos fazendeiros que ajudaram a eleger o presidente Donald Trump, o idealizador do conflito, os chineses instituíram 25% de tributação extra sobre a soja norte-americana. Isso trouxe forte demanda para o Brasil;
- Em 2020, o início da pandemia do coronavírus aumentou o lucro estimado dos fazendeiros brasileiros por 2 motivos: (1) forte inflação nas cadeias globais de alimentos, que além de serem bens básicos para a manutenção da vida, são considerados pelos investidores internacionais que atuam nas bolsas de mercadorias como ativos seguros em momentos de crise; (2) fatores macroeconômicos locais, tais como os menores patamares de juros da história, se juntaram aos efeitos colaterais da pandemia e drenaram dólares do Brasil. Então, observou-se uma forte desvalorização da taxa de câmbio R\$/US\$, o que barateou a soja brasileira para os importadores, favorecendo ainda mais as compras chinesas para recomposição dos seus estoques de segurança.

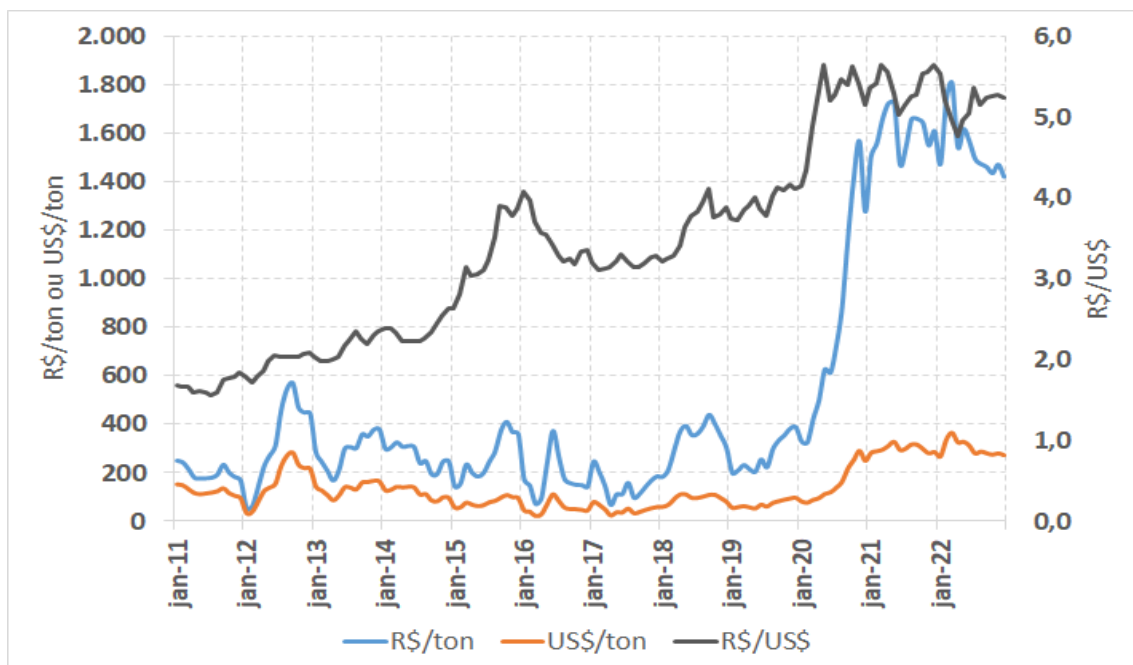


Figura 87 - Comportamento do lucro médio mensal estimado para uma tonelada de soja vendida no Brasil, em reais e dólar, e a taxa de câmbio R\$/US\$ entre 2011 e 2022

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CONAB (2023, 2023b), BACEN (2023) e CEPEA-ESALQ/USP (2023b)

- **Margem de lucro das tradings**

Considerou-se que o lucro bruto das tradings que operam no Brasil seja de 10%.

- **Oferta total de soja no Brasil**

Recapitulando o que foi explicado no capítulo 3, dentro de um balanço de oferta e demanda, a oferta total é o resultado da soma dos subitens (1) estoque inicial, (2) produção e (3) importação.

Neste sentido, utilizando dados da ABIOVE (2023), CONAB (2023) e MDIC (2023), a Figura 88 apresenta os volumes mensais destes 3 subitens que compuseram a oferta total de soja do Brasil entre 2011 e 2022. É visível o fato de que a produção se concentra no primeiro quadrimestre, mas o consumo é mais distribuído ao longo do ano. Deste modo, os estoques iniciais dos primeiros meses são demasiadamente altos, mas se arrefecem na sequência, ressaltando a característica sazonal deste produto. Ademais, em uma base anualizada, a produção passou de 88,7% do total ofertado em 2011 para 92,2% em 2022. Isso ocorreu, majoritariamente, em função do crescente apetite chinês.

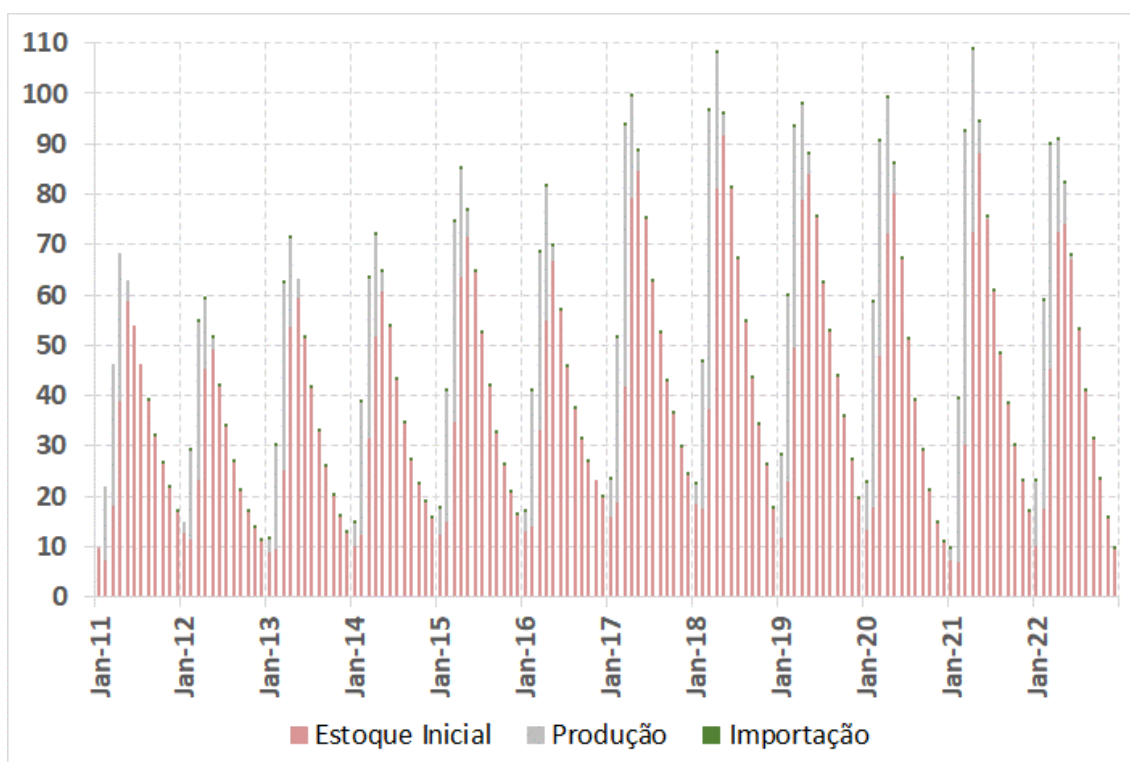


Figura 88 - Comportamento da oferta brasileira de soja entre 2011 e 2022, em milhões toneladas

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da ABIOVE (2023), CONAB (2023) e MDIC (2023)

- **Preço da soja ao produtor brasileiro**

A Figura 89 apresenta o preço médio mensal pago aos produtores brasileiros de soja entre 2011 e 2022. Esse cálculo considerou as cidades ou regiões disponíveis no banco de dados do CEPEA-ESALQ/USP (2023b): Balsas-MA, Barreiras-BA, Ijuí-RS, Mogiana em São Paulo, Norte do Paraná, Oeste do Paraná, Passo Fundo-RS, Ponta Grossa-PR, Rio Verde-GO, Rondonópolis-MT, Sorocabana em São Paulo, Sorriso-MT e o Triângulo Mineiro. Calculou-se então a média para o país, ponderando-a de acordo com a participação de cada estado no total colhido, segundo a CONAB (2023). Já a taxa de câmbio tem como fonte o BACEN (2023).

Em relação à comercialização de soja no Brasil, historicamente, o produtor rural tem o hábito de negociar a sua produção em reais por saca de 60 kg, entretanto, optou-se por transformar tudo em R\$/tonelada, apenas para harmonizar com os demais dados apresentados ao longo desta tese, conforme pode-se observar na Figura 89.

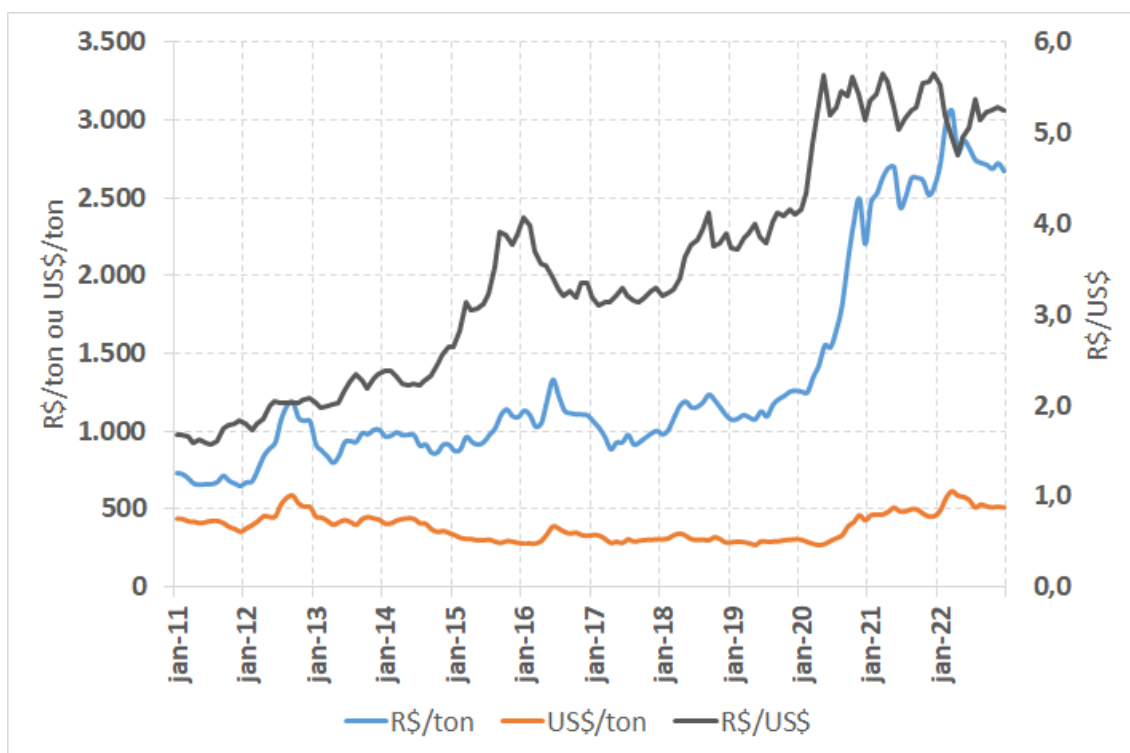


Figura 89 - Comportamento do preço médio mensal estimado pago ao produtor de soja no Brasil, em reais e dólar, e a taxa de câmbio entre 2011 e 2022

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CONAB (2023), BACEN (2023) e CEPEA-ESALQ/USP (2023b)

- **Preço CIF da soja do Brasil na China**

A Figura 90 foi elaborada com dados da *Chicago Mercantile Exchange Group Inc.* (CME, 2023) e da Reuters (2023). O intuito é apresentar uma *proxy* para o preço CIF médio mensal da soja do Brasil entregue na China entre 2011 e 2022.



Figura 90 - Comportamento do preço CIF médio mensal da soja brasileira na China entre 2011 e 2022, em US\$/tonelada

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CME (2023) e Reuters (2023)

- **Preço CIF da soja de outros países na China**

De acordo com a Cargonave (2016), APS (2023) e USDA (2023g), os EUA e o Brasil responderam, em média, por 83.1% das exportações mundiais de soja entre 2011 e 2022. Sendo que em 2022 atingiram 87.8%. Então, para efeitos de simplificação, além da limitação de informações disponíveis sobre outros exportadores, adotou-se os valores praticados no golfo do México (lê-se: EUA) como o CIF de “outros países”, servindo de comparativo concorrente com o produto brasileiro no mercado internacional.

A Figura 91 foi elaborada com dados da CME (2023) e da Reuters (2023). O intuito é apresentar uma *proxy* para o preço CIF médio mensal da soja dos EUA entregue na China. Ressalta-se que entre março de 2018 e junho de 2019 admitiu-se um imposto de 25%

sobre o produto norte-americano, referente ao contexto da guerra comercial que esses dois países travaram.



Figura 91 - Comportamento do preço CIF médio mensal da soja norte-americana na China entre 2011 e 2022, em U\$/tonelada

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CME (2023) e Reuters (2023)

- **Preço da soja FOB no Brasil**

Segundo Moraes (2002), o preço FOB (*Free On Board*) representa o valor da soja dentro de um navio atracado em um determinado porto. Na prática, é a soma da cotação do contrato de interesse da CBOT com o respectivo prêmio, que é negociado diretamente entre as partes compradora e vendedora.

A Figura 92 foi elaborada com dados da CME (2023) e da Reuters (2023b), respectivamente, para as cotações da soja no mercado internacional e do prêmio no Brasil. O intuito é apresentar uma *proxy* para o preço FOB médio mensal da soja no porto de Paranaguá-PR, que, tradicionalmente, é a referência para o mercado brasileiro. Sendo assim, utilizou-se os valores médios negociados em cada dia de funcionamento da CBOT entre 2011 e 2022. É válido destacar que para cada dia, considerou-se apenas o valor atrelado ao contrato com data de encerramento mais próximo.



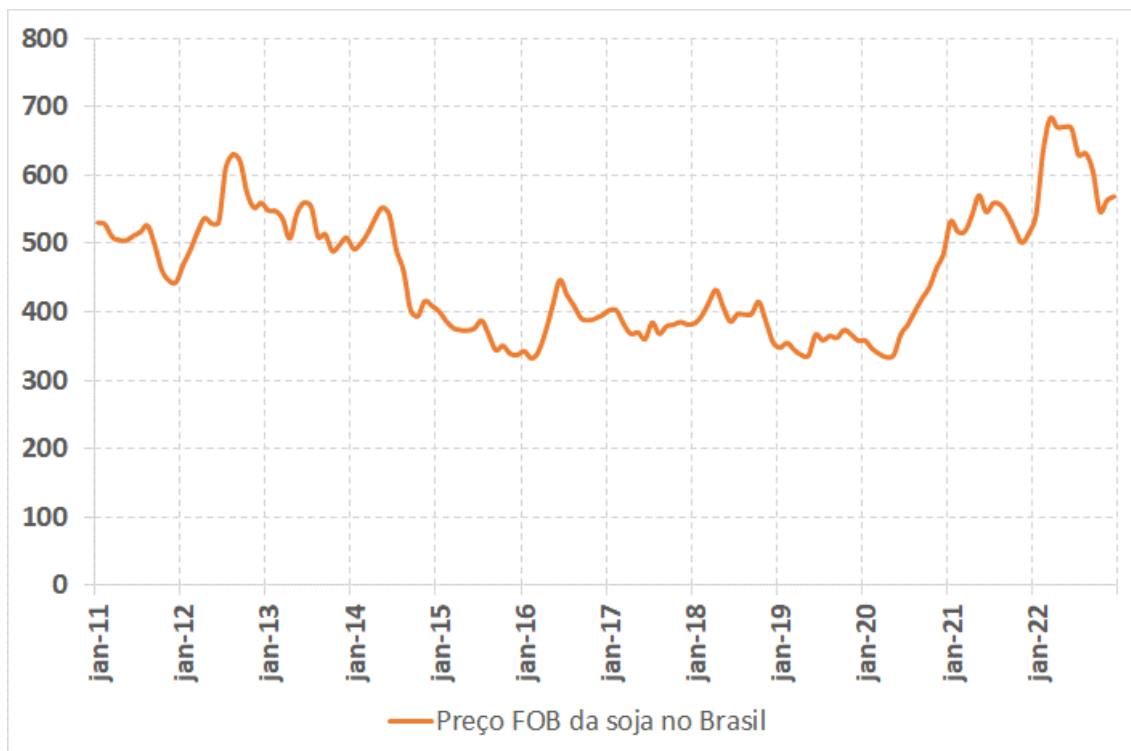


Figura 92 - Comportamento do preço FOB médio mensal da soja no porto de Paranaguá-PR entre 2011 e 2022, em US\$/tonelada

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CME (2023) e Reuters (2023b)

É sobre o preço FOB que os agentes exportadores começam a realizar os cálculos para saber qual é o preço da soja a ser ofertado ao fazendeiro no interior do país. Isso é conhecido no mercado como paridade de exportação. Em suma, tem-se:

- Paridade:  $(\text{Preço FOB} * \text{taxa de câmbio})^5 - \text{Despesas}^6 - \text{Custos}^7$

- **Preço da soja FOB nos outros países**

De acordo com a Cargonave (2016), APS (2023) e USDA (2023g), os EUA e o Brasil responderam, em média, por 83.1% das exportações mundiais de soja entre 2011 e 2022. Sendo que em 2022 atingiram 87.8%. Então, para efeitos de simplificação, além da limitação de informações disponíveis sobre outros exportadores, adotou-se os valores praticados no golfo do México (lê-se: EUA) como o CIF de “outros países”, servindo de comparativo concorrente com o produto brasileiro no mercado internacional.

<sup>5</sup> Preço FAS (*Free Along Ship*): livre ao lado do navio, pois as obrigações do exportador encerram-se ao colocar a mercadoria (com o desembaraço aduaneiro de exportação já efetuado) no cais, livre, junto ao costado do navio.

<sup>6</sup> As principais são: despesas portuárias; corretagem de câmbio; comissão do corretor; e retenção no porto;

<sup>7</sup> Frete até o interior (fazendas ou armazéns de terceiros, em geral) e outros custos eventuais;

A Figura 92 foi elaborada com dados da CME (2023) e da Reuters (2023), respectivamente, para as cotações da soja no mercado internacional e do prêmio no golfo do México, representando os EUA. O intuito é apresentar uma *proxy* para o preço FOB médio mensal da soja no resto do mundo. Sendo assim, utilizou-se os valores médios negociados em cada dia de funcionamento da CBOT entre 2011 e 2022. É válido destacar que para cada dia, considerou-se apenas o valor atrelado ao contrato com data de encerramento mais próximo.

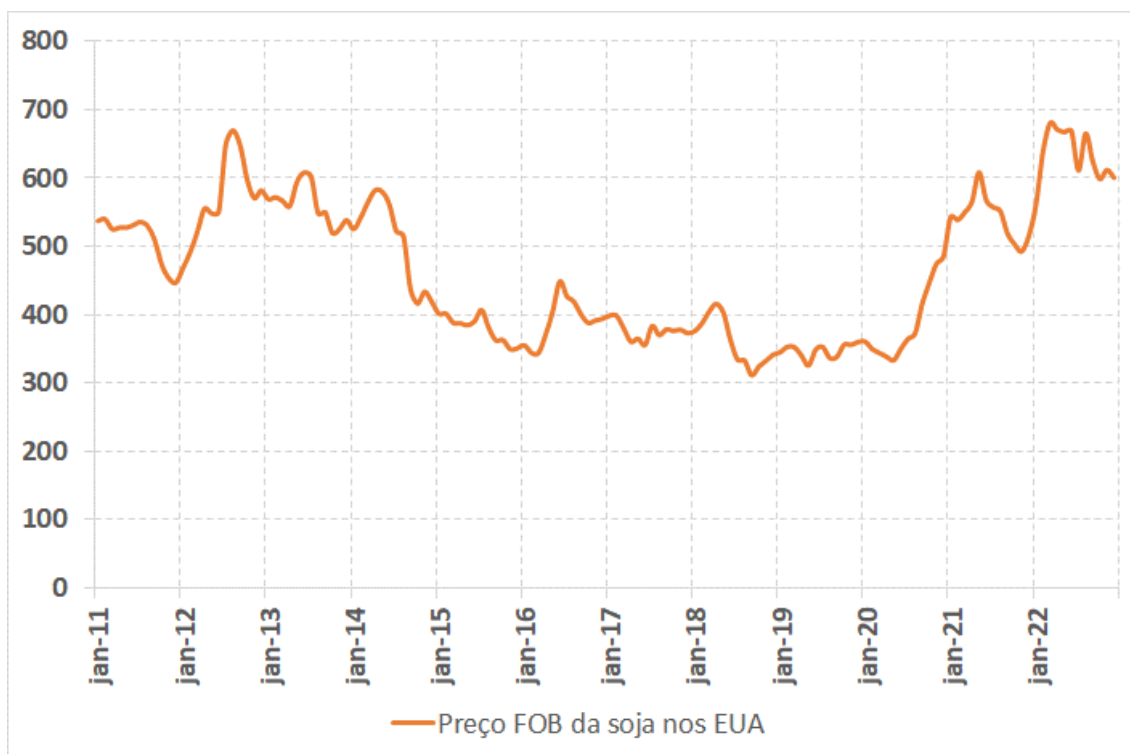


Figura 93 - Comportamento do preço FOB médio mensal da soja no golfo do México entre 2011 e 2022, em U\$/tonelada

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CME (2023) e Reuters (2023)

- **Preço do prêmio da soja no porto brasileiro**

Está implícito nas cotações observadas nas telas da CBOT que a entrega física da soja acontecerá no município de Chicago-IL. Todavia, também se produz soja em outros estados norte-americanos, assim como em diferentes países, tais como o Brasil e a Argentina por exemplo. Sendo assim, na prática, o que os agentes do mercado fazem para formar o preço em outros portos ao redor do mundo é utilizar os valores da CBOT apenas como uma referência internacional, acrescentando a ele um prêmio.

De acordo com Araújo (2017), o prêmio tem o intuito de corrigir eventuais distorções entre o valor de referência na CBOT e as condições intrínsecas a localidade onde o

produto está sendo comercializado. Sendo assim, ele pode ser positivo ou negativo, já que é um vetor resultante da soma de inúmeros fatores, dentre os quais se destacam: nível de oferta e demanda para o volume de soja existente; qualidade do produto, principalmente relacionadas a aspectos proteicos e fitossanitários; eficiência da logística até o porto; preços dos produtos derivados (farelo e óleo); o cenário macroeconômico local, sobretudo no que diz respeito a taxa de câmbio do país exportador em foco; e a época do ano.

O prêmio é negociado diretamente entre as partes compradora e vendedora. Então ele é somado a cotação do contrato de interesse da CBOT, de acordo com o mês que se deseja embarcar o produto. Deste modo, segundo Moraes (2002), tem-se o preço FOB, ou seja, o quanto a soja custará quando já embarcada em um navio atracado no porto em questão.

A Figura 94 foi elaborada com dados da Reuters (2023b). O intuito é apresentar uma *proxy* para o preço médio mensal do prêmio da soja no porto de Paranaguá-PR, que, tradicionalmente, é a referência para o mercado brasileiro. Sendo assim, utilizou-se os valores médios negociados em cada dia de funcionamento da CBOT entre 2011 e 2022. É válido destacar que para cada dia, considerou-se apenas o valor atrelado ao contrato com data de encerramento mais próximo. Além disso, essa foi a única série de dados mais longa que foi encontrada e o gráfico abaixo é ilustrativo. O Modo de referência do modelo de simulação considerou os valores obtidos através de um painel construído a partir de médias anuais de ABIOVE (2023), McDonald Pelz (2023) e Reuters (2023b).

Ademais, cabe ressaltar que, quando se deseja saber o valor do prêmio em outro porto brasileiro, é necessário calcular o *port spread*, ou seja, o diferencial para embarcar nesse novo local de interesse. Na prática, é um prêmio sobre o prêmio base, ou seja, o do porto de Paranaguá-PR.

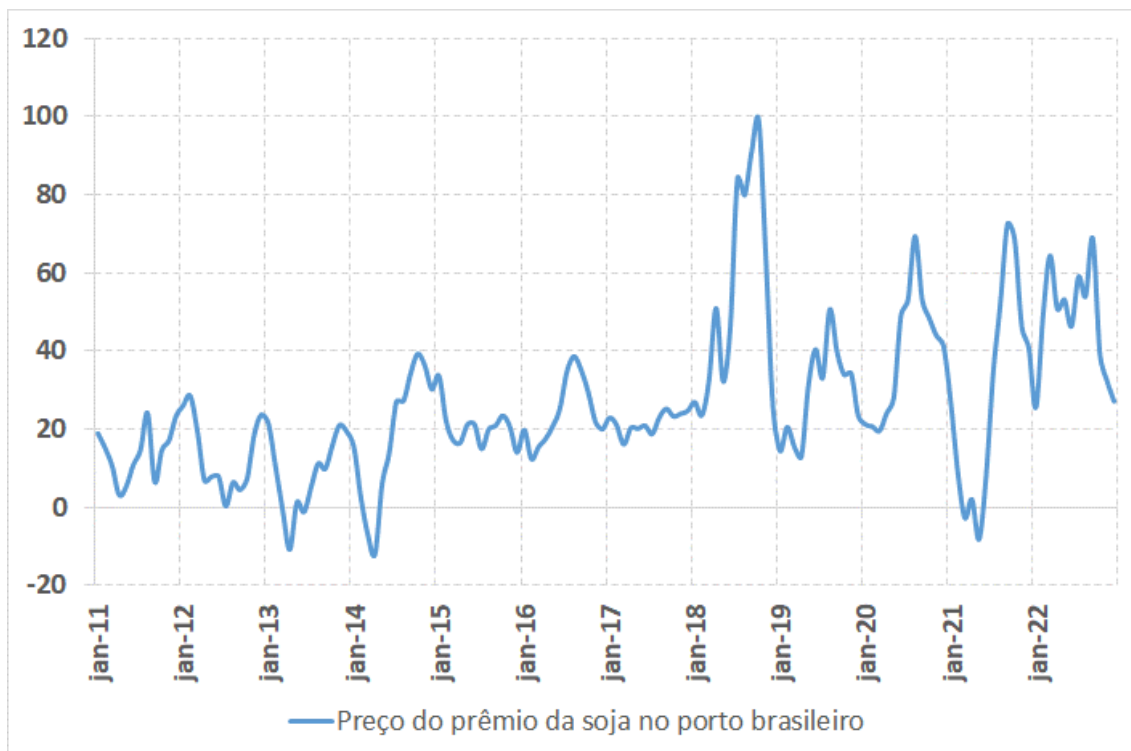


Figura 94 - Comportamento do preço médio mensal do prêmio da soja no porto de Paranaguá-PR entre 2011 e 2022, em U\$/tonelada

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da Reuters (2023b)

- **Produção de soja no Brasil**

Conforme pode ser notado na Figura 95, de acordo com os dados divulgados pela CONAB (2023), a produção total de soja no Brasil experimentou um aumento significativo entre 2011 e 2022, quando atingiu o seu ápice histórico de 139,4 milhões de toneladas em 2021. Para o período em questão, observou-se uma taxa de crescimento geométrico médio anual de 4,35%.

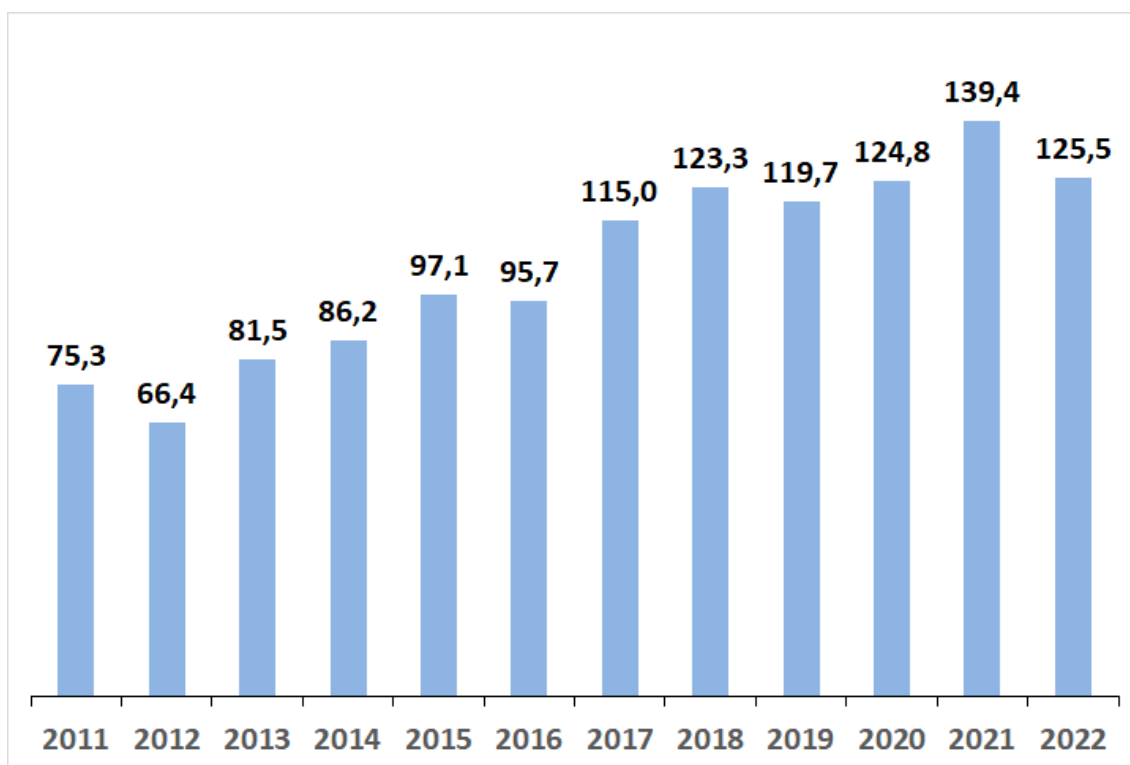


Figura 95 - Comportamento da produção brasileira de soja entre 2011 e 2022, em milhões de toneladas

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CONAB (2023)

- **Produção de soja reservada para sementes no Brasil**

Geralmente, quando a CONAB ou qualquer outra instituição, pública ou privada, estima a quantidade da produção brasileira de soja, considera, indiscriminadamente, o valor total de área plantada. Entretanto, deve-se considerar que uma pequena parte deste montante será separada e receberá o tratamento necessário para ser transformada nas sementes que serão utilizadas no próximo ciclo de plantio.

Todavia, mesmo que, a princípio, esse montante possa parecer pequeno, é importante somá-lo à demanda total. Caso contrário, haveria uma inconsistência, pois, ao longo dos anos, seria considerado um valor significativo como disponível, mas que, na prática, não existe, pois teve outra finalidade. Sendo assim, nesta tese de doutorado será adotado a constante de 1,125% do total colhido por safra, como é de praxe no mercado.

- **Quebra técnica da produção de soja no Brasil**

Infelizmente, nem tudo o que é colhido pelo produtor rural é aproveitado para produção de alimentos ou energia limpa. Como a soja muda de mãos várias vezes ao longo da cadeia de suprimentos, acontecem perdas no armazenamento e transporte. Todavia, mesmo que,

a princípio, esse montante possa parecer pequeno, é importante somá-lo à demanda total. Caso contrário, haveria uma inconsistência, pois, ao longo dos anos, seria considerado um valor significativo como disponível, mas que, na prática, não existe, pois foi desperdiçado pelas ineficiências do setor. Pera (2017) estimou essa perda como 1,303% do total colhido por safra. Entretanto, nesta tese de doutorado será adotado a constante de 1,125% do total colhido por safra, como é de praxe no mercado.

- **Receita dos produtores de soja no Brasil**

Em síntese, é de conhecimento comum em finanças que a receita de uma atividade econômica é obtida através da multiplicação do preço de um produto pela sua quantidade vendida. Deduzindo-se o custo, encontra-se o lucro. Sendo assim, a Figura 96 oferece a estimativa teórica da receita média mensal alcançada pelos fazendeiros brasileiros com as vendas de soja, cujo racional do cálculo é explicado abaixo:

- Considerou-se o volume total colhido entre 2011 e 2022, segundo a CONAB (2023) e explicitados no contexto da Figura 95;
- Adotou-se o ritmo de venda dessas safras, mostrados no âmbito da Figura 97, segundo McDonald Pelz (2023), para se obter os períodos nos quais os volumes da Figura 95 foram comercializados. Isso resultou na Figura 100. É válido lembrar que as vendas de uma safra começam antes do início do seu plantio e encerra-se cerca de 24 meses depois de sua colheita;
- Aceitou-se como preço médio mensal de venda aqueles medidos pelo CEPEA-ESALQ/USP (2023b) e exibidos na seção onde encontra-se a Figura 89;
- Por fim, tem-se que a receita obtida pelos produtores de soja em um determinado mês é igual à soma dos volumes vendidos, independente de quando serão colhidos ou entregues aos compradores, multiplicados pelo respectivo preço corrente. Exibe-se também o resultado em dólar, ressaltando, assim, os efeitos da taxa de câmbio.

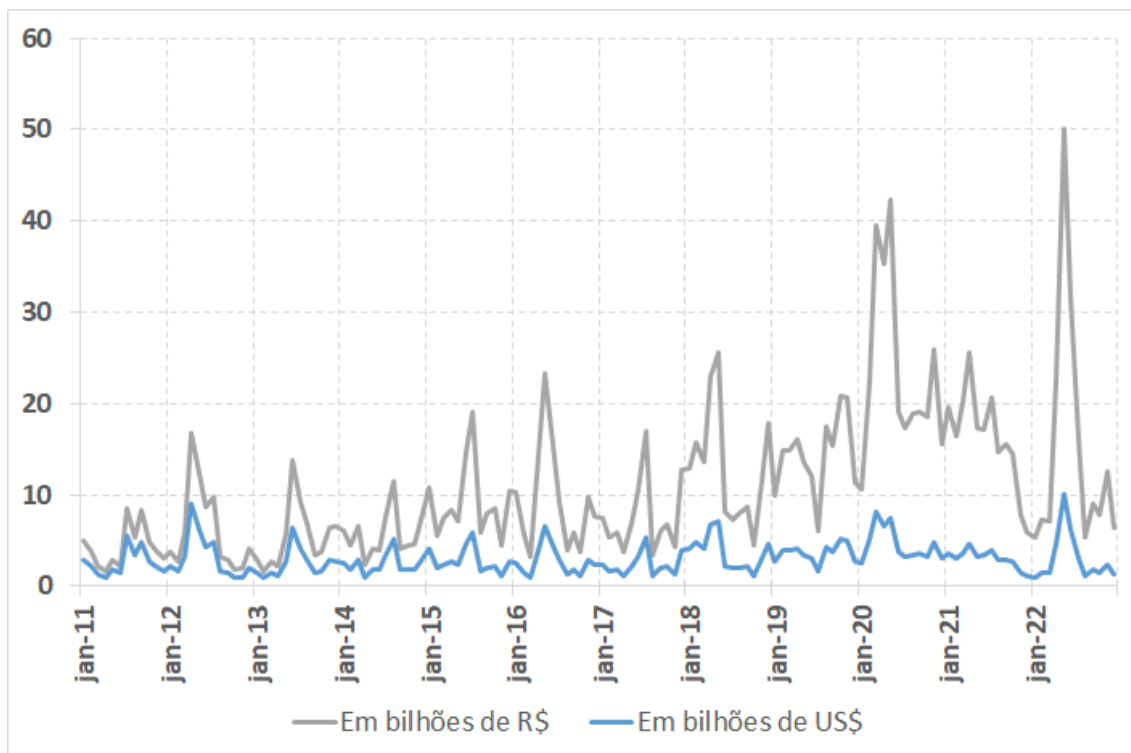


Figura 96 - Comportamento das estimativas para a receita média mensal obtida pelos fazendeiros de soja no Brasil entre 2011 e 2022

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da BACEN (2023), CEPEA-ESALQ/USP (2023b), CONAB (2023) e McDonald Pelz (2023)

- **Ritmo de comercialização da soja pelos produtores brasileiros**

A Figura 97, elaborada com dados da McDonald Pelz (2023), exibe o avanço percentual médio acumulado das vendas de soja por parte dos fazendeiros brasileiros nas últimas 12 safras, ou seja, os volumes colhidos entre as campanhas de 2011 e 2022. Para deixar a ilustração menos poluída, é apresentado apenas o comportamento do intervalo mínimo e máximo entre 2011 e 2017. Já a Figura 98 apresenta um quadro-resumo mostrando o quanto foi vendido por ano.

Além disso, como está evidente na Figura 97 e na Figura 98, geralmente, uma safra de soja colhida no Brasil no ano X (2016, por exemplo) começa a ser comercializada no ano X-1 (2015, neste exemplo) e termina em X+2 (2017, neste exemplo), ou seja, as vendas iniciam-se antes da atividade de plantio e encerram-se cerca de 24 meses depois. A única exceção foi em 2022, quando esta safra começou a ser vendida em 2020. Isso aconteceu, principalmente, devido à (1) resquícios da guerra comercial entre China e EUA e (2) a forte depreciação da taxa de câmbio R\$/US\$, que aconteceu no contexto da pandemia do

coronavírus. Ou seja, os asiáticos queriam diminuir a dependência do produto norte-americano e o Brasil era uma origem mais competitiva.

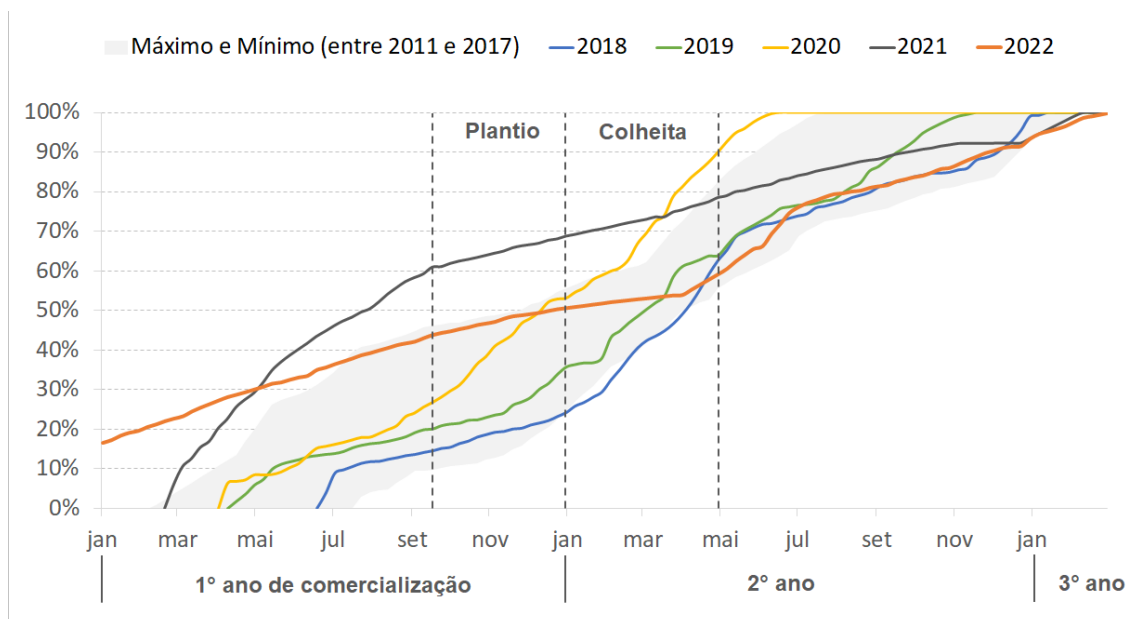


Figura 97 - Comportamento acumulado das vendas de soja pelos fazendeiros brasileiros entre 2011 e 2022

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da McDonald Pelz (2023)

		Ano que a safra foi colhida												
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
% da safra comercializado em cada ano	2010	38%												
	2011	60%	44%											
	2012	2%	56%	54%										
	2013			43%	40%									
	2014			3%	57%	22%								
	2015				3%	75%	39%							
	2016					3%	54%	37%						
	2017						6%	51%	23%					
	2018							11%	71%	33%				
	2019								6%	66%	51%			
	2020									1%	49%	67%	16%	
	2021											24%	34%	
	2022												10%	41%
	2023													9%
Total		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	

Figura 98 - Percentual de venda de uma safra brasileira de soja por ano, um comparativo entre 2011 e 2022

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da McDonald Pelz (2023)



É válido ressaltar que o produtor brasileiro de soja tem como prática vender o seu produto antes mesmo de plantá-lo em função de diversos fatores, tais como: (1) necessidade de antecipação de caixa para fazer frente aos compromissos de curto e médio prazo; (2) compra de insumos, onde geralmente pratica a modalidade *barter*, ou seja, recebe matéria-prima, tais como fertilizantes, químicos e sementes, para utilizar no plantio em troca da soja que será colhida e entregue no futuro; (3) aproveitar oportunidades de travar bons negócios no cotidiano, como, por exemplo, quando a taxa de câmbio R\$/US\$ se deprecia; (4) falta de armazenagem própria, o que implica em desejo por escoamento rápido no momento da colheita *etc.*

- **Variação anual de área com soja no Brasil**

A Figura 99, elaborada com dados da CONAB (2023), apresenta a variação anual de área de soja colhida no Brasil entre 2011 e 2022, em milhões de hectares. Ou seja, o quanto que foi adicionado em relação ao ano anterior.

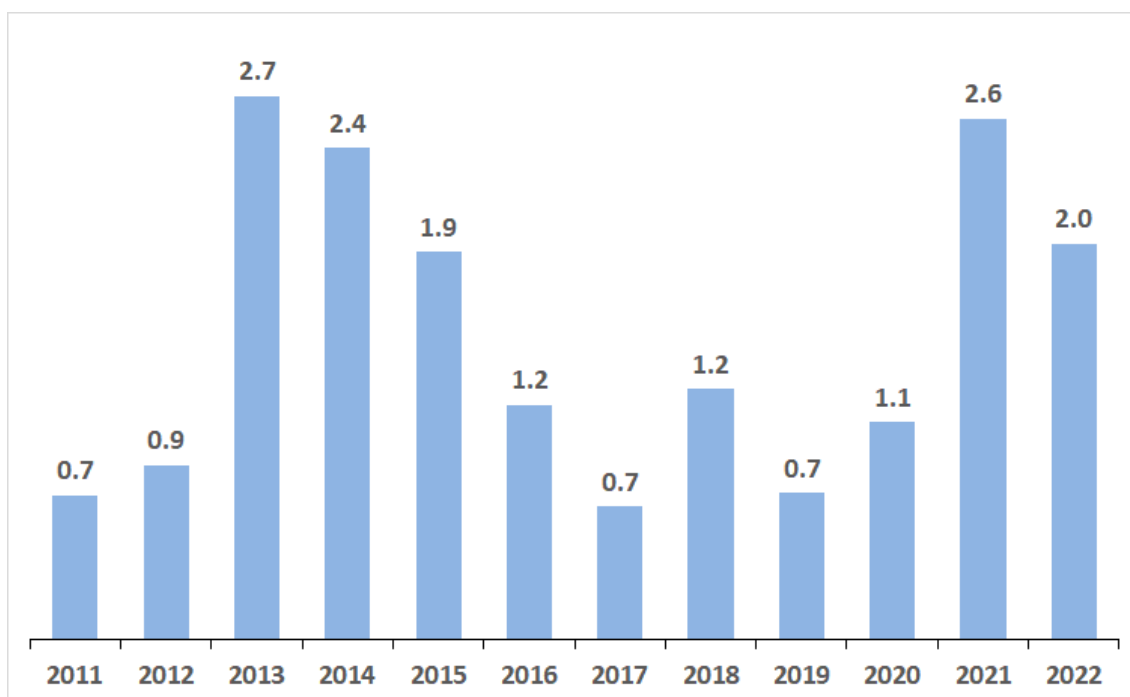


Figura 99 - Comportamento da variação anual de área de soja colhida no Brasil entre 2011 e 2022, em milhões de hectares

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CONAB (2023)

- **Volume comercializado pelos produtores brasileiros**

A Figura 100 foi elaborada a partir do cruzamento de informações sobre o avanço percentual médio acumulado semanalmente das vendas de soja por parte dos fazendeiros brasileiros e o volume total colhido nas últimas 12 safras, respectivamente observadas nas Figura 97 e Figura 95. Sendo assim, é possível ter uma *proxy* do volume de soja vendido mensalmente. A importância disso está no fato de que, ao relacioná-lo com o preço médio corresponde pago por essa oleaginosa (Figura 89), é possível calcular a receita média recebida pelo produtor rural (Figura 96).

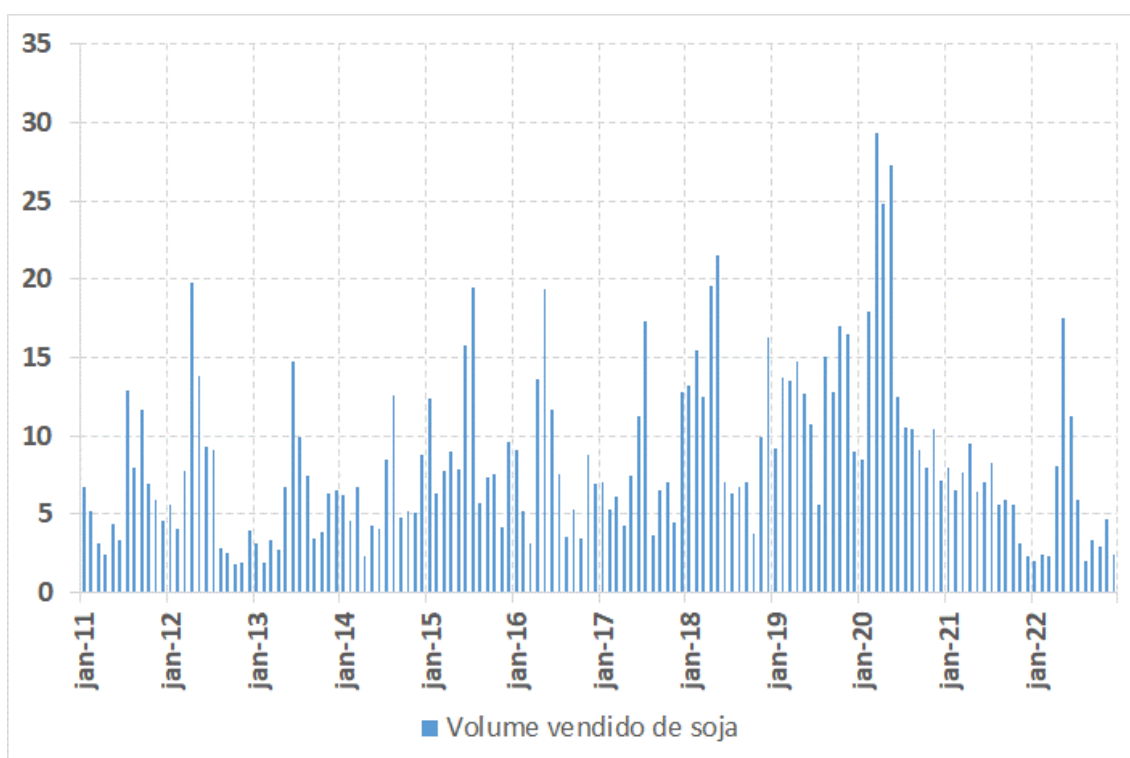


Figura 100 - Comportamento do volume mensal de soja comercializado pelos produtores brasileiros entre 2011 e 2022, em milhões de toneladas

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CONAB (2023) e da McDonald Pelz (2023)

## H.2. Variáveis exógenas

- **Consumo doméstico de soja no Brasil**

De acordo com os dados divulgados pela ABIOVE (2023), a Figura 101 apresenta o volume mensal de soja que foi consumido nas fábricas brasileiras de farelo e óleo entre 2011 e 2022. Para o período em questão, observou-se uma taxa de crescimento geométrico médio mensal de 0,49% e anual de 2,63%, sendo que os picos históricos foram maio de

2022 e 2022, com, respectivamente, 4,8 e 50,9 milhões de toneladas. Além disso, o esmagamento interno foi responsável por consumir, em média, 40.1% do total de soja produzida no Brasil nos últimos 12 anos. Destaca-se também o caráter sazonal vivenciado nesta atividade econômica, algo que está intrinsecamente relacionado ao ciclo de plantio e colheita desta oleaginosa.

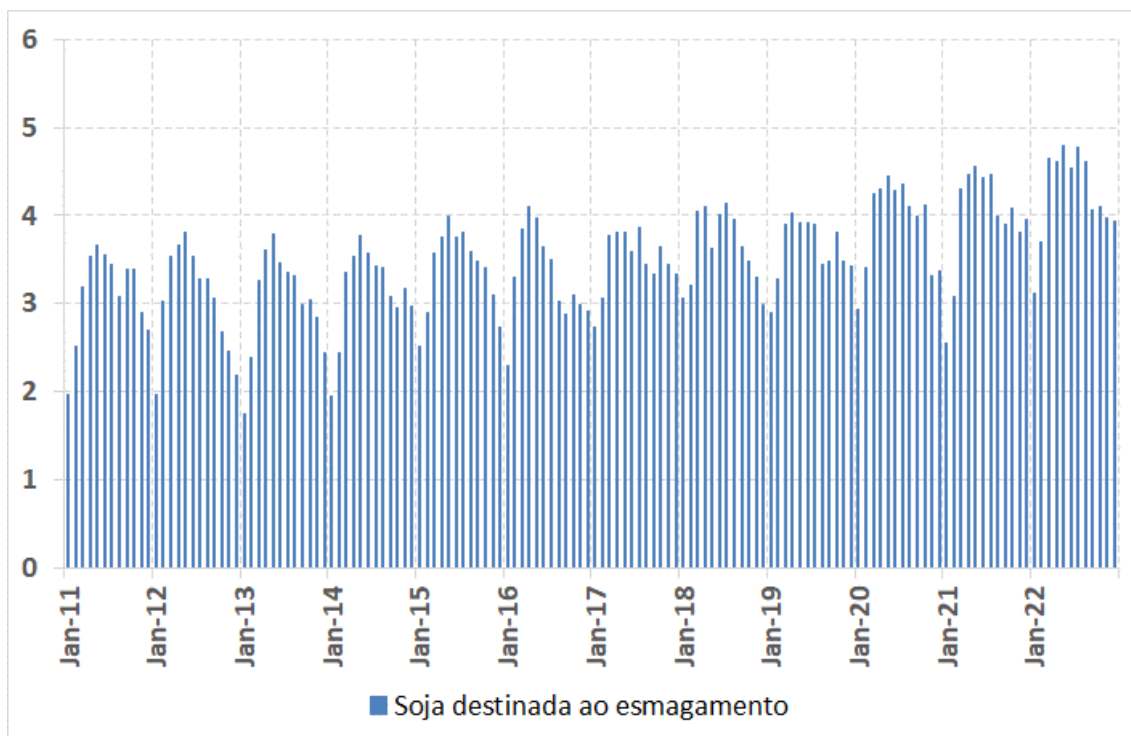


Figura 101 - Comportamento da demanda brasileira de soja para esmagamento entre 2011 e 2022, em milhões de toneladas

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da ABIOVE (2023)

Já na Figura 102, produzida com dados da ABIOVE (2023) e da Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2023), pode-se observar a participação da soja na produção brasileira de biodiesel entre 2011 e 2022. Duas coisas chamam a atenção: (1) o percentual de óleo de soja utilizado caiu 8.7 p.p., principalmente em função do menor custo de outros insumos; (2) e a necessidade de soja aumentou 14.8 p.p., já que a quantidade mínima exigida pelo governo na mistura com o óleo diesel cresceu no período analisado: de 5% em janeiro de 2011 a 10% em dezembro de 2022, sendo que em março de 2021 chegou a ser 13%. Sendo assim, é inegável a importância desta atividade no consumo da soja brasileira. Entretanto, justifica-se que o motivo por essa variável ser considerada exógena ao modelo está no fato de que isso não é o objeto de estudo deste trabalho. Logo, os seus valores entrarão no modelo de simulação como dados e não serão calculados internamente.

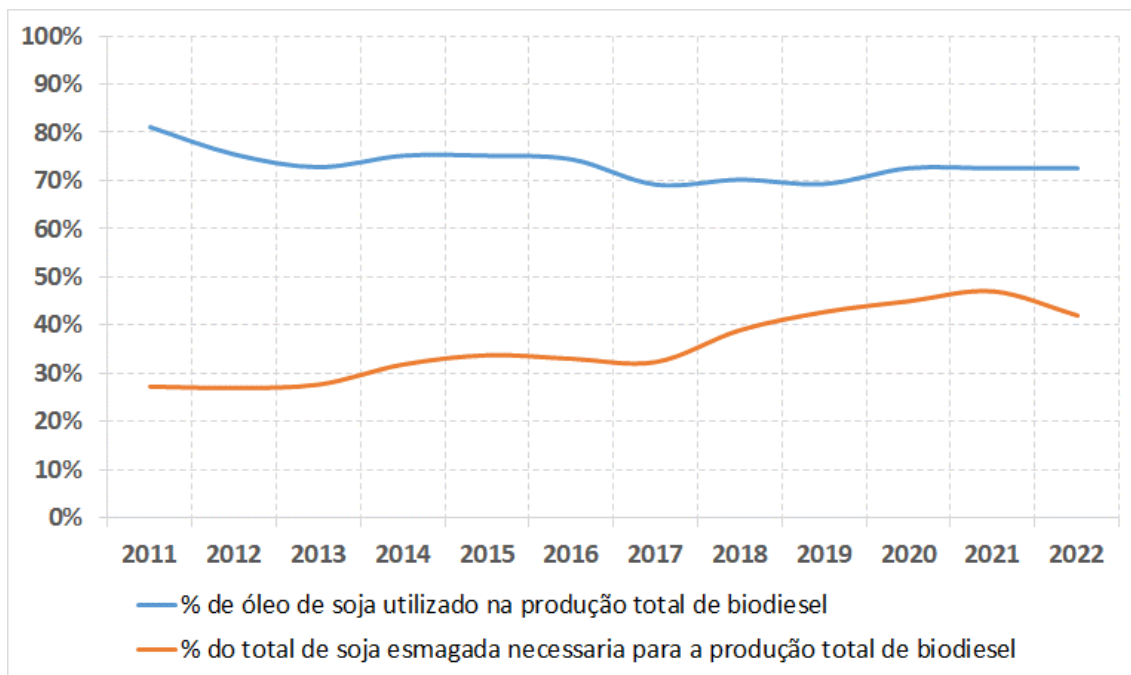


Figura 102 - Comportamento da participação da soja na produção brasileira de biodiesel entre 2011 e 2022

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da ABIOVE (2023) e ANP (2023)

- **Custos de produção de soja no Brasil**

Em geral, um produtor rural está sujeito à diversos riscos no exercício da sua profissão, sendo alguns de difícil mitigação, como, por exemplo, o climático. Entretanto, outros, tais como os custos de produção podem e devem ser administrados com muita atenção, pois, é válido lembrar que, porque a soja é uma *commodity*, o preço de venda que é ofertado ao fazendeiro é fortemente influenciado pelo que acontece no mercado internacional. Sendo assim, não é exagero dizer que o sucesso da atividade, necessariamente, passa por um apurado controle dos dispêndios.

As informações sobre custos de produção utilizadas para responder à pergunta de pesquisa desta tese foram estimadas pela CONAB (2023b). Em geral, os números refletem uma agricultura com o perfil empresarial, cujo a soja cultivada, na imensa maioria dos casos, é do tipo geneticamente modificada (transgênica), de alta tecnologia e as lavouras foram instaladas seguindo o método do plantio direto. Limitou-se aos dados que estavam disponíveis na literatura, entretanto, é razoável considerar essas características supracitadas como o padrão de lavouras observadas no Brasil.

Esses dados refletem os valores médios gastos com insumos e outras despesas exigidas no plantio e manutenção das safras que foram colhidas entre 2011 e 2022. De acordo com

a disponibilidade, considerou-se cidades localizadas nos principais estados brasileiros onde essa oleaginosa é cultivada, calculando-se, assim, um número geral para o Brasil. É importante dizer que as informações foram estimadas anualmente e antes do início de cada produção. Um resumo das características supracitadas está concatenado a seguir:

- Cidades consideradas na média do número Brasil: Balsas-MA, Barreiras-BA, Boa Vista-RR, Brasília-DF; Campo Mourão-PR, Campo Novo do Parecis-MT, Chapadão do Sul-MS, Cristalina-GO, Cruz Alta-RS, Dourados-MS, Londrina-PR, Passo Fundo-RS, Pedro Afonso-TO, Ponta Grossa-PR, Primavera do Leste-MT, Rio Verde-GO, Santa Rosa-RS, São Luiz Gonzaga-RS, Sorriso-MT e Unaí-MG e Uruçuí-PI;
- Em suma, esta é a estrutura mais comum que a CONAB utiliza para apresentar as informações estimadas sobre custos de produção de soja no país. Dependendo da cidade analisada, alguns valores podem ser iguais a zero:
  - Despesas de custeio na lavoura: (1) operação com animal; (2) operação com avião; (3) operação com máquinas: (3.1) tratores e colheitadeiras e (3.2) conjunto de irrigação; (4) aluguel de máquinas; (5) aluguel de animais; (6) mão-de-obra; (7) administrador; (8) sementes; (9) fertilizantes; (10) defensivos agrícolas; (11) água; (12) receita; (13) outros: (13.1) análise foliar, (13.2) embalagens/utensílios, (13.3) vernalização, (13.4) análise de solo, (13.5) mudas, (13.6) taxas ambientais, (13.7) demais despesas e (13.8) implementos manuais; e (14) serviços diversos;
  - Outras despesas: (15) transporte Externo; (16) despesas: (16.1) despesas administrativas, (16.2) despesas de armazenagem e (16.3) beneficiamento; (17) seguro da produção; (18) seguro de crédito; (19) assistência técnica; (20) classificação; (21) outros impostos/taxas; (22) CDO; (23) CESSR; e (24) FUNDECITRUS;
  - Despesas financeiras: (25) juros do financiamento;
  - Depreciações: (26) depreciação de benfeitorias/instalações; (27) depreciação de implementos; e (28) depreciação de máquinas;
  - Outros custos fixos: (29) manutenção periódica benfeitorias/instalações; (30) encargos sociais; e (31) seguro do capital fixo;

- Renda de Fatores: (32) remuneração esperada sobre capital fixo; (33) terra própria; e (34) arrendamento. Como esta tese adotou a Taxa Selic como custo de oportunidade, esse item da Conab foi desconsiderado.

A Figura 103 apresenta o custo médio anual estimado para se produzir uma tonelada de soja no Brasil, segundo a CONAB (2023b). Evidentemente, a maior parte do desembolso desses valores acontece antes e durante a atividade de plantio e é esperado que altos rendimentos diluam o total investido. Esse conceito ajuda a explicar porque no ano de 2016 houve um aumento expressivo no custo histórico em reais, pois a queda significativa na produtividade proporcionou menor retorno. Uma parte expressiva dos insumos, tais como fertilizantes e defensivos, erroneamente chamados por alguns de agrotóxicos, são importados. Por isso a Figura 103 exibe também os valores em dólar, transformados com ajuda do BACEN (2023). Por fim, justifica-se que, por motivo de simplificação, esta variável será considerada exógena ao modelo, pois os seus valores entrarão no processo de simulação como dados e não serão calculados internamente.

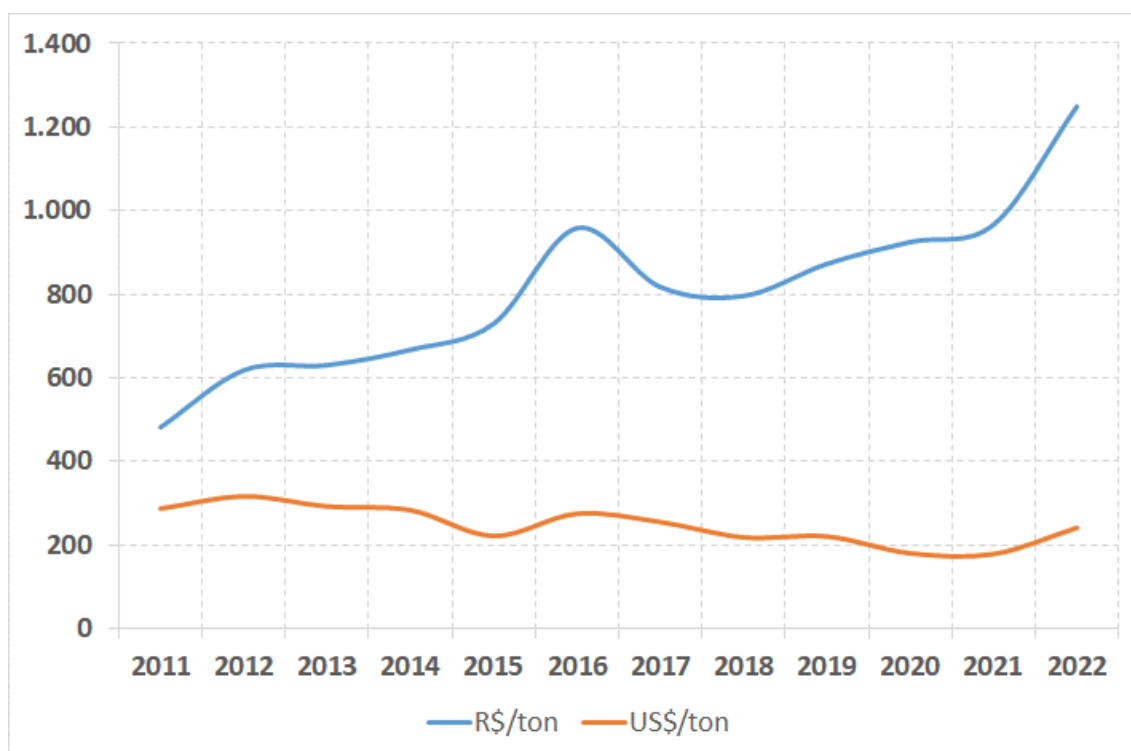


Figura 103 - Comportamento do custo médio estimado para a produção de uma tonelada de soja no Brasil entre 2011 e 2022, em R\$/ton e US\$/ton

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CONAB (2023b) e BACEN (2023)

- **Demanda chinesa por proteína animal**

A Figura 104 foi elaborada com informações da *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD, 2023) e do USDA (2023). Usando dados entre 1996 e 2022, calculou-se uma regressão linear simples para mostrar a aderência matemática da hipótese de que a China passou a importar mais soja devido a mudança dos hábitos alimentares da sua população. Para isso, é usado como *proxy* o consumo anual de proteína animal, ou seja, carne de boi, frango e suínos. Os seus valores servirão de base para calcular uma curva do tipo vlookup, que será usada durante o processo de simulação do modelo.

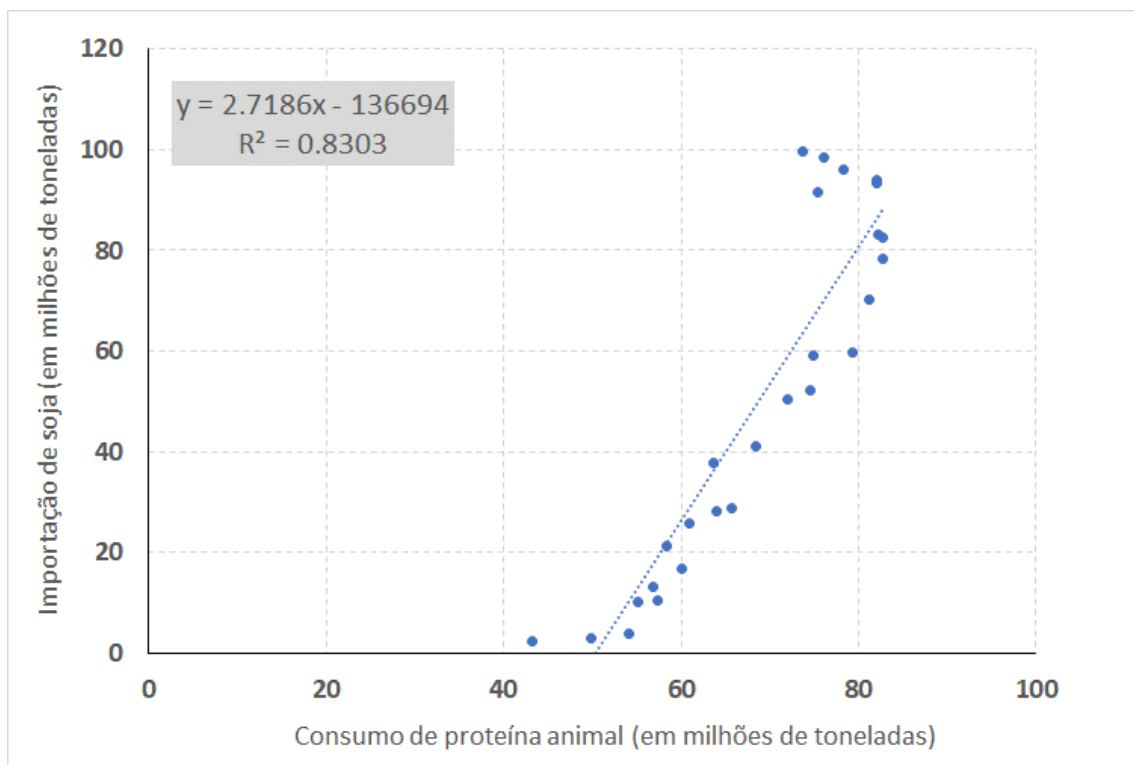


Figura 104 - Efeito nas importações chinesas de soja em função do aumento do consumo de proteína animal

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da OECD (2023) e USDA (2023)

- **Demanda total de soja de outros países**

Recapitulando o que foi explicado no capítulo 3, dentro de um balanço de oferta e demanda, a demanda total é o resultado da soma dos subitens (1) consumo doméstico, (2) exportação e (3) outros. É válido lembrar que este último representa a totalização do volume de grãos que será separado para a produção das sementes utilizadas no plantio da próxima safra e as perdas durante os processos de colheita, armazenamento, transporte etc.

Para informações sobre o Brasil foram considerados os dados divulgados pela CONAB (2023) para o subitem produção; MDIC (2023) para importação; ABIOVE (2023) para estoque inicial e consumo doméstico; e Cargonave (2016) e APS (2023) para exportação. No que concerne à Argentina, os dados de estoque inicial são oriundos da McDonald Pelz (2023); Bolsa de Cereales (2023) para produção; já importação do MINAGRI (2023) e exportação da NABSA (2023). Por fim, todas as demais informações de países não supracitados tiveram como fonte o USDA (2023b,c,d). A Figura 105 apresenta os volumes dos 3 subitens que compuseram a demanda total de soja no mundo, com exceção dos números referentes aos Brasil, entre 2011 e 2022.

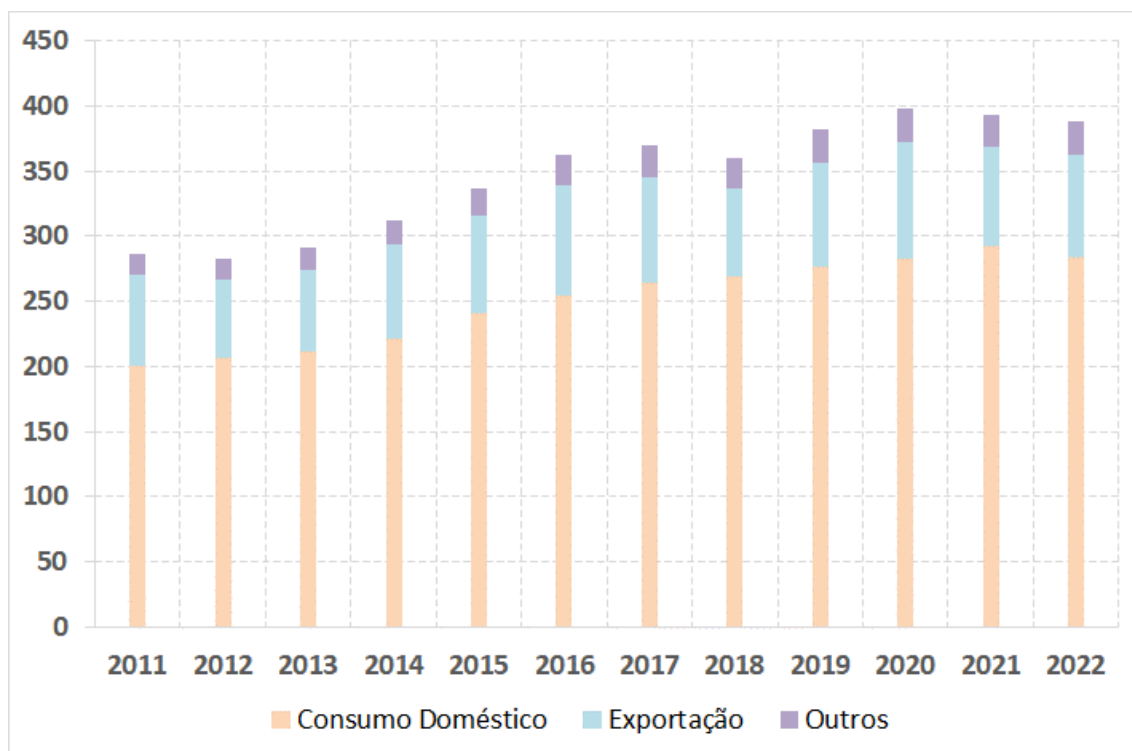


Figura 105 - Comportamento da demanda de soja no mundo, excluído o Brasil, entre 2011 e 2022, em milhões de toneladas

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da ABIOVE (2023), APS (2023), Bolsa de Cereales (2023), CONAB (2023), McDonald Pelz (2023), MDIC (2023), MINAGRI (2023), NABSA (2023) e USDA (2023b,c,d)

- **Estoques de soja em outros países**

A Figura 106 exibe os volumes totais disponíveis como estoque de soja no mundo, com exceção dos números do Brasil, no final de cada ano entre 2011 e 2022. Por motivo de simplificação, essa variável foi considerada exógena ao modelo. Então os seus valores não são calculados internamente durante o processo de simulação, mas assumidos como dados.



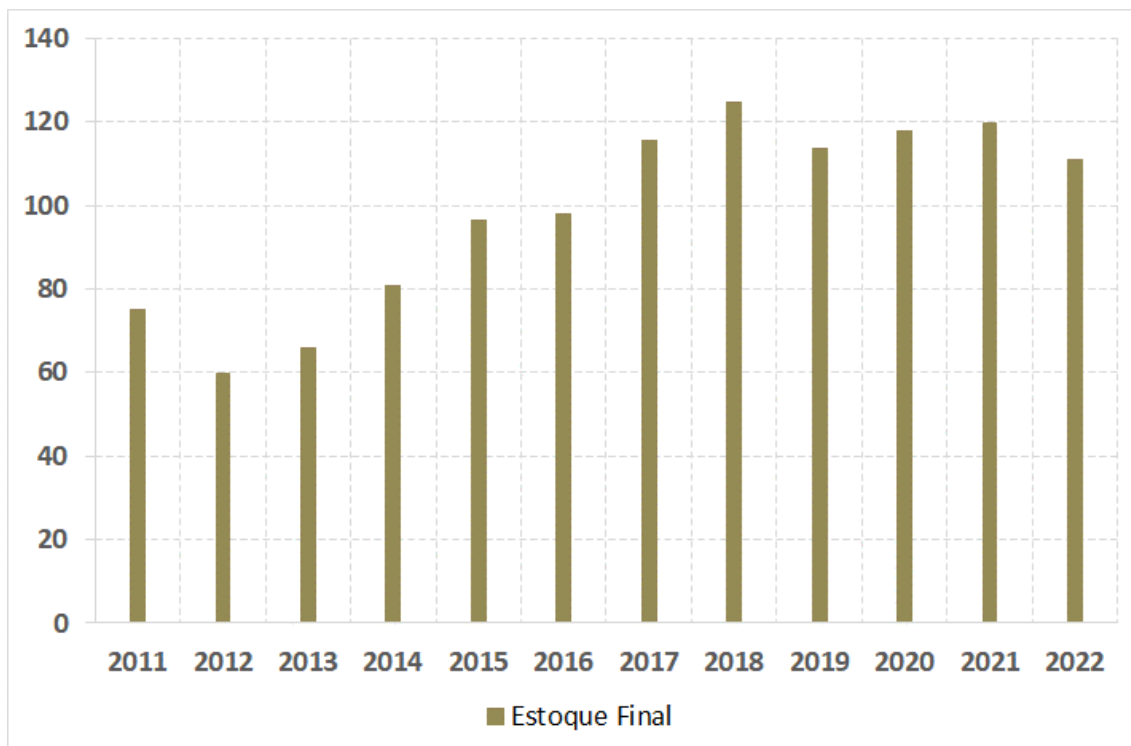


Figura 106 - Comportamento dos estoques de soja no mundo, excluindo o Brasil, no final de cada ano entre 2011 e 2022, em milhões de toneladas

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da ABIOVE (2023), APS (2023), Bolsa de Cereais (2023), CONAB (2023), MDIC (2023), MINAGRI (2023), NABSA (2023) e USDA (2023b,c,d)

- **Expectativa de lucro de culturas concorrentes**

A meta para a taxa Selic representa os juros básicos da economia brasileira. Sendo assim, para efeitos de simplificação, ela será usada como *proxy* para indicar a média da expectativa de lucro com todas as outras culturas que poderiam competir com os recursos que os fazendeiros dedicariam à soja. A evolução dos valores mensais entre 2011 e 2022 pode ser observado na Figura 107, de acordo com o BACEN (2023b).

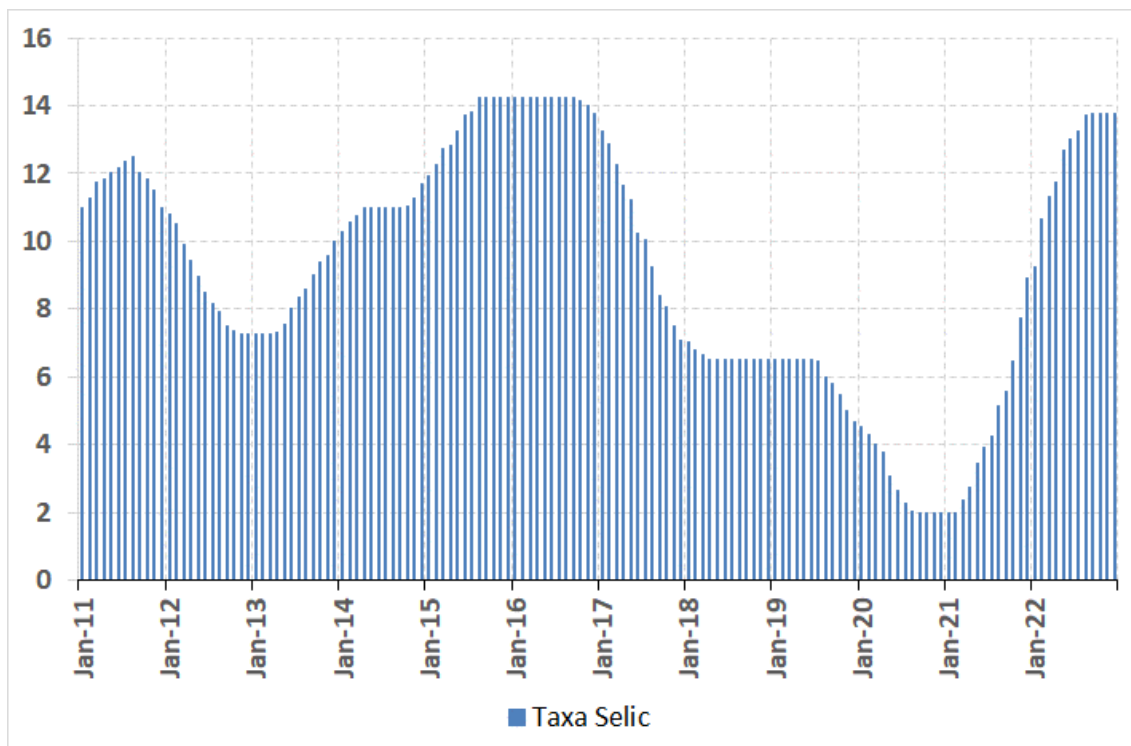


Figura 107 - Comportamento da taxa Selic no Brasil entre 2011 e 2022

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do BACEN (2023b)

- **Fatores geopolíticos**

O setor sojicultor, assim como qualquer outro, está sujeito a sofrer com interferências políticas. Isso, geralmente, distorce artificialmente os preços, fazendo com que sejam tomadas decisões antagônicas a um racional puramente econômico. Os EUA e a China travaram uma guerra comercial entre 2018 e 2019, fazendo com que a soja norte-americana foi boicotada, via cobrança de uma alíquota de 25% em impostos. A Figura 108, elaborada com dados do USDA (2023g) ilustra como o padrão sazonal foi interrompido durante o período supracitado.

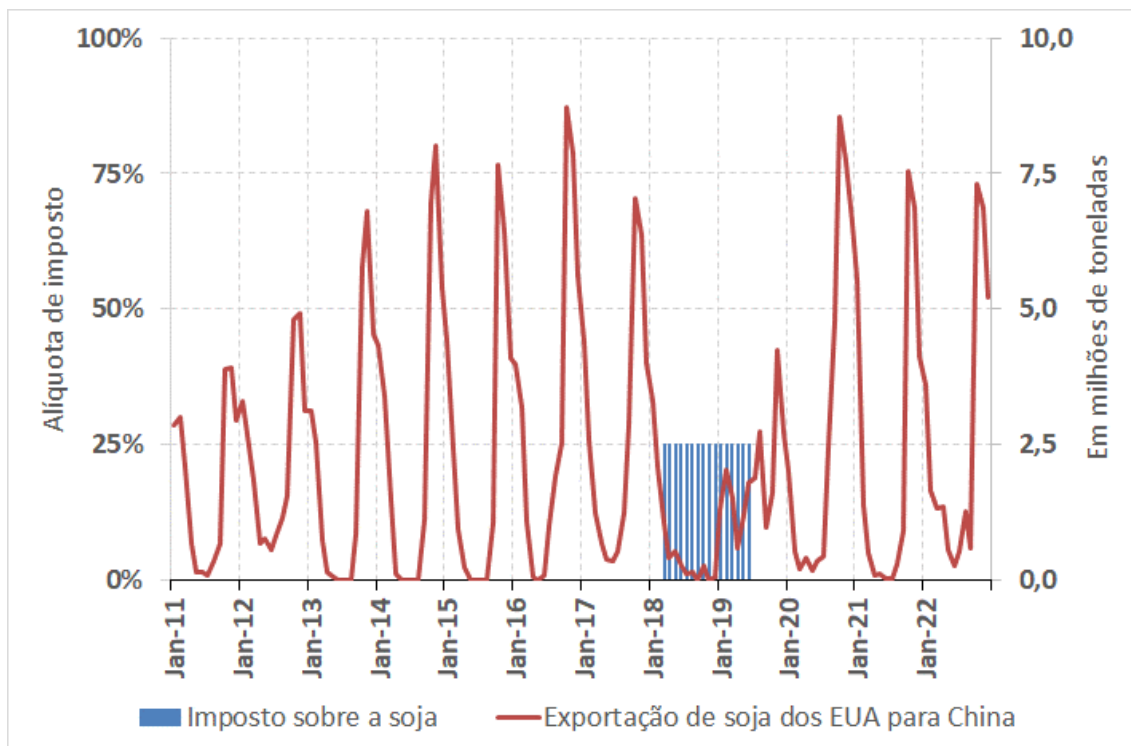


Figura 108 - Impacto nas exportações de soja dos EUA devido a guerra comercial com a China entre 2018 e 2019

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do USDA (2023g)

- **Importações de soja do Brasil**

A Figura 109 apresenta o volume mensal de soja importada pelo Brasil entre 2011 e 2022, segundo o portal MDIC (2023). Conforme pode ser observado, o gráfico foi propositalmente construído usando como referência a mesma escala de valores do eixo Y da Figura 86. Isso foi feito para ressaltar como as importações brasileiras dessa oleaginosa são extremamente pequenas quando comparadas às exportações. Já em relação ao total produzido no país nos últimos 12 anos, em média, equivaleu a apenas 0,4%. Entretanto, em anos de estoques mais apertados, tais como de 2020 em diante, esses montantes ajudam a não zerar os estoques de passagem.

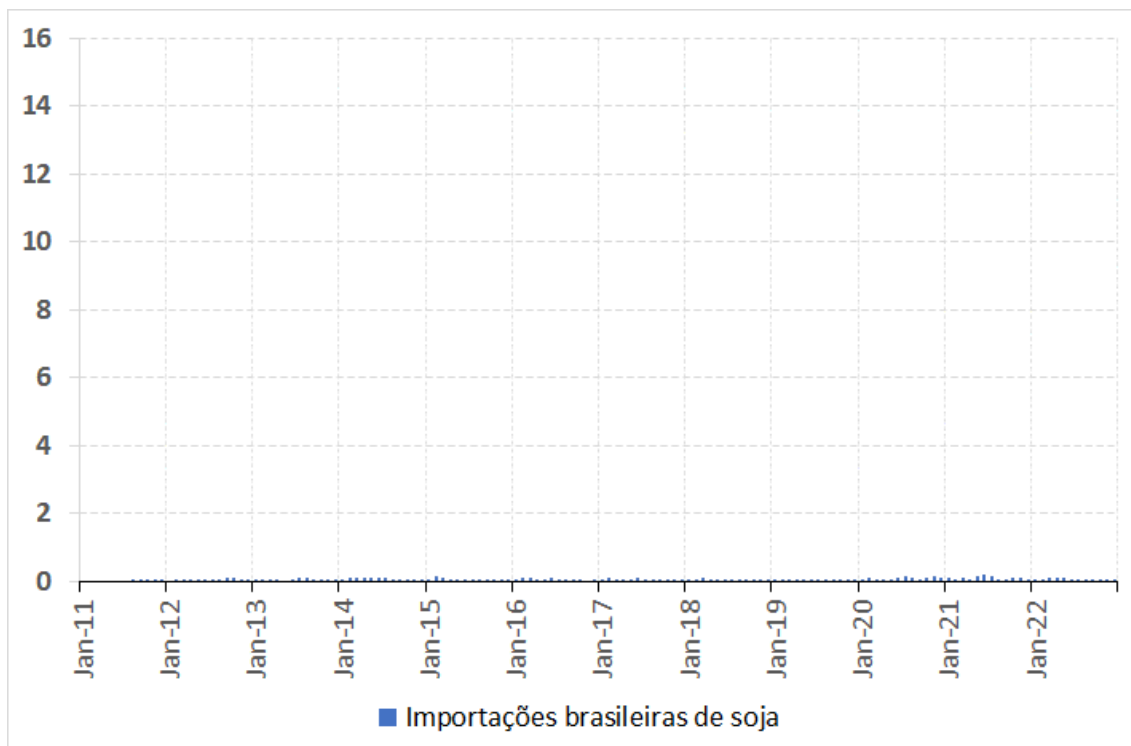


Figura 109 - Comportamento das importações brasileiras de soja entre 2011 e 2022, em milhões de toneladas

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do MDIC (2023)

- **Investimentos em tecnologia pelo produtor**

Em suma, a utilização de um determinado pacote tecnológico dos fatores de produção e a regularidade climática observada durante os estágios fenológicos de desenvolvimento das plantas são as variáveis mais determinantes para os níveis de produtividade na agricultura. Entretanto, além da dificuldade em encontrar dados confiáveis, é bastante complexo quantificar e segmentar o quanto que os investimentos dos fazendeiros impactaram diretamente a soja brasileira entre 2011 e 2022.

Sendo assim, no processo de modelagem, esses efeitos serão considerados inertes no primeiro momento. Na prática, replica-se durante o processo de simulação os valores de produtividade média da soja no Brasil divulgados pela CONAB (2023) entre 2011 e 2022, multiplicado por 1. Optou-se por deixar essa variável presente no modelo na eventualidade de se testar eventuais hipóteses sobre os valores observados.

- **Margem de esmagamento da soja na China**

A Figura 110 foi desenvolvida com dados da Reuters (2023c). O intuito é apresentar uma *proxy* para a margem de lucro mensal média com esmagamento de uma tonelada de soja na China entre 2011 e 2022.

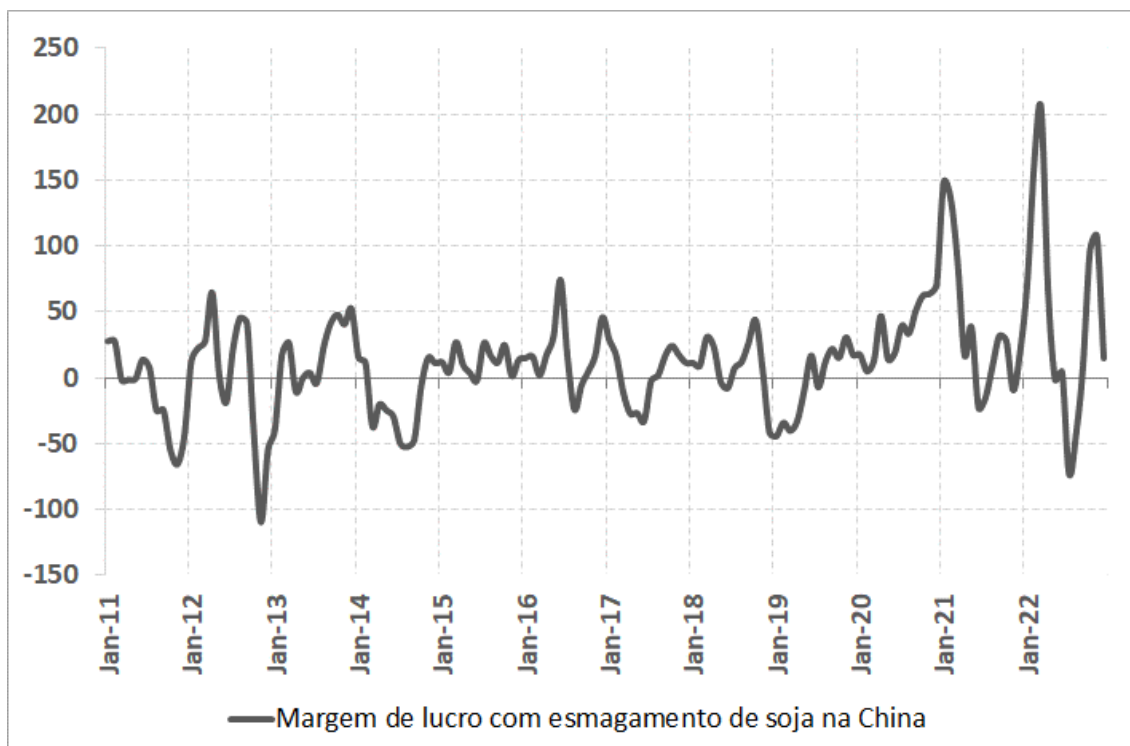


Figura 110 - Estimativa da margem de lucro com esmagamento de soja na China entre 2011 e 2022, em U\$/tonelada

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da Reuters (2023c)

- **Oferta total de soja de outros países**

Recapitulando o que foi explicado no capítulo 3, dentro de um balanço de oferta e demanda, a oferta total é o resultado da soma dos subitens (1) estoque inicial, (2) produção e (3) importação.

Para informações sobre o Brasil foram considerados os dados divulgados pela CONAB (2023) para o subitem produção; MDIC (2023) para importação; ABIOVE (2023) para estoque inicial e consumo doméstico; e Cargonave (2016) e APS (2023) para exportação. No que concerne à Argentina, os dados de estoque inicial são oriundos da McDonald Pelz (2023); Bolsa de *Cereales* (2023) para produção; já importação do MINAGRI (2023) e exportação da NABSA (2023). Por fim, todas as demais informações de países não supracitados tiveram como fonte o USDA (2023b,c,d). A Figura 111 apresenta os volumes dos 3 subitens que compuseram a oferta total de soja no mundo, com exceção dos números referentes aos Brasil, entre 2011 e 2022.

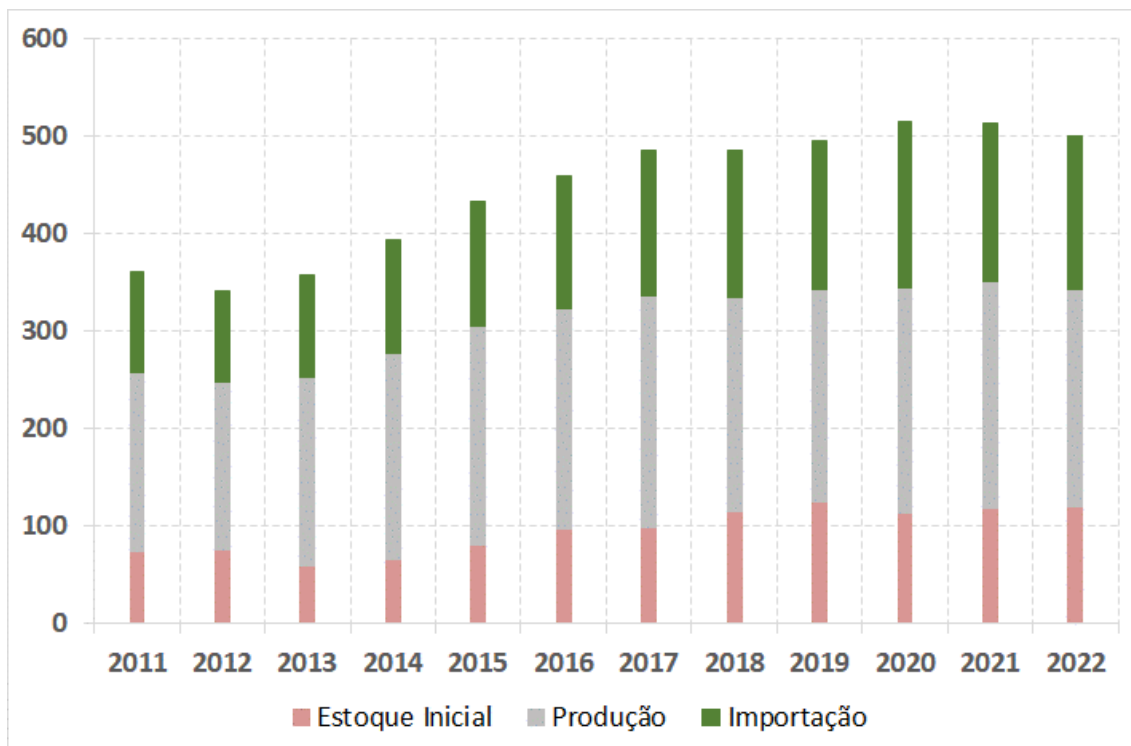


Figura 111 - Comportamento da oferta de soja no mundo, excluído o Brasil, entre 2011 e 2022, em milhões de toneladas

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da ABIOVE (2023), APS (2023), Bolsa de Cereales (2023), CONAB (2023), McDonald Pelz (2023), MDIC (2023), MINAGRI (2023), NABSA (2023) e USDA (2023b,c,d)

- **Preço da soja na CBOT**

A soja é considerada uma *commodity*, já que esse termo serve para agrupar produtos com especificidades heterogêneas, que podem ser produzidos em larga escala e em várias localidades diferentes sem grandes barreiras de entrada. Geralmente, esses bens são precificados em uma bolsa internacional de referência. A da soja, por uma tradição que data desde 1848, está localizada na cidade norte-americana de Chicago-IL. Desde 2007 faz parte da CME, mas ainda é amplamente conhecida pelo seu nome mais popular: CBOT.

É válido destacar que os preços são negociados considerando-se que as entregas físicas da soja, nas respectivas datas de encerramento dos contratos, acontecerão no município de Chicago. Sendo assim, quaisquer distorções observadas em mercados localizados em outras regiões do planeta são corrigidas por intermédio de prêmios, que podem ser positivos ou negativos. A questão do prêmio será explicitada posteriormente.

Os contratos de soja são negociados na CBOT em dólares e cada um equivale a um lote padrão de 5.000 bushels<sup>8</sup>. Entretanto, para efeitos de comparação, nesta tese de doutorado, tudo será apresentado em dólares por tonelada métrica. Esses são os seguintes meses e respectivos símbolos de vencimento para cada contrato existente, ou seja, quando, teoricamente, as entregas físicas do produto devem acontecer: Janeiro (F), Março (H), Maio (K), Julho (N), Agosto (Q), Setembro (U) e Novembro (X). Evidentemente, a soja é comercializada o ano todo, sendo assim, quando não há um contrato para um mês específico, usa-se o próximo subsequente, por exemplo: o Julho (N) para o junho.

A Figura 112 foi elaborada com dados da CME (2023). O intuito é apresentar uma *proxy* para o preço médio mensal da soja no mercado internacional. Sendo assim, utilizou-se os valores da última negociação registrada em cada dia de funcionamento da bolsa entre 2011 e 2022. É válido destacar que para cada dia, considerou-se apenas o preço do contrato com data de encerramento mais próximo.

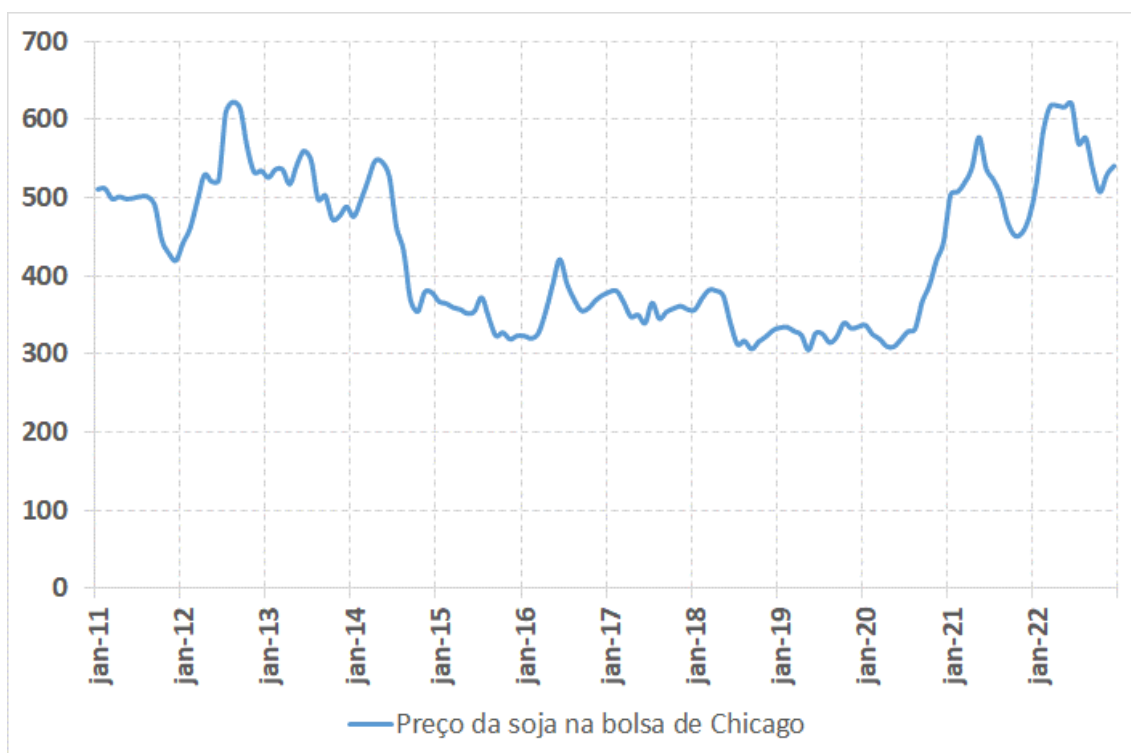


Figura 112 - Comportamento do preço médio mensal da soja na bolsa de Chicago entre 2011 e 2022, em US\$/ton

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CME (2023)

<sup>8</sup> 1 bushel é equivalente a 0,02721582 tonelada

- **Preço do frete do porto até a fazenda**

A Figura 113 foi elaborada com dados do USDA (2023h) e apresenta o preço médio mensal do frete rodoviário para exportação no Brasil entre 2011 e 2022. Essa informação será usada como *proxy* para o custo que existe para a soja deixar as fazendas em direção aos portos brasileiros. Para efeitos de simplificação, operações envolvendo outros modais, foram desconsideradas no processo de modelagem. Portanto, considera-se essa variável exógena ao modelo pelo fato de que os seus valores não são calculados internamente durante o processo de simulação.

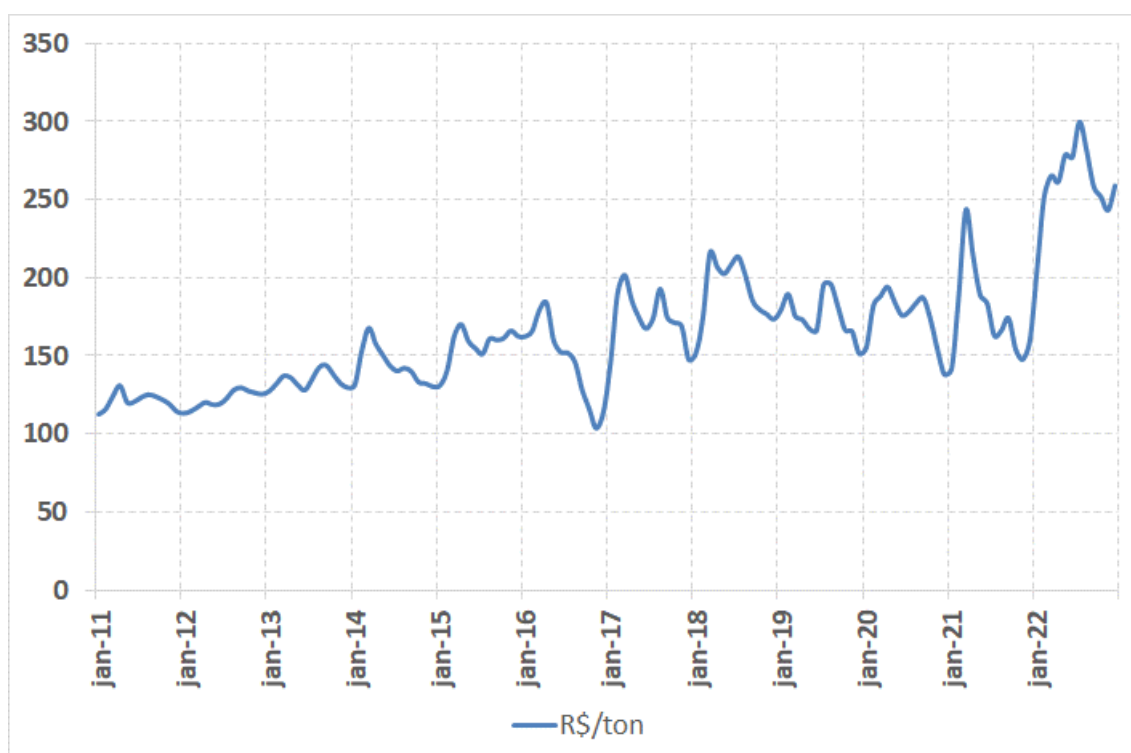


Figura 113 - Preço médio do frete rodoviário para exportação no Brasil entre 2011 e 2022  
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do USDA (2023h)

- **Preço do frete marítimo da soja das origens até a China**

A Figura 114 foi elaborada com dados da Reuters (2023). O intuito é apresentar uma *proxy* para o preço médio mensal do frete da soja dos EUA e do Brasil até a China. Respectivamente, utilizou-se os valores médios diários entre 2011 e 2022 com origem em Davant-LA, na região do golfo do México, e Paranaguá-PR até Dalian. Portanto, considera-se essa variável exógena ao modelo pelo fato de que os seus valores não são calculados internamente durante o processo de simulação.



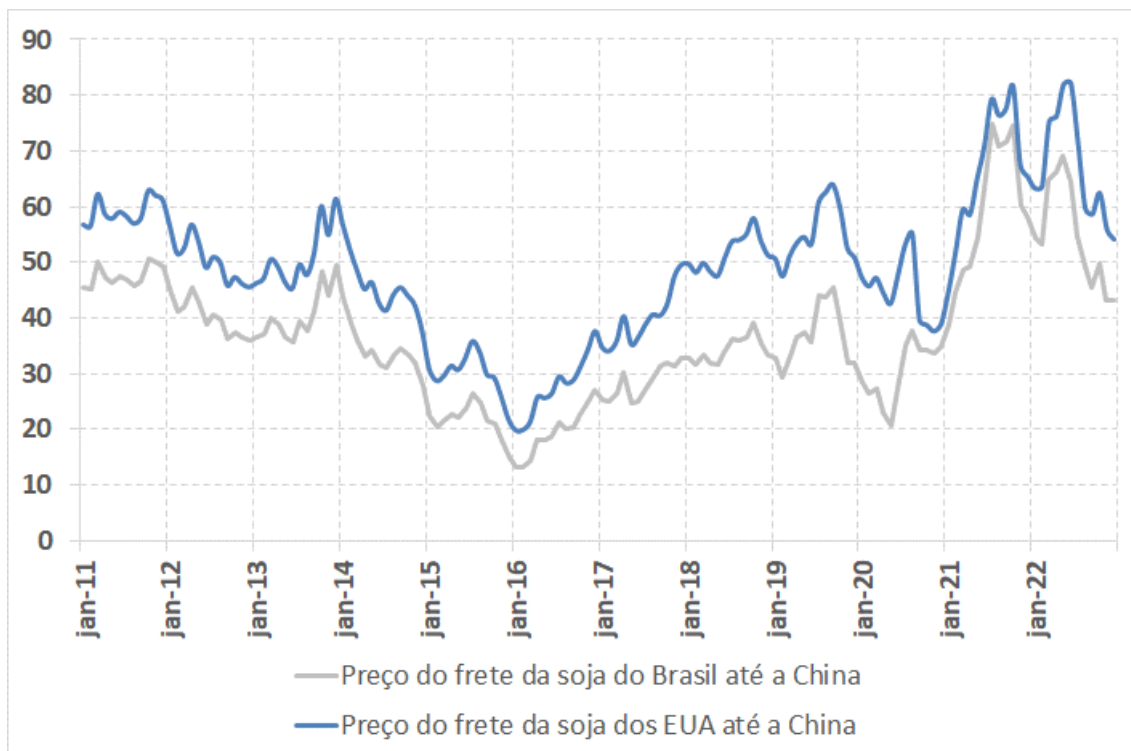


Figura 114 - Comportamento do preço médio mensal do frete da soja até a China entre 2011 e 2022, em US\$/ton

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da Reuters (2023)

- **Preço do prêmio da soja em outros países**

De acordo com a Cargonave (2016), APS (2023) e USDA (2023g), os EUA e o Brasil responderam, em média, por 83.1% das exportações mundiais de soja entre 2011 e 2022. Sendo que em 2022 atingiram 87.8%. Então, para efeitos de simplificação, além da limitação de informações disponíveis sobre outros exportadores, adotou-se os valores observados no golfo do México (lê-se: EUA) como o prêmio de “outros países”, servindo de comparativo concorrente com o produto brasileiro no mercado internacional.

A Figura 115 foi elaborada com dados da Reuters (2023b). O intuito é apresentar uma proxy para o preço médio mensal do prêmio da soja no resto do mundo. Sendo assim, utilizou-se os valores médios negociados em cada dia de funcionamento da CBOT entre 2011 e 2022 no golfo do México. É válido destacar que para cada dia, considerou-se apenas o valor atrelado ao contrato com data de encerramento mais próximo. Portanto, a necessidade desta variável ser exógena ao modelo justifica-se pelo fato de que ela vai afetar o modelo, mas não será afetada durante o processo de simulação do modelo.

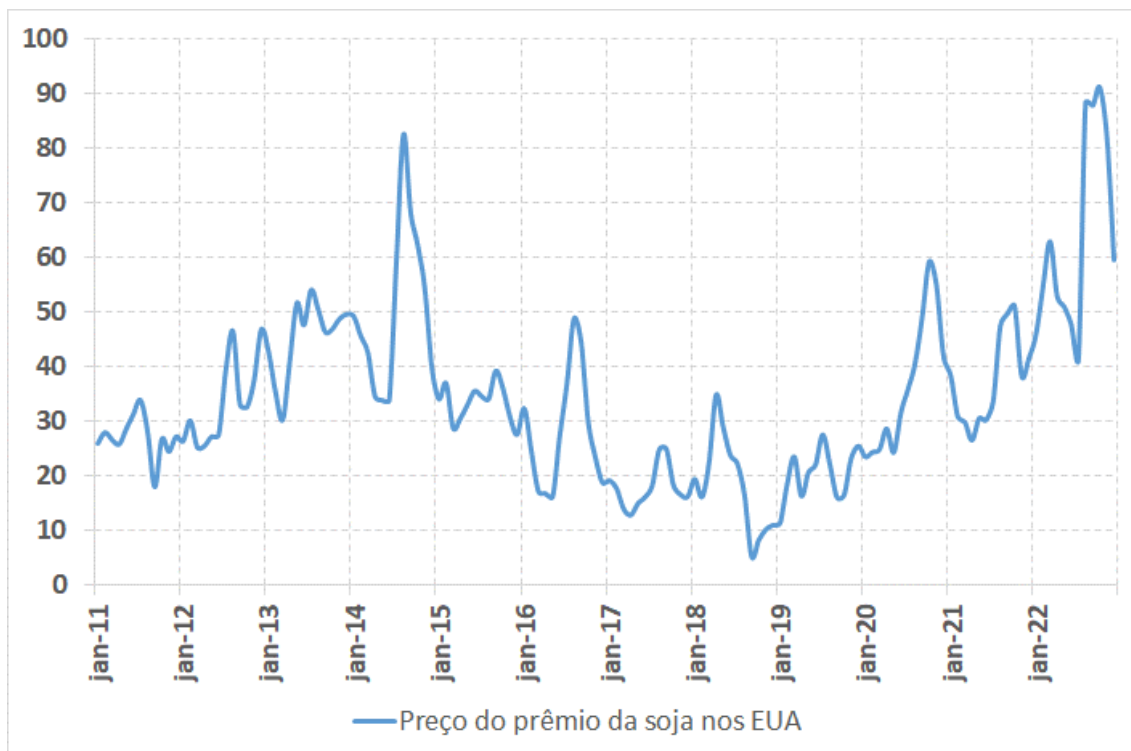


Figura 115 - Comportamento do preço médio mensal do prêmio da soja no golfo do México entre 2011 e 2022, em U\$/ton

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da Reuters (2023b)

- **Produtividade da soja no Brasil**

De acordo com os dados divulgados pela CONAB (2023), a Figura 116 apresenta a produtividade média anual da soja no Brasil entre 2011 e 2022. Em suma, ela é resultado direto do comportamento do clima e do nível tecnológico dos fatores de produção empregados, onde os insumos mais importantes são os fertilizantes, os defensivos agrícolas e as sementes. Neste quesito, destaca-se que em 2017 os fazendeiros adoraram de forma massiva a tecnologia de tipo Intacta. Sendo assim, uma notável mudança no patamar médio foi observada:

- Entre 2011 e 2016, a média foi de 2,9 toneladas/hectare, tendo como valores mínimo e máximo, respectivamente, 2,7 em 2012 e 3,1 em 2011.
- Entre 2017 e 2022, a média foi de 3,4 toneladas/hectare, tendo como valores mínimo e máximo, respectivamente, 3,0 em 2022 e 3,5 em 2021.

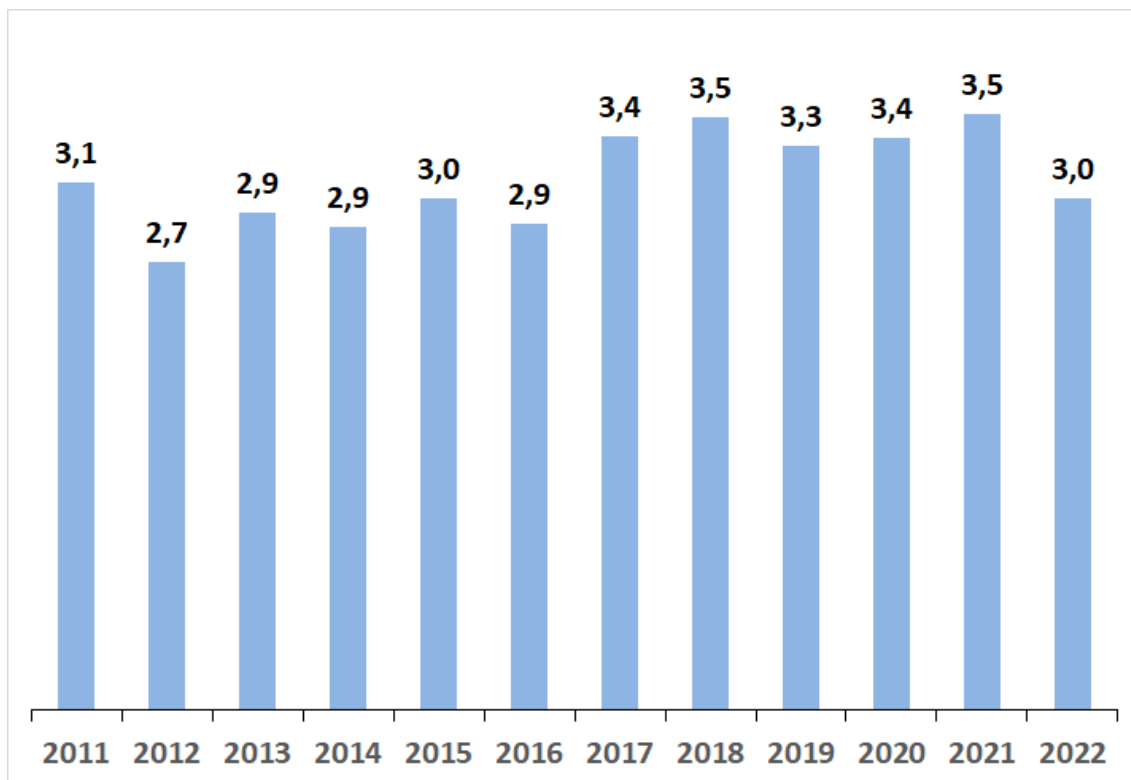


Figura 116 - Comportamento da produtividade média da soja no Brasil entre 2011 e 2022, em toneladas/hectare

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CONAB (2023)

- **Regularidade climática no Brasil**

Em suma, a regularidade climática observada durante os estágios fenológicos de desenvolvimento das plantas e a utilização de um determinado pacote tecnológico dos fatores de produção são as variáveis mais determinantes para os níveis de produtividade na agricultura. Entretanto, além da dificuldade em encontrar dados confiáveis, é bastante complexo quantificar e segmentar o quanto que os volumes de chuva e as oscilações das temperaturas impactaram diretamente a soja brasileira entre 2011 e 2022.

Sendo assim, no processo de modelagem, esses efeitos serão considerados inertes no primeiro momento. Na prática, replica-se durante o processo de simulação os valores de produtividade média da soja no Brasil divulgados pela CONAB (2023) entre 2011 e 2022, multiplicado por 1. Optou-se por deixar essa variável presente no modelo na eventualidade de se testar eventuais hipóteses sobre os valores observados.

- **Regularidade na importação de insumos**

Em suma, os principais insumos utilizados na produção de soja são: (1) fertilizantes e corretivos de solo, tais como calcário, gesso, macro e micronutrientes; (2) fungicidas; (3) herbicidas; (4) inseticidas; (5) adjuvantes; (6) sementes; e (7) água. O sucesso da produtividade é dependente da disponibilidade abundante desses materiais. Entretanto, o Brasil não é autossuficiente na fabricação de boa parte dos cinco primeiros itens supracitados. Sendo assim, impõem-se a necessidade de importá-los em larga escala.

Historicamente, o Brasil nunca teve problemas relevantes para adquirir no mercado internacional esses insumos. Sendo assim, no processo de modelagem, os efeitos dessa variável serão considerados inertes no primeiro momento. Porém, estará disponível para eventuais simulações sobre o que aconteceria com a produção brasileira de soja se o suprimento dessas matérias-primas fosse cortado.

- **Taxa de câmbio R\$/US\$**

De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2014), a taxa de câmbio pode ser definida como a quantidade de moeda local necessária para se adquirir uma unidade de moeda estrangeira. Destaca-se ainda que, quando o valor deste quociente aumenta, existe uma desvalorização cambial doméstica; já uma redução desta razão, significa que a moeda local se fortaleceu. Para o propósito desta tese, será considerado R\$/US\$, ou seja, quantos reais brasileiros equivalem a 1 dólar estadunidense, já que as cotações da soja têm como referência a bolsa de Chicago-IL, nos Estados Unidos.

Deste modo, é válido frisar que, do ponto de vista dos produtores brasileiros de soja, quanto mais depreciada for a taxa de câmbio R\$/US\$, mais unidades da moeda nacional eles obterão quando venderem seu produto, independentemente se o destino for esmagamento doméstico ou exportação. Já pela ótica do importador desta oleaginosa, nesse caso, ele precisará de menos dólares para comprar a mesma quantidade do item em questão. Sendo assim, em condições *ceteris paribus*, ou seja, tudo o mais mantido constante, é correto afirmar que há um aumento da competitividade do produto nacional no exterior quanto o Real se desvaloriza. Entretanto, cabe ressaltar que um ponto negativo importante para o fazendeiro local é que muitos dos insumos e máquinas utilizados no processo de produção são importados, logo sua cotação se dá em R\$/US\$.

Posto isso, destaca-se o quão importante é para os agentes econômico deste setor conhecerem o comportamento desta variável no momento de tomada de decisão sobre comercialização da soja. Além disso, é empiricamente observado que o ritmo de vendas costuma aumentar quando o R\$/US\$ se deprecia.

A Figura 117 foi elaborada com dados do BACEN (2023). Nota-se o comportamento da taxa de câmbio R\$/US\$ entre 2011 e 2022. Os preços reportados dizem respeito aos valores médios mensais cotados no momento do fechamento de cada pregão e do ponto de visto do vendedor de dólar.

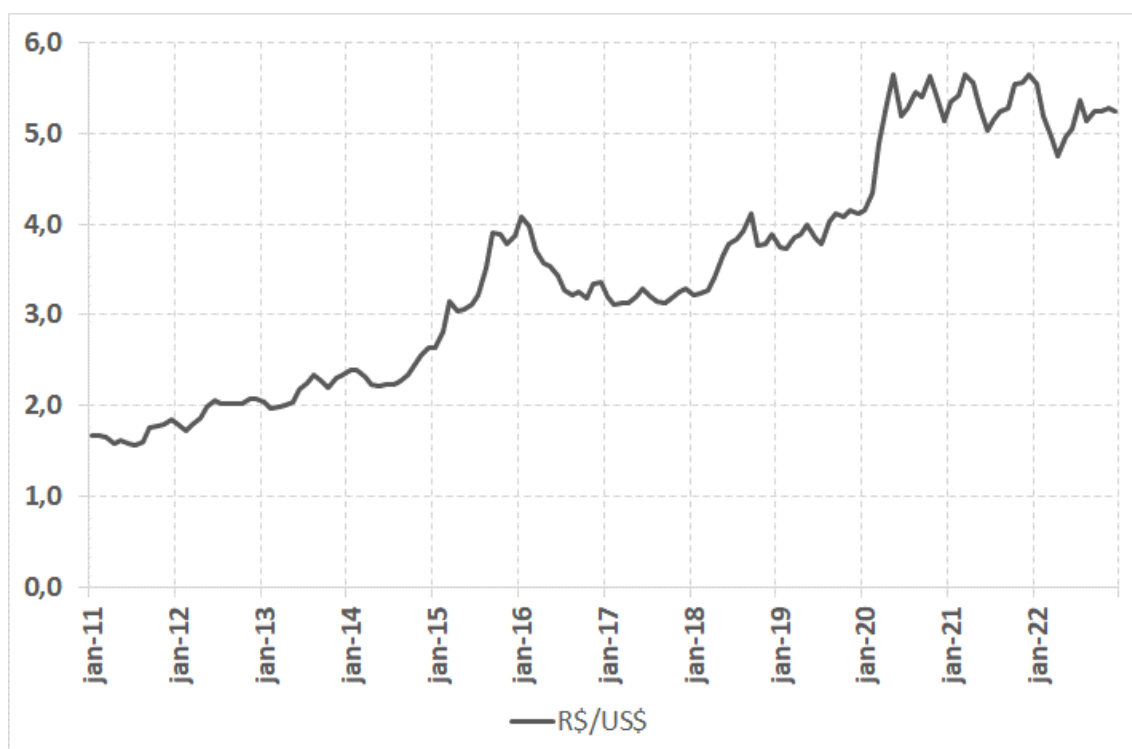


Figura 117 - Comportamento mensal da taxa de câmbio R\$/US\$ entre 2011 e 2022  
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do BACEN (2023)

Portanto, a decisão desta variável ser modelada como exógena ao modelo justifica-se pelo fato de considerar-se que ela impacta sim nas decisões de comercialização de soja no Brasil, entretanto, a despeito da expressividade desta oleaginosa na geração de divisas para a pauta de exportações brasileiras, ela sozinha não tem magnitude suficiente para influenciar o comportamento da taxa de câmbio, já que a economia do país é formada por uma gama enorme de outros agentes econômicos e produtos transacionados. Além disso, não se pode deixar de mencionar os constantes acontecimentos externos, que são resultados de um mundo extremamente globalizado e conectado, cujo dólar é a principal moeda de referência.

- **Taxa líquida de crescimento populacional na China**

A Figura 118 foi elaborada com dados do *World Bank* (2023) e apresenta a taxa líquida de crescimento populacional na China entre 2011 e 2021, calculada a partir do número total de habitantes no país em cada ano da série de dados. Nota-se um decréscimo significativo entre 2020 e 2021, talvez algo relacionado com o início da pandemia do coronavírus, momento no qual a taxa de natalidade pode ter diminuído.

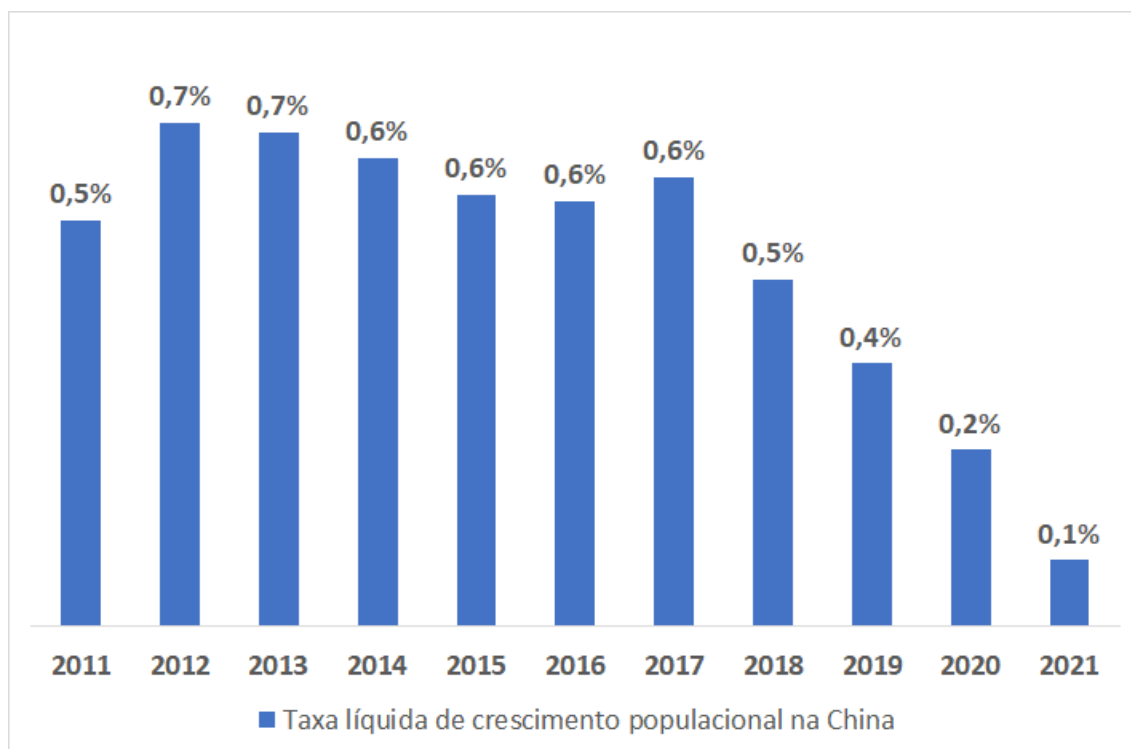


Figura 118 - Comportamento da taxa líquida de crescimento populacional na China entre 2011 e 2021

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do *World Bank* (2023)

- **Taxa líquida de urbanização da China**

A Figura 119 foi elaborada com dados do *World Bank* (2023b) e apresenta a taxa líquida de urbanização na China e o percentual da população morando em cidades entre 2011 e 2021. Chama a atenção o fato de que a população urbana está crescendo no período analisado, porém em um ritmo menor do que o observado no início da série de dados. Entretanto, como este é o país mais populoso do planeta, com cerca de 1,5 bilhão de habitantes, mesmo com uma taxa em um patamar menor do que o histórico, representa um êxodo rural significativo em termos de maior consumo de bens que usam a soja como matéria-prima, seja de forma direta ou indireta

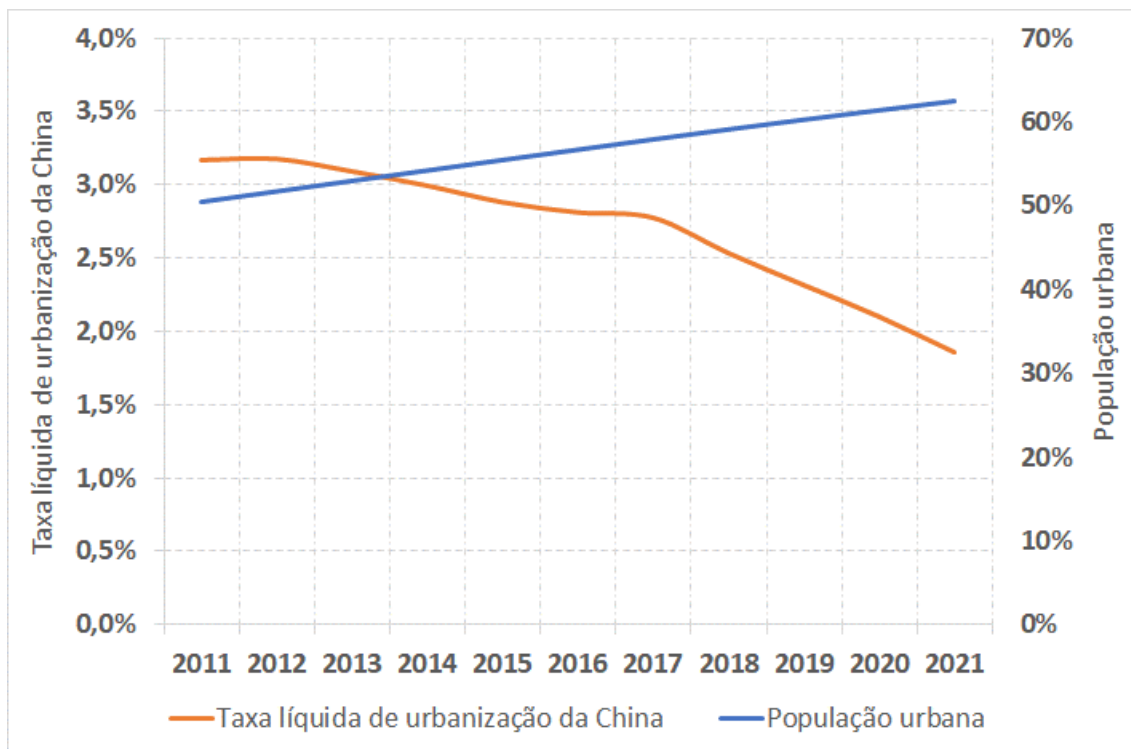


Figura 119 - Comportamento da taxa líquida de urbanização na China e o percentual da população morando em cidades entre 2011 e 2021

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do *World Bank* (2023b)

Por outro lado, a Figura 120 apresenta uma regressão linear simples entre os volumes totais que a China importou de soja e o crescimento de sua população urbana entre 1991 e 2021. O resultado pode indicar uma tendência de arrefecimento no consumo dessa oleaginosa na atual conjuntura, devido a uma certa aderência do modelo com uma curva do tipo S. Se isso for verdade, teria a capacidade de gerar efeitos adversos em toda a cadeia de abastecimento internacional.

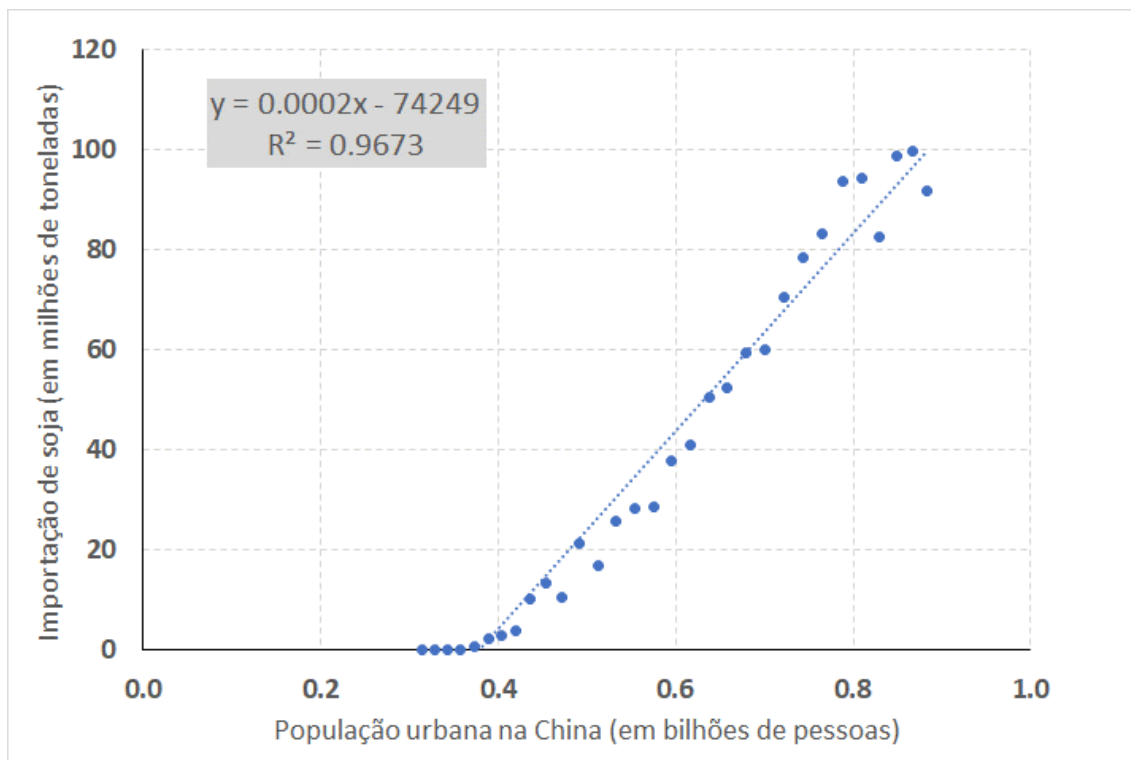


Figura 120 - Efeito nas importações chinesas de soja em função do crescimento da população urbana

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do World Bank (2023b) e do USDA (2023)

### H.3. Variáveis excluídas

- **Aspectos ambientais**

Em 25 de maio de 2012 foi promulgada a Lei 12.651. Ela ficou conhecida na mídia como o novo Código Florestal Brasileiro. Este versa sobre as normas gerais para a proteção da vegetação nativa, incluindo as áreas de preservação permanente, de reserva legal e de uso restrito; a exploração florestal, o suprimento de matéria-prima florestal, o controle da origem dos produtos florestais, o controle e prevenção dos incêndios florestais, e a previsão de instrumentos econômicos e financeiros para o alcance de seus objetivos. Sendo assim, desde então, o Brasil passou a ser considerado um dos países mais rígidos quando o assunto é a proteção de florestas.

Além do mais, quem costuma visitar regularmente as propriedades rurais espalhadas pelo Brasil, que é o caso do autor desta tese de doutorado, pode atestar que os sojicultores brasileiros, em sua imensa maioria, estão comprometidos em seguir não apenas a Lei 12.651, mas também um código de conduta pautado por diretrizes ambientalmente sustentáveis. Isso acontece, principalmente, porque além de ser financeiramente



vantajoso, já que se leva alguns anos para construir um perfil de solo adequado à produção, eles não querem sofrer embargos dos compradores internacionais e podem responder criminalmente pelas áreas que estão registradas como suas propriedades. Ademais, este tópico não guarda relação com a pergunta de pesquisa do estudo. Sendo assim, foi excluído qualquer alusão direta a ele do processo de modelagem.

- **Especuladores atuando na CBOT**

Os agentes econômicos operam em bolsas de mercadorias e futuros por diversas razões. Porém, em linhas gerais, pode-se separá-los em 3 grandes grupos: (1) os que buscam algum tipo de proteção, tais como os produtores rurais ou comerciantes de grãos; (2) os especuladores; e (3) outros.

Entretanto, é importantíssimo salientar que os fatores fundamentalistas observados nas variáveis que compõe a oferta e a demanda nem sempre são capazes de explicar, por si só, as oscilações nos preços. Isso acontece porque muitos investidores usam os mercados agrícolas para diversificar a alocação de capital ou simplesmente especular, ocasionando, assim descolando entre o que apontam os fundamentos e os preços observados.

Os EUA não é o maior produtor e exportador de soja na atual conjuntura. Entretanto, a CBOT, localizada em Chicago-IL, continua sendo utilizada como a bolsa internacional de referência para formação dos preços dessa oleaginosa. Talvez pela sua tradição, transparência e enorme liquidez. Sendo assim, a Figura 121, produzida com dados da CME (2023b) apresenta a média mensal de contratos nas mãos dos especuladores na bolsa de Chicago entre 2011 e 2022. Isso representa uma média de 30,4% em todo o período analisado. Entretanto, por uma questão de simplificação, optou-se por não considerar essas relações de causalidade na modelagem proposta.

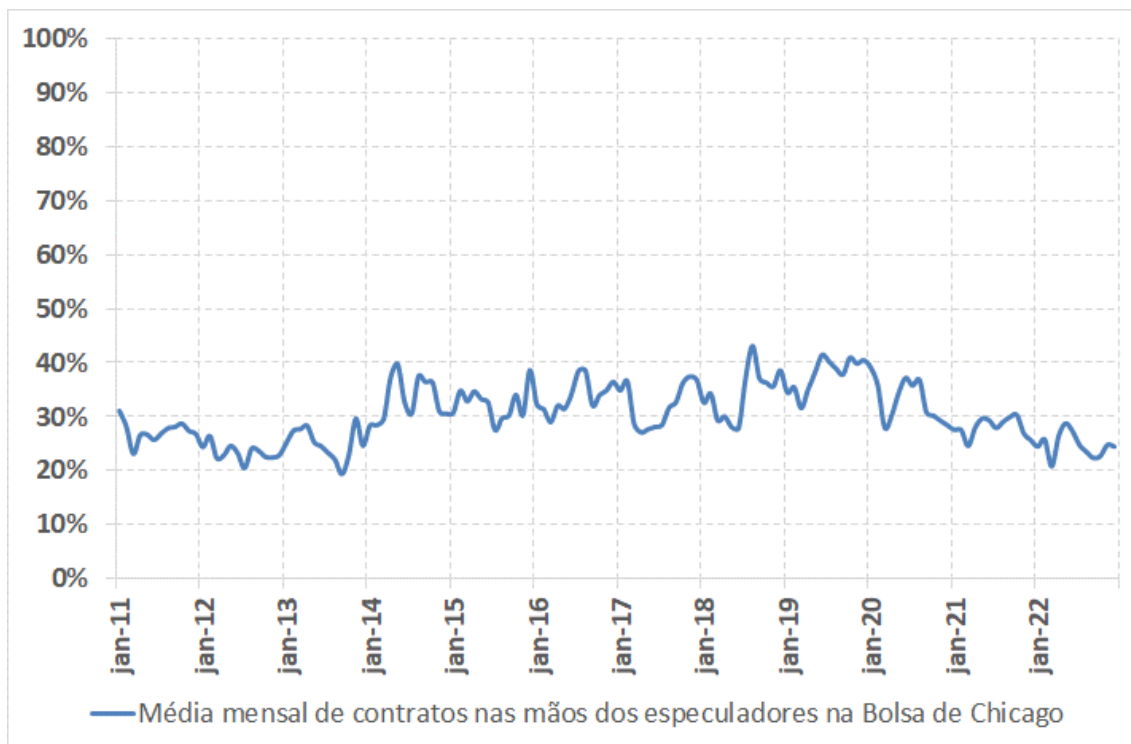


Figura 121 - Média mensal de contratos nas mãos dos especuladores na bolsa de Chicago entre 2011 e 2022

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CME (2023b)

- **Fatores políticos nacionais**

Alguns produtores rurais e um consultor de mercado relataram durante as entrevistas que os fazendeiros brasileiros sempre ameaçam que vão investir menos em expansão de área e na compra de novos equipamentos quando estão inseguros em relação aos rumos que o governo federal contemporâneo ao momento da decisão demonstra que dará ao país e no que concerne a postura quanto à coibição das invasões de propriedade privada. Fica aqui o registro da existência desta problemática, mas devido ao grau de subjetividade e falta de dados, decidiu-se, por simplificação, excluir esta variável da modelagem.

- **Leis tributárias**

Como ficou demonstrado no capítulo 3, parte significativa da soja brasileira tem como destino o mercado externo. Isso faz do Brasil o principal fornecedor mundial deste produto. Em partes, pode-se dizer que esta competitividade é garantida pela Lei Kandir, promulgada em 1996. Este dispositivo assegura isenção do pesado Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) sobre os bens e serviços primários e industrializados semielaborados vendidos ao exterior. Por mais que haja uma discussão sobre o fato deste ser um tributo estadual e o seu decreto de criação ser federal, o que faz

com que os entes da federação continuem cobrando ressarcimento da União, é razoável excluí-lo do modelo devido ao fato de que, pelo menos até 2023, cerca de metade dos congressistas integrarem a chamada “bancada ruralista”. Em tese, este grupo sempre estará atento à manutenção desse benefício. Outras formas de tributação, que podem incidir, em menor escala, sobre a soja também foram ignorados.

- **Logística de escoamento até o porto**

Este tópico poderia ser subdividido em diversos segmentos, tais como: (1) capacidade de armazenamento do produto ao longo das cadeias de produção e de escoamento; (2) opções para movimentação multimodal das cargas (rodo, ferro e/ou hidroviária); (3) velocidade de expedição no porto etc. Sumarizando, durante muitos anos o Brasil foi conhecido por ter uma performance ruim quando o assunto era retirar a soja das fazendas e embarcá-la nos navios, principalmente quando comparado com seus concorrentes Argentina e Estados Unidos. Ainda há um caminho a ser percorrido na tentativa de minimização destes problemas. Mas é preciso reconhecer que muito já foi feito e este é um problema que gera menos preocupações na atual conjuntura. Para exemplificar, uma síntese dessa melhora pode ser observada na Figura 122. Nota-se a diminuição do tempo médio (em dias) que um navio esperou para ser atendido em um porto brasileiro diminuiu consideravelmente depois de 2016. Sendo assim, aspectos concernentes à logística interna da soja não foram considerados no modelo.

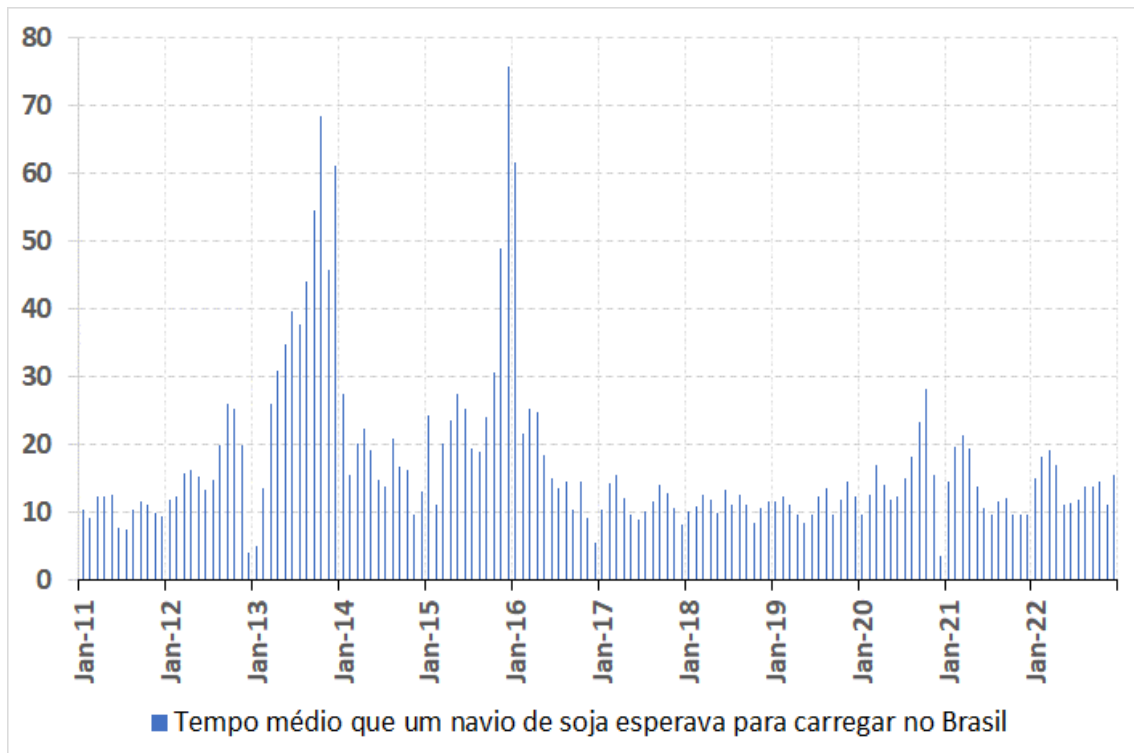


Figura 122 - Tempo médio (em dias) de espera de um navio nos portos brasileiros: da chegada no litoral do Brasil até o final da operação de carregamento e desatracação  
 Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados de Cargonave (2016) e APS (2023)

- **Impacto de outras culturas**

O modelo apresentado e discutido nesta tese de doutorado não considerou as eventuais relações de causalidade que possam existir entre as decisões tomadas por agentes que plantam outras culturas, tais como milho, cana-de-açúcar, trigo etc., e o setor sojicultor brasileiro. Ponderou-se que isso não faria parte do escopo inicialmente delineado. Entretanto, essa integração seria bastante interessante, ficando, assim como sugestão para trabalhos futuros, como por exemplo, a construção de um simulador.