



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA RURAL

FILOMENA NÁDIA RODRIGUES BEZERRA

**AVALIAÇÃO DA AGRICULTURA DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO E
INTELIGENTE AO CLIMA NO BRASIL**

FORTALEZA
2022

FILOMENA NÁDIA RODRIGUES BEZERRA

AVALIAÇÃO DA AGRICULTURA DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO E
INTELIGENTE AO CLIMA NO BRASIL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Rural da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Economia Rural. Área de concentração: Políticas Públicas e Desenvolvimento Rural Sustentável.

Orientador: Prof. Dr. José de Jesus Sousa Lemos.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B469a Bezerra, Filomena Nádia Rodrigues.
Avaliação da agricultura de baixa emissão de carbono e inteligente ao clima no Brasil / Filomena Nádia Rodrigues Bezerra. – 2022.
265 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, Fortaleza, 2022.
Orientação: Prof. Dr. José de Jesus Sousa Lemos.

1. Instabilidade climática. 2. Agricultura de baixo carbono. 3. Método de controle sintético. 4. Climate smart agriculture. 5. Semiárido. I. Título.

CDD 338.1

FILOMENA NÁDIA RODRIGUES BEZERRA

AVALIAÇÃO DA AGRICULTURA DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO E
INTELIGENTE AO CLIMA NO BRASIL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Rural da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Economia Rural. Área de concentração: Políticas Públicas e Desenvolvimento Rural Sustentável.

Aprovada em: 20/12/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José de Jesus Sousa Lemos (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Kilmer Coelho Campos
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Vitor Hugo Miro Couto Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Fernando Antônio Teixeira Mendes
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA)

Prof. Dr. Espedito Cesário Martins
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)

Aos meus pais, Fátima Bezerra e Lourival
Rodrigues (este *in memoriam*).

Às minhas irmãs, Alexandra e Priscília.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), Portaria nº 206, de 4 de setembro de 2018, à qual deixo agradecimentos.

Nesta Tese, reúne-se uma árdua jornada de desafios, construção e amadurecimento. Embora seja um processo solitário a que qualquer pesquisador esteja destinado, contém contributos de várias pessoas. Desde o início do curso, contei com a confiança e o apoio de inúmeras delas, sem cujos incentivos esta pesquisa não teria sido possível.

Agradeço a Deus por me proporcionar força e perseverança durante toda a minha trajetória de vida.

Externalizo minha imensa gratidão aos meus pais, Lourival Rodrigues (*in memoriam*) e à minha maior referência de mulher forte, batalhadora e de uma imensa generosidade, Fátima Bezerra. Grata por todo o esforço empenhado em prol da minha educação e dos meus irmãos. Não tenho palavras para expressar a minha gratidão por todos os momentos em que a senhora me deu amor, companheirismo, força e sustentação, quando mais precisei.

Manifesto a minha eterna gratidão às minhas irmãs, Alessandra e Priscília, minhas melhores amigas e conselheiras de uma vida, que sempre estão presentes em todas as etapas, me apoiando nos momentos mais difíceis e sempre comemorando as pequenas vitórias. Vocês fazem os meus dias serem mais leves!

Estendo os meus agradecimentos ao meu irmão, Flávio, pelo apoio e incentivo ao longo da minha trajetória. Aos meus irmãos, André, Cícero e Railda, por fazerem parte desse processo. Aos meus cunhados, Maristela e Gustavo, gratidão pelo apoio. À Belinha, por sempre me proporcionar alegria e amor incondicional.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José de Jesus Sousa Lemos, gratidão pelo acolhimento desde 2014, o apoio, a partilha do saber e as valiosas contribuições para o trabalho. Acima de tudo, obrigada por me acompanhar nesta jornada e por estimular o meu interesse pelo conhecimento e pela vida acadêmica.

Aos professores participantes da Banca Examinadora, Dr. Kilmer Coelho Campos (UFC), Dr. Vitor Hugo Miro Couto Silva (UFC), Dr. Fernando Antônio Teixeira Mendes (MAPA) e Dr. Espedito Cesário Martins (Embrapa), gratidão pelas relevantes contribuições sugeridas desde a Qualificação do Projeto de Tese.

Aos colegas e amigos da primeira turma do curso de Doutorado em Economia Rural, de 2019 do PPGER/UFC, como: Erivelton, Cícero, Alex, Laércio, Luciana e Pedro. Grata

pela convivência e por compartilharem suas experiências à extensão do curso. Agradeço ainda a Ediglê e Everton, pelo apoio e amizade. Sou imensamente grata pelas amizades que transcenderam os limites da Universidade.

Aos amigos que o PPGER/UFC me presenteou, Janaildo e Elanny, gratidão pela amizade, pelos grupos de estudos, pelo companheirismo e por sempre estarem presentes nos mais diversos momentos da minha trajetória.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Economia Rural (PPGER) da Universidade Federal do Ceará (UFC), que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a minha formação acadêmica. À bibliotecária do Departamento de Economia Agrícola (DEA), Margareth de Figueiredo, e à secretária do PPGER/UFC, Carlene Matias. Reconhecimento pelo apoio ao longo do curso.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), instituição que contribuiu efetivamente para a minha formação acadêmica, desde a Graduação em Engenharia Agrônoma em Crato-CE, *Campus* localizado na região do Cariri, passando pelo Mestrado e, hoje, com a finalização do Doutorado em Economia Rural.

Ao Prof. Dr. Fabiano da Silva Ferreira, da Universidade Federal do Cariri (UFCA), deixo o meu agradecimento por ser um dos grandes incentivadores desde a Graduação em Engenharia Agrônoma. Obrigada por me mostrar o caminho da Economia Rural!

Externalizo meu profundo agradecimento a todas as pessoas que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a concretização desta Tese, estimulando-me intelectual e emocionalmente.

“O homem é uma parte da natureza, e sua guerra contra a natureza é inevitavelmente uma guerra contra si mesmo.” (CARSON, 1962, p. 20)

RESUMO

O desafio da agricultura permeia a incompatibilidade entre os sistemas agrícolas tradicionais e a sustentabilidade socioambiental. Cabe destacar que há um agravante que provém das mudanças climáticas, representando uma grande ameaça à agricultura, à segurança alimentar e ao sustento de milhões de pessoas em escala global. Ante essa conjuntura, esta Tese objetiva mensurar os efeitos da instabilidade climática frente às estratégias da agricultura de baixa emissão de carbono e inteligente ao clima no Brasil. Especificamente, demandou-se: i) avaliar o impacto do Programa de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Programa ABC) sobre o valor da produção agrícola por emissão de gases do efeito estufa (GEE) no Brasil; ii) estimar o efeito da instabilidade climática sobre o valor da produção agrícola por hectare (VBP/ha) nos estados brasileiros; e iii) aferir o nível de implementação dos três pilares relacionados à abordagem da *Climate Smart Agriculture* (CSA) nos municípios da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte. Recorreu-se ao seguinte rol de procedimentos metodológicos de acordo com os objetivos: (i) método de controle sintético; (ii) método de dados em painel; e (iii) mensurado em três etapas - I análise da sustentabilidade da produtividade agrícola e da renda- taxa geométrica de crescimento (TGC) e pelas projeções das lavouras via modelo de média móvel integrado autoregressivo (ARIMA); II análise da resiliência da agricultura ao clima - análise fatorial; e III mensuração das emissões de GEE considerando as práticas agrícolas adotadas - método de dados em painel. Os resultados evidenciaram que o Programa ABC no Brasil apontou efeito positivo no aumento do valor bruto da produção por emissões de GEE do setor agropecuário, embora a distribuição de crédito esteja concentrada nas regiões Centro-Oeste e Sudeste. Quanto aos efeitos da instabilidade climática sobre o VBP/ha, os resultados apontaram que o aumento na pluviometria em anos de ocorrência de eventos *La Niña* elevou em 0,08% o VBP/ha. Já a elevação da temperatura em áreas irrigadas causou uma redução de 1,82% no VBP/ha. O acréscimo na fertilização com CO₂ em estados que possuem áreas irrigadas aumentou em 0,13% o VBP/ha, porém, caso as emissões de GEE extrapolarem os limites adequados para assimilação pelas plantas, o efeito será negativo. A área com cicatrizes de fogo não exibiu efeito significativo. No concernente à abordagem da CSA, os resultados do pilar I apontaram tendência de crescimento da produtividade e da renda para os Estados da Bahia e do Rio Grande do Norte, indicando sustentabilidade tanto no curto quanto no longo prazo, com exceção do Pernambuco; no pilar II, concluiu-se que apenas Pernambuco denotou resiliência da agricultura ao clima; pilar III: os municípios dos estados analisados estão aquém dos padrões desejados, já que prevalecem práticas convencionais não adaptadas à

agricultura de conservação. Em síntese, a formulação de políticas climáticas devem priorizar a capacitação técnica dos agricultores e a disseminação de melhores práticas que adotem os princípios relacionados a conservação, mitigação, adaptação e a resiliência da agricultura ao clima, com o intuito de reduzir os riscos na tomada de decisão.

Palavras-chave: instabilidade climática; agricultura de baixo carbono; método de controle sintético; *climate smart agriculture*; semiárido.

ABSTRACT

The challenge of agriculture permeates the incompatibility between agricultural systems traditions and socio-environmental sustainability. It should be noted that there is an aggravating factor that comes from climate change, posing a major threat to agriculture, food security and the livelihoods of millions of people on a global scale. Given this situation, this thesis aims to measure the effects of climate instability in the face of low-carbon and climate-smart agriculture strategies in Brazil. Specifically, we sought to: i) evaluate the impact of the Low Carbon Agriculture Program (ABC Program) on the value of agricultural production by emission of greenhouse gases (GHG) in Brazil; ii) estimate the effect of climate instability on the value of agricultural production per hectare (VBP/ha) in the Brazilian states; and iii) assess the level of implementation of the three pillars related to the Climate Smart Agriculture (CSA) approach in the municipalities of Bahia, Pernambuco and Rio Grande do Norte. The following methodological procedures were used according to the objectives: (i) Synthetic Control method; (ii) panel data method; and (iii) measured in three stages: I- analysis of the sustainability of agricultural productivity and income - geometric growth rate (GCT) and crop projections via the autoregressive integrated moving average model (ARIMA); II- Analysis of the resilience of agriculture to the climate - factor analysis; and III- measure GHG emissions considering the agricultural practices adopted - panel data method. The results showed that the ABC Program in Brazil had a positive effect in increasing the gross value of production by GHG emissions in the agricultural sector. Although credit distribution is concentrated in the Midwest and Southeast regions. As for the effects of climate instability on the VBP/ha, the results showed that the increase in rainfall in years of occurrence of La Niña events increased the VBP/ha by 0.08%. On the other hand, the increase in temperature in irrigated areas caused a reduction of - 1.82% in VBP/ha. The increase in CO₂ fertilization in states that have irrigated areas increased the VBP/ha by 0.13%. However, if GHG emissions exceed the appropriate limits for assimilation by plants, the effect will be negative. The fire-scarred area showed no significant effect. As for the CSA approach, the results of pillar I pointed to a trend of productivity and income growth for the states of Bahia and Rio Grande do Norte, indicating sustainability both in the short and long term, with the exception of Pernambuco; in pillar II it was possible to conclude that only the state of Pernambuco showed resilience of agriculture to the climate; pillar III: the municipalities of the analyzed states are below the desired standards, since conventional practices prevail that are not adapted to conservation agriculture. In summary, the formulation of climate policies should prioritize the technical training of farmers and the

dissemination of best practices that adopt the principles related to conservation, mitigation, adaptation and resilience of agriculture to the climate, with the aim of reducing risks in taking decision.

Keywords: climate instability; low carbon agriculture; synthetic control method; climate smart agriculture; semi-arid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Linha do tempo das Conferências das Partes (COP)	40
Figura 2 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)	42
Figura 3 – Elementos norteadores da abordagem da <i>Climate Smart Agriculture (CSA)</i> ...	71
Figura 4 – Componentes da resiliência	80
Figura 5 – Gestão de riscos futuros e criação de resiliência	82
Figuras 6 – Financiamentos do Programa ABC, por área e por valor contratado, de e 7 janeiro/2013 a janeiro/2019, respectivamente	165
Figura 8 – Representação gráfica das séries originais da produtividade média e do valor bruto da produção, por hectare (VBP/ha), das lavouras de feijão, mandioca e milho, juntamente com a função de autocorrelação (ACF) e autocorrelação parcial (PACF)	193
Figura 9 – Resultado da análise dos pilares da <i>Climate Smart Agriculture (CSA)</i>	235

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Emissões totais de CO ₂ e nível de desmatamento no Brasil (1990-2019)	54
Gráfico 2	– Evolução real e contrafactual da produção por emissões de GEE da agropecuária: Brasil <i>versus</i> controle sintético.....	144
Gráfico 3	– Diferença entre a produção por emissões de GEE na agropecuária (Brasil e o controle sintético)	146
Gráfico 4	– Teste de placebo: Indonésia <i>versus</i> Indonésia sintética.....	150
Gráfico 5	– <i>Gap</i> do efeito de tratamento entre a Indonésia real e sua versão sintética	150
Gráfico 6	– Teste de placebo temporal.....	151
Gráfico 7	– <i>Gap</i> do efeito de tratamento entre o Brasil real e sua versão sintética (com início em 2000)	151
Gráfico 8	– Teste de permutação: <i>Gap</i> da produção por emissões de GEE da agropecuária no Brasil e o <i>gap</i> do placebo para os países de controle.....	152
Gráfico 9	– Razão entre o erro quadrático médio (MSPE) pós e pré-tratamento: Brasil e os nove países do controle sintético.....	153
Gráfico 10	– Plano ABC no Brasil (2010-2020): compromisso e expansão da área das tecnologias de baixa emissão de carbono no setor agropecuário.....	159
Gráfico 11	– Cumprimento das metas de mitigação de CO ₂ e diante dos compromissos do Plano ABC (2010-2020)	160
Gráfico 12	– Contratos do Programa ABC no Brasil (em R\$ bilhões)	161
Gráfico 13	– Número de contratos do Programa ABC no Brasil (em R\$ bilhões)	162
Gráfico 14	– Comparativo entre o crédito concedido e o crédito disponibilizado pelo Programa ABC.....	163
Gráfico 15	– Valor total de contratos, conforme a região.....	164
Gráfico 16	– Valores observados e previstos para a produtividade média do Estado da Bahia	197

Gráfico 17 – Valores observados e previstos do VBP agregado, por hectare, do Estado da Bahia	197
Gráfico 18 – Valores observados e previstos para a produtividade média do Estado do Pernambuco.....	197
Gráfico 19 – Valores observados e previstos do VBP agregado, por hectare, do Estado Pernambuco.....	198
Gráfico 20 – Valores observados e previstos para a produtividade média do Estado do Rio Grande do Norte	198
Gráfico 21 – Valores observados e previstos do VBP agregado, por hectare, do Estado do Rio Grande do Norte.....	199
Gráfico 22 – Índice de Agricultura Resiliente ao Clima (ICRA) nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte (1945-2020)	210
Gráfico 23 – Índice de Agricultura Resiliente ao Clima (ICRA) e os períodos de chuva na Bahia	212
Gráfico 24 – Índice de Agricultura Resiliente ao Clima (ICRA) e os períodos de chuva em Pernambuco	213
Gráfico 25 – Índice de Agricultura Resiliente ao Clima (ICRA) e os períodos de chuva no Rio Grande do Norte	213

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrição das variáveis selecionadas para análise	87
Quadro 2 – Categorias das emissões de GEE adotadas na pesquisa	88
Quadro 3 – Descrição das variáveis, fonte dos dados e embasamento teórico.....	97
Quadro 4 – Descrição dos testes, ênfase da análise e hipóteses.....	103
Quadro 5 – Propriedades da FAC e FACP.....	111
Quadro 6 – Descrição das variáveis selecionadas para a elaboração do ICRA.....	120
Quadro 7 – Estatística Kaiser-Meyer-Olkin e níveis de adequação da análise fatorial.....	126
Quadro 8 – Classificação do CV, de acordo com a sua amplitude.....	130
Quadro 9 – Classificação da pluviometria para os estados selecionados.....	131
Quadro 10 – Descrição das variáveis selecionadas para aferir o pilar III da abordagem da CSA.....	135
Quadro 11 – Descrição dos testes, ênfase da análise e hipóteses.....	138

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Processo tecnológico, compromisso nacional e potencial de mitigação, via redução de emissão de GEE (milhões de megagramas - Mg de CO ₂ e).....	51
Tabela 2	– Valores médios das covariáveis do período de pré-tratamento para o Brasil e para a sua versão sintética.....	140
Tabela 3	– Pesos dos países que contribuíram para a elaboração da versão sintética do Brasil	142
Tabela 4	– Crédito do Programa ABC no Brasil: área investida, quantidade e valor dos contratos, por programa e subprograma.....	156
Tabela 5	– Estatísticas descritivas das variáveis selecionadas.....	171
Tabela 6	– Resultados dos testes aplicados com suas respectivas hipóteses.....	173
Tabela 7	– Resultados dos modelos robustos de Driscoll-Kraay: <i>pooled</i> , efeitos aleatórios (EA) e efeitos fixos (EF) para o painel de dados das Unidades Federativas (UF) do Brasil.....	177
Tabela 8	– Parâmetros comparativos para delimitação dos períodos de chuva (1901-2020)	185
Tabela 9	– Classificação dos períodos de chuva, de acordo com o padrão de cada estado selecionado (1901-2020 e 1945-2020)	185
Tabela 10	– Resultados do teste de comparação de médias entre as três classificações pluviométricas anuais observadas nos estados selecionados	186
Tabela 11	– Classificação e intensidade dos fenômenos do <i>El Niño</i> e da <i>La Niña</i> , no período de 1899 a 2018.....	187
Tabela 12	– Estatísticas descritivas e TGC das produtividades médias e dos valores brutos das produções (VBP) agregados, por hectare, dos estados selecionados (1945-2020)	188
Tabela 13	– Hipóteses e resultados do teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) aplicado aos estados selecionados	192

Tabela 14 – Modelos ajustados às previsões de produtividade média e valor bruto da produção agregado, por hectare, das lavouras de feijão, mandioca e milho nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte de 1945 a 2020	195
Tabela 15 – Resultados da relação entre os resíduos dos modelos ajustados para previsão e a precipitação pluviométrica anual entre 1945 e 2020, nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte	201
Tabela 16 – Estatísticas descritivas das variáveis selecionadas (1945-2020)	204
Tabela 17 – Resultados da estatística KMO e do teste de esfericidade e Bartlett.....	206
Tabela 18 – <i>Eigenvalues</i> , percentual explicado por fator, de <i>per se</i> , variância acumulada e pesos.....	207
Tabela 19 – Componentes (cargas fatoriais) e comunalidades.....	208
Tabela 20 – Teste de contraste para avaliar a diferença do ICRA nos períodos antes e depois da ocorrência de secas nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, no período de 1945 a 2020.....	214
Tabela 21 – Estatísticas descritivas das variáveis analisadas.....	219
Tabela 22 – Testes, hipóteses e estatísticas aplicados	225
Tabela 23 – Resultados dos modelos robustos de Driscoll-Kraay: <i>pooled</i> , efeitos aleatórios (EA) e efeitos fixos (EF) para os municípios da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte	229

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AF	Análise Fatorial
ACF	Autocorrelation Function
AFOLU	Agriculture, Forests and Other Land Use
APP	Área de Proteção Permanente
ATER	Assistência Técnica e Extensão Rural
AGE	Assessoria de Gestão Estratégica
ARIMA	Autoregressive Integrated Moving Average
BCB	Banco Central do Brasil
CRA	Agricultura Resiliente ao Clima
CSA	Climate Smart Agriculture
CV	Coeficiente de Variação
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
Contag	Confederação Nacional dos Trabalhadores na Agricultura
COP	Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
CUT	Central Única dos Trabalhadores
CRU	Climatic Research Unit
DID	Difference-in-Differences
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EA	Efeitos aleatórios
EF	Efeitos fixos
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database
FBN	Fixação biológica do nitrogênio
FBMC	Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas
FP	Florestas plantadas
FGV	Fundação Getúlio Vargas
GCM	Global Climate Monitor
GEE	Gases do Efeito Estufa
GFW	Global Forest Watch
IA	Índice de Aridez
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Inesc	Instituto de Estudos Socioeconômicos

iLPF	Integração lavoura-pecuária-floresta
Imazon	Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia
IPPU	Industrial Processes and Product Use
IGP-DI	Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KMO	Teste de Kaiser-Meier-Olkin
LULUCF	Land Use, Land-Use Change, and Forestry
Mapa	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MAPE	Erro percentual absoluto médio
MSPE	Razão do erro quadrático médio de previsão
MDA	Ministério de Desenvolvimento Agrário
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MCS	Método de controle sintético
MF	Ministério da Fazenda
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NAMA	Nationally Appropriate Mitigation Action
INDC	Intended Nationally Determined Contributions
OCB	Organização das Cooperativas do Brasil
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ODM	Objetivos do Desenvolvimento do Milênio
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
PACF	Partial Autocorrelation Function
PAM	Pesquisa Agrícola Municipal
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
Plano ABC	Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura
PPCDAm	Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal

PPCerrado	Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
RPD	Recuperação de pastagens degradadas
RMSPE	Ratio of Mean Square Prediction Error
RL	Reserva Legal
SAFs	Sistemas agroflorestais
SAD	Sistema de alerta do desmatamento
SEEG	Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa
SDC	Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo
SINARE	Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito
SPD	Sistema plantio direto
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TGC	Taxa geométrica de crescimento
TDA	Tratamento de dejetos animais
TT	Transferência de Tecnologia
UNFCCC	United Nations Framework Conference on Climate Change
UF	Unidades Federativas
WWF	<i>World Wildlife Fund</i>
VBP	Valor bruto da produção
ZAE	Zoneamento Agroecológico
ZARC	Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	Objetivos	30
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo geral</i>	<i>31</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos específicos</i>	<i>31</i>
2	EFEITOS DA INSTABILIDADE CLIMÁTICA NA AGRICULTURA	32
2.1	<i>Background</i> histórico acerca das medidas internacionais perante as mudanças climáticas	32
2.2	Do aquecimento global ao antagonismo das mudanças climáticas	43
2.3	O Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC) no Brasil	48
2.4	Avaliação de políticas públicas em estudos de casos comparativos	57
2.5	Impactos das alterações climáticas sobre a agricultura	61
2.6	A abordagem da agricultura inteligente ao clima (<i>Climate Smart Agriculture</i> -CSA)	67
2.7	Da vulnerabilidade à resiliência da agricultura às mudanças climáticas	74
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	85
3.1	Avaliação do impacto do Programa Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC)	85
<i>3.1.1</i>	<i>Área de estudo, descrição das variáveis e fonte dos dados</i>	<i>85</i>
<i>3.1.2</i>	<i>Estimação de impacto sob a perspectiva do método de controle sintético</i>	<i>89</i>
3.2	Segunda estratégia empírica: impacto da instabilidade climática na agricultura	94
<i>3.2.1</i>	<i>Área de estudo, descrição das variáveis e fonte dos dados</i>	<i>94</i>
<i>3.2.2</i>	<i>Modelos e estimadores aplicados a dados em painel</i>	<i>98</i>
3.3	Terceira estratégia empírica: abordagem da <i>Climate Smart Agriculture</i> (CSA)	103
<i>3.3.1</i>	<i>Pilar I da abordagem CSA: análise da sustentabilidade da produtividade e da renda das lavouras de feijão, mandioca e milho</i>	<i>104</i>

3.3.1.1	<i>Área de estudo, descrição das variáveis e fonte dos dados</i>	104
3.3.1.2	<i>Primeira etapa do pilar I da CSA: estimação das taxas geométricas de crescimento (TGC)</i>	106
3.3.1.3	<i>Segunda etapa do pilar I da CSA: modelos de previsões de lavouras de sequeiro nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte</i>	108
3.3.1.3.1	Teste de raiz unitária	111
3.3.1.3.2	A metodologia Box-Jenkins	113
3.3.2	<i>Relação entre os modelos de previsões para as lavouras de sequeiro com a precipitação pluviométrica nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte</i>	117
3.3.3	<i>Pilar II da abordagem CSA: resiliência da agricultura ao clima</i>	118
3.3.3.1	<i>Área de estudo, descrição das variáveis e fonte dos dados</i>	118
3.3.3.2	<i>O método de análise fatorial (AF)</i>	121
3.3.3.3	<i>Adequação global da análise fatorial</i>	124
3.3.3.4	<i>Métodos de extração e rotação dos fatores</i>	126
3.3.3.5	<i>Elaboração do Índice de Agricultura Resiliente ao Clima (ICRA)</i>	127
3.3.3.6	<i>Análise da resiliência da produção agrícola ao clima</i>	131
3.3.4	<i>Pilar III da abordagem CSA: redução e/ou remoção dos gases do efeito estufa na agricultura</i>	134
3.3.4.1	<i>Área de estudo, descrição das variáveis e fonte dos dados</i>	135
3.3.4.2	<i>Método de análise: dados em painel</i>	136
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	140
4.1	Programa ABC: elaboração de uma versão sintética do Brasil	140
4.1.2	<i>O efeito do Programa de Agricultura de Baixo Carbono (ABC) no Brasil</i>	142
4.1.3	<i>Inferência: testes de placebo</i>	149
4.2	Panorama do Programa ABC no Brasil	155

4.3	Resultados da mensuração do impacto da instabilidade climática na agricultura brasileira	170
4.3.1	<i>Estatísticas descritivas</i>	170
4.3.2	<i>Testes para seleção do modelo adotado pelo método de dados em painel</i>	173
4.3.3	<i>Efeitos da instabilidade climática sobre o valor bruto da produção agrícola</i>	174
4.4	Resultados da abordagem <i>Climate Smart Agriculture</i> (CSA) nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil	183
4.4.1	<i>Resultados do Pilar I da abordagem CSA: análise da sustentabilidade da produtividade e da renda das culturas agrícolas selecionadas</i>	184
4.4.1.1	<i>Crítérios delimitadores dos períodos de chuvas nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte</i>	184
4.4.1.2	<i>Primeira etapa do Pilar I da CSA: estatísticas descritivas e taxa geométrica de crescimento (TGC)</i>	188
4.4.1.3	<i>Segunda etapa do pilar I da CSA: resultados encontrados nas estimativas dos modelos ARIMA que embasaram as previsões da produtividade e renda das lavouras</i>	192
4.4.1.4	<i>Relação entre os resíduos gerados nos modelos de previsão e a precipitação pluviométrica</i>	201
4.4.2	<i>Resultados do pilar II da abordagem CSA: aferição da resiliência da agricultura ao clima</i>	202
4.4.2.1	<i>Primeira etapa do pilar II da CSA: estatísticas descritivas das variáveis selecionadas na pesquisa</i>	203
4.4.2.2	<i>Segunda etapa do pilar II da CSA: resultados associados à análise fatorial</i>	206
4.4.2.3	<i>Terceira e quarta etapas do pilar II da CSA: resultados associados ao Índice de Agricultura Resiliente ao Clima (ICRA) e ao teste de resiliência climática ante a precipitação pluviométrica</i>	209
4.4.3	<i>Pilar III da abordagem CSA: mensuração do impacto das práticas agrícolas nas emissões de gases do efeito estufa (GEE) em nível municipal</i>	218
4.4.3.1	<i>Análise das estatísticas descritivas</i>	218

4.4.3.2	<i>Mensuração dos efeitos das práticas agrícolas nas emissões de GEE via dados em painel</i>	225
4.4.3.3	<i>Panorama sob a abordagem da Climate Smart Agriculture (CSA) na Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte</i>	233
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	237
	REFERÊNCIAS	241

1 INTRODUÇÃO

Não é ocioso evidenciar o fato de ser a agricultura um setor que detém atividades desafiadoras, principalmente quando se trata de fatores complexos de serem gerenciados ou mesmo previstos, bem como vem acometendo o cenário global. A título de exemplos mencionam-se alguns acontecimentos relevantes, como: i) a pandemia causada pelo coronavírus (COVID-19)¹; ii) a intensificação das mudanças climáticas com efeitos no aumento da temperatura e na ocorrência de eventos extremos; e, mais recentemente, iii) a guerra entre Ucrânia e Rússia, que interfere no aumento do preço do petróleo e, por consequência, na elevação dos preços dos fertilizantes. Esses fatores citados, de proporções globais, estão direta e indiretamente interligados com o cenário agrícola internacional e brasileiro, uma vez que a indisponibilidade de insumos agrícolas e a elevação de seus preços são passíveis de causar o desequilíbrio na relação entre oferta e demanda dos principais produtos agropecuários, e a instabilidade climática intensifica a ocorrência de secas e/ou enchentes capazes de prejudicar as lavouras e, conseqüentemente, a renda dos agricultores.

Nas últimas décadas a agricultura mundial tornou-se, consideravelmente, mais eficiente. Em virtude do progresso tecnológico nos sistemas de produção e programas de reprodução agropecuária, houve ampliação do cultivo de alimentos e incremento de terras agrícolas. No decorrer da trajetória de transição de um rural considerado rudimentar (atrasado) pelo uso de técnicas simples para um rural tecnológico, em decorrência da inserção de máquinas e insumos agrícolas mais eficientes, o campo tornou-se palco para inúmeras transformações, não só em termos de eficiência técnica, mas também nas dimensões social, econômica, ambiental, intitucional, entre outras. Essa passagem foi retratada como a Revolução Verde², que representou uma profunda mudança na maneira de se produzir bens e produtos agrícolas.

O grande desafio permeia a incompatibilidade entre sistemas agrícolas tradicionais e a sustentabilidade socioambiental. Ante esse fato, torna-se impreterível o desenvolvimento de modalidades alternativas de produção e consumo de bens agrícolas, sobretudo, de alimentos. Ademais, cabe destacar, ainda, que há um agravante que provém das mudanças climáticas, as quais estão emergindo como uma grande ameaça à agricultura, à segurança alimentar e ao

¹ COVID-19 é a doença causada por um novo coronavírus chamado SARS-CoV-2. A Organização Mundial de Saúde (*World Health Organization, WHO*, sigla em inglês) soube desse novo vírus em 31 de dezembro de 2019, após um relato de um conjunto de casos de 'pneumonia viral' em Wuhan, China (WHO, 2022).

² A expressão "Revolução Verde" é empregada para designar o processo de transformação na agricultura em escala global que se deu por meio do desenvolvimento e incorporação de novos meios tecnológicos na produção. Esse fenômeno teve início na segunda metade do século XX, de 1960 a 1970.

sustento de milhões de pessoas em muitos lugares do mundo (ADAMS *et al.*, 1998; BALDOS; HERTEL, 2014; HANIF *et al.*, 2010; OLESEN; BINDI, 2002; ORTIZ-BOBEA, 2019). Vale ressaltar que a Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas (*United Nations Framework Conference on Climate Change*- UNFCCC, sigla em inglês), em seu artigo 1, define que a alteração climática é atribuída, direta ou indiretamente, à atividade humana que transforma a composição da atmosfera global e que é, além da variabilidade natural do clima, observada ao longo de períodos comparáveis (IPCC, 2014).

Sob esse contexto, alguns estudos mostram que as mudanças climáticas serão ainda mais problemáticas para a produção agrícola, caso não haja adaptação, enquanto a vulnerabilidade poderá ser aliviada com medidas adaptativas (DESCHÊNES; GREENSTONE, 2007; IPCC, 2014; MENDELSON; NORDHAUS; SHAW, 1994, STERN, 2006; UNEP, 2020), além de outros fatores como inovação em tecnologia agrícola, garantia de mecanismos de políticas, aumento da disponibilidade e/ou uso da água em terras agrícolas e investimentos em construções conservacionistas são capazes de mitigar alguns tipos de influxos negativos do aquecimento climático sobre os recursos hídricos agrícolas até certo ponto (LU *et al.*, 2019).

Com as alterações de longo prazo nos padrões de temperatura e precipitação, espera-se que se transformem as estações de produção, padrões de pragas e doenças, ao ponto de modificar o conjunto de safras viáveis que afetarão a produção, os preços, as produtividades e, em última instância, os meios de subsistência (FAO, 2010). Condições climáticas extremas, como potentes tempestades, altas pressões de ventos e altas temperaturas, têm elevada influência na agricultura, bem como incidência de geadas e transbordamento glacial.

O Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2014) reitera que a contínua emissão de gases do efeito estufa (GEE) promoverá mudanças duradouras em todos os componentes do sistema climático, aumentando a probabilidade de impactos graves, generalizados e irreversíveis, às pessoas e aos ecossistemas.

Nessa perspectiva, o relatório *Emissions Gap Report 2020* divulgado pela *United Nations Environment Programme* (UNEP, 2020) cita que, apesar da queda nas emissões de GEE em 2020, em decorrência da desaceleração econômica causada pela pandemia do novo coronavírus, o mundo ainda caminha para um aumento catastrófico de temperatura acima de 3°C neste século - muito além das metas do Acordo de Paris³. Tanto que, de acordo com o

³ Compromisso mundial firmado entre 195 países com meta na redução da emissão de gases do efeito estufa (GEE), precisamente no dia 12 de dezembro de 2015, durante a COP 21 (21ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas). A principal meta do Acordo de Paris é manter o aumento da temperatura da Terra bem abaixo dos 2°C, para garantir um futuro com baixa emissão de carbono, adaptável, próspero e justo para todos.

Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa – SEEG (OC, 2020), as emissões do setor agropecuário somaram 492,2 milhões de toneladas de CO₂ equivalente, o que corresponde a 25% das emissões do Brasil. As principais fontes de emissão direta da agropecuária são o rebanho bovino, que emite elevadas quantidades de metano (CH₄) por fermentação entérica (ocorre no rúmen dos animais) e o manejo de solos agrícolas, sobretudo, por meio da aplicação de fertilizantes nitrogenados (N₂O), seguidos pelo manejo de dejetos animais (CH₄ e N₂O), o cultivo de arroz irrigado (N₂O) e a queima de resíduos, como palha de cana-de-açúcar, que emite os três gases citados anteriormente.

Em concordância com os fatos abordados, apontam-se as principais iniciativas em uma linha do tempo, desde o movimento ambientalista após a Segunda Guerra Mundial, em 1962, com o livro de Rachel Louise Carson, *Silent Spring*, que fez um alerta sobre o uso agrícola de pesticidas químicos sintéticos, enfatizando a necessidade de respeitar o ecossistema, no intuito de proteger a saúde humana e o meio ambiente (CARSON, 1962), até a elaboração da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, em 2015, com 17 objetivos ambiciosos e interconectados, traduzidos como um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima, os quais abordam os principais desafios do desenvolvimento enfrentados por pessoas no Brasil e no mundo (ONU, 2021). As medidas fundamentadas ao longo das últimas décadas deram ênfase à preservação do meio ambiente e à demanda incessante por sistemas mais sustentáveis e com menores emissões de GEE.

Para Donatti *et al.* (2019), à medida que os governos estão se conscientizando dos impactos potenciais das mudanças climáticas com ênfase na agricultura, muitos estão desenvolvendo políticas de adaptação conexa aos pequenos agricultores; no entanto, em muitos casos, os governos carecem de informações para desenvolvê-las.

Nesse aspecto, o Brasil detém posição estratégica como produtor mundial de alimentos e, também, por ser um dos países a discutir, no âmbito internacional, a problemática acerca das mudanças climáticas. A título de exemplo, têm-se as iniciativas realizadas no Rio de Janeiro, em 1992. A Cúpula da Terra, como ficou conhecida, adotou a Agenda 21, um diagrama para a proteção do Planeta e seu desenvolvimento sustentável, a culminação de duas décadas de trabalho que se iniciou em Estocolmo em 1972 e a Conferência Rio +20, em 2012, que marcou os 20 anos da Eco 92 e que foi palco de debate sobre o futuro do planeta Terra nos próximos vinte anos (UN, 1972, 2021).

Dada a tendência mundial, no ano em que ocorreu a 15^a Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP15), em 2009, realizada em Copenhague, o Governo

brasileiro comprometeu-se com a redução de 36,1% a 38,9% das emissões⁴ de GEE até 2020 (BRASIL, 2012). No mesmo período, o Governo aprovou a Lei nº 12.187 que instituiu a Política Nacional de Mudança do Clima - PNMC (BRASIL, 2009). No ano seguinte, 2010, foi estabelecido o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC), elaborado de acordo com o artigo 3º do Decreto nº 7.390/2010 (BRASIL, 2010), composto por sete programas, seis referentes à mitigação e um à adaptação: i) recuperação de pastagens degradadas (RPD); ii) integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) e sistemas agroflorestais (SAFs); iii) sistema de plantio direto (SPD); iv) fixação biológica de nitrogênio (FBN); v) florestas plantadas (FP); vi) tratamento de dejetos animais (TDA); e vii) adaptação às mudanças climáticas (BRASIL, 2012).

A linha de crédito destinada ao Programa ABC completou sua primeira fase (2010-2020) e com isso tem-se a necessidade de avaliar o cenário rural durante a execução do Plano em questão, já que a perspectiva é dar continuidade à segunda etapa estabelecida pelo Plano ABC+. Entender o contexto das práticas agrícolas que sejam mitigadoras e adaptativas às mudanças climáticas possibilita desenhar melhores políticas públicas direcionadas para cada peculiaridade regional, pois não adianta tratar de maneira homogênea um país como o Brasil, que detém heterogeneidades entre as suas regiões. Nesse âmbito, esta pesquisa contempla a discussão acerca dos efeitos apresentados pelo Programa ABC no Brasil.

Como suplemento às estratégias mitigadoras e adaptativas às alterações climáticas, ressalta-se a recente abordagem da Agricultura Inteligente ao Clima (*Climate Smart Agriculture – CSA*, sigla em inglês), definida e defendida pela *Food and Agricultural Organizations - FAO* (2010), na Conferência de Haia sobre Agricultura, Segurança Alimentar e Mudanças Climáticas, em 2010, no intuito de contribuir para o alcance das metas de desenvolvimento sustentável. Esta, por sua vez, integra três dimensões (econômica, social e ambiental), com ênfase na segurança alimentar e nos desafios climáticos. É composta por três pilares principais: pilar I - aumentar de maneira sustentável a produtividade e os rendimentos agrícolas; pilar II - adaptar e constituir resiliência às mudanças climáticas; e pilar III - reduzir e/ou remover as emissões de GEE, quando possível (FAO, 2013).

⁴ De acordo com os dados da oitava edição do SEEG (2020), consolida uma reversão da tendência de redução das emissões no Brasil, verificada de 2004 a 2010. Desde 2010, ano de regulamentação da PNMC, que estabeleceu a primeira meta doméstica de redução de emissões no Brasil, o País elevou em 28,2% a quantidade de GEE despejados na atmosfera todos os anos.

Dada essa abordagem, conhecer os reais efeitos das mudanças climáticas na agricultura configura-se como de suma relevância para o planejamento das atividades agrícolas, uma vez que o agricultor não consegue antever os choques climáticos e, muito menos, os eventos extremos. Essa vulnerabilidade tem curso, principalmente, em regiões com instabilidade pluviométrica e elevadas temperaturas, como a região do Semiárido brasileiro. Para os agricultores, sobretudo, os que são da agricultura familiar, de modo geral, e possuem dificuldades quanto às condições de acesso ao crédito e às tecnologias adaptadas, a realidade remanesce desafiadora aos impactos das mudanças climáticas, principalmente, nos estados do Nordeste, que, naturalmente, convivem com secas recorrentes. Por essas condições, o ideal seria promover a resiliência da agricultura para que os produtores desenvolvam a capacidade adaptativa ao cenário de instabilidade do clima. Para Lemos (2020), as condições do Semiárido expõem as populações dos municípios a uma implicação decisiva sobre a formação e a distribuição da renda da região e acesso às condições básicas de sobrevivência.

Conforme as considerações acerca da temática em análise, torna-se relevante enfatizar a ideia de que as estratégias mitigadoras e adaptativas só se tornarão eficientes, em determinado país ou região, se as políticas de enfrentamento às mudanças climáticas conseguirem distinguir as peculiaridades de cada localidade, identificando as principais vulnerabilidades e os riscos, para que só então promovam a resiliência dos sistemas sob diferentes dimensões. Evidências como essas fomentam os questionamentos expressos à continuação.

- i) O subsídio ao crédito para a adoção de práticas mitigadoras de GEE estabelecido pelo Programa ABC é uma estratégia adequada para a transição da agricultura de baixo carbono no Brasil?
- ii) A maior concentração de crédito proveniente do Programa ABC está sendo destinada às áreas classificadas como mais vulneráveis às mudanças climáticas?
- iii) Apesar da adoção de políticas de enfrentamento às mudanças climáticas, os impactos na agricultura brasileira são crescentes e com intensidades diferenciadas, dependendo da região?
- iv) A abordagem da *Climate Smart Agriculture (CSA)* configura-se como uma boa estratégia para o enfrentamento às instabilidades climáticas sob as condições da região Nordeste brasileira?
- v) As estratégias adaptativas aplicadas pelos agricultores dos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte são capazes de promover a resiliência da agricultura ao clima?

As hipóteses que fundamentam este experimento acadêmico em entendimento estreito – Doutorado – estão delineadas sequencialmente. H₁ - Os recursos do Programa ABC estão contemplando as regiões mais vulneráveis do Brasil, conforme suas necessidades; ii) H₂ - A transição para sistemas de produção com baixa emissão de carbono enfrenta barreiras ligadas apenas à capacitação técnica dos agricultores; iii) H₃ - Os impactos das mudanças climáticas têm intensidades similares nas distintas Unidades da Federação do Brasil; e iv) H₄ Os três pilares da abordagem da *Climate Smart Agriculture (CSA)* são adotados pelos agricultores dos Estados da Bahia, Pernambuco e Grande do Norte.

Impende frisar-se que o surgimento de novas agendas políticas relacionadas à adaptação às mudanças climáticas, ao desenvolvimento sustentável e à convivência com o Semiárido, auferem ênfase, paulatinamente, desde os anos de 1990. Nessa contextura, novas perspectivas científicas são as abordagens da vulnerabilidade e da resiliência socioecológica (LINDOSO, 2013). O que, entretanto, se considera como “novo” permeia problemas antigos que assolam as regiões mais vulneráveis. Nessa conceição, a pesquisa ora sob relato justifica-se pela relevância da temática às discussões da literatura da área, bem como na formulação de políticas públicas ligadas aos aspectos climáticos, contribuindo para a elaboração de outras perspectivas e propostas que visem a reduzir os riscos na produção alimentar, sobretudo, na vida do produtor rural.

Além da Introdução agora expressa – seção inaugural - esta Tese se estrutura com outras cinco seções. Na segunda, está organizada a Revisão de Literatura acerca das medidas internacionais relativas a mudanças climáticas e agricultura, ao Plano ABC e à abordagem da *Climate Smart Agriculture (CSA)*. O terceiro módulo seccional corresponde à descrição dos Procedimentos Metodológicos utilizados para mensurar os objetivos propostos, ao passo que, na quarta, estão descritos os Resultados e Discussão. A quinta seção, entretantes, reporta-se às Considerações Finais, finalizando com as referências bibliográficas às quais se recorreu para assentar teórica e empiricamente a investigação

1.1 Objetivos

Esta subseção exprime os objetivos definidos na introdução, os quais foram norteadores para responder aos questionamentos desta demanda universitária *stricto sensu*..

1.1.1 Objetivo geral

Mensurar os efeitos da instabilidade climática perante as estratégias da agricultura de baixa emissão de carbono e inteligente ao clima no Brasil.

1.1.2 Objetivos específicos

- i. Avaliar o impacto do Programa de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Programa ABC) sobre o valor da produção agrícola por emissão de gases do efeito estufa (GEE) no Brasil.
- ii. Estimar o impacto da instabilidade climática sobre o valor da produção agrícola, por hectare, nos estados brasileiros.
- iii. Aferir o nível de implementação dos três pilares relacionados à abordagem da *Climate Smart Agriculture* (CSA) nos municípios dos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, pertencentes a região Nordeste.

2 EFEITOS DA INSTABILIDADE CLIMÁTICA NA AGRICULTURA

Neste segmento estão expressas as principais iniciativas internacionais e nacionais, no tocante ao enfrentamento às mudanças climáticas, bem como as perspectivas contemporâneas atribuídas aos impactos no setor agropecuário, como as estratégias do Plano ABC, oficialmente denominado Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, e da *Climate Smart Agriculture* (CSA). O módulo demonstra a realidade vinculada às alterações climáticas e seus efeitos, tendo como enfoque a conjuntura mundial, nacional e regional, como é o caso da região do Semiárido no Nordeste brasileiro.

2.1 *Background* histórico acerca das medidas internacionais perante as mudanças climáticas

A preocupação com matérias ambientais cresce, na atualidade, de maneira dramática, porém o crescimento foi mais acentuado mormente nas últimas décadas, em decorrência da agnição dos efeitos deletérios causados à natureza pelas atividades humanas. Há concordância na ideia de que, para enfrentar a problemática ambiental, a sociedade, via de regra, deve estar ciente da complexidade do processo, da participação individual e da necessidade de mudanças no que concerne à interação da humanidade com a natureza.

Com alicerce em estratégias internacionais que enfatizam um maior aprofundamento às questões inerentes aos efeitos climáticos nos diversos setores, ao debater essa temática, é pertinente destacar previamente as medidas substanciais fundamentadas nas últimas décadas. Precedentemente torna-se crucial mencionar, entretanto, a colaboração do químico e físico sueco Arrhenius (1896), vencedor do Prêmio Nobel de Química em 1903, pioneiro a quantificar que a contribuição do dióxido de carbono (CO₂) poderia alterar substancialmente a temperatura global, interferindo no efeito estufa. Ademais, o autor analisou se as variações na concentração de CO₂ na atmosfera contribuíram para variações de longo prazo no clima. Ao extenso do artigo, o dióxido de carbono é referenciado como “ácido carbônico”, conforme a convenção à época da escrita do texto.

Salienta-se que, na trajetória de reconhecimento dos impactos ambientais nos diversos setores, observaram-se alguns fatos marcantes, os quais colaboraram para maior discussão internacional acerca das mudanças climáticas. Um dos pontos de partida é retratado após a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), um período que representou grande bonança para

as sociedades ocidentais, em especial para os Estados Unidos e seus países aliados, com grande desenvolvimento urbano e rural. Boa parte da tecnologia desenvolvida nos tempos da guerra começou a deixar de ser de uso exclusivo dos militares e passou a ser acessível ao grande público (MELLO; HOGAN, 2007). Os autores reiteram que a notável expansão econômica e o fim dos combates estimularam as pessoas a voltarem a se casar e ter filhos, provocando o fenômeno conhecido como *Baby Boom*, aumento demasiado da natalidade, observada especialmente na América do Norte e em alguns países da Europa.

Desse modo, resultou na criação do âmbito ideal para o elevado consumo em massa, o que deu início ao processo de estabelecimento de uma cultura baseada no consumo, de modo incompatível com a capacidade de recuperação dos ecossistemas. Com esteio nessa conceição, houve a necessidade de maior oferta de alimentos à população *yankee* e para os países carentes ou destruídos pela guerra, resultando no incremento da produção agrícola. Com significativas mudanças, desde os anos de 1940, a então denominada Revolução Verde⁵ foi responsável por desenvolver tecnologias, nas quais os Estados Unidos se beneficiaram economicamente com o emprego dos métodos da indústria química e farmacêutica na agricultura, como sistemas de irrigação, sementes com alto rendimento, intensa mecanização, fertilizantes, além de herbicidas, fungicidas e pesticidas químicos, no intuito de elevar a produção de alimentos (CARSON, 1962; BONZI, 2013).

Nessa conjuntura, o dicloro-difenil-tricloroetano (DDT), sintetizado em 1874, era utilizado na Segunda Guerra para combater insetos transmissores de tifo, malária e febre amarela. As propriedades como inseticida só foram descobertas em 1939, pelo químico suíço Paul Hermann Müller (1899-1965) que, por essa descoberta, lhe rendeu o Nobel de Medicina e Fisiologia em 1948, motivo pelo qual os defensores da indústria ostentavam o máximo reconhecimento científico (BONZI, 2013). Em razão do seu baixo custo e da sua eficiência, em pouco tempo, o DDT passou a ser usado em grande quantidade (e descontroladamente) nas lavouras, hortas e jardins, em todo o País.

Nesse percurso da discussão, torna-se crucial citar Rachel Carson⁶, que, em 1958, iniciou um trabalho que até a atualidade é considerado um marco histórico. No ano citado, ao

⁵ Com o convite do governo mexicano para a Fundação Rockefeller dos Estados Unidos, o programa teve início em 1946, a fazer estudos sobre a fragilidade de sua agricultura. Essa aliança fez com que os cientistas criassem variedades de milho e trigo de alta produtividade, as quais contribuíram para o aumento dos níveis de produção no México. Posteriormente, essas sementes foram introduzidas e cultivadas em outros países, configurando um fator marcante na trajetória da intensificação tecnológica no meio rural.

⁶ Rachel Carson foi uma bióloga marinha, ecologista e escritora ianque, mencionada como a deflagradora do movimento ambientalista moderno. Em 1955, Rachel Carson tornou-se, então, a principal escritora de ciências dos Estados Unidos.

receber uma carta de Olga Owens Huckins, proprietária de uma área preservada, na qual relatava a morte de pássaros após a pulverização aérea com inseticidas em uma propriedade vizinha, notou o silenciar desses passarinhos em sua propriedade (QUARATIELLO, 2004). Tal fato que impulsionou Carson a escrever um artigo em que relacionava os danos causados à vida dos pássaros com o uso do DDT na agricultura e, posteriormente, resultou na publicação do livro *Primavera Silenciosa (Silent Spring)* em 1962. A autora foi alvo de inúmeras críticas, principalmente por parte das indústrias químicas, que tentaram de todas as maneiras atacar a sua credibilidade como cientista.

Carson (1962) fez um alerta sobre os perigos para todos os sistemas naturais do uso indevido de pesticidas químicos, como o DDT, e questionou o escopo e a direção da ciência moderna, dando início ao movimento ambientalista contemporâneo. Lago e Pádua (1984) reiteram que provocou grande comoção na opinião pública dos EUA, abrindo, assim, o debate no campo da ecologia social. O livro tornou-se um *best seller*, mobilizando a opinião pública e o presidente da época, John Fitzgerald Kennedy, que solicitou ao Comitê de Consultoria Científica estudar as propriedades dos pesticidas (BONZI, 2013). A autora tornou-se uma revolucionária social e *Silent Spring* destacou a necessidade de respeitar o ecossistema para proteger a saúde humana e o meio ambiente, tornando-se um dos manuais para o futuro de toda a vida na Terra (ONU, 2021).

Após a intenso decênio de 1960, os ideais que até aquela data foram colocados em pauta começaram a ser postos em prática. Em meio a tantas discussões, a dimensão ambiental foi questionada, passando por várias fases importantes até ser tratada como um fenômeno global na contemporaneidade. Na literatura, o influxo primário foi retratado pelo Clube de Roma em 1968 que, de acordo com Van Bellen (2002), era composto por uma associação de cientistas políticos e empresários inquietos com as questões globais, havendo resultado na encomenda de projetos relacionados.

Enquanto a preocupação universal sobre o uso saudável e sustentável do Planeta e de seus recursos continuou a crescer, em 1972, a Organização das Nações Unidas (ONU) convocou a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, em Estocolmo. Fruto dessa iniciativa surgiu um dos estudos mais importantes e mundialmente conhecidos como *The Limits to Growth* (MEADOWS *et al.*, 1972).

O relatório sob comento evidenciava que a maioria dos problemas ligados ao meio ambiente ocorria na escala global e se acelerava de modo exponencial, rompendo com a ideia da ausência de limites para exploração dos recursos naturais, em contraposição à ideia concepção dominante de crescimento contínuo da sociedade industrial (VAN

BELLEN, 2002). Além disso, o crescimento econômico precisava ser barrado para se evitar que o esgotamento dos recursos naturais e a poluição provocassem uma queda brusca do nível de vida (ROMEIRO, 2012).

Como resultado, a Declaração de Estocolmo defende, principalmente, metas e objetivos de política ambiental amplos, em vez de posições normativas detalhadas. Após Estocolmo, no entanto, a consciência global das questões ambientais aumentou dramaticamente, assim como a legislação ambiental internacional adequada. Ao mesmo tempo, a ênfase do ativismo ambiental internacional se expandiu gradativamente além das questões comuns transfronteiriças e globais para a regulamentação específica da mídia e intersetorial e a síntese de considerações econômicas e de desenvolvimento na tomada de decisões ambientais (HANDL, 2012).

Aproveitando a energia gerada pela Conferência, a Assembleia Geral criou, em dezembro de 1972, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), que coordena os trabalhos em nome do meio ambiente global (UN, 1973). Atualmente, desenvolve-se uma série de conferências focalizadas em aspectos ambientais das catástrofes e conflitos, a gestão dos ecossistemas, a governança ambiental, as substâncias nocivas, a eficiência dos recursos e as mudanças climáticas (ONU, 2021).

Com as discussões acerca do modelo de desenvolvimento adotado mundialmente, surgiu em 1973 um conceito até então desconhecido, o termo **Ecodesenvolvimento**, conduzido por Ignacy Sachs como alternativa à abordagem clássica do desenvolvimento. Tanto Sachs quanto Maurice Strong empregaram este conceito como sinônimo de Desenvolvimento Sustentável, apontando cinco dimensões interconectadas: social, econômica, ecológica, espacial e cultural (SACHS, 1986, 1993, 2009). A proposta de um novo estilo de desenvolvimento apontado configurava-se como uma espécie de terceira via, mostrando-se como alternativa à bipolarização que o debate então assumira: de um lado, a proposta do crescimento zero⁷ e, de outro, as exigências desenvolvimentistas dos países classificados como de terceiro mundo: seu direito ao crescimento (FERNANDEZ, 2011).

No ano seguinte, em 1974, ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento, em Cocoyoc, México, a qual resultou na Declaração de

⁷ Essa ideologia foi difundida pelo Relatório do Clube de Roma (MEADOWS *et al.*, 1972). Para muitos caracterizou-se como um retorno aos temas malthusianos, os quais afirmavam que o esgotamento dos recursos naturais e a poluição exerceriam os mesmos papéis dos elementos relacionados à agricultura, como a limitação das terras disponíveis e aos rendimentos decrescentes.

Cocoyoc, considerada por diversos autores como fundamental para estabelecer a nova percepção do vínculo entre sociedade e natureza, ao incorporar e fortalecer a ideia de que existem limites ambientais para o desenvolvimento (MELO; HOGAN, 2007; VAN BELLEN, 2002).

Para Romeiro (2012), a incumbência dos países industrializados no tocante aos problemas do subdesenvolvimento está em seu nível exorbitante de consumo. Nessa concepção, os países têm que reduzir seu consumo e sua participação incompatível com a poluição.

Posteriormente, em 1983, a convite do Secretário-Geral da ONU, a médica e ex-primeira Ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, foi escolhida para estabelecer e presidir a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Os resultados do trabalho foram publicados em 1987, tendo sido o documento denominado *Our Common Future (Nosso Futuro Comum)*, conhecido como Relatório Brundtland, e pela primeira vez foi utilizado o conceito de Desenvolvimento Sustentável, definido como aquele que atende às necessidades das gerações atuais sem comprometer a capacidade de as futuras gerações terem as próprias necessidades atendidas (BRUNDTLAND *et al.*, 1987). Os autores do relatório ressaltam que o crescimento econômico leva ao risco ambiental, trazendo um alerta para que seja levado a sério.

Posteriormente, em 1988, foi criado o *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, por meio da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, com o propósito de fornecer aos formuladores de políticas e avaliações científicas regulares sobre as mudanças climáticas, suas implicações e potenciais riscos futuros, bem como oferecer opções de adaptação e mitigação (IPCC, 2021). O IPCC determina, por meio de suas avaliações, o estado do conhecimento sobre as mudanças climáticas, identificando onde há acordo na comunidade científica sobre tópicos relacionados e onde há a necessidade de mais pesquisas.

Nessa trajetória, realizada no Brasil, especificamente no Rio de Janeiro, a II Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, em 1992, mais conhecida como a Cúpula da Terra, Rio-92, adotou a Agenda 21, um diagrama para a proteção do Planeta e seu desenvolvimento sustentável, a culminação de duas décadas de trabalho que se iniciou em Estocolmo em 1972 (UN, 1973). Juntamente com essa iniciativa, a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC) foi adotada como principal instrumento internacional direcionado às mudanças climáticas (ONU, 2021)

Dado o reconhecimento dos impactos ambientais provocados pelos modelos de desenvolvimento adotados pelos países, somente em 1997, em Kyoto, foi estabelecido o Protocolo de Kyoto, o primeiro tratado vinculante sob o Direito internacional visando a reduzir os Gases de Efeito Estufa (GEE), um marco na política climática internacional. Este, por sua vez, estipulou metas obrigatórias para 37 países industrializados e à comunidade europeia para que reduzissem suas emissões a um nível 5% inferior aos observados em 1990, meta esta a ser atingida até 2012. Após a assinatura de 141 países, entrou em vigor apenas em 16 de fevereiro de 2005 (IPCC, 2014; 2018).

Ressalta-se que Nordhaus (1982), apontado como precursor em discutir a mudança climática, é mencionado como a grande referência no esforço para dar uma intervenção rigorosa a um problema que, teoricamente, não deveria exigir um tratamento especial. Em teoria, o problema do aquecimento global poderia ser solucionado como o de uma externalidade ambiental qualquer, decorrente de falha do mercado ao usar os recursos naturais públicos, por intermédio da precificação do serviço ecossistêmico de regulação climática (ROMEIRO, 2012).

Subsequente a essa abordagem, Nordhaus (2005) defendeu, em *Life after Kyoto*, uma tributação global contraposta aos mecanismos do Protocolo. O tributo comum seria usado por todos os países acerca das emissões de carbono e conservariam a receita; mas os países pobres não seriam tributados. Nessa concepção, o custo marginal do carbono seria uniformizado, ao ponto de mudar as estruturas tributárias de alguns países e de promover a redução da probabilidade de corrupção nos instrumentos do Protocolo de Kyoto

Por essa razão, o governo inglês, alarmado com o lento progresso obtido desde 1992, publicou o Relatório Stern, elaborado por uma grande equipe chefiada por Nicholas Stern. O relatório avaliou uma gama de evidências sobre os impactos das mudanças climáticas, bem como acerca dos custos econômicos, e usou uma série de técnicas diferentes para avaliar custos e riscos. O relatório tornou-se um dos mais influentes sobre as mudanças climáticas já produzidas desde o seu lançamento pelo Governo do Reino Unido em 2006 (STERN, 2006).

Uma das conclusões de Stern (2006) retratou que, o somatório dos custos e riscos das alterações climáticas será proporcional à perda anual de, no mínimo, 5% do Produto Interno Bruto (PIB) global por ano; entretanto, com possibilidade de chegar a 20% ou mais do PIB por ano, o que provocaria uma recessão mundial sem precedentes. Em contrapartida, os custos para evitar os piores impactos das alterações climáticas poderiam ser limitados anualmente a cerca de 1% do PIB global. O autor afirma que, de todas as perspectivas, as

evidências coletadas pelo Relatório levam a uma conclusão simples: os benefícios de uma ação precoce e forte superam em muito os custos econômicos de não agir. Stern critica o modelo gradualista, como o oferecido por Nordhaus, uma vez que não contabiliza uma série de impactos e, em especial, os de cariz catastrófico.

Para Romeiro (2012), a emergência da problemática relacionada ao aquecimento global nos anos 1990 trouxe uma implicação notável na discussão acerca do desenvolvimento sustentável sob duas perspectivas cruciais: i) o problema alusivo ao tratamento do risco ambiental; e ii) a questão do *trade-off* entre crescimento econômico e meio ambiente. Para o autor, na primeira perspectiva, o conceito de precaução é elevado à condição de princípio, formalmente adotado na Conferência Rio 92. No caso do aquecimento global e seu enfrentamento, com base no Protocolo de Kyoto, evidencia-se a segunda perspectiva sob escólio, já que a vertiginosa contração do nível de emissões tem custo elevado. Os resultados expostos nas sucessivas conferências sobre o meio ambiente após a Rio 92 foram bem aquém do esperado. Nessa perspectiva, o *trade-off* citado tornou-se o principal motivo para a ocorrência dessa realidade.

As discussões durante as últimas décadas, acerca dos impactos e estratégias mitigadoras às mudanças climáticas, desde a primeira Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (1995), em Berlim, propuseram inúmeras metas que, de certo modo, foram insuficientes para tratar a grandiosidade do problema, que a cada ano se agrava ainda mais, em consequência da lentidão e da instabilidade na adequação dos países para sistemas menos impactantes ao meio ambiente.

Em princípio, países industrializados ainda têm obrigações sob o Protocolo de Kyoto, substituído por um tratado posterior, o Acordo Climático de Paris, de 2015. Desde este acordo, quase todos os países concordaram em limitar o aquecimento global a 2 graus Celsius acima dos níveis pré-industriais. Os signatários do pacto se comprometeram com metas climáticas nacionais e de redução de CO₂, porém, poucos países têm cumprido suas metas em acordos recentes. Diferentemente dessa realidade, as emissões globais de GEE denotaram um aumento de 41% desde 1990 e continuam a aumentar (WRI BRASIL, 2021). O alerta reitera que, se as emissões de CO₂ forem mantidas nos níveis atuais, a Terra se aquecerá cerca de 3°C até o final do século.

O Relatório Especial *Global Warming of 1.5°C* do IPCC (2018) mostra que as tendências recentes nas emissões e o nível de ambição internacional indicado por contribuições nacionalmente determinadas, dentro do Acordo de Paris, desvia-se de um caminho consistente com a limitação aquecendo bem abaixo de 2°C. Sem ambição de

mitigação crescente e urgente nos próximos anos, levando a um declínio acentuado nas emissões de GEE até 2030, o aquecimento global ultrapassará 1,5 °C nas próximas décadas, levando à perda irreversível dos ecossistemas mais frágeis e a crise após crise para as pessoas e sociedades mais vulneráveis.

Embora a mudança na temperatura média global informe aos pesquisadores sobre as transformações na Terra como um todo, olhar mais de perto para regiões, países e estações específicas revela detalhes importantes. Desde os anos de 1970, a maioria das regiões terrestres se aquece mais rapidamente do que a média global. Isso exprime que o aquecimento, em muitas regiões, já ultrapassou 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais. Mais de um quinto da população global vive em regiões que já experimentaram aquecimento, em, pelo menos, uma estação, superior a 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais (IPCC, 2014, 2018).

No âmbito desta discussão, se faz pertinente mencionar a Conferência das Partes (COP), reunião anual das 197 Partes (um país ou bloco de países que aderiu a um acordo internacional) que aderiram à UNFCCC. É um acordo ambiental internacional adotado em 1992 para estabilizar as emissões globais de GEE. Desde então, os países demandam por estratégias para atingirem as metas estipuladas, visando a evitar o agravamento das mudanças climáticas (UNEP, 2020; IPCC, 2014; 2018). Desse modo, a linha do tempo das Conferências das Partes (COP) realizadas nos últimos vinte e sete anos é mostrada na Figura 1.

Figura 1 – Linha do tempo das Conferências das Partes (COP)

(Continua)

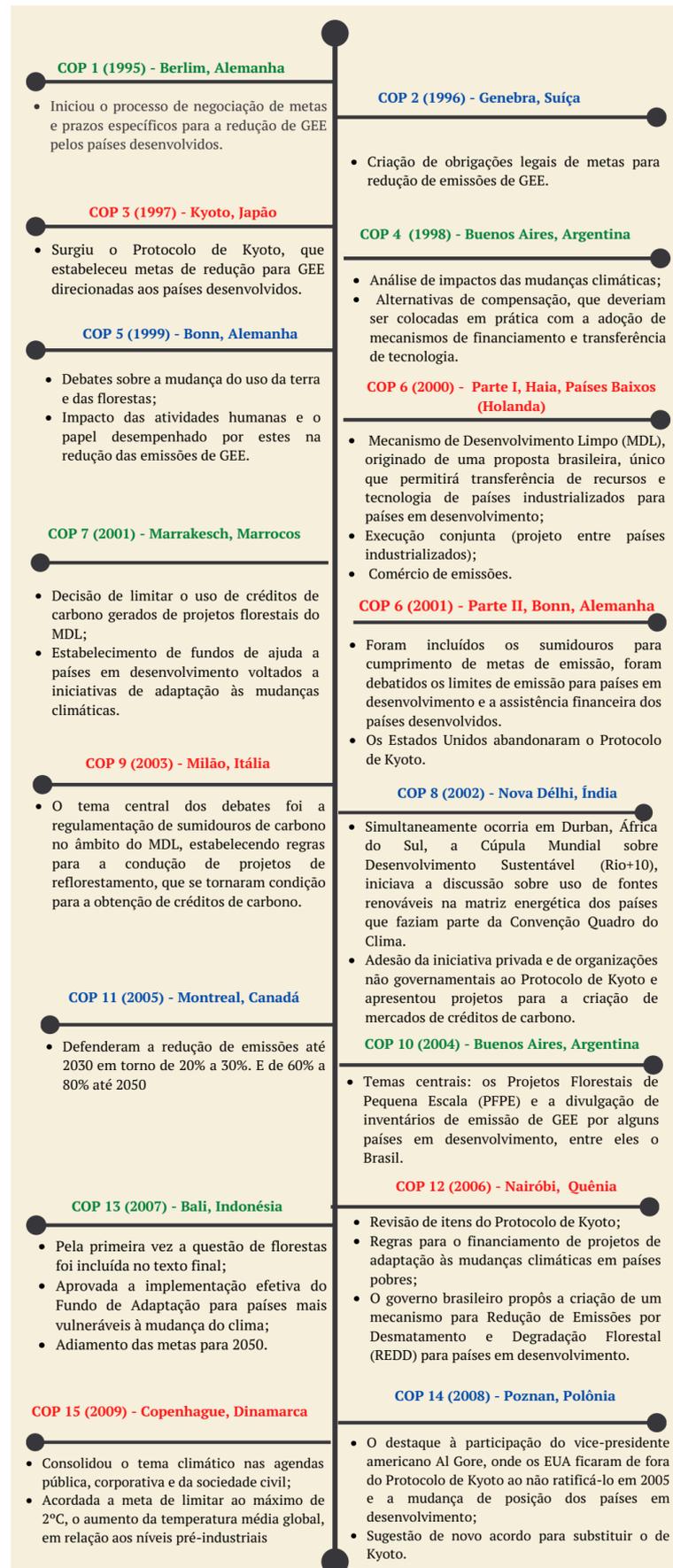
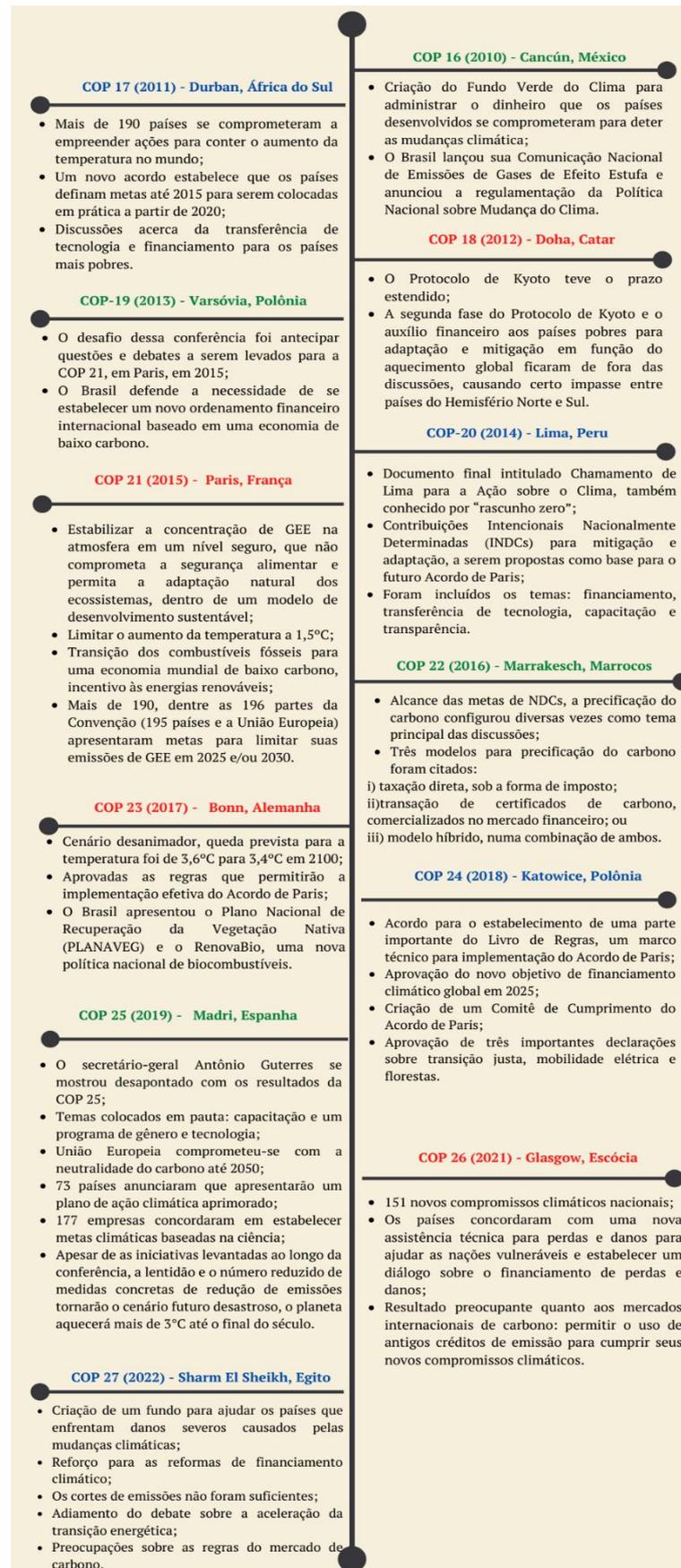


Figura 1 – Linha do tempo das Conferências das Partes (COP)

(Conclusão)



Fonte: Elaboração própria, com base em IPCC (2014; 2018); UNEP (2020).

Dada a descrição da linha do tempo com procedência nas Conferências das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Figura 1), paralelamente às iniciativas citadas, cabe mencionar o documento adotado na Assembleia Geral da ONU em 2015, *Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*, no qual é designado como um guia para as ações da comunidade internacional. Configura-se, também, como um plano de ação para todas as pessoas e para o Planeta, no intuito de promover um caminho mais sustentável e resiliente até 2030 (ONU, 2021). Nessa conceição, o plano indica 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, os ODS, e 169 metas, para erradicar a pobreza e promover vida digna para todos, dentro dos limites da Terra.

Sob o formato de uma resolução da Assembleia Geral, negociada em ambiente intergovernamental, a agenda tem caráter de recomendação. Apresentada como um compromisso global entre diversos agentes, partes de uma parceria global entre estados, organizações, governos locais, empresas e pessoas. Nesse âmbito, o papel do Estado é se responsabilizar pelo seu desenvolvimento, tendo centralidade na adesão, implementação e medição dos objetivos e metas. Os ODS são mostrados na Figura 2.

Figura 2 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)



Fonte: United Nations (2021).

Consoante Gil (2018), a aprovação de uma nova Agenda de Desenvolvimento pelas Nações Unidas em 2015, com a elaboração dos ODS é, sem dúvida, em razão do fracasso dos Objetivos do Desenvolvimento do Milênio (ODM), os quais emergiram de uma série de cúpulas multilaterais realizadas durante os anos 1990 sobre o desenvolvimento humano. Os oito objetivos foram considerados como o primeiro arcabouço global de políticas para o

desenvolvimento e contribuíram para orientar a ação dos governos nos níveis internacional, nacional e local por 15 anos (UNITED NATIONS, 2021).

Se há realmente o desejo de avançar na aplicação da Agenda 2030 e no cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, medidas ambiciosas e urgentes devem ser tomadas, pois faltam poucos anos para realizar mudanças muito profundas em todos os pedidos que resultam na priorização de objetivos e investimentos, mapeamento de recursos e identificação de lacunas orçamentárias, desenvolvendo mecanismos que permitam o compartilhamento de dados e informações (GIL, 2018).

Pogge e Sengupta (2015), ao ressaltarem o caráter recomendatório da Agenda 2030, mencionam a possibilidade de os Estados se beneficiarem dessa particularidade para escapar dos compromissos nela registrados. Os autores reforçam que se torna desafiador a agenda não cumprir o propósito que ela mesma declarou, que consiste no esforço internacional coordenado para erradicar a pobreza em todas as suas feições, em todos os lugares.

Em razão de violações repetidas de acordos e compromissos firmados anteriormente, a comunidade internacional tem de evitar mais frustrações na agenda de desenvolvimento global, assimilando as melhores práticas e explorando os benefícios comparativos de cada país; entretanto, para que haja um progresso significativo, os ODS precisam de decisões claras e compromissos políticos precisos que transformem a retórica de palavras vazias e sem valor em medidas de transformação eficazes para melhorar o Planeta castigado e as condições de vida de seus habitantes.

Ao debater as questões interligadas às mudanças climáticas, todas as iniciativas apontadas, até o momento, foram de suma relevância para o fortalecimento das ações realizadas e impulsionadas pelos países, traduzidas em acordos internacionais com a ideologia de conseguir estratégias factíveis que reduzam os impactos multidimensionais ocasionados pela adoção de modelos de desenvolvimento que não priorizam a preservação dos recursos naturais.

2.2 Do aquecimento global ao antagonismo das mudanças climáticas

Embora os inúmeros estudos relacionados à Ciência Climática estejam em constante evolução, com inúmeras contribuições no intuito de promoverem soluções estratégicas para os países, identificando práticas que visem a conhecimentos em mitigação, capacidade adaptativa e promoção da resiliência ao clima, perante o crescimento das emissões de gases do efeito estufa (GEE) em escala global, a literatura também retrata outra vertente que não acredita em aquecimento global provocado pelo efeito estufa e, muito menos, em seus

impactos nos mais diversos setores. Por este pretexto, esta subseção oferece mais uma breve discussão acerca dessa vertente antagônica, com vistas a explicar aos críticos as mudanças climáticas.

Segundo o IPCC (2013), a elevação da temperatura da superfície terrestre e dos oceanos, conhecida como aquecimento global, adquire, *pari passu*, notoriedade em razão dos impactos potenciais sobre os sistemas naturais e humanos. A intensificação dos seus efeitos ao longo dos anos é evidenciada pela elevação das ondas de calor no verão e de frio intenso no inverno, redução das camadas de gelo, maior incidência de secas, aumento do nível e acidificação dos oceanos, dentre outros. Por esses indicadores, evidencia-se que o estado de alerta global é uma realidade que tornará mais veloz os impactos de grandes magnitudes.

Marengo (2006) aponta que os impactos do aquecimento global sobre as mudanças climáticas provenientes das ações antrópicas conceberam-se desde a Revolução Industrial no século XVIII, em razão de maior intensidade da industrialização dos países em desenvolvimento no decorrer do século XX. Nessa perspectiva, a emissão de gases do efeito estufa (GEE) é classificada como uma grande propulsora do aquecimento.

De acordo com Fleming (1998), o aquecimento que hoje é estigmatizado pelos mais diversos obstáculos representava para os pesquisadores a conversão da América em uma fomentadora de gênios. Nessa perspectiva, eles se motivarão em tentar demonstrar a autenticidade de suas hipóteses. Há uma afirmativa da *Gentleman's Magazine*, em 1750, na qual argumentou que se os registros meteorológicos fossem mantidos na América do Norte, os efeitos e a extensão das mudanças climáticas decorrentes do assentamento e cultivos se tornariam óbvios.

Thomas Jefferson, terceiro presidente dos Estados Unidos (1801-1809), motivado pela necessidade de informações mais seguras sobre as mudanças climáticas, iniciou a prática de manter diários meteorológicos e enviá-los à *American Philosophical Society*, na perspectiva de demonstrar a realidade das alterações climáticas no País. Práticas similares ocorreram em diversas partes do mundo, com maior evidência em nações cientificamente mais avançadas, como a Inglaterra, a França, a Itália e a Alemanha. Essa realidade de comprovação da hipótese que sustentava a negação das alterações climáticas proporcionou, durante a primeira metade do século XIX, às pessoas presenciarem inúmeras tentativas de coleta, padronização e publicação de dados meteorológicos, no intuito de caracterizar o clima e identificar tendências para se programarem mais adequadamente nos diversos setores, bem como a agricultura, a saúde pública e, principalmente, para viabilizar os alertas de eventos extremos à população (FLEMING, 1998; ONÇA, 2011).

Esse esforço promovido pela cooperação internacional desempenhou grande relevância, favorecendo a todos. Em diversos países, o estabelecimento dos serviços meteorológicos nacionais, na segunda metade do século XIX, motivou a Conferência Internacional em Leipzig, em 1872, e o Primeiro Congresso Internacional de Diretores de Serviços Meteorológicos em Viena, em 1873, eventos que se constituíram nos embriões da Organização Meteorológica Internacional, atualmente chamada Organização Meteorológica Mundial (*World Meteorological Organization-WMO*, silga em inglês).

A ampliação dos sistemas observacionais forneceu aos cientistas perspectivas inovadoras sobre o tempo e o clima. Isso foi possível graças à elevada disponibilidade de dados obtidos e sistematizados que concederam o surgimento de mais panoramas, transformando os discursos climáticos e estabelecendo os fundamentos da Climatologia.

Em 1799, Noah Webster publicou o ensaio intitulado *On the supposed change in the temperature of winter*, embasado nesses dados climáticos, no qual o autor teceu críticas às pesquisas sobre mudanças climáticas europeias e estadunidenses, em virtude da fragilizada citação de fontes e pelas conclusões incongruentes dali derivadas, segundo Webster. O autor concluiu que o clima até podia ter sido mais variável em virtude da atividade agrícola, porém não havia razão para presumir que estava ocorrendo um aquecimento do Planeta ou que a Europa e a América do Norte estariam transpondo mudanças climáticas significativas (WEBSTER, 1810).

Motivado por essa onda, Samuel Forry conduziu uma análise de dados meteorológicos coletados pelo *Army Medical Department*, desde 1814, em cerca de 60 localidades. O autor mostrou três conclusões básicas: a estabilidade do clima e a ausência de observação termométrica não permitiram a conclusão de que estaria ocorrendo uma mudança climática; os climas são suscetíveis a melhoramentos pelo trabalho humano; e os efeitos são menos influentes do que a latitude, a altitude ou proximidade dos corpos d'água (FORRY, 1943).

Com a publicação do artigo intitulado *Is our climate changing?*, Abbe (1889) conceituou o clima como a média em torno das condições temporárias que oscilam permanentemente, ele assume e implica constância. Ele assacou críticas às variadas causas dos erros relacionados a mensuração e coleta dos dados climáticos. Com suporte nos registros de 24 anos para três cidades alemãs, a variação foi considerada por ele como insignificante estatisticamente, pois, ainda que a temperatura de um período de 25 anos seja distinta dos 25 anos posteriores, isso ainda não provocaria uma mudança climática, permanente ou temporária.

Jean-Baptiste Joseph Fourier foi um físico e matemático francês, mais conhecido por suas contribuições e investigações em séries matemáticas, notavelmente por sua famosa Serie de Fourier. Em 1824, ele calculou que a Terra, em decorrência do seu tamanho, deveria ser muito mais fria do que realmente é. O autor examinou diversas possibilidades e chegou à hipótese do efeito estufa. Já em 1859, John Tyndall iniciou uma série de experimentos sobre as propriedades radiativas de vários gases, além de estudar a dispersão da luz pelos aerossóis, processo conhecido como Efeito Tyndall. O autor descobriu que alguns gases podem bloquear a radiação infravermelha e sugeriu que as mudanças na concentração dos gases trariam a mudança climática (FLEMING, 1998).

Posteriormente, apareceu o já mencionado sueco Svante August Arrhenius (1896), considerado o “pai do efeito estufa antropogênico”, conhecido por suas pesquisas sobre os efeitos do dióxido de carbono sobre o balanço radiativo terrestre. Suas pesquisas levaram à conclusão de que os períodos glaciais eram o resultado de níveis reduzidos de dióxido de carbono na atmosfera; entretanto, o autor sugeriu que a maior parte do dióxido de carbono produzido pela queima de combustíveis fósseis seria absorvida pelos oceanos, ressaltando em benefícios de um clima favorecido pelo aquecimento. Nesse âmbito, Thomas Chrowder Chamberlin (*apud* FLEMING, 1998) também estabeleceu uma conexão entre as mudanças climáticas sucedidas em escala geológica e alterações na composição atmosférica, relacionando a eventos geológicos.

A primeira metade do século XX foi marcada pela elevação das temperaturas, que em alguns lugares do mundo foi bem recebida, enquanto em outros ela ficou mencionada como amaldiçoada. O evento mais conhecido dessa tendência de aquecimento foi a grande seca que atingiu o meio-oeste norte americano nos anos de 1930 (considerada a mais quente do período), que provocou grande impacto na vida dos *yankees* durante a Grande Depressão (ONÇA, 2011).

Fleming (1998) aponta outras contribuições citadas na literatura, como a relação entre o dióxido de carbono atmosférico e a temperatura do Planeta, defendida por Callenda (1941), posteriormente enfatizada por Gilbert N. Plass (1956), que endossaram essa corrente ideológica. Em 1957, o geólogo Roger Revelle publicou com Hans Suess seu mais conhecido artigo, intitulado *Carbon dioxide exchange between atmosphere and ocean and the question of an increase in atmospheric CO₂ during the past decades*. Após essa publicação, Revelle passou a ser conhecido como o grande patriarca da Teoria do Aquecimento global (REVELLE; SUESS, 1957).

A tendência foi modificada de 1960 a 1970, em que a discussão sobre a possibilidade do aquecimento global cedeu lugar à possibilidade de resfriamento, com base na

redução das temperaturas ocorrida naquele período. Para tanto, o climatólogo J. Murray Mitchel abordou a detecção dessa nova tendência climática que iria contra a corrente do aquecimento, dando estímulo aos outros cientistas que também identificaram tendências de redução das temperaturas, fato que fez recuar a agitação em torno do aquecimento global (WEART, 2003).

Em se tratando dos anos de 1980, época em que os modelos computadorizados já haviam atingido um nível de desenvolvimento, tornou-se viável a elaboração de cenários de climas futuros com uma composição atmosférica alterada por causa da emissão de gases do efeito estufa (GEE) pelas atividades antrópicas.

Especificamente, o ano de 1988 é retratado pela literatura como o início da intensificação coletiva contemporânea em torno do aquecimento global. Naquele ano, as temperaturas elevadas foram sentidas em diversos países de variados continentes, fato esse que motivou a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) a reconhecerem, formalmente, a ameaça do aquecimento global e estabelecerem o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) para analisar as informações científicas, técnicas e socioeconômicas relacionadas ao tema.

Embora o ceticismo generalizado quanto à hipótese do aquecimento global ainda fosse uma realidade, no início de 1989, os meios de comunicação europeus e estadunidenses publicavam que todos os cientistas respaldavam a ideia de que o aquecimento era real de potencialidades catastróficas. Afirmavam que, segundo Onça (2011), representava uma unanimidade claramente forjada. Uma das obras que ganhou bastante repercussão foi de autoria do então senador Albert Gore, *Earth in the Balance: Ecology and the Human Spirit*, de 1992, que promoveu a relevância do aquecimento global nos círculos políticos, em formato de alerta (GORE, 1993).

Só então, em 1990, a Assembleia Geral das Nações Unidas elaborou um comitê intergovernamental de negociação incumbido da elaboração da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC, do inglês). Inicialmente, o projeto submeteu-se à assinatura de 154 países em 1992, na Cúpula da Terra, no Rio de Janeiro. Desde então, o incentivo às pesquisas e a procura por estratégias de enfrentamento às intempéries climáticas só foi aumentando.

Quanto ao estudo de Björnberg *et al.* (2017), os autores analisaram a literatura que aborda a crítica às mudanças climáticas durante 25 anos (1990-2015), concluindo que os artigos mostram a negação da ciência ambiental como produzida e perpetuada por vários agentes sociais. O ceticismo, também, está relacionado às crenças e ações dos atores envolvidos, ressaltando o maior interesse acadêmico por essa vertente. Os autores adicionam, ainda, que as

razões por trás da negação da ciência são complexas e precisam ser estudadas em todos os países e, ao longo do tempo, tais estudos serão capazes de preparar o terreno para desenvolver e testar estratégias a fim de combater a negação da ciência.

No Brasil, alguns pesquisadores endossam essa corrente antagonista ao aquecimento global e sua interferência nas alterações climáticas. Para Molion (2008, p. 20):

[...] a variabilidade natural do Clima não permite afirmar que o aquecimento de 0,7°C seja decorrente da intensificação do efeito estufa causada pelas atividades humanas, ou mesmo que essa tendência de aquecimento persistirá nas próximas décadas, como sugerem as projeções produzidas pelo Relatório da Quarta Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC).

Felício (2014) tece críticas ao pendor que acredita em aquecimento global, apontando que CO₂ não controla o clima da Terra, nem no passado, tampouco fará no futuro. Ele acrescenta que o efeito estufa utiliza-se do princípio da precaução para salvar esta hipótese fraudulenta. Em sua visão, o movimento ambiental não tem legitimidade, pois prega o subdesenvolvimento, a desgraça e a morte dos seres humanos, principalmente os subdesenvolvidos. Para o autor, a Ciência Climática está vinculada às práticas fraudulentas, de cunho político, e, como exemplo, ele afirma que o IPCC não faz trabalho científico, faz política.

Em síntese ao exposto, cabe salientar que a literatura revisada mostra claramente que a questão de como lidar com o antagonismo à variação climática atraiu um interesse substancial na comunidade acadêmica. Compreender o que de fato está sendo analisado e seus possíveis efeitos causais são fatores cruciais para se estabelecer a fundamentação de hipóteses e, posteriormente, coordenar os argumentos para testá-las. Acerca disso, a Tese agora sustentada, se propôs, desde a fundamentação teórica embasada nos princípios das emissões de GEE, do aquecimento global e da instabilidade climática, mensurar o problema de pesquisa aqui estabelecido inicialmente.

2.3 O Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC) no Brasil

Por consequência do empenho internacional em demandar estratégias sustentáveis que viabilizassem menores impactos ambientais, econômicos e sociais, diversos países, assim como o Brasil, instauraram planos e programas conectados aos objetivos estipulados pelos acordos internacionais.

Desde a Rio 92, o Brasil protagoniza as discussões internacionais sobre desenvolvimento sustentável, ao assumir compromissos de redução e de mitigação de suas emissões de GEE (MANZATTO *et al.*, 2020). As negociações da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC, sigla em inglês), de 2007 a 2009, se

intensificaram com o intento de criar um acordo multilateral que envolvesse todos os países nos esforços para reduzir a concentração de GEE na atmosfera (LIMA; HARFUCH; PALAURO, 2020).

No âmbito dessa conceição, em meados de dezembro de 2009, durante a 15ª Conferência das Partes (COP15), em Copenhague, o Brasil declarou o compromisso voluntário de reduzir as emissões de GEE entre 36,1% e 38,9%, até 2020, estimando o volume de redução em torno de um bilhão de toneladas de CO₂ equivalente (t CO₂e) (BRASIL, 2012). Isto por meio da Ação de Mitigação Nacionalmente Apropriada (do inglês, *Nationally Appropriate Mitigation Action - NAMA's*) e, posteriormente, em 2016, com as Contribuições Nacionalmente Determinadas (do inglês, *Intended Nationally Determined Contributions - INDCs*) diante da UNFCCC no Acordo de Paris, sancionada pelo Decreto nº 9.073 (BRASIL, 2017).

Na ocasião da COP15, foram propostas distintas ações (BRASIL, 2012): i) Reduzir em 80% a taxa de desmatamento na Amazônia, e em 40% no Cerrado; ii) Adotar intensivamente na agricultura a recuperação de pastagens degradadas; promover ativamente a integração lavoura-pecuária (iLP); expandir o uso do sistema plantio direto (SPD) e da fixação biológica de nitrogênio (FBN); e iii) ampliar a eficiência energética, o uso de biocombustíveis, a oferta de hidrelétricas e de fontes alternativas de biomassa, de energia eólica e de pequenas centrais hidrelétricas, bem como ampliar o uso na siderurgia de carvão de florestas plantadas.

Segundo Manzatto *et al.* (2020), no âmbito do setor agropecuário, estes compromissos substanciam a estratégia em adotar tecnologias e sistemas produtivos sustentáveis, compatíveis com as diversas realidades do produtor rural, estabelecendo indicadores relativos ao crescimento da capacidade adaptativa e à mitigação das emissões de GEE, como jeito de esclarecer e prestar contas à sociedade e aos organismos multilaterais dos resultados das políticas públicas, relativas às mudanças climáticas e à agropecuária.

Em decorrência do compromisso firmado pelo Brasil durante a COP15, em 2009, o país lançou a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), aprovada pela Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, a qual definiu a redução de emissões (mitigação) e a adoção de medidas que reduzam a vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos (adaptação) como base para alcançar os compromissos nacionais (BRASIL, 2009).

De 2009 a 2010, no tocante ao setor agropecuário, elaborou-se o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC), sob o Decreto nº 7.390, que regulamentou os arts. 6, 11 e 12 da PNMC (BRASIL, 2010, 2012).

A iniciativa do PNMC configura-se como uma estratégia inovadora para a agropecuária brasileira, em decorrência da expansão da adoção de tecnologias que assegurem o desempenho produtivo mais satisfatório, maiores ganhos econômicos com factibilidade técnica, bem assim otimização produtiva com reflexos indiretos na atenuação da pressão por desmatamento (CAMPOS; FISCHAMANN, 2014), tal como exigências contemporâneas do mercado agrícola no tocante à sustentabilidade ambiental (MANZATTO *et al.*, 2020).

Inicialmente, a elaboração do primeiro plano setorial de agropecuária foi instituído com base em um Grupo de Trabalho coordenado pela Casa Civil, e composto pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), com participação de sua Assessoria de Gestão Estratégica (AGE), Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo (SDC), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Ministério de Desenvolvimento Agrário (MDA), Ministério da Fazenda (MF), Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e Ministério do Meio Ambiente (MMA) (BRASIL, 2012).

Posteriormente, foram incorporados representantes de organizações indicadas pelo Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas (FBMC), como: Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), Confederação Nacional dos Trabalhadores na Agricultura (Contag), Organização das Cooperativas do Brasil (OCB), Central Única dos Trabalhadores (CUT), Instituto de Estudos Socioeconômicos (Inesc), Conservação Internacional e *World Wildlife Fund* (WWF), entre outras organizações (BRASIL, 2012; LIMA; HARFUCH; PALAURO, 2020).

A primeira fase do Plano ABC, até a sua aprovação em 2010-2011, foi determinada para o período de 2010 a 2020, baseando-se no mapeamento e na definição de tecnologias e práticas de manejo adotadas pelos produtores, as quais geram benefícios em termos de redução de emissões de GEE, aumento de produtividade e adaptação às mudanças climáticas (BRASIL, 2012). Nessa concepção, os compromissos estipulados pelo Plano ABC são caracterizados pelas ações demonstradas a seguir:

- a) Recuperar uma área de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas via manejo adequado e adubação;
- b) Aumentar a adoção de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) em 4 milhões de hectares e de sistemas agroflorestais (SAFs) em 2,76 milhões de hectares pela agricultura familiar;
- c) Ampliar a utilização do sistema plantio direto (SPD) em 8 milhões de hectares;
- d) Ampliar o uso da fixação biológica do nitrogênio (FBN) em 5,5 milhões de hectares;

- e) Promover ações de reflorestamento expandindo a área com florestas plantadas (FP) em 3,0 milhões de hectares; e
- f) Ampliar o uso de tecnologias para tratamento de 4,4 milhões de metros cúbicos (m³) de dejetos de animais para geração de energia e produção de composto orgânico.

A Tabela 1 representa os compromissos definidos pelo Plano ABC, válidos de 2010 a 2020, correspondentes a sua primeira fase. Fundamentado nesses compromissos referentes a seis processos tecnológicos e ao tema adaptação às mudanças climáticas, o Plano ABC foi estruturado em sete Programas⁸ (BRASIL, 2012): 1) recuperação de pastagens degradadas (RPD); 2) integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) e sistemas agroflorestais (SAFs); 3) sistema plantio direto (SPD); 4) fixação biológica do nitrogênio (FBN); 5) Florestas plantadas (FP); 6) tratamento de dejetos animais (TDA); e 7) adaptação às mudanças climáticas.

Tabela 1 - Processo tecnológico, compromisso nacional e potencial de mitigação via redução de emissão de GEE (milhões de Megagramas - Mg de CO₂e)

Processo tecnológico	Compromisso (aumento de área/uso)	Potencial de mitigação (milhões de Mg CO ₂ e)
Recuperação de pastagens degradadas	15,0 milhões ha	83 a 104
Integração lavoura-pecuária-floresta	4,0 milhões ha	18 a 22
Sistema plantio direto	8,0 milhões ha	16 a 20
Fixação biológica de nitrogênio	5,5 milhões ha	10
Florestas plantadas ¹	3,0 milhões ha	-
Tratamento de dejetos animais	4,4 milhões m ³	6,9
Total de redução prevista até 2020	-	133,9 a 162,9

Fonte: Brasil (2012).

Nota: ¹ Não está computado o compromisso brasileiro relativo ao setor da siderurgia; e não foi contabilizado o potencial de mitigação de emissão de GEE.

Para alcançar as metas previstas pelo Plano ABC, são compreendidas atividades sob as diretrizes da PNMC (Lei nº 12.187/2009), e suas ações relacionam-se a: Campanhas publicitárias e de divulgação; Capacitação de técnicos e produtores rurais; Transferência de tecnologia (TT); Regularização ambiental e fundiária; Assistência Técnica e Extensão Rural

⁸ Vale frisar que, após a COP 21, a proposta do Brasil (2015) foi ratificada em 2016. A RPD deve ser acrescida de 15 milhões de hectares e a implantação de iLPF em cinco milhões de hectares, ambas as metas até 2030. Ademais, estão previstos a restauração e o reflorestamento de 12 milhões de hectares até 2030.

(ATER); Estudos e planejamento; Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação (PD&I); Disponibilização de insumos; Produção de sementes e mudas florestais; e crédito rural. O orçamento das ações citadas foi, inicialmente, em torno de R\$ 197 bilhões (BRASIL, 2012).

Concernente ao exposto, o Programa ABC representa a linha de crédito rural atribuída ao cumprimento desse plano. Nesse contexto, o crédito rural tem a finalidade de fornecer ao setor rural, de modo a fortalecer todo o setor, propiciando melhor uso da terra e geração de renda (GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021).

O Programa ABC institui os meios de execução para que as ações de cada programa sejam atingidas por meio de linhas de crédito (MENDES, 2014; PAIXÃO; BACHA, 2015). Menciona-se que o Programa ABC, em sua implantação, foi formatado para atender à agricultura empresarial, isto é, produtores rurais e suas cooperativas, uma vez que os agricultores familiares estão sendo financiados por outras linhas de crédito, como o Pronaf Eco⁹ e o Pronaf Floresta¹⁰ (MENDES, 2014; ZU ERMGASSEN *et al.*, 2018).

Em análise crítica ao Programa, Carauta *et al.* (2018) apontam a falta de clareza na especificação dos documentos oficiais, no tocante ao que pode ser considerado nos sistemas iLPF. Constatou-se que, em termos práticos, em uma área florestal com 10 ha, deve ter pelo menos um 1 ha de floresta integrada com a produção de gado, ou seja, 10% da área. Os autores acrescentam que, o crédito do Programa ABC, não tem se mostrado determinante para a adoção de sistemas integrados no Estado de Mato Grosso. Na verdade, apenas uma pequena parcela dos atuais usuários de sistemas integrados usou as linhas de crédito do ABC – em virtude de a decisão de concessão de crédito ser determinada pelos gerentes de bancos locais credenciados que, geralmente, não estão aptos a realizar esse diagnóstico adequadamente.

Navarro e Neves (2020), ao analisarem as potencialidades e limitações da execução do Plano ABC para o desenvolvimento territorial sustentável no Estado da Bahia, indicaram que a execução dos recursos no Estado ocorre, majoritariamente, em territórios com elevado dinamismo econômico, restando uma maior parcela do Estado com baixo acesso a esses recursos, a minoria possuindo maior estímulo às técnicas de transição a uma agropecuária menos intensiva em carbono.

⁹ Linha de financiamento para agricultores e produtores rurais familiares, destinada a projetos sustentáveis que visam à recuperação e conservação ambiental para melhoria da capacidade produtiva da propriedade, entre os quais se incluem o financiamento para tecnologias de energia renovável, como os sistemas de geração solar fotovoltaica.

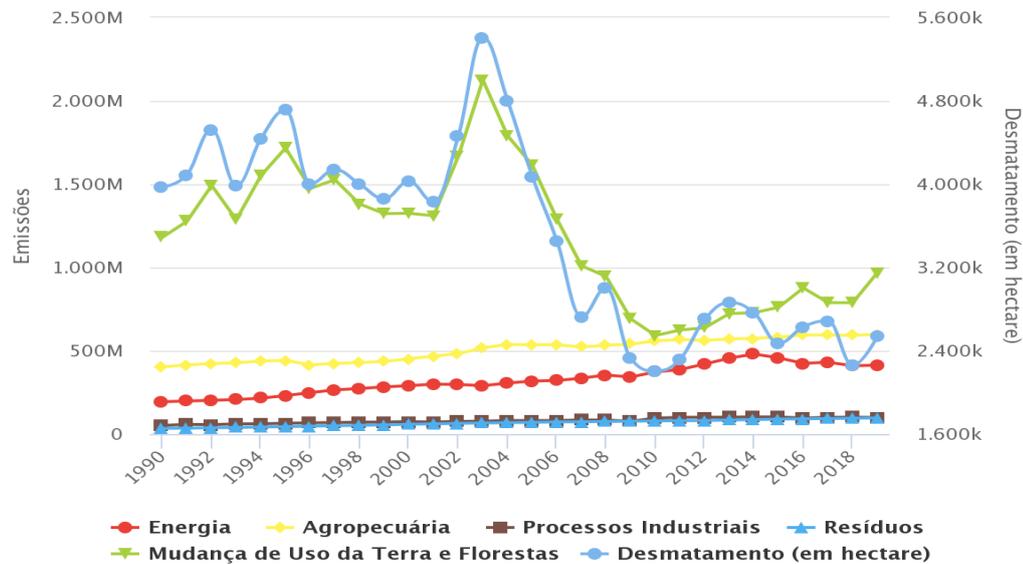
¹⁰ Linha de crédito direcionada para sistemas agroflorestais, exploração extrativista ecologicamente sustentável, plano de manejo florestal, incluindo os custos relativos à implantação e manutenção do empreendimento, recomposição e manutenção de áreas de preservação permanente e reserva legal.

Gianetti e Ferreira Filho (2021) apontam que a aplicação e a distribuição de recursos do Programa ABC têm concentração regional e nos sistemas de RPD, SPD, FLP e iLPF. Ou seja, há concentração de 65% dos recursos nas regiões Centro-Oeste e Sudeste. Nos municípios com alta aptidão agrícola, há ainda maior correlação do crédito com o desempenho econômico e agropecuário do que com a área de pastagens degradadas. De modo geral, o rebanho bovino é a variável mais correlacionada com os empréstimos, com coeficiente de Pearson igual a 0,53, em relação ao total de recursos. Os autores sugerem modificações para aprimorar o Plano e Programa ABC que contemplem diferenciação de incentivos, conforme definições de áreas prioritárias e ampliação das ações de monitoramento.

Telles e Righetto (2019) chamam atenção para os resultados referentes à iLPF, ao SPD e à FBN, uma vez que esses programas já ultrapassaram a meta estabelecida: 177,5%, 119,38% e 210,91%, respectivamente, no tocante à expansão de áreas adotadas. Quanto à estimativa da mitigação das emissões de GEE, apenas a iLPF e a FBN superaram as metas, concebendo, respectivamente, 149,5% e 212,3% do que foi estabelecido. Em termos gerais, segundo as estimativas dos autores, o programa atingiu em torno de 55% do potencial de mitigação.

Para Azevedo (2017), o Brasil, praticamente, já atingiu as metas estabelecidas durante a COP15, uma vez que houve uma redução em torno de 41,1% das emissões de GEE de 2005 a 2012. Para o autor, a diminuição da quantidade de CO₂e se dá, sobretudo, em decorrência da redução do desmatamento na Amazônia Legal de 2004 a 2015.

A Amazônia Legal, entretanto, teve 810 km² de seu território desmatado em março de 2021, de acordo com dados do Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), obtidos via sistema de alerta do desmatamento (SAD), que monitora, via satélite, as áreas desmatadas na região. As informações revelam que houve aumento de 216% de desmatamento em relação ao mesmo mês no ano de 2020, quando o desmatamento somou 256 km², e a área desmatada representa o maior valor da série histórica dos últimos dez anos referente ao mês de março (IMAZON, 2021), com alta de 42% nos alertas (OC, 2021). O Gráfico 1 demonstra o nível de emissões de CO₂ nos variegados setores econômicos frente ao desmatamento no Brasil.

Gráfico 1 - Emissões totais de CO₂ e nível de desmatamento no Brasil (1990-2019)

Fonte: Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa – SEEG (OC, 2021).

O Observatório do Clima (OC, 2021) menciona que, apesar de o Governo brasileiro ter se comprometido com a comunidade internacional na Cúpula dos Líderes sobre o Clima, ocorrida em abril de 2021, liderada pelos Estados Unidos, o País prevê mudanças na legislação, como a votação de um projeto de lei que extingue o licenciamento ambiental, favorecendo assim a aprovação de obras, estas que, por sua vez, poderão ser feitas sem a necessidade de estudos de impacto ambiental. Possivelmente, essas medidas aumentarão ainda mais o desmatamento e as emissões de GEE no País, de sorte que, em suma, essa questão representa um *trade-off*.

De acordo com o Observatório ABC (FGV, 2017), as áreas prioritárias para incentivo do Programa ABC necessitam levar em consideração a conta econômica dos produtores. Aponta, ainda, que, um modo de tornar o crédito mais atraente é desenvolver um modelo no qual um seguro de renda ou de produtividade seja atrelado ao Programa ABC, associando suas políticas públicas prioritárias: às linhas de agricultura de baixo carbono com o programa de seguro rural. Desse modo, haveria a redução da percepção de risco, ao ponto de ampliar a tomada de recursos para investimentos nos projetos ABC.

Na ideiação de Larcher (2016), a avaliação do Plano ABC pode ser realizada por meio de um modelo lógico, no intuito de auxiliar a tomada de decisão, bem como identificar suas barreiras de implantação, aperfeiçoar e detalhar os indicadores. As análises concentram-se, entretanto, nas ações de mitigação do Plano ABC, mais especificamente, nos seus seis programas, deixando de fora a adaptação às mudanças climáticas.

Silva e Vieira Filho (2020) analisaram o impacto do Programa ABC sobre a produção por emissões de GEE no setor agropecuário, por meio de um modelo de controle sintético, comparando o Brasil (grupo de tratamento) com um grupo de cinco países¹¹ (grupo de controle), para o período de 2000 a 2015. Os autores ressaltaram em seus resultados que o impacto do programa é nulo na variável de interesse no período pós-intervenção. Alertaram para a necessidade de aperfeiçoamento, custos com aprendizado e de transição associados à adoção de novas práticas agrícolas, as quais são mais pertinentes para a decisão do produtor no uso da terra do que um crédito mais barato. Além das barreiras econômicas, os autores apontam para aspectos burocráticos que devem ser revistos.

Telles *et al.* (2021), ao verificarem as mudanças no uso da terra, o crescimento da produção agropecuária brasileira e o cumprimento das metas do Plano ABC, constataram que os compromissos internacionais acordados pelo Brasil foram honrados. Segundo os autores, a expansão na adoção das tecnologias impulsionadas pelo Plano ABC atingiu 154% da meta e a mitigação de CO₂ corresponde a 113% da meta, todavia, a recuperação de pastagens degradadas e o tratamento de dejetos animais se mostraram como dois dos principais obstáculos da questão produtiva e para a agricultura de baixa emissão de carbono no Brasil. No âmbito da mitigação, os autores apontam para a necessidade de ampliar os investimentos na recuperação de pastagens degradadas e no tratamento de dejetos animais.

Nessa lógica, Carauta *et al.* (2018) mensuraram a efetividade do Programa ABC para a disseminação da agricultura de baixo carbono no Mato Grosso, adotando simulações bioeconômicas e biofísicas. Como resultados, os autores apontaram que o crédito não detém um papel relevante na adoção de sistemas intensivos de produção agropecuária no Mato Grosso, mencionando, ainda, que apenas uma reduzida parcela dos beneficiados desses sistemas adotou linhas de crédito ABC.

Cabe mencionar que, além do Plano ABC, outras políticas públicas - como o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm¹²) e o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado¹³) - envolvem diretamente as ações destinadas à recuperação de pastagens degradadas e à adoção do sistema de iLPF e SAFs, as quais possibilitam a diminuição na pressão por desmatamento de novas áreas (BRASIL, 2012).

¹¹ Argentina, Austrália, China, Índia e Estados Unidos.

¹² Criado em 2004, com o objetivo reduzir continuamente o desmatamento e criar as condições para a transição para um modelo de desenvolvimento sustentável na Amazônia Legal (BRASIL, 2021a).

¹³ Criado em 2010 pelo Decreto nº 7.390/2010, que considera o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado) como um dos instrumentos da PNMC (BRASIL, 2014).

Lacunas que não foram resolvidas na primeira fase do Plano ABC (2010-2020) terão a oportunidade de ser aprimoradas, sob distintos aspectos, já que o Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária 2020/2030, chamado de ABC+, foi lançado, no dia 20 de abril de 2021, pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Segundo o MAPA (BRASIL, 2021b), a iniciativa tenciona aumentar a adoção de práticas e tecnologias sustentáveis na agropecuária para melhorar a renda do produtor e reduzir os impactos das mudanças climáticas. Ademais, o Plano ABC+ promove a abordagem integrada da paisagem como marco conceitual, estimulando a gestão integrada das propriedades rurais e uso eficiente dos recursos naturais.

O plano atualizado estabelece novos mecanismos de governança que reforçarão a capacidade de monitorar e de avaliar os resultados alcançados. Ainda segundo o MAPA (BRASIL, 2021b), um dos desafios dessa nova fase (2020-2030) é disseminar as práticas produtivas do ABC+ aos pequenos produtores rurais e agricultores familiares, no intuito de levar sustentabilidade ao País, de modo geral. De acordo com o MAPA, em julho de 2021, foi realizada consulta pública com o propósito de haver a participação da sociedade na contribuição com as metas a serem atingidas pela segunda etapa. Vale frisar que os documentos oficiais não esclarecem bem como serão adotadas e capacitadas as tecnologias mais sustentáveis no campo, tornando assim uma incerteza para os agricultores mais vulneráveis quanto à execução da segunda etapa.

Embora os resultados divulgados por alguns autores (LIMA, HARFUCH E PALAURO, 2020; MANZATTO *et al.*, 2020; TELLES *et al.*, 2021) no tocante às metas atingidas pelo Plano ABC sejam positivos, torna-se relevante frisar que há disparidades regionais, em termos de aquisição de crédito, concentração para determinadas regiões, delimitação de áreas prioritárias, implementação de recursos, bem como capacitação técnica e transferência de tecnologia, principalmente quando se trata de agricultores de pequeno porte como os da agricultura familiar. Outro fator relevante a ser considerado está relacionado às condições edafoclimáticas, as quais interferem direta e indiretamente na aptidão agrícola das distintas regiões. Permite-se, então, questionar: - as metas estipuladas pelo Plano e Programa ABC estão realmente beneficiando regiões mais vulneráveis aos efeitos climáticos, ou seja, as áreas que, teoricamente, seriam prioritárias? Espera-se que tal perquisição seja respondida ao final da nova fase do Plano ABC+.

Observa-se que, desde a primeira etapa do Plano ABC (2010-2020), há ressalvas quanto à orientação do plano de ação, pois em sua essência não conduz para medidas estratégicas direcionadas ao bioma Caatinga, tampouco especifica metas. Quanto à região

Nordeste, apenas no programa de fixação biológica de nitrogênio, é proposta a adoção de estratégias de transferência de tecnologia para o feijão-caupi, além das regiões Norte e Centro-Oeste. Ademais, as ações são generalizadas à extensão de todo o Plano, com ênfase nos biomas Amazônia e Cerrado (BRASIL, 2012).

Embora não haja ações específicas, deve-se fazer referência à relevância do bioma Caatinga, uma vez que este ocupa uma área aproximada de 10% do Território Nacional. Ainda que esteja localizado em área de clima Semiárido, exibe uma vasta diversidade de paisagens, relativa riqueza biológica e espécies que só ocorrem nesse bioma. Mesmo com todas essas características, os tipos de vegetação encontram-se bastante alterados, com a substituição de espécies vegetais nativas por pastagens e agricultura. Ressaltam-se, ainda, práticas habituais, como o desmatamento e as queimadas, ligadas ao preparo do solo para a agropecuária. Esse hábito intensifica a deterioração da cobertura vegetal, da manutenção de animais silvestres, da qualidade da água e do equilíbrio do clima e do solo. Em suma, da área original ocupada por esse bioma, em cerca de 36%, o território já foi alterado por ações antrópicas (IBGE, 2021). Essa ressalva permite direcionar críticas e sugestões para a próxima fase do Plano ABC+ que privilegie essas peculiaridades regionais.

De maneira concisa, a literatura que retrata a avaliação dos impactos do Programa ABC na mitigação de GEE configura-se ainda como restrita. De modo geral, os estudos se destinam a analisar o Programa ABC sob o aspecto de uma avaliação qualitativa e da análise descritiva dos dados, usualmente alusivas às metas mitigadoras das emissões de GEE. Nesse contexto, trabalhos como os de Gianetti (2017), Gianetti e Ferreira Filho (2021), Larcher (2016), Leal (2016), Lima, Harfuch e Palauro (2020), Manzatto *et al.* (2020), Telles e Righetto (2019) e Telles *et al.* (2021), entretanto, não se propõem associar os indicadores designados a parâmetros de impacto do programa.

2.4 Avaliação de políticas públicas em estudos de casos comparativos

Compreende-se que o uso de experimentos naturais para avaliar os efeitos do tratamento em determinadas políticas públicas na ausência de ensaios genuinamente com dados experimentais, auferiu ampla aceitação nas pesquisas empíricas em Economia e em outras Ciências Sociais (ABADIE, 2005). Nesse âmbito, Abadie, Diamond e Hainmueller (2010) citam que os cientistas sociais costumam se interessar pelos efeitos dos eventos ou intervenções políticas que ocorrem em um nível agregado, os quais afetam entidades agregadas, como

escolas, empresas, áreas geográficas ou áreas administrativas definidas politicamente, como países, regiões, estados e municípios.

Estudos comparativos são comumente utilizados por pesquisadores, no intuito de estimar os efeitos de eventos ou intervenções, com procedência na evolução dos resultados agregados (como taxas de mortalidade, renda média, taxa de desmatamento, entre outros) para uma unidade afetada por determinada intervenção, comparando-a com a evolução dos mesmos agregados estimados para algum grupo de controle de unidades que não foi afetado (ABADIE; DIAMOND; HAINMUELLER, 2010). Em outros termos, quando apenas uma fração da população é exposta ao tratamento, um grupo de comparação não tratado é usado para identificar a variação temporal no resultado, que não é devido à exposição ao tratamento (ABADIE, 2005).

Um dos métodos passíveis desse tipo de análise é o de Diferenças em Diferenças (do inglês, *Difference-in-Differences - DID*), originado na senda da Econometria, mas a lógica subjacente à técnica foi usada já nos anos de 1850 por John Snow, que aferiu um surto de cólera em Londres, e foi denominado de “estudo controlado antes e depois” em algumas pesquisas na área de Ciências Sociais (SNOW, 1855).

DID é um método quase experimental que faz uso de dados longitudinais de grupos de tratamento e controle para obter um contrafactual apropriado com vistas a estimar um efeito causal. Ele é normalmente usado para estimar o efeito de uma intervenção ou tratamento específico (como uma aprovação de lei, promulgação de política ou implantação de programa), comparando as mudanças nos resultados *pro rata temporis* entre uma população que está inscrita em um programa (o grupo de intervenção, ou experimental) e outra que não é beneficiada (o grupo de controle) (ABADIE, 2005; BACON, 2018).

Em particular, o estimador DID convencional requer que, na ausência do tratamento, os resultados médios para tratados e controles tenham seguido caminhos paralelos à medida temporal (BACON, 2018; CHAISEMARTIN; D’HAULTF ŒUILLE, 2020; GREENE, 2012). Esta suposição é capaz de ser implausível se as características pré-tratamento forem associadas com a dinâmica de a variável de resultado se encontrar desequilibrada entre os grupos tratados e não tratados (ABADIE, 2005). Segundo Xu (2017), essa suposição não é diretamente testável, mas os pesquisadores têm mais confiança em sua validade quando descobrem que os resultados médios das unidades tratadas e de controle seguem caminhos paralelos nos períodos de pré-tratamento. Esse autor afirma, ainda, que, em muitos casos, no entanto, as tendências paralelas de pré-tratamento não são suportadas por dados, um sinal claro de que essa suposição provavelmente falhará no período pós-tratamento, também.

Assumindo um contrafactual (grupo não tratado ou testemunha) com tendências iguais, Borusyak, Jaravel e Spiess (2022), Chaisemartin e D'Haultfœuille (2020) e Sun e Abraham (2021) mostram que os efeitos fixos bidirecionais DID produzem uma média dos efeitos do tratamento em todos os grupos e tempos, alguns dos quais são suscetíveis de ter pesos negativos. Bacon (2018), no entanto, mostra que os pesos surgem de diferenças no tempo e, portanto, variações de tratamento, facilitando uma conexão entre os modelos de alocação de tratamento e a interpretação das estimativas DID.

Para análises agregadas, a disponibilidade de dados não implica que o efeito de o evento ou intervenção de interesse seja estimado sem erro. Mesmo com o emprego de dados agregados, permanece a incerteza sobre a capacidade do grupo de controle de reproduzir o trajetória de resultado contrafactual que as unidades afetadas iriam experimentar na ausência da intervenção. Este tipo de incerteza não é refletido pelos erros-padrão constituídos com técnicas inferenciais tradicionais para estudos de casos comparativos (ABADIE; GARDEAZABAL, 2003).

No caso do método de controle sintético - MCS (do inglês, *Synthetic Control Method*), desenvolvido por Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie, Diamond e Hainmueller (2010, 2015) vai um passo além. Este método corresponde às covariáveis de pré-tratamento e aos resultados entre uma unidade tratada e um conjunto de unidades de controle, usando os períodos de pré-tratamento como critérios para boas correspondências. Desse modo, a técnica provê pesos explícitos para as unidades de controle, tornando transparente a comparação entre as unidades tratadas e de controle sintético. Não obstante, só se aplica ao caso de uma unidade tratada, e, além disso, as estimativas de incerteza que ela concede não são facilmente interpretáveis (XU, 2017).

Entende-se que no mundo moderno, há a necessidade de se elaborar ferramentas capazes de avaliar efeitos causais nos mais diversos setores. Nesse âmbito, em razão das crescentes ameaças ambientais, cada Estado tem a função de reduzir o impacto antrópico sobre o meio ambiente. Muitos países, sobretudo, os desenvolvidos, estudam seriamente este problema e propõem soluções estratégicas adaptadas às condições de eventos extremos. A realidade, entretanto, é bem diferente para os países em desenvolvimento, tanto pelo lado do crescimento econômico quanto pelos crescentes danos ambientais

Nesse aspecto, Andersson (2019) realizou um estudo quase experimental com a finalidade de encontrar uma relação causal significativa para o efeito dos impostos sobre as emissões de carbono, analisando empiricamente a implementação de um imposto sobre o carbono e um imposto sobre o valor acrescentado ao combustível para transportes na Suécia,

por meio do método de controle sintético, com um período de análise de 30 anos antes do tratamento. O autor concluiu que, após a implementação, as emissões de dióxido de carbono provenientes do transporte caíram quase 11%, em relação a uma unidade de controle sintética construída de um grupo comparável de países da OCDE. O artigo encerrou que os consumidores respondem mais fortemente às mudanças na taxa de imposto sobre o carbono do que as variações equivalentes no preço da gasolina impulsionadas pelo mercado. O autor, também, apontou que a elasticidade da demanda por gasolina estimada para a taxa de carbono é três vezes maior do que a elasticidade do preço. Ou seja, esta constatação tem implicações para as políticas de mudança climática, ao passo que os impostos sobre o carbono seriam mais eficazes na redução das emissões de GEE e poluição do ar do que os estudos de simulações anteriores sugeriram.

Em análise a política de baixo carbono, implementada em 2010, para o setor energético na China, maior consumidor de energia e emissor de carbono do mundo. Yu *et al.* (2019) usaram o MCS para avaliar a Província de Guangdong como área de estudo, que tem a maior escala econômica, tamanho populacional e emissões de carbono entre as províncias-piloto de baixo carbono da China. Os autores sugeriram, com suporte nos resultados que, durante o período de 2010 a 2015, as emissões de carbono de Guangdong foram reduzidas em cerca de 10% dada a implementação dessa iniciativa. O impacto foi significativo nas emissões de carbono das indústrias manufatureiras, mas mostrou influência mínima nas emissões da produção de energia.

Sansybayeva *et al.* (2020) avaliaram o impacto das medidas destinadas a reduzir as emissões de GEE e a prontidão das regiões no Cazaquistão para a transição à economia verde, via MCS, com dados do Cazaquistão e mais 30 países de controle (incluindo o Brasil), para o período de 2003 a 2018. De acordo com os resultados, as emissões de CO₂ no Cazaquistão foram maiores sem a adoção do conceito de transição à economia verde, porém, as emissões vêm aumentando a cada ano. Os resultados da avaliação do efeito de desacoplamento nas regiões do Cazaquistão mostraram que a situação do impacto ambiental no País não é reconfortante - uma vez que, em nove regiões do País, o efeito da dissociação não foi observado, ou seja, junto com o crescimento do produto regional, aumentaram também os volumes de emissões de poluentes.

Em suma, cabe mencionar que dados os diversos trabalhos que avaliam políticas públicas ou intervenções por meio do método de controle sintético corroboram a perspectiva da pesquisa no âmbito desta Tese, uma vez que um dos objetivos é avaliar o Programa ABC no Brasil, comparando-se a um grupo contrafactual. Esse método classifica-se como robusto para

a análise aqui pretendida. O delineamento do MCS e sua aplicação ao caso brasileiro são descritos na seção correspondente aos procedimentos metodológicos.

2.5 Impactos das alterações climáticas sobre a agricultura

Inúmeros estudos retratam que a ação antrópica via atividades industriais e agropecuárias é a propulsora substancial das emissões de GEE e, conseqüentemente, do aquecimento global (IPCC, 2013). Acerca disso, pesquisadores, entidades governamentais, ONGs e instituições particulares, de um modo geral, tentam soluções embasadas em princípios mitigadores e adaptativos aos efeitos nocivos das alterações climáticas. Encontrar o equilíbrio entre o homem e a natureza é o grande desafio deste século, uma vez que os hábitos e processos produtivos necessitam de modificações urgentes, para que não se transformem em danos ainda maiores.

Os efeitos das mudanças climáticas são intensificados quando há vulnerabilidade dos fatores sociais, econômicos, ambientais e culturais, tais como: nível de renda, demografia, migração, acesso à tecnologia e informação, perfil de emprego, questões de gênero, governança e qualidade das instituições na gestão de conflitos e risco. Ainda há fatores não climáticos que potencializam a vulnerabilidade e danificam a capacidade adaptativa, sendo os grupos sociais marginalizados econômica e politicamente mais suscetíveis aos riscos (IPCC, 2014).

Mendelsohn, Nordhaus e Shaw (1994), há quase três décadas, incorporaram a abordagem ricardiana, método hedônico com procedimento até então inovador, considerada a primeira tentativa econométrica de estimar os impactos econômicos das mudanças climáticas na agricultura dos Estados Unidos. Os autores estimaram uma regressão transversal dos preços das terras agrícolas sobre o clima e outras variáveis de controle. A ideia permeia o fato de os agricultores maximizarem a utilidade sujeita a um clima local fixo. Essas estimativas foram utilizadas para projetar impactos de bem-estar de longo prazo no setor agrícola sob as mudanças climáticas, respondendo por toda a gama de adaptações de agricultores disponíveis sob preços atuais e tecnologia.

Os modelos hedônicos, abordagem desenvolvida por Mendelsohn, Nordhaus e Shaw (1994), definem uma função de produção que utiliza o valor da terra, os quais atestam como as variáveis climáticas afetam o seu preço. Esta abordagem admite que o mercado de terras é eficiente, dado que o preço da terra reflete o fluxo descontado de rendas agrícolas futuras e, desse modo, os produtores alocam fatores de produção para garantir o maior retorno, sob informações econômicas e agroclimáticas disponíveis (ASSUNÇÃO; CHEIN, 2016

FERES *et al.*, 2009; SANGHI *et al.*, 1997). Dessa maneira, esses modelos conseguem introduzir o movimento adaptativo dos agentes, na mensuração dos impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura.

Deschênes e Greenstone (2007) mediram o impacto econômico das mudanças climáticas na agricultura dos Estados Unidos, estimando o efeito da variação aleatória anual na temperatura e precipitação sobre os lucros agrícolas. As estimativas indicaram que a mudança do clima aumentará os lucros anuais em US\$ 1,3 bilhão, equivalente a 4%. Os autores apontam que as estimativas são robustas para numerosas verificações de especificação e relativamente precisas, motivo por que grandes efeitos negativos ou positivos são improváveis. Os autores relatam ainda que a abordagem hedônica (como o método Ricardiano), padrão na literatura, não é confiável porque produz estimativas sobradamente sensíveis às escolhas sobre as variáveis de controle, amostra e ponderação.

Embora a literatura teça críticas à abordagem ricardiana, ela continua sendo muito popular para a avaliação do impacto das mudanças climáticas na agricultura (BOZZOLA *et al.*, 2018; MENDELSON, 2014; ORTIZ-BOBEA, 2019; SEO; MENDELSON 2008; SCHLENKER; HANEMANN; FISHER, 2005).

Nessa perspectiva, Mendelsohn (2014) estimou os coeficientes climáticos para as culturas agrícolas da China, embasando-se na abordagem ricardiana. O autor aponta que, adicionado a fertilização com carbono, o modelo prevê pequenos efeitos agregados com um aquecimento de 1,5°C, porém danos de cerca de US\$ 84 bilhões caso o aquecimento seja em torno de 3°C. No caso da Índia, em especial, ela está prevista para ser substancialmente mais vulnerável.

Estimando os efeitos da variabilidade climática nas receitas das culturas de milho e de chá, com base no método de dados em painel, Ochieng, Kirimi e Mathenge (2016) concluíram que a temperatura tem um efeito negativo sobre as receitas da cultura de milho, mas positivo sobre o chá, enquanto a chuva tem um efeito negativo. A temperatura tem um impacto maior na produção agrícola do que a precipitação. A mudança afetará negativamente a agricultura em 2030 e 2040 (já afetou em 2020), com maiores efeitos no setor de chá. Os autores acrescentam que é preciso repensar os prováveis efeitos nocivos do aumento das temperaturas e da incerteza das chuvas, em que deve ser uma prioridade no Quênia. Implementar medidas de adaptação nos planos nacional, distrital e agrícola, bem como a implementação de políticas que evitem a destruição do ambiente natural ajudará a abordar os desafios expendidos pela variabilidade climática.

Nessa lógica, Zhang, Zhang e Chen (2017) apontam que a mudança climática altera as distribuições de um conjunto de variáveis climáticas, incluindo temperatura, precipitação, umidade relativa do ar, velocidade do vento, duração da luminosidade do sol e evaporação. Usando os dados agrícolas da China, de 1980 a 2010, os autores mencionaram que essas variáveis climáticas adicionais, sobretudo, umidade e velocidade do vento, são críticas para o crescimento da colheita. Eles concluem que omitir essas variáveis influencia os impactos previstos das mudanças climáticas na produtividade das colheitas. Os autores acrescentam, ainda, que esses efeitos, provavelmente, reduzirão os rendimentos das culturas de arroz, trigo e milho na China em 36,25%, 18,26% e 45,10%, respectivamente, até o final deste século XXI.

Para Aggarwal *et al.* (2019), as mudanças de rendimentos observadas são consideravelmente maiores do que os rendimentos projetados decorrentes da alteração climática. Consoante os autores, as melhorias tecnológicas têm impacto na elevação do rendimento em comparação com os efeitos negativos das mudanças climáticas, no curto prazo. Assim, o crescimento tecnológico adiciona considerável valor e, também, relevância para as avaliações de impacto global, contribuindo para o investimento e desenvolvimento em grandes e pequenas escalas.

Diferentemente desta concepção, Aryal *et al.* (2020) oferecem uma revisão sistemática dos impactos das mudanças climáticas na produção agrícola e das principais opções disponíveis no setor agrícola para adaptação no Sul da Ásia. Os autores concluíram que as práticas agrícolas que ajudam na adaptação às mudanças climáticas na agricultura estão disponíveis, enquanto a configuração institucional para implementar e disseminar essas soluções técnicas ainda não foi fortalecida. Desse modo, é relevante examinar como trazer a mudança institucional necessária, no intuito de gerar fundos para investir nessas transformações e projetar políticas dinâmicas para adaptação de longo prazo às mudanças climáticas na agricultura, em vez de um mero foco na tecnologia agrícola, como apontam Aggarwal *et al.* (2019).

Abd-Elmabod *et al.* (2020), ao avaliarem dois submodelos do sistema agroecológico de apoio à decisão MicroLEIS (Terraza¹⁴ e Cervatana¹⁵) para aferir os impactos das mudanças climáticas na capacidade da terra e redução do rendimento das lavouras de trigo e girassol, principais culturas de sequeiro em distintos tipos de solo mediterrâneo (na Andaluzia,

¹⁴ O modelo Terraza fornece uma previsão experimental para a deficiência bioclimática. Ele depende da corrente de dados climáticos, de cenários de mudanças climáticas futuras e de respostas das culturas, incluindo coeficiente de eficácia de fotossíntese (Kc), coeficiente de eficiência (Ky) e retenção de água no solo.

¹⁵ O modelo Cervatana é usado para estimar a capacidade de uso da terra agrícola em diversificados tipos de solo.

sul da Espanha), durante três períodos de 30 anos, como 2040, 2070 e 2100, respectivamente. Os autores apontaram que a redução do rendimento do girassol foi muito superior à redução do trigo, especialmente nos períodos climáticos projetados, quando os resultados para 2100 mostraram efeitos mais severos, com uma redução do rendimento em torno de 95% da área de girassol. Dada essa conjuntura, a análise reforça a importância do uso de fatores de solo, clima e cultura, informações que em conjunto auxiliam na tomada de decisões sobre a formulação de estratégias específicas de manejo e uso do solo local.

Impende mencionar que inúmeras abordagens são disseminadas na literatura, com o escopo de aproximar os aspectos qualitativos e quantitativos para aplicação dos modelos econométricos que capturem os efeitos das mudanças climáticas nos diversos setores, assim como na agricultura. Ao correr das últimas décadas, essa problemática é bastante pesquisada, fazendo uso de vários modelos inovadores capazes de captar efeitos, o que em décadas recentes não era possível, em termos de disponibilidade de dados e/ou *softwares* adequados.

Ponto desafiador perante o aquecimento global é, justamente, conseguir manter a produção de alimentos em níveis desejáveis, sobretudo, a segurança alimentar, uma vez que o crescimento populacional continua a se expandir, fato esse que demandará maior produção de alimentos, ao passo que as alterações climáticas implicarão efeitos potenciais sobre a produção e qualidade dos alimentos.

Dado o contexto mundial acerca dos impactos das mudanças climáticas na agricultura, de acordo com inúmeros estudos relacionados ao Brasil, ocorrerão relevantes transformações na geografia da produção agrícola, em consequência do aquecimento global. Para Assad e Pinto (2008), as previsões para as perdas provenientes do aquecimento global chegariam a R\$7,4 bilhões em 2020, sendo a soja a cultura mais afetada. Na região Nordeste, as culturas de arroz, feijão, girassol e milho são passíveis de ter redução. Em contraposição, a mandioca é capaz de obter ganho geral em termos de área de produção, mas, ainda assim, poderá ter perdas no Nordeste, onde convencionalmente é cultivada e retratada como de suma relevância para a segurança alimentar. Os autores apontam que a cana de açúcar, por se classificar como uma cultura adaptada a altas temperaturas, provavelmente, terá sua produção duplicada nas próximas décadas

Na contemporaneidade, as transformações na geografia da produção de alimentos convocam a atenção da comunidade científica, dos órgãos governamentais e, sobretudo, das grandes corporações que nas últimas décadas se mobilizaram para alcançar estratégias para adaptar a produção agrícola aos efeitos do aquecimento global, bem como já retratavam Assad *et al.* (2008). Os autores afirmam que a agricultura brasileira é uma das poucas atividades

econômicas que tem condições de, nos próximos anos, exibir soluções para reformular o quadro da emissão de GEE no Território Nacional e, conseqüentemente, transferir essas tecnologias para outros países que possuam condições climáticas similares às do Brasil.

Ao considerarem os cenários do IPCC, Féres *et al.* (2011) mensuraram, com amparo no modelo hedônico os impactos das mudanças climáticas sobre a lucratividade agrícola no Brasil. Os resultados encontrados apontam que no período de 2040 a 2069, as perdas serão de 0,8% a 3,7%. Para o período 2070-2099, as reduções na lucratividade poderão alcançar cerca de 26%. No que concerne à análise regional, as simulações mencionam que haverá maior redução de lucratividade nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste e aumento da lucratividade nas regiões Sul e Sudeste.

Os estudos realizados no Brasil, que analisam os impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura, por meio de métodos econométricos, convencionalmente, fazem uso de três estratégias de análise, como: i) Abordagem da função de produção (modelo agrônômico); ii) abordagem ricardiana (modelo hedônico); e iii) Abordagem pelo Zoneamento Agroecológico (ZAE).

Os modelos agrônômicos discriminam uma função de produção para cada cultivo agrícola e analisam os efeitos do clima sobre a sua produtividade. Essa modalidade enseja estimar os efeitos puros ou isolados de variáveis climáticas, como temperatura, precipitação pluviométrica e gases causadores do efeito estufa, sobre a produtividade agrícola. Isso significa dizer que a estimativa é aferida sem viés, considerando os demais fatores que influenciam na produtividade agrícola, como fixos no modelo, com oscilação apenas nos dados climáticos (FERES *et al.*, 2009; ASSUNÇÃO; CHEIN, 2016). Esses modelos são utilizáveis em experimentos com situações controladas em laboratórios ou em ambientes de campo, com variegadas condições climáticas e níveis de dióxido de carbono possíveis.

A abordagem do Zoneamento Agroecológico (ZAE) avalia a sensibilidade da produção agrícola às variáveis climáticas, assim como a agrônômica o ZAE desenvolve um modelo de processo eco-fisiológico detalhado. Fatores como a duração do ciclo de crescimento, período de formação de rendimentos, índice de área foliar e de colheita, tecnologia, solo e clima disponíveis são combinados para prever os tipos de utilização da terra e servem de condicionantes para explicar o crescimento das plantas. A simulação ocorre a partir do impacto das alterações na temperatura e precipitação pluviométrica sobre potenciais padrões agrícolas e de cultivo em distintas escalas (FAO, 1996, 2000).

Relativamente ao Brasil, em 1996, o Zoneamento Agroecológico (ZAE) passou a ser instrumentalizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), com

a finalidade de elaborar calendários para o planejamento de safras, como referência para a concessão de crédito agrícola e para a elaboração do Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos (ZARC) (BRASIL, 2019). Nessa ideia, a aplicação do ZARC passou a ser uma grande referência em pesquisas ligadas aos impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura.

No Brasil, as abordagens para avaliação de impactos das mudanças climáticas na agricultura caracterizam-se por introduzir modelos mistos, com elementos de ambos os modelos citados, situando-se entre as abordagens hedônica e a agronômica (FÉRES *et al.*, 2009; SANGHI *et al.*, 1997), bem como modelos intermediários (ASSUNÇÃO; CHEIN, 2016).

Para Assunção e Chein (2016), com o estabelecimento de um modelo intermediário, mesclando as abordagens hedônica e agronômica, incorpora-se na função de produção o valor da produtividade da terra de variados cultivos agrícolas. Os autores estimaram a variação da produtividade agrícola para os municípios brasileiros ante os atributos geográficos e climáticos, sob o cenário do IPCC, para o período 2030-2049. De acordo com os resultados obtidos, o aquecimento global, considerando os padrões tecnológicos atuais, possivelmente reduzirá a produção agrícola por hectare no Brasil em torno de 18%, variando na órbita de -40% a 15%, para efeitos no nível de municípios. Concentra-se negativamente, quando há efeitos nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste.

Tanure (2020), estimou os impactos das alterações climáticas sobre a produtividade agrícola familiar e patronal, sob cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 de projeção de aquecimento global do IPCC, para os períodos de 2021/2050 e 2051/2080. Os autores indicaram que a produtividade agrícola dos agricultores familiares é mais sensível às mudanças climáticas. Para os cultivos típicos da agricultura familiar, como mandioca, milho e feijão, seriam em média, impactados com a redução da produtividade, enquanto nos cultivos patronais de cana de açúcar e soja, obteriam ganhos em produtividade nas principais regiões produtoras. As regiões Norte e Nordeste seriam negativamente impactadas em termos econômicos, ao passo que as regiões Centro-Oeste e Sudeste seriam moderadamente impactadas, à medida que a região Sul seria beneficiada. Os autores acrescentam, ainda, que o crescimento econômico vai amenizar os impactos negativos sobre o PIB nacional, especialmente, em São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul. Ademais, o fenômeno contribuirá para o aumento das desigualdades intrarregionais, bem como para a deterioração das condições de segurança alimentar no Brasil, sobretudo, para os agricultores familiares.

Em análise acerca da expansão e intensificação da fronteira agrícola Amazônia-Cerrado para um limite climático direcionado a produção de sequeiro, Rattis *et al.* (2021)

mostraram que os rendimentos diminuíram em anos com chuvas excepcionalmente baixas ou alta aridez durante os estádios iniciais de desenvolvimento das culturas de milho e soja. Esse padrão foi observado tanto em áreas irrigadas quanto em sequeiro. Os autores apontam que, apesar de a expansão e a intensificação agrícola haverem aumentado ao curso do tempo, o clima quente e seco durante os eventos de seca diminuiu sua taxa de crescimento. Essa realidade regional já impulsionou 28% das atuais terras agrícolas para fora de seu espaço climático ideal. A projeção concede garantir-se que 51% da agricultura da região sairá desse espaço climático até 2030 e 74% até 2060. Esses resultados indicam uma situação preocupante para a agricultura brasileira.

Destarte, considerando as inúmeras abordagens desenvolvidas e divulgadas na literatura, percebe-se que os estudos mais recentes que mensuram os impactos das mudanças climáticas sobre a produtividade agrícola empregam um embasamento teórico que incorpora o uso da terra às funções de produção, convencionalmente adotados em modelos agrônômicos, pois, desse jeito, tende a aproximar o processo metodológico dos modelos hedônicos, ou seja, as aplicações hodiernas contemplam elementos de abordagens diferentes para que o modelo utilizado se aproxime da fiel descrição dos efeitos das alterações climáticas na agricultura. *Ex positis*, este estudo aborda um modelo intermediário, situando-se entre a abordagem ricardiana (modelo hedônico) e da função de produção (modelo agrônômico), com ênfase na variação climática transversal e na variação do tempo, como abordam os modelos de dados em painel, por exemplo.

2.6 A abordagem da agricultura inteligente ao clima (*Climate Smart Agriculture -CSA*)

A literatura expõe que a agricultura vai enfrentar alguns desafios complexos num futuro mais remoto. Um fator relevante a ser abordado é a estimativa de que quase um bilhão de pessoas vão para a cama com fome diariamente (CAMPBELL *et al.*, 2014), enquanto que em 2050, a população mundial aumentará em mais um terço. Portanto, espera-se que mais 2,4 bilhões de pessoas viverão em países em desenvolvimento (FAO, 2013), concentradas no Sul da Ásia e na África Subsaariana (LIPPER *et al.*, 2014). Nessas regiões, a agricultura é um setor econômico-chave e uma importante fonte de empregos.

Simultaneamente, mais pessoas viverão nas cidades. Assim, se a renda atual e as tendências de crescimento do consumo permanecerem, estima-se que, globalmente, a produção agrícola precisará crescer em 60% até 2050 para satisfazer as demandas esperadas de alimentos e de rações (FAO, 2013). Para Lipper *et al.* (2014), a maior parte do suprimento dessa demanda

potencial terá que vir do aumento da produtividade. Os autores afirmam, ainda, que, mais de 20% da população sofre, em média, com insegurança alimentar. Nessa perspectiva, cerca de 75% dos pobres do mundo vivem em áreas rurais, onde a agricultura é a sua mais importante fonte de renda.

Conforme a *Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO* (2021), o desenvolvimento do potencial para elevar a produtividade e as receitas dos sistemas de produção agrícola, pecuária, piscícola e florestal de pequenos produtores será o elemento-chave para alcançar a segurança alimentar global nos vinte anos subsequentes. Nessa perspectiva, as mudanças climáticas devem atingir, provavelmente, com maior intensidade os países em desenvolvimento (FAO, 2013, 2021a).

Mencionam-se, por ser azado o instante, alguns efeitos, como temperaturas elevadas, mudanças nos padrões de precipitação pluviométrica, aumento do nível do mar e maior frequência de eventos climáticos extremos (FAO, 2021b). Estes, por sua vez, terão sérias implicações na produção de alimentos, nos rendimentos e nos serviços ecossistêmicos (alimentos, combustível lenhoso, medicamentos, madeira, fibra, recursos genéticos, regulação da água, regulação do clima, regulação de doenças, controle da erosão, recreação e ecoturismo) (RECHA; CHIULELE, 2017).

Dada a conjuntura, o conceito de *Climate Smart Agriculture* (CSA), conforme definido e oferecido pela FAO na Conferência de Haia sobre Agricultura, Segurança Alimentar e Mudanças Climáticas, em 2010, contribui para o alcance das metas de desenvolvimento sustentável (FAO, 2010). A abordagem CSA integra as três dimensões do desenvolvimento sustentável (econômica, social e ambiental) por meio da alusão à segurança alimentar e aos desafios climáticos. Sua composição, pois, permeia três pilares essenciais (FAO, 2013).

- I. Aumentar de modo sustentável a produtividade e os rendimentos agrícolas.
- II. Adaptar e estabelecer resiliência às mudanças climáticas.
- III. Reduzir e/ou remover as emissões de gases de efeito estufa (GEE), quando possível.

Lidar com os riscos associados às mudanças climáticas requer uma compreensão dos impactos potenciais relacionados à carência no acesso à água e à vulnerabilidade das populações rurais. Vulnerabilidade, sensibilidade, adaptabilidade, resiliência e exposição variam, dependendo do sistema agrícola e da importância da agricultura para o economia nacional (FAO, 2013; RECHA; CHIULELE, 2017).

Na ideiação da FAO (2021b), a CSA não é apenas um conjunto de práticas aplicáveis universalmente, mas sim uma abordagem que envolve distintos elementos incorporados aos

contextos locais. A CSA está relacionada às ações a montante na fazenda, bem como a jusante, e incorpora tecnologias, políticas, acesso às instituições e aos investimentos de curto, médio e longo prazos.

Por ser uma abordagem recente, muitos aspectos operacionais da CSA ainda estão sob investigação, visto que o contexto local determina o ambiente propício, bem como as compensações e sinergias entre produtividade, adaptação e mitigação (BELOW, 2012; FAO, 2021b). Para tanto, conforme De Pinto *et al.* (2020) os agricultores devem identificar o que é classificável como inteligente para o clima, ponderando seu contexto biofísico, agrícola e socioeconômico; bem como o conhecimento empírico dos agricultores, que torna o conhecimento popular uma maneira de lidar com as adversidades regionais, assim como a região Nordeste do Brasil que detém em sua essência a convivência com instabilidade climática na produção agropecuária.

Consequentemente, o uso da abordagem CSA é intensivo em conhecimento e requer um notório apoio institucional (MCCARTHY; LIPPER; BRANCA, 2011; NEUFELDT *et al.*, 2013). Por causa dessas dificuldades, Chandra, McNamara e Dargusch (2018) observaram que, no momento, a CSA configura-se como “uma solução acadêmica popular”, desafiando obstáculos para se conceber em ações tendidas aos pequenos agricultores e à sociedade civil, bem como em novas orientações políticas.

A formulação de novos modelos e/ou sistemas de produção contemplada pelas agendas políticas internacionais, bem como a abordagem CSA, dada a demanda global por um sistema de desenvolvimento econômico com estratégias sustentáveis que preservem os recursos naturais e reduzam os impactos das mudanças climáticas, fizeram com que inúmeros países demandassem meios de transição eficientes de desenvolvimento limpo. Quando, porém, a teoria é posta em prática, a realidade que assola a capacidade de implantação de medidas estratégicas, principalmente, nos países em desenvolvimento, torna-se insuficiente para atender a todos os requisitos impostos para que determinada abordagem seja eficaz a fim de sanar problemas em regiões selecionadas.

Nessa concepção, Taylor (2018) elucida como a falha em incorporar aspectos relativos à justiça social torna o consentimento e a implantação da CSA complicados em muitas comunidades. Para o autor, o desfecho frequente é que, mesmo quando os pequenos agricultores, organizações agrárias, agricultores de grande escala e formuladores de políticas públicas tenham adotado o conceito de CSA, eles defrontam a implementação e tendem a explorar protocolos mais acessíveis para prosseguir.

Dado que a prioridade relativa de cada objetivo da CSA varia entre os locais, a título de exemplo, a maior ênfase na produtividade e na capacidade adaptativa em pequenos produtores com sistemas agrícolas que detêm baixos níveis de insumos em países menos desenvolvidos, configura-se como elemento essencial da CSA a identificação de potenciais sinergias e *trade-offs* entre objetivos (NEUFELDT *et al.*, 2013).

A despeito dessas questões não resolvidas, uma parcela substancial de recursos deverá ser mobilizada para promover e implantar a CSA em uma escala suficiente no intuito de promover um impacto global (DE PINTO *et al.*, 2020). Embora a CSA seja mais do que um conjunto de práticas agrícolas, ela inclui algumas tecnologias e ferramentas agronômicas específicas.

Para Chandra, McNamara e Dargusch (2018), em análise crítica ao discurso da CSA na literatura acadêmica e política, entre 2004 e 2016, os autores apontam três disposições fundamentais detectadas: os estudos são tendenciosos para agendas de políticas globais; a pesquisa concentra-se em questões científicas e técnicas; e a integração de mitigação, adaptação e segurança alimentar está se tornando uma “solução acadêmica popular”.

Ao quantificarem os benefícios da CSA em uma escala global, De Pinto *et al.* (2020) salientam que a adoção generalizada de práticas é suscetível de elevar a produção e reduzir os preços mundiais de trigo, milho e arroz sob futuras condições climáticas desfavoráveis. Os autores afirmam que a atenuação dos preços deve tornar os produtos alimentícios mais acessíveis a milhões de pessoas, reduzindo, assim, o número de pessoas em risco de fome e de crianças subnutridas. Logo, esses ganhos serão obtidos com a melhoria da fertilidade do solo e a redução das emissões de GEE. Quando adotados conjuntamente, os resultados sugerem que as práticas da CSA oferecem benefícios em seus três pilares em escala global.

De acordo com a FAO (2013, 2021b), a CSA não se caracteriza apenas como única tecnologia ou prática agrícola específica a ser aplicada universalmente. Na verdade, ela configura-se como uma abordagem que requer avaliações específicas no âmbito local para identificar tecnologias e práticas de produção agrícola adequadas. Desse modo, ela é esquematizada conforme a Figura 3.

Figura 3 – Elementos norteadores da abordagem da *Climate Smart Agriculture (CSA)*



Fonte: Elaboração própria (2022), com base na FAO (2013).

O conceito da CSA é relativamente novo para descrever uma gama de práticas de adaptação e mitigação sem um conjunto específico de critérios. Apesar de haver um aumento nas pesquisas relacionadas à adoção da CSA com a transformação da agricultura familiar em países em desenvolvimento, há uma escassez de pesquisas aplicadas às experiências dos países desenvolvidos (CHANDRA; MCNAMARA; DARGUSCH, 2018). Esses autores, ainda, acrescentam que o atual enquadramento político da CSA não proporcionará nova direção política, a menos que se baseie nos contextos dos pequenos agricultores e da sociedade civil.

Hardowar (2020) aponta que a CSA promove as melhores práticas agrícolas, particularmente o manejo integrado de culturas, agricultura de conservação, consórcio, tratamento e armazenamento eficientes de esterco, diversidade animal, utilização de sementes melhoradas e práticas de gerenciamento de fertilizantes, entre outros.

Conforme a CSA, a FAO (2010, 2013, 2021b) define que as práticas conservacionistas embasadas em estratégias sustentáveis preservam os recursos naturais que, conseqüentemente, tenderão a elevar a produtividade, reduzir os impactos das mudanças climáticas, promover adaptação e resiliência dos agricultores e dos sistemas agrícolas.

Embora para Neufeldt *et al.* (2013), em princípio, somente as práticas agrícolas que abrangem todos os elementos da CSA devam ser apontadas como inteligentes para o clima, a expressão é usada de maneira muito liberal porque não está claro como as variadas dimensões interagem. Desse modo, teoricamente, qualquer prática agrícola que melhore a produtividade ou o uso eficiente de recursos escassos é considerada inteligente para o clima devido aos benefícios potenciais em relação à segurança alimentar, mesmo que nenhuma medida direta seja tomada para conter os efeitos prejudiciais do clima.

No âmbito global da abordagem CSA, De Pinto *et al.* (2020) examinaram quatro categorias principais de práticas agrícolas: plantio direto, manejo integrado da fertilidade do solo, eficiência do uso de nitrogênio, umedecimento e secagem alternativos. Os autores demonstraram ter impactos positivos na produção e na mitigação de GEE em uma ampla gama de condições, mas todos eles requerem modificações e ajustes específicos no terreno. Os resultados sugerem benefícios mais amplos relacionados à resiliência do sistema de produção, à redução da pressão para expansão da área de cultivo e à redução do esgotamento da fertilidade do solo.

Em análise feita nas Ilhas Maurício, país localizado no Continente Africano, Hardowar (2020) constatou que a CSA não aparece na estratégia relacionada à agricultura, apenas alguns elementos estão contidos nos planos de desenvolvimento. O autor reforça a ideia de que existe pouco empenho para elucidar a implantação de agricultura inteligente ao clima no País. Ademais, os agricultores precisam ser encorajados a adotar práticas inteligentes ao clima e os formuladores de políticas devem estimular uma abordagem integrada das atividades que promovam a CSA.

Na concepção de Campbell *et al.* (2014), uma perspectiva de adaptação às anormalidades climáticas requer ação para ajudar os agricultores com poucos recursos por serem mais afetados pelos efeitos resultantes, mas que menos contribuam para isso, de modo que os países em desenvolvimento aumentem sua segurança alimentar e acelerem seu crescimento econômico. Os autores concluem que ações dessa natureza carregam co-benefícios significativos ligados à mitigação, ao fortalecimento das comunidades rurais, melhorando a subsistência e o emprego dos pequenos proprietários e evitando impactos sociais e culturais

negativos, como perda da posse da terra e migração forçada. É capaz, entretanto, de resultar em custos iniciais mais elevados como, por exemplo, os custos com mão de obra extra.

Em suma, a literatura reitera que, para causar um impacto significativo, os princípios da CSA devem ser amplamente aplicados em todos os sistemas de produção, e, para que isso ocorra, devem ser feitos investimentos significativos. Nesse aspecto, os princípios não-de ser direcionados a todo o sistema alimentar, isto é, comércio, estoques, nutrição e políticas sociais. De Pinto *et al.* (2020) citam que efeitos abrangentes e multidimensionais, às vezes não intencionais ou imprevistos, devem ser compreendidos e gerenciados. A CSA fornece uma estrutura útil para a tomada de decisões, desde a fazenda até o nível de políticas.

Neufeldt *et al.* (2013) apontam que, pelo fato de a CSA não possuir um conjunto específico de práticas agrícolas, ou seja, qualquer prática que reduza a exposição, sensibilidade ou vulnerabilidade à mudança climática (coleta de água, terraceamento, cobertura morta, safras tolerantes à seca, seguros indexados, entre outras), as práticas também podem ser consideradas inteligentes ao clima, visto que aprimoram a capacidade dos agricultores de lidar com os extremos climáticos. De modo similar, as práticas agrícolas que sequestram carbono da atmosfera (agrossilvicultura e cultivo mínimo), reduzem as emissões agrícolas (manejo de estrume, plantas de biogás, redução da conversão de florestas e pastagens) ou melhoram a eficiência do uso de recursos (safra com maior produtividade, raças bovinas adaptadas, melhor gestão das colheitas e criação de animais), são havidas como inteligentes para o clima porque contribuem para abrandar o ritmo das alterações climáticas (NEUFELDT *et al.*, 2013).

A CSA mostra uma diversidade de potenciais benefícios para os agricultores e a toda a cadeia de valor alimentar. Para Mbow *et al.* (2014), ao realizarem estudos para o oeste do Quênia, indicaram que a agrossilvicultura reduziu a insegurança alimentar durante a seca e inundações, em torno de 25%, dada a sua capacidade de aumentar o rendimento e a renda das culturas em meio à calamidade. Recha e Chiulele (2017) apontam como um dos benefícios da CSA na África Oriental o plantio de mangueiras para proteger o solo da erosão física e contribuir para a nutrição das famílias. O estudo de Akrofi-Atitianti *et al.* (2018) salientou que os praticantes da CSA aumentaram sua renda em 29% em confronto com a dos agricultores convencionais. Em suma, a diferenciação está atribuída à capacidade de as tecnologias da CSA sustentarem rendimentos sob instabilidade climática.

Entende-se que a investigação dos determinantes da CSA seria, portanto, um longo caminho para estabelecer bases científicas que auxiliem os esforços para adaptar a produção agropecuária aos efeitos das mudanças climáticas. Nisso, Waaswa *et al.* (2022) desenvolveram uma pesquisa que explorou os determinantes das práticas da CSA documentados por

autoridades, estudos teóricos e empíricos. Os autores investigaram sistematicamente a necessidade dessas práticas, revisando o efeito da mudança climática sobre produção de batata no Quênia. Eles alertam para o fato de que a compreensão do capital financeiro, natural, físico e social, necessária para executar as práticas tecnológicas da CSA, é fundamental para a sua adoção. Além disso, o modo de comunicação dessas práticas determina sua adoção, portanto, o conhecimento de tais determinantes e de fatores socioeconômicos e institucionais molda o desenvolvimento tecnológico e a sua difusão. Essa abordagem exprime potencial para aliviar a insegurança alimentar em face da variabilidade climática.

Cabe mencionar que o desenvolvimento de tecnologias destinadas ao campo, sem total conhecimento do contexto dos agricultores, leva à sua subutilização, razão por que não basta apenas lançar novos caminhos, mas o que importa mesmo é ajustar à realidade de cada agricultor fornecendo a oportunidade de capacitá-lo e, assim, torná-las possíveis no campo.

Dada a conjuntura acerca da definição da abordagem da CSA, desde o seu surgimento em 2010 (FAO, 2010, 2013) até a discussão hodierna pela literatura (AKROFI-ATITIANI *et al.*, 2018; CAMPBELL *et al.*, 2014; CHANDRA; MCNAMARA; DARGUSCH, 2018; DE PINTO *et al.*, 2020; HARDOWAR, 2020; LIPPER *et al.*, 2014; MCCARTHY; LIPPER; BRANCA, 2011; MBOW *et al.*, 2014; NEUFELDT *et al.*, 2013; RECHA; CHIULELE, 2017; TAYLOR, 2018; WAASWA *et al.*, 2022), impende-se apontar que, apesar de inúmeros trabalhos publicados no âmbito da abordagem da CSA, os critérios e as práticas agrícolas que fundamentam os três pilares ainda se mostram não muito bem definidos. Desse modo, propor ações adequadas torna-se um desafio para cada país. Compreendê-los é essencial para adaptação das práticas de CSA às necessidades mais relevantes dos agricultores e ao seu desenvolvimento, para que os agricultores sejam capazes de acessar e colocar em prática. Esses critérios são desafiadores, também, para o Brasil, que é um país de grande dimensão e elevada diversidade, principalmente, em regiões mais vulneráveis, como o Norte e Nordeste.

2.7 Da vulnerabilidade à resiliência da agricultura às mudanças climáticas

A literatura insiste em que um dos principais fatores mencionados como responsáveis pela inserção da adaptação na agenda política foram as lacunas científicas sobre os impactos, vulnerabilidade e adaptação à mudança climática (ADGER *et al.*, 2009).

A mudança climática é uma ameaça que agrava ainda mais as condições de vida já precárias de muitos agricultores, sobretudo, as daqueles de pequeno porte, uma vez que eles são

considerados um dos grupos mais vulneráveis às intempéries do clima em decorrência da: i) sua alta dependência de bens e serviços ecossistêmicos que estão sob pressão crescente; ii) sua baixa capacidade de adaptação às mudanças; iii) sua dependência de culturas de sequeiro; e iv) sua localização em paisagens marginais (como encostas, desertos e várzeas), onde suas fazendas estão expostas a uma variedade de riscos climáticos (DONATTI *et al.*, 2019; LEMOS, 2020; UNEP, 2020).

Entende-se que a produção agrícola está sujeita a riscos de vários tipos, como: econômicos e de preços, climáticos, ambientais, ocorrência de pragas e doenças, em distintas escalas, e, muitas vezes, instabilidade política (FAO, 2013). Estes, por sua vez, causam riscos aos rendimentos das safras, particularmente importantes para os pequenos produtores que tendem a consumir grande parte de sua produção. Desse modo, os agricultores estão bastante expostos aos riscos econômicos, incluindo insegurança da posse da terra, variações no acesso aos insumos (fertilizantes, sementes, pesticidas, rações), em quantidade e qualidade, e variações no acesso aos mercados. Além desses, os agricultores em todos os níveis são tomadores de preços ou ajustadores de quantidades dos itens que produzem e vendem. Sendo assim, os preços que receberão dos seus produtos são exogenamente definidos sem que tenham qualquer interferência (FAO, 2010, 2013).

O Relatório do Desenvolvimento Humano 2014 (UNDP, 2014) intitulado *Sustentando o Progresso Humano: Reduzindo a Vulnerabilidade e Construindo Resiliência*, lançado em Tóquio, destaca a necessidade de promover as escolhas das pessoas e proteger as conquistas do desenvolvimento humano. O Documento considera que a vulnerabilidade ameaça o desenvolvimento humano e, a menos que seja abordada de maneira sistemática, por meio da mudança de políticas e das normas sociais, o progresso não será nem equitativo nem sustentável. Nele, o conceito de vulnerabilidade é empregado para descrever a exposição e gerenciamento de risco, incluindo seguro contra choques e diversificação de ativos e renda.

Nessas circunstâncias, o choque final depende não apenas da sua intensidade, mas também da vulnerabilidade do sistema a ele. Logo, a vulnerabilidade se define como a propensão ou predisposição para ser adversamente afetada (IPCC, 2014). Fellmann (2012) aponta que esse conceito é considerado complexo, uma vez que necessita analisar em todas as escalas e em várias dimensões (GITZ; MEYBECK, 2012). Na definição de Gallopín (2006), a vulnerabilidade é uma propriedade preexistente do sistema, determinada apenas por suas propriedades internas: sensibilidade e capacidade adaptativa.

Portanto, o grau de vulnerabilidade específica de um sistema a um tipo particular de risco é analisado como exposição e sensibilidade ao choque potencial que se relaciona a esse

risco, e também depende da capacidade adaptativa do sistema para lidar com o choque (FAO, 2013). Nesse âmbito, a capacidade adaptativa em si também é afetada por um fator de choque externo.

Para Lemos (2020), ao retratar o conceito de vulnerabilidade numa visão mais ampla, denota a incapacidade de um sistema se opor aos efeitos de um ambiente adverso. O autor aponta que a definição de vulnerabilidade, nesta perspectiva, expressa a dificuldade de esse sistema responder satisfatoriamente à multidimensionalidade ou à sinergia de fatores que, combinados com forças do meio ambiente, ensejam desastres.

Donatti *et al.* (2019) apontam que há um grande corpo de trabalho sobre os impactos das mudanças climáticas na agricultura e água, que se configura como uma grande contribuição, pois faz parte do que é necessário para entender a vulnerabilidade dos pequenos agricultores às mudanças climáticas. As informações sobre a vulnerabilidade dos pequenos agricultores às mudanças climáticas na América Central e no México. Entretanto, estão incompletas e, provavelmente, insuficientes para orientar ações de adaptação eficientes dirigidas para esse importante grupo de subsistência. Os autores mencionam que existem muitas barreiras políticas e econômicas que impedem o desenvolvimento de iniciativas de adaptação, necessitando de informações detalhadas e geograficamente explícitas sobre quem e onde estão localizados os pequenos agricultores mais vulneráveis e para recomendações baseadas em evidências sobre estratégias e práticas de adaptação para produtores rurais que trabalham em sistemas de cultivo diferentes.

Consoante a literatura que retrata sobre mudança climática, vulnerabilidade é conceituada como o grau em que um sistema é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos adversos, incluindo variabilidade climática e extremos climáticos (SMIT; PILIFOSOVA, 2003). Ela está associada a três características: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa (ADGER, 2009; GALLOPÍN, 2006; O'BRIEN *et al.*, 2004). Para Füssel (2007), a exposição refere-se à fonte de perturbação, caracterizada como elemento externo ao sistema sob análise. No caso da sensibilidade, refere-se às características internas do sistema, que condicionam os níveis de suscetibilidade a um determinado estímulo. É mencionada como a propensão do sistema em ser afetado, receber impactos, danos ou perdas, quando exposto a uma perturbação (ADGER, 2009; GALLOPÍN, 2006; O'BRIEN *et al.*, 2004). Exprime-se, por oportuno, que o impacto é positivo ou negativo (LINDOSO, 2013).

Aponta-se que, em muitos casos, há correlações amplificadoras ou positivas entre os efeitos de choques de natureza diversa. Desse modo, reduzir a vulnerabilidade a um tipo de choque ajuda, também, a reduzir a vulnerabilidade (específica) a outro tipo de possível

ocorrência. Assim, por exemplo, a ocorrência de seca aumenta a vulnerabilidade, em termos de sanidade animal, uma vez que, ao diminuir a disponibilidade dos recursos hídricos, certamente, vai ocasionar algumas doenças, dado o enfraquecimento dos animais. Ao reduzir os bens das famílias, a seca também aumenta sua vulnerabilidade a outro tipo de choque (FAO, 2013).

Lemos (2020), em análise aos padrões de vulnerabilidades induzidas que assolam os 1262 municípios do Semiárido brasileiro - conforme definição que prevaleceu até dezembro de 2021, por meio de indicadores associados às privações de acesso à educação, renda, água encanada, esgotamento sanitário e coleta sistemática de lixo - concluiu que os níveis elevados de vulnerabilidades nos municípios do Semiárido brasileiro e a grande parcela destes têm o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* de no máximo um salário-mínimo, expondo que há heterogeneidades na sua apropriação entre municípios.

Na conceição de Brooks (2003), um sistema só é considerado vulnerável se houver um fator de exposição como referência. Quanto ao entendimento de Ford *et al.* (2006), os autores também mencionam que a vulnerabilidade tem sempre como referência um vetor de exposição. Em resumo aos autores citados, para ressaltar essa relação, eles agregam os conceitos de exposição e sensibilidade em termo único, de tal modo que sempre sejam analisados em conjunto. Esses princípios são de suma relevância para a aplicação nesta pesquisa, relacionando os conceitos trazidos pela literatura da área junto à mensuração de impactos provocados pelas instabilidades climáticas na agricultura.

Outro princípio bastante utilizado é o conceito de adaptação, entendido como redução da vulnerabilidade, seja ao moderar sensibilidades, seja no fortalecimento da capacidade adaptativa. Na segunda, adaptação é entendida como elaboração de resiliência (LINDOSO, 2013).

A capacidade adaptativa é uma propriedade dos sistemas socioecológicos, preexistente ao distúrbio, determinada por fatores internos e externos (GALLOPÍN, 2006; FÜSSEL, 2007). Na visão de Smit e Pilifosova (2003), a capacidade adaptativa reflete o grau de ajustes em processos, estruturas e práticas que amenizam danos ou reduzem impactos da mudança climática. Klein *et al.* (2003) apontam, entretanto, que a capacidade adaptativa está expressa na habilidade de planejar e se preparar para uma ameaça, assim como implementar medidas técnicas, antes, durante e depois do distúrbio.

Exprime-se que, no contexto das mudanças climáticas, há duas vertentes bastante utilizadas: a primeira enquadra-se em moderar as causas, ou seja, reduzir as emissões de GEE por fontes humanas que levam ao aquecimento global (mitigação); e a segunda destina-se a moderar os impactos (adaptação). Desde o debate primário sobre as estratégias de

enfrentamento à mudança climática, era perfilhado o termo **limitação** para se referir ao controle das emissões de GEE. Somente, todavia, no início dos anos de 1990, o vocábulo **mitigação** passou a ser amplamente adotado (IPCC, 2012; LINDOSO, 2013).

É necessário, portanto, aumentar sobremaneira a ambição das ações de mitigação (redução de emissões) para evitar os piores efeitos da mudança do clima. No Brasil, em 2021, o Plano ABC+ entrou em seu novo ciclo até 2030. A renovação do plano incorporou novas tecnologias de baixas emissões, agrupadas, juntamente com as que já estavam, sendo renomeadas de SPSabc (sistemas, práticas, produtos e processos de produção sustentáveis), com novas metas de expansão. Caso a meta seja conquistada ao final do ciclo, o Plano ABC+ será responsável pela mitigação de 1,11 bilhão de toneladas de CO₂e. Isso seria o correspondente a dois anos de emissões do setor agropecuário, considerando a média da última década (OC, 2021).

Nesta discussão acerca da literatura, retratam-se os principais conceitos adotados nas pesquisas correlacionadas aos efeitos climáticos na agricultura. De acordo com o documento analítico do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa – SEEG (OC, 2021) é relevante identificar a ampliação de boas práticas agropecuárias, com o fomento e adoção de tecnologias de mitigação e adaptação, ainda mais em áreas já antropizadas, sendo fundamental para gerar o efeito “poupaterra”, reduzindo a pressão por desmatamento de novas áreas.

Como uma das vertentes desta pesquisa se embasou nos princípios da resiliência, se faz necessário abordar sobre sua definição e aplicabilidade na agricultura ante da instabilidade climática. O seu conceito é usado de maneiras diversas por múltiplas áreas. Na Ecologia e nas Ciências Naturais, a resiliência era convencionalmente compreendida como uma propriedade que permite um sistema recuperar o seu estado anterior depois de sofrer um choque.

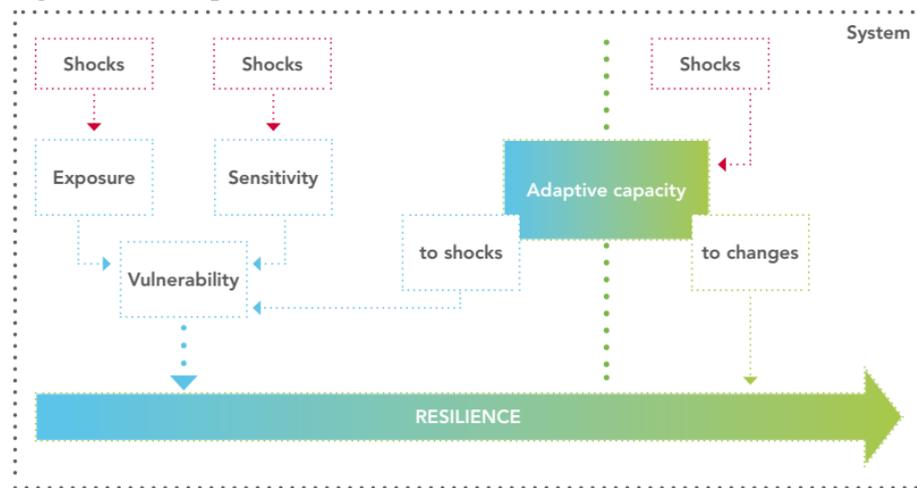
Assim como foi apontada pelo IPCC (2014), a vulnerabilidade é a propensão ou predisposição para algo ser afetado negativamente, esta definição abrange uma série de conceitos, incluindo sensibilidade ou suscetibilidade a danos ou falta de capacidade para enfrentar ou se adaptar. Em direção contrária, a unidade ideativa **resiliência** é evidenciada como a capacidade dos sistemas físicos, sociais, econômicos e ambientais de lidar com eventos perigosos, tendências ou perturbações, respondendo de modo que mantenham a sua função, identidade, estrutura, capacidade de adaptação, aprendizagem e transformação. Logo, a resiliência é conceituada como a capacidade de um sistema voltar ao seu formato original após ter sido objeto de uma perturbação, ou seja, um desastre.

Salienta-se que o desafio não consiste apenas em preservar que as populações vulneráveis recaiam em situações extremas de dificuldade e privação, pois consiste, também, em criar um ambiente que as habilite a continuar a fazer novos progressos de desenvolvimento humano ao longo das décadas subsequentes. Existem medidas que estreitam o canal entre as pessoas e entre os países e aumentam a resiliência e as capacidades daqueles que, de outra maneira, permanecerão indefinidamente vulneráveis. É necessário que existam políticas para prevenir a devastação causada pelos riscos, que promovam a extensão dos benefícios da prosperidade a todos e reforcem a resiliência das sociedades. Elas, combinadas, protegem e sustentam o progresso humano. Portanto, a resiliência está latente a toda abordagem em torno da consecução e manutenção do desenvolvimento humano. Ela consiste, substancialmente, em assegurar que o Estado, a comunidade e as instituições globais se empenhem em capacitar e proteger os seres humanos (IPCC, 2014; UNDP, 2014).

Recomenda-se que as avaliações da resiliência dos sistemas devem ter em consideração as possíveis compensações e assimetrias entre os grupos e indivíduos dentro do sistema. No que se refere à abordagem do desenvolvimento humano, a resiliência concentra-se nas pessoas e respectivas interações. Nela classificam-se como fatores importantes o poder e a posição social (UNDP, 2014).

A definição de resiliência é apontada como a capacidade dos sistemas, comunidades, famílias ou pessoas de prevenir, mitigar ou lidar com o risco e se recuperar de choques (FAO, 2013). Portanto, a resiliência é considerada o oposto da vulnerabilidade. A diferença é que a resiliência adiciona uma dimensão de tempo. Um sistema é resiliente quando é menos vulnerável a choques em tempo e pode se recuperar deles, principalmente quando se intensifica a capacidade adaptativa. Esta última abrange duas dimensões - recuperação de choques e resposta a mudanças - a fim de garantir a plasticidade do sistema. A Figura 4 demonstra o sistema que compõe a resiliência.

Figura 4 – Componentes da resiliência



Fonte: Gitz e Meybeck (2012).

Conceituado no Relatório do Desenvolvimento Humano 2014 (UNDP, 2014), a resiliência permeia a capacidade que um sistema e seus componentes têm em antecipar, absorver, acomodar ou recuperar-se de efeitos provocados por fatores externos, de uma maneira eficiente, de um ponto de vista temporal. Para tanto, assim como abordado por Pimm (1991), esta visão de resiliência tem ênfase no conceito físico de elasticidade, em razão da característica dos materiais de se deformarem e voltarem ao formato original, após receberem algum choque responsável por sua deformação.

Nessa perspectiva, Lemos (2020) enfatiza a ideia de que resiliência e vulnerabilidade percorrem direções opostas. A resiliência é conceituada como a capacidade de um sistema (ou indivíduo) em vulnerabilidade se recuperar, permanecendo estável. O autor assinala, ainda, que a resiliência detém as próprias forças latentes ou potenciais do sistema, ou mesmo induzidas por fatores externos, os quais vão servir como indutores ou catalisadores. Nesta pesquisa, o conceito de resiliência, aplicado ao meio rural, está relacionado à capacidade de a agricultura se recuperar perante os choques climáticos.

Desse modo, se faz necessário abordar a definição de Agricultura Resiliente ao Clima (*Climate Resilience Agriculture – CRA*, sigla em inglês), pois ela tem relevância para esta discussão, uma vez que configura uma etapa anterior à CSA. No modo de entender de Rao *et al.* (2016), a CRA traduz a incorporação de adaptações, adicionada a outras práticas na agricultura que tenham a capacidade de incrementar o sistema produtivo em reagir a distintas instabilidades climáticas, por meio da resistência aos danos, recuperando rapidamente e assegurando produção sustentável. Esse conceito envolve incremento em manejo dos recursos

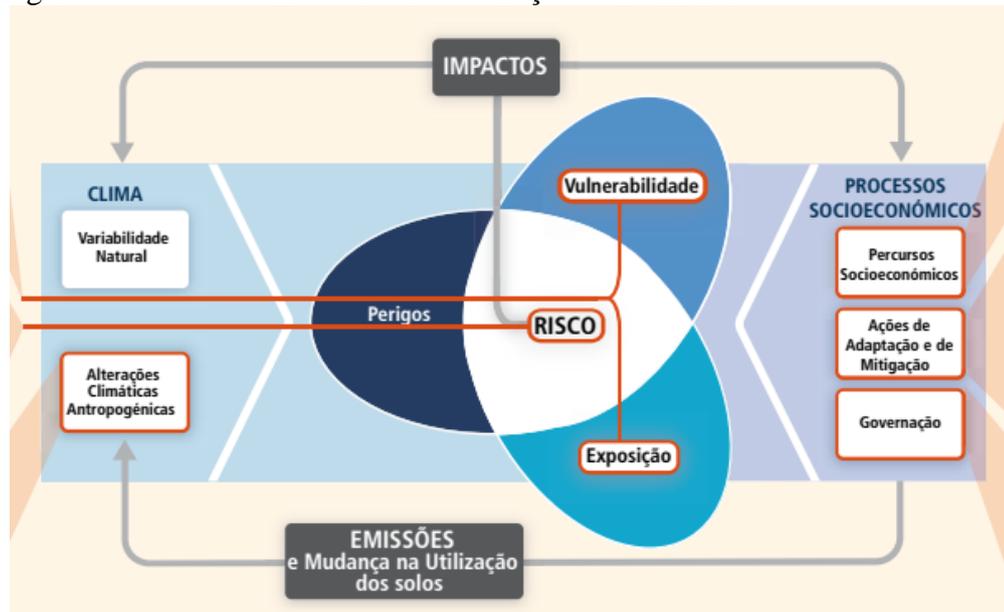
naturais e recursos genéticos, no intuito de alcançar práticas agrícolas mais sustentáveis (RAO *et al.*, 2016; RAO; GOPINATH, 2016).

Algumas estratégias são sugeridas na literatura para retratar as práticas de CRA com a finalidade de alcançar: manejo do solo; cultivo de variedades tolerantes à seca; diversificação de safras; desenvolvimento de estratégias de captação e armazenamento de água; atingir a segurança alimentar; conservação da umidade do solo; manejo adequado do solo; diversificação de culturas agrícolas; cultivo de lavouras de ciclo mais curto, dentre outras práticas (ALEMAW; SIMALENGA, 2015; ALTIERI; NICHOLLS, 2017; MAHESWARI *et al.*, 2019; RAO *et al.*, 2016; RAO, *et al.*, 2019; REY, 2017).

Portanto, intensificar e elevar a resiliência das famílias rurais que possuem atividades embasadas na agricultura é uma tarefa desafiadora e que requer uma estratégia adequada. Ambientes em decurso de transformação são factíveis de forçar os agricultores à alteração das suas práticas convencionais de agricultura e impulsionar a adoção de práticas baseadas na agricultura resiliente ao clima. As práticas e tecnologias adotadas pela CRA são, de modo geral, condizentes com o princípio de baixa emissão de carbono, que visam, sobretudo, a melhorar a segurança alimentar e a renda, bem como aumentar a capacidade de resiliência do sistema agrícola (SAIN *et al.*, 2017; WEBB *et al.*, 2017).

O primeiro passo para a adaptação a futuras alterações climáticas é a redução da vulnerabilidade e exposição à variabilidade climática atual. Por essa razão, as estratégias adotadas com co-benefícios para outros objetivos. Então, as estratégias e ações disponíveis elevam a resiliência numa variedade de possíveis alterações climáticas futuras, ao mesmo tempo em que ajudam a melhorar a saúde humana, os meios de subsistência, o bem-estar social e econômico e a qualidade ambiental. A integração da adaptação no planejamento e tomada de decisões promove sinergias com o desenvolvimento e a redução do risco de catástrofes (IPCC, 2014). Os elementos envolvidos nesta discussão visualizam-se na Figura 5, que demonstra os principais conceitos abordados na gestão do risco ante as condições climáticas, bem como a sobreposição dessas abordagens.

Figura 5 – Gestão de riscos futuros e criação de resiliência



Fonte: IPCC (2014).

Entende-se que o planejamento e a implementação da adaptação em seus níveis de governança são contingentes nos valores sociais, objetivos e percepção de riscos. O reconhecimento de interesses distintos, circunstâncias, contextos socioculturais e expectativas beneficiam as tomadas de decisões. Os sistemas e práticas de conhecimentos indígenas, locais e tradicionais, sob a perspectiva da visão holística dos povos indígenas sobre a comunidade e o ambiente, são um importante recurso para a adaptação às alterações climáticas. Estes não se utilizam de modo consistente nos esforços para adaptação. Integrar essas modalidades de conhecimento com as práticas aumenta a eficácia da adaptação e, conseqüentemente, tem uma grande probabilidade de reduzir os riscos. Os perfis de evolução que promovem a resiliência em face da mudança climática, *in hoc sensu*, são as trajetórias de desenvolvimento sustentável que combinam adaptação e mitigação com a finalidade de reduzir alterações climáticas e os seus impactos. Incluem processos iterativos para garantir que a gestão de riscos eficaz seja implementada e mantida (DONATTI *et al.*, 2019; IPCC, 2014).

Convencionalmente, em áreas rurais, os agricultores costumam estocar sementes de safras anteriores, em geral, rusticamente, em recipientes guardados em suas moradias, que serão disponibilizadas nos anos posteriores para o plantio. Popularmente chamada de casa de sementes crioulas, essa prática independe de políticas de distribuição de sementes que os governos estaduais e/ou municipais venham a realizar. Essa estratégia é utilizada e repassada entre gerações, principalmente em regiões onde as condições de armazenamento de sementes são escassas de estruturas mais sofisticadas ou mesmo por falta de suporte de cooperativas.

Inúmeras estratégias de sobrevivência são utilizadas pelos agricultores por meio dos conhecimentos adquiridos, de acordo com o tempo, pelas experiências em campo e pelos conhecimentos de seus antepassados. Desse modo, os produtores rurais são capazes de elaborar estratégias de sobrevivência e de adaptação às diversas situações que lhes aconteçam, inclusive aos períodos mais críticos, sem que haja a dependência da ação de agentes externos ou do poder público. Na literatura, este comportamento é definido como mecanismo de autodefesa e identificado como capacidade adaptativa ou auto-resiliência (DEVENDRA, 2016; OBERMAIER, 2011; PRAXEDES, 2021).

Práticas como essas são muito utilizadas em países que possuem regiões mais vulneráveis ao clima e necessitam de estratégias capazes de melhorar as condições locais, mesmo que de maneira simples. Essa realidade é bastante comum no Brasil, sobretudo, nos estados da região Nordeste, que detêm condições de instabilidade climática que assolam os agricultores ao longo de décadas, ou seja, é uma questão de sobrevivência manter a produção agrícola, mesmo com a incidência de choques climáticos severos, pois há, majoritariamente, agricultores familiares que possuem condições limitadas para investimentos em estratégias mais tecnológicas para convivência com situações severas.

Nessa perspectiva, Praxedes (2021) evidenciou a resiliência à instabilidade pluviométrica na agricultura de sequeiro adotada em 29 municípios da região climática Sertão Central e Inhamuns, conhecida como uma das mais problemáticas do Ceará, no que se refere a distribuição de chuvas. A autora identificou o fato de que, apesar de ser um sistema de sequeiro, as produções de feijão, mandioca e milho apresentaram resiliência quando aferidas de forma agregada pelo Índice de Sinergia (IN), no período de 1974 a 2019. Em relação às variáveis estudadas, apenas as áreas colhidas com mandioca não apresentaram resiliência, ressaltando-se que foram identificados 16 anos com períodos de restrições pluviométricas no Ceará, sendo o mais longo de 2012 a 2017.

De acordo com o IPCC (2014), a limitação dos dados em pesquisas climáticas indica uma lacuna entre as necessidades de adaptação e os fundos disponíveis para a adaptação. Ressalta-se que há necessidade de uma melhor avaliação dos custos, financiamento e investimento da adaptação global. Os estudos que estimam o custo global da adaptação caracterizam-se por insuficiência nos dados, métodos e cobertura.

Em vista das discussões anteriores, se faz necessário enfatizar que estas, por sua vez, são de suma relevância para o direcionamento desta pesquisa, tanto pela compreensão da abordagem da *Climate Smart Agriculture (CSA)* quanto por estar direcionada, em parte, para uma região que detém inúmeras vulnerabilidades sociais, econômicas e ambientais, as quais

induzem os agricultores a desenvolverem estratégias adaptativas para convivência com as secas e, assim, promoverem maior resiliência, como a região Nordeste e, sobretudo, o Semiárido.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Ao extenso desta seção, foram apontadas as estratégias metodológicas que serviram de base para alcançar as respostas dos objetivos propostos inicialmente na Tese sob comento. Demais disso, em cada subseção, evidenciaram-se: a descrição da área de estudo, as bases de dados utilizadas, os procedimentos econométricos adotados, bem como as justificativas das variáveis inclusas nas demais análises relativamente à literatura.

As estimações foram realizadas por intermédio do “pacote” estatístico “R”, *software* livre com uma linguagem e ambiente de programação estatística multiparadigma orientada a objetos, programação funcional, dinâmica, orientada a manipulação, análise e visualização de dados. Este, por sua vez, foi criado originalmente por parte de Ross Ihaka e Robert Gentleman, em 1995, no Departamento de Estatística da Universidade de Auckland, Nova Zelândia. A letra “R” provém, em parte, das iniciais dos criadores (THE R FOUNDATION, 2021).

3.1 Avaliação do impacto do Programa Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC)

No decorrer desta subseção, descrevem-se a natureza e fonte dos dados, as variáveis e a área de estudo, bem como a estratégia empírica utilizada para avaliar o Programa ABC, embasando-se na evolução do indicador valor bruto da produção por emissões de GEE da agropecuária, para mensurar o efeito de tratamento aplicado ao caso do Brasil. A estratégia econométrica perflhada na pesquisa ocorreu por meio do método de controle sintético (MCS).

3.1.1 Área de estudo, descrição das variáveis e fonte dos dados

Para se aplicar o método de controle sintético (ABADIE; GARDEAZABAL, 2003; ABADIE; DIAMOND; HAINMUELLER, 2010, 2015), torna-se necessária a elaboração de um painel com informações *ex ante* e *ex post* ao período de tratamento referente à atuação do Programa ABC no Brasil.

Os critérios utilizados para escolha dos países que fazem parte do grupo de controle (*donor pool*) têm como parâmetros: i) os países que mais emitiram gases do efeito estufa (GEE), em 2019 (GLOBAL CARBON ATLAS, 2021; FAOSTAT, 2021); ii) países que compõem o *ranking* dos maiores exportadores agropecuários mundiais (FAOSTAT, 2021); iii) *ranking* dos países que detém alta eficiência técnica produtiva no setor agrícola; e iv) países que não

possuem política ou legislação semelhante ao Programa ABC, desde que respeitando os critérios citados. Dadas as condições de seleção, os países elegíveis para compor o *donor pool* foram: Austrália, Argentina, Canadá, China, Estados Unidos, Índia, Indonésia, México e Tailândia. Esses foram comparados à unidade tratada, o Brasil.

O período de análise foi estipulado de 1991 a 2019, no qual T_0 é $1991 \leq T_0 < 2010$, período de pré-tratamento. Segundo Xu (2017), quanto maior for o período de pré-tratamento, mais adequado será o desempenho do modelo quanto ao ajuste entre a trajetória observada e o grupo de controle. A série inicia-se em 1991, considerando a data final de pré-intervenção em 2009. Compete ressaltar que o Brasil assumiu compromissos durante a COP15 em 2009, o que contribuiu para a aprovação da Política Nacional de Mudança do Clima. Posteriormente houve a promulgação do Plano e Programa ABC, uma vez que 2010 foi o primeiro ano de intervenção. Vale frisar a criação do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), em 2004, com efeitos na redução da taxa de desmatamento. Por tal razão, é recomendável determinar o período de pré-intervenção anterior às medidas nacionais que interfiram nos resultados da atuação do Programa ABC. O período de tratamento é 2010-2019. Nesse âmbito, se faz relevante mostrar as definições das variáveis analisadas, as quais integram o Quadro 1.

Os dados utilizados nesta pesquisa são provenientes de variadas fontes (Quadro 1). No tocante às informações da agropecuária praticada em cada país, foram utilizados dados da *Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database* (FAOSTAT, 2021). As informações relacionadas aos indicadores de emprego foram tomadas junto ao *World Bank* (2021), bem como da FAOSTAT (2021). No pertinente ao capital humano, os dados foram coletados junto ao *Penn World Table version 10.0* do *Groningen Growth and Development Centre*, localizado na *University of Groningen*, Holanda (PWT, 2022).

No que tange a variáveis climáticas, como a precipitação pluviométrica (em milímetros) e temperatura (em graus Celsius - °C), ambas foram coletadas junto ao conjunto de dados produzido pela *Climatic Research Unit gridded Time Series version 4.05* (CRU TS v.4.05) da *University of East Anglia* (UEA), *United Kingdom*. Esses indicadores são amplamente utilizados em uma grade de 0,5° de latitude por 0,5° de longitude em todos os domínios terrestres do mundo, exceto na Antártida. São derivados pela interpolação de anomalias climáticas mensais de extensas redes de observações de estações meteorológicas.

Quadro 1 – Descrição das variáveis selecionadas para análise

(continua)

Variável de resultado	Definição	Fonte
Produção por emissões de GEE da agropecuária	Valor bruto da produção agropecuária (em 1000 US\$*) para cada país a preços internacionais sobre as emissões de gases do efeito estufa (GEE) da agropecuária (em gigatoneladas de carbono equivalente – Gt CO ₂ e)	FAOSTAT (2021)
Covariáveis	Definição	Fonte
Produção pecuária	Efetivo dos rebanhos, mensurado pelo total de cabeças de gado, galinhas, cabras/bodes, ovelhas e porcos (cab.)	FAOSTAT (2021)
Consumo de fertilizantes	Total de fertilizantes destinado ao uso agrícola, correspondente aos nutrientes: Nitrogênio (N), Fósforo (P ₂ O ₅) e Potássio (K ₂ O) (expresso em toneladas - t)	
Uso de agrotóxicos ¹⁶	Total de herbicidas, inseticidas, pesticidas, fungicidas e bactericidas destinado ao uso agrícola (t)	
Terras agrícolas	Área agrícola total, equivalente à soma das terras cultivadas com lavouras temporárias ¹⁷ , permanentes ¹⁸ e com pastagens (em 1000 hectares - Kha)	
Estoque de carbono florestal	Reserva de carbono na biomassa viva em áreas florestais (em milhões de toneladas - Mt)	
Precipitação pluviométrica	Precipitação pluviométrica anual (em milímetros - mm)	<i>Climatic Research Unit gridded Time Series version 4.05 - CRU TS v. 4.05 (UEA, 2022)</i>
Temperatura	Temperatura média em graus Celsius (°C)	
Mão de obra	Emprego na agropecuária, compreende o número de pessoas em idade economicamente ativa (em 1000 pessoas)	FAOSTAT (2021); <i>World Bank (2021)</i>

¹⁶ Sob a definição descrita na Lei Nº 7.802 de 11 de julho de 1989, agrotóxicos são produtos e/ou agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas nativas ou implantadas, e de outros ecossistemas, bem como de ambientes urbanos, hídricos e industriais, que a finalidade seja transformar a composição da flora ou da fauna, com o propósito de preservá-la dos efeitos negativos dos seres vivos classificados como nocivos (BRASIL, 1989). Neste grupo, os produtos são classificados em inseticidas (insetos, larvas e formigas); herbicidas (ação sobre plantas invasoras); fungicidas (fungos); rodenticidas (roedores); acaricidas (ácaros); nematicidas (nematoides); fumigantes (pragas e bactérias); moluscidas (moluscos); entre outros (KARAM *et al.*, 2015). Um pesticida é qualquer substância química ou um agente biológico (vírus ou bactéria), que é aplicado para o combate a pragas que estiverem destruindo uma plantação, disseminando doenças.

¹⁷ Culturas de curta ou média duração, uma vez que seu ciclo vegetativo (período de vida da planta entre o plantio e a colheita) é inferior a um ano, necessitando de novo plantio (IBGE, 2018).

¹⁸ Culturas de longo ciclo vegetativo, que permitem colheitas sucessivas, sem a necessidade de novo plantio (IBGE, 2018).

Quadro 1 – Descrição das variáveis selecionadas para análise

Covariáveis	Definição	Fonte
Capital humano ¹⁹	Índice elaborado a partir da média de anos de escolaridade, interpolada linearmente entre as observações, segundo Barro e Lee (2013), ponderado pelo respectivo retorno à educação (ensino primário, secundário e superior) em cada ano, com base em Caselli (2005)	Feenstra; Inklaar; Timmer (2015); <i>Penn World Table version 10.0</i> (PWT, 2022)

Fonte: Elaboração própria (2022).

Nota: *As variáveis expressas em dólares (US\$) foram deflacionadas com o *Consumer Price Index – CPI* (BLS, 2021), deflator estadunidense para o ano-base igual a 2019.

No que respeita às emissões de GEE do setor agropecuário contabilizadas nesta pesquisa, ressalta-se que o dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}), medida referente aos demais gases emitidos neste setor, foi sistematicamente organizado conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Categorias das emissões de GEE adotadas na pesquisa

Setor	Atividade	GEE emitido			Classificação da FAO		
		CH ₄	N ₂ O	CO ₂			
AFOLU	LULUCF	Conversão da floresta para outros usos da terra e queima de biomassa	X	X	X	MUDANÇA DO USO DA TERRA	TERRAS AGRÍCOLAS
		Incêndios de turfa	X		X		
		Solos orgânicos drenados	X		X		
	AGRICULTURA	Queima de resíduos de colheita	X	X		PORTEIRA	
		Queima de savana	X	X			
		Resíduos de colheita		X			
		Solos orgânicos drenados		X			
		Fermentação entérica	X				
		Gestão de estrume	X	X			
		Estrume aplicado ao solo		X			
		Estrume deixado no pasto		X			
		Cultivo de arroz	X				
		Fertilizantes sintéticos		X			
		ENERGIA E IPPU	Uso de energia na fazenda	X	X		

Fonte: Elaboração própria (2022), com base nas definições da FAO (2021), IPCC (2006, 2014) e Tubiello *et al.* (2021).

¹⁹ O conceito de capital humano usado nesta pesquisa segue a abordagem da *Penn World Table 10* (PWT, 2022), desenvolvido por Feenstra (*University of California, Davis - EUA*) e Inklaar e Timmer (*University of Groningen, Netherlands*) (CASELLI, 2005; BARRO; LEE, 2013), considerando a equação de Mincer (PSACHAROPOULOS, 1994).

As categorias do Quadro 2 foram consideradas para a constituição do indicador produção por emissões de GEE da agropecuária. O setor Agricultura, Silvicultura e Outros Usos da Terra (*Agriculture, Forests and Other Land Use – AFOLU*, sigla em inglês) contempla as práticas relacionadas a agricultura e ao Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Silvicultura (*Land Use, Land-Use Change, and Forestry-LULUCF*, sigla em inglês). Além destas, a pesquisa adicionou as emissões referentes ao uso de energia na fazenda, que faz parte da categoria Energia e Produção Industrial e Uso do Produto (*Industrial Processes and Product Use-IPPU*, sigla em inglês).

Em complemento à avaliação do impacto do Programa ABC, foi averiguado o nível de distribuição de crédito disponibilizado por este instrumento nos estados brasileiros. Os dados utilizados na pesquisa foram tomados junto ao Banco Central do Brasil (BCB, 2022) por meio do Sistema de Operações de Crédito Rural e Programa de Garantia da Atividade Agropecuária - Proagro (Sicor). As informações do Banco Central consideram os subprogramas classificados nas linhas do Programa ABC, bem como os contratos referentes à classificação sem subprograma, compreendendo o período de janeiro de 2013 a dezembro de 2021. A escolha do período de análise, neste caso, decorre da disponibilidade dos dados junto à plataforma, tornando impossível inserir datas anteriores à criação do Sicor, em 2013. Em complemento, foram utilizadas informações do Observatório ABC, que disponibiliza dados referentes aos anos-safras de 2011/2012 a 2016/2017.

Entende-se que os compromissos do Plano ABC (BRASIL, 2012) são referentes a seis processos tecnológicos e à adaptação às mudanças climáticas, estruturados em sete Programas: 1) recuperação de pastagens degradadas; 2) integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) e sistemas agroflorestais (SAFs); 3) sistema plantio direto (SPD); 4) fixação biológica do nitrogênio (FBN); 5) florestas plantadas; 6) tratamento de dejetos animais; e 7) adaptação às mudanças climáticas. Faz-se necessário, então, verificar dentre o crédito concedido os contratos por subprogramas, no intuito de identificar a distribuição dos recursos, bem como sua concentração em regiões específicas.

3.1.2 Estimação de impacto sob a perspectiva do método de controle sintético

Como o propósito desta subseção é mensurar o impacto do Programa ABC no Brasil, para tal intuito foi empregado o método de controle sintético (MCS). Este, por sua vez, foi desenvolvido por Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie, Diamond e Hainmueller (2010, 2015), que recomendam estimar o efeito de um tratamento para abordar questões contrafactuais

envolvendo apenas uma unidade tratada, como é o caso em análise. Ou seja, supõe-se, de saída, que uma combinação de unidades não tratadas compõe melhor contrafactual para a tratada do que qualquer outra individualmente. Este método consiste em adotar uma média ponderada das unidades de controle e estimar com flexibilidade os efeitos do tratamento para cada período de pós-tratamento. Para Athey e Imbens (2017), o MCS é apontado como a inovação substancial na literatura de avaliação de impacto nos últimos 15 anos.

A intuição por trás do MCS consiste em elaborar, para o Brasil (que recebeu o tratamento do Programa ABC), um “Brasil sintético”, composto pela média ponderada de países que não receberam a intervenção do programa, neste caso: Argentina, Austrália, Canadá, China, Estados Unidos, Índia, Indonésia, México e Tailândia. Em adição, deve-se selecionar a variável de interesse, que necessita ser observada no período pré e pós-intervenção.

Supõe-se que uma amostra de dados observados para $(J + 1) \in \mathbb{N}$ unidades durante $T \in \mathbb{N}$ períodos e um tratamento que afeta apenas a unidade 1 (Brasil) do período $T_0 + 1$ ao T continuamente. Considere $Y_{j,t}^0$ como o resultado potencial que seria observado para a unidade j no período t se não houvesse tratamento para $j \in \{1, \dots, J + 1\}$ e $t \in \{1, \dots, T\}$. Desse modo, seja $Y_{j,t}^1$ o potencial resultado com o tratamento.

Pondera-se que apenas o Brasil seja afetado pela intervenção do Programa ABC. Nesse caso, o restante dos países (não tratados) forma o grupo de controle, também denominado de *donor pool*, conjunto de unidades não tratadas pela intervenção e que servem como potenciais unidades de comparação com a unidade tratada. No caso do país tratado, têm-se o indicador de interesse ($Y_{i,t}^1$), produção por emissões de gases do efeito estufa (GEE) da agropecuária, do país j no período t . Já $Y_{i,t}^0$ é o indicador de interesse caso não tenha ocorrido a intervenção do Programa ABC. Dada as considerações, faz-se necessário estimar o efeito de tratamento $\alpha_{i,t}$, conforme a Equação 1.

$$\alpha_{i,t} = Y_{i,t}^1 - Y_{i,t}^0 \quad (1)$$

A finalidade é identificar $(\alpha_{1,T_0+1}, \alpha_{1,T})$. Como $Y_{i,t}^1$ é observável para $t > T_0$, apenas necessita estimar o $Y_{i,t}^0$ contrafactual para atingir esse objetivo; entretanto, note-se que, para o Brasil que foi alvo da intervenção do Programa ABC, não se observou $Y_{i,t}^0$ após o tratamento (definido como a produção por emissões de GEE da agropecuária). Isso significa dizer que não se sabe como a variável de interesse teria evoluído na ausência do Programa ABC.

Portanto, o grande desafio de uma avaliação de impacto é, justamente, encontrar um método robusto que possibilite estimar $Y_{i,t}^0$. A construção da versão sintética do Brasil pode ser mais bem ilustrada, supondo que $Y_{i,t}^0$ seja estimado pela Equação 2:

$$Y_{i,t}^0 = \beta_t X_i + \lambda_t \mu_i + \theta_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

em que X_i é um vetor de variáveis que determinam a produção por emissões de GEE da agropecuária (considerando seus parâmetros β_t associados), μ_i é um vetor de efeitos específicos dos países que fazem parte do *donor pool* (com seus parâmetros λ_t associados) e ε_{it} representa o termo de erro, contendo choques idiossincráticos.

Considere um vetor ($J \times 1$) de pesos, $W = [w_2, \dots, w_{J+1}]' \in \mathbb{R}^J$ com $w_j \geq 0$ para $J \in \{2, \dots, J+1\}$ e $\sum_{j=2}^{J+1} w_j = 1$. Desse modo, W é o vetor dos pesos atribuídos para cada país do *donor pool* (ABADIE; DIAMOND; GARDEAZABAL, 2015). Então, cada valor do vetor W representa uma provável combinação de pesos para o “Brasil sintético”, significando dizer que é uma média ponderada dos países no *donor pool*, que se aproxima ao país tratado quanto à produção por emissões de GEE da agropecuária no período pré-intervenção (T_0), conforme exhibe a Equação 3. Nesta pesquisa, o período de pré-intervenção foi de 1991 a 2009, enquanto a fase de tratamento contemplou de 2010 a 2019, referente à disponibilidade dos dados.

$$\sum_{j=2}^{J+1} w_j Y_{jt} = \theta_t + \beta_t \sum_{j=2}^{J+1} w_j X_j + \lambda_t \sum_{j=2}^{J+1} w_j \mu_j + \sum_{j=2}^{J+1} w_j \varepsilon_{jt} \quad (3)$$

Considere-se que exista um vetor de pesos, cuja soma seja igua a 1, ($w_2^*, \dots, w_{J+1}^* = 1$), logo:

$$\sum_{j=2}^{J+1} w_j^* Y_{j1} = Y_{11}, \dots, \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* Y_{jT_0} = Y_{1T_0} \quad e \quad \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* X_j = X_1 \quad (4)$$

Ao atender os requisitos estabelecidos pelo MCS²⁰, torna-se factível encontrar uma combinação ponderada de controles, isto é, um vetor de pesos W . Para o período t (com $t \geq T_0$), o efeito do tratamento do estimador de controle sintético é dado pela comparação entre o resultado da unidade tratada e o resultado para o controle sintético naquele período, como exhibe a Equação 5:

$$\hat{\alpha}_{it} = Y_{it}^1 - \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* Y_{jt} \quad (5)$$

em que $\hat{\alpha}_{it}$ é o estimador do controle sintético, capaz de mensurar o efeito da intervenção da política no horizonte temporal estipulado. Nesta pesquisa, pode-se utilizar $\sum_{j=2}^{J+1} w_j^* Y_{jt}$ como estimador de Y_{it}^0 , em outras palavras, como contrafactual para analisar a evolução da produção por emissões de GEE da agropecuária caso a intervenção não tivesse ocorrido.

Dada a Equação 5, assume-se que há um vetor W , ou seja, uma combinação de países do *donor pool* tal que a produção por emissões de GEE da agropecuária seja igual à do Brasil em todos os anos pré-intervenção do Programa ABC, bem como tenha as mesmas características determinantes dessa variável de interesse. A intuição por trás disso consiste em averiguar, não necessariamente, a igualdade, mas sim que haja um vetor W como valores aproximados.

Abadie e L'Hour (2021), Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie, Diamond e Hainmueller (2010, 2015) estabeleceram W^* como o valor de W , capaz de minimizar o erro quadrático médio de previsão (*mean squared prediction error – MSPE*, sigla em inglês) da diferença entre a produção por emissões de GEE da agropecuária do Brasil e de sua versão sintética no período de pré-intervenção, de modo a minimizar:

$$\| X_1 - X_0 W \|_v = \sqrt{(Y_1 - Y_0 W)' V (Y_1 - Y_0 W)} \quad (6)$$

De tal modo, V é uma matriz ($k \times k$) simétrica e positiva semidefinida. Ela, geralmente, é selecionada para ponderar covariáveis de acordo com seu poder preditivo sobre o resultado; onde X_1 é um vetor de dimensão ($k \times 1$) que contém as características pré-tratamento da unidade tratada, que têm a pretensão de uma maior aproximação possível. Por outro lado, X_0 é uma

²⁰ Detalhes no apêndice B de Abadie, Diamond e Hainmueller (2010).

matriz ($k \times J$) que contém os valores das mesmas variáveis para o *donor pool*. Logo, a diferença entre as características da unidade tratada e do controle sintético é fornecida pelo vetor $X_1 - X_0W$ (ABADIE; GARDEAZABAL, 2003; ABADIE; DIAMOND; HAINMUELLER, 2010).

No tocante à inferência, Abadie e Gardeazabal (2003), Abadie, Diamond e Hainmueller (2010) propõem testes de placebo. Essa etapa consiste em realizar uma série de testes de placebo “no espaço” (aplicar o tratamento a unidades não tratadas) e “no tempo” (aplicar o tratamento em períodos diferentes do que, de fato, ocorreu), teste de permutação (no qual inclui todos os países para confrontar com o efeito de tratamento para o Brasil).

Outro procedimento é a realização do teste de permutação, que tem o intuito de testar para cada unidade de controle uma unidade sintética e mensurar a razão do erro quadrático médio de previsão (*ratio of mean square prediction error – RMSPE*, sigla em inglês). O efeito do tratamento na unidade tratada (Brasil) pelo Programa ABC é considerado significativo quando sua proporção é extrema relativamente à distribuição da permutação (ABADIE; DIAMOND; HAINMUELLER, 2010). Nesse contexto, os autores propõem aferir a razão entre o MPSE pós-intervenção e MSPE pré-intervenção, tanto para a unidade tratada quanto para as unidades de controle. Desse modo, espera-se que, quanto maior a RMSPE, maior o indício do impacto do programa em análise. Para tanto, Abadie, Diamond e Hainmueller (2015) propõem o método de inferência baseado na RMSPE como teste estatístico (Equação 7):

$$RMSPE_j = \frac{\sum_{t=T_0+1}^T (Y_{j,t} - \widehat{Y}_{j,t}^0)^2 / (T - T_0)}{\sum_{t=1}^{T_0} (Y_{j,t} - \widehat{Y}_{j,t}^0)^2 / (T_0)} \quad (7)$$

Considere para cada $j \in \{2, \dots, J + 1\}$ e $t \in \{1, \dots, T\}$, assim é possível calcular o valor de p (*p-value*), como mostra a Equação 8.

$$p = \frac{\sum_{j=1}^{J+1} [RMSPE_j \geq RMSPE_1]}{J + 1} \quad (8)$$

em que p é a probabilidade de se obter RMSPE maior do que a unidade de intervenção. A intuição por trás do cálculo do p é rejeitar a hipótese nula de nenhum efeito se ele for menor do que algum nível de significância pré-especificado.

Abadie, Diamond e Hainmueller (2010) apontam que a randomização das pressuposições de inferência é muito limitada para a estrutura do controle sintético, pois o

tratamento não é, de modo geral, atribuído aleatoriamente. Por essa razão, na ausência de atribuição aleatória, os autores interpretam o valor p como a probabilidade de alcançar um valor estimado para as estatísticas de teste que seja tão grande quanto o valor obtido utilizando o caso tratado como se a intervenção fosse distribuída aleatoriamente entre os dados (FERMAN; PINTO; POSSEBOM, 2020). Em síntese, os testes aqui propostos são recomendados para tornar os resultados do método de controle sintético mais robustos e, assim, possibilitar a elaboração de inferência mais confiável que promova melhor interpretação das estimações.

3.2 Segunda estratégia empírica: impacto da instabilidade climática na agricultura

Como estratégia empírica para mensurar os impactos da instabilidade climática sobre o valor da produção agrícola/hectare no Brasil, no plano estadual, a Tese utilizou o método de dados em painel para tal propósito, descrito com detalhes ao largo desta seção, identificando as principais características do método, bem como as principais diferenças entre os modelos e estimadores.

3.2.1 Área de estudo, descrição das variáveis e fonte dos dados

Com o propósito de aferir os impactos da instabilidade climática no valor da produção agrícola, por hectare, se fez necessário inserir variáveis preditoras relacionadas à produção agrícola que, de tal modo, consigam explicar os efeitos do fenômeno climático em análise. No Quadro 3, estão definidas as variáveis selecionadas para a aplicação do método de dados em painel.

O alvo é a análise das 27 Unidades Federativas brasileiras (26 estados mais o Distrito Federal), com ênfase no período de 1990 e 2020. Esse horizonte temporal justifica-se pela disponibilidade dos dados, em que se obedece o padrão mínimo de 30 anos, critério estabelecido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para análises sobre mudanças climáticas.

Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o Brasil conforma uma área territorial de 8.510.345,540 km², com uma população estimada em 213.317.639 pessoas em 2021, distribuídas em 5570 municípios. O Produto Interno Bruto (PIB) acumulado em 2021 foi de R\$ 8,9 trilhões. Cabe mencionar que os dados utilizados nesta pesquisa são de natureza secundária.

Dada a relevância de se conhecer os impactos das mudanças climáticas na produção agrícola, identificando os principais fatores condicionantes, tencionou-se, aqui, justificar o uso das variáveis selecionadas da literatura. Uma vez que, diferentemente da literatura que aplica o método ricardiano²¹ para analisar os impactos das mudanças climáticas no valor da terra (MENDELSON; NORDHAUS; SHAW, 1994; ORTIZ-BOBEA, 2019), nos lucros agrícolas (DESCHÊNES, GREENSTONE, 2007) ou na produtividade agrícola (OLESEN; BINDI, 2002; SOUZA, 2018), esta pesquisa recorreu ao método de dados em painel para captar a heterogeneidade entre os estados brasileiros ante a variável de interesse valor agregado da produção agrícola, por hectare, que é definido pelo produto dos preços médios pelas quantidades produzidas em cada estado no período, em relação às áreas colhidas em cada um dos estados e no Distrito Federal.

No que concerne à irrigação, esta variável é de suma importância para o desenvolvimento das culturas e, conseqüentemente, para a produção agrícola. Ela é considerada como estratégia adaptativa às mudanças climáticas (CUNHA, 2010; OCHIENG; KIRIMI; MATHENGE, 2016). A estratégia utilizada nesta pesquisa para captar o efeito da irrigação foi por meio da inserção de uma variável *dummy*, que identifica os estados possuidores de áreas irrigadas, bem como para identificar os que possuem municípios pertencentes à região do Semiárido, a qual abrange os nove estados do Nordeste e parte da região Sudeste, especificamente em Minas Gerais e Espírito Santo. Essa classificação foi estabelecida em 2021 pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 2021).

As variáveis climáticas (precipitação pluviométrica aferida em milímetros (mm) e temperatura média em graus Celsius - °C) são amplamente difundidas na literatura que aborda os efeitos das mudanças climáticas na agricultura (BOZZOLA *et al.*, 2018; DESCHÊNES; GREENSTONE, 2007; MENDELSON; NORDHAUS; SHAW, 1994; OCHIENG; KIRIMI; MATHENGE, 2016; ZHANG; ZHANG; CHEN, 2017), mostrando-se como de sobrada relevância para a manutenção do desenvolvimento das culturas agrícolas, bem como para as demais atividades praticadas no meio rural.

De modo geral, as análises acerca dos efeitos climáticos na agricultura não incluem a fertilização com dióxido de carbono (CO₂). Este indicador, porém, denota efeito significativo no crescimento e desenvolvimento vegetativo de plantas, juntamente com o aumento da

²¹ Usado no intuito de aprimorar a função de produção, a literatura passou a considerar a possibilidade de adaptação indireta do produtor entre diferentes culturas, passando a investigar como variáveis climáticas de localidades distintas interferem no preço da propriedade agrícola. Nesse aspecto, Deschênes e Greenstone (2007) apontam desvantagens, pois há omissão de variáveis relevantes.

eficiência do uso da água. Sob alto nível de CO₂, as plantas não perdem água através de suas folhas, portanto, são menos afetadas por condições de escassez hídrica (ALLEN JR.; BAKER; BOOTE, 1996). Estudo realizado por Peñuelas *et al.* (2017) mostra que concentrações aumentadas de CO₂ elevam a fotossíntese, explicando em 70% o efeito do esverdeamento das plantas, entretanto o efeito diminui com o tempo, ou seja, sem CO₂ não há fotossíntese.

Embora seja benéfico para as plantas, o CO₂ também é um dos principais responsáveis pelas mudanças climáticas. Nesse contexto, o setor agrícola permeia esse paradoxo, pois, malgrado seja considerado essencial para o desenvolvimento das plantas, ele também é prejudicial se houver grandes concentrações. A atividade fotossintética das plantas é influenciada por temperatura, luminosidade, disponibilidade de água e nutrientes, como o fósforo (P) e o potássio (K). Além disso, o incremento do CO₂, habitualmente, reduz a abertura estomática, na epiderme vegetal, que garante a realização de trocas gasosas entre o vegetal e a atmosfera, resultando em menor taxa transpiratória e, conseqüentemente, maior eficiência do uso da água. Variações encontradas, todavia, nessas respostas são em grande parte dependentes do metabolismo fotossintético da espécie (C₃, C₄ ou CAM) e de outros fatores ambientais (ALLEN JR.; BAKER; BOOTE, 1996; PEÑUELAS *et al.*, 2017). Por exemplo, Ainsworth e Long (2004) evidenciaram que o rendimento de grãos de trigo aumentou em 27% com a elevação de CO₂ de 359 para 534 ppm, mas apenas um incremento adicional de 3% foi observado ao comparar plantas cultivadas em 534 a 649 ppm (CO₂).

Outra variável importante é a área com cicatrizes de fogo, a qual é utilizada como um indicador de áreas queimadas, que, provavelmente, foram desmatadas para outros usos do solo. Regiões que praticam o desmatamento e o uso de queimadas tendem a emitir mais gases do efeito estufa (GEE) que, conseqüentemente, impactarão ainda mais na produção agrícola. Os agricultores, sobretudo, os de pequeno porte, realizam queimadas para limpar as áreas usadas na produção agropecuária, de modo geral, uma parcela já desmatada previamente, porque não têm outra tecnologia disponível que seja de baixo custo para realizar tal ação, além da questão cultural repassada por seus antepassados. Com o tempo, essa prática vai desgastando o solo, interferindo na capacidade de absorção dos nutrientes pela planta, alterando as suas estruturas biológica (microbiota), física e química, que contribuem para a baixa produtividade, em decorrência da reduzida aptidão agrícola das áreas que antes eram produtivas. Com isso, favorece a maior emissão de GEE e redução nos sumidouros de carbono no solo. De modo geral, áreas desmatadas e/ou queimadas são atrativas para uso da agricultura e/ou pastagens por boa parte dos agricultores que não possuem condições financeiras para comprar tratores, que

também causam impactos no solo, como a compactação. O Quadro 3 descreve as variáveis selecionadas.

Quadro 3 – Descrição das variáveis, fonte dos dados e embasamento teórico

(continua)

Variável dependente	Descrição	Fonte	Embasamento teórico
Valor da produção agrícola por hectare	Razão entre o valor bruto da produção agrícola e a área colhida com lavouras temporárias e permanentes (em mil R\$/hectare). Essa variável é utilizada como <i>proxy</i> da renda dos agricultores	Produção Agrícola Municipal (PAM) do Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (IBGE, 2021)	Castro (2014); Souza (2018); Tanure (2020); Mendelsohn (2014).
Variáveis explicativas	Descrição	Fonte	Embasamento teórico
Precipitação pluviométrica	Precipitação média anual em milímetros (mm). Espera-se um efeito positivo no VBP/ha	<i>Climatic Research Unit gridded Time Series version 4.05 - CRU TS v. 4.05</i> (UEA, 2022)	Deschênes e Greenstone (2007); Mendelsohn, Nordhaus e Shaw (1994); Zhang, Zhang e Chen (2017).
Temperatura	Temperatura média anual do ar em graus Celsius (°C). Espera-se um efeito negativo no VBP/ha em casos de elevadas temperaturas		Deschênes e Greenstone (2007); Mendelsohn, Nordhaus e Shaw (1994); Zhang, Zhang e Chen (2017).
Fertilização com CO ₂	Emissão de dióxido de carbono na atmosfera quando em nível elevado pode apresentar efeito de fertilização (em toneladas de CO ₂). Espera-se um efeito negativo no VBP/ha quando há emissão acima do limite de absorção pelas plantas	Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa – SEEG (OC, 2022)	Allen Jr., Baker e Boote (1996); Peñuelas <i>et al.</i> (2017).
Cicatrizes de fogo	Área anual com cicatrizes de fogo por classe de cobertura e uso da terra queimada nos biomas (em hectares). Espera-se um efeito negativo no VBP/ha	MapBiomas (2022)	McKenzie <i>et al.</i> (2003).
Irrigação	Áreas irrigadas (hectares). Efeito esperado: positivo. Captado pela elaboração de uma <i>dummy</i> que indica a área ocupada por sistemas de irrigação em cada estado. D ₁ =0 - não; D ₁ =1 - sim.	MapBiomas (2022)	Bozzola <i>et al.</i> (2018); Cunha (2010); Ochieng, Kirimi e Mathenge (2016).
Semiárido	Estado que possui municípios inseridos na região do Semiárido. Espera-se que nesses estados os efeitos no VBP/ha sejam negativos. <i>Dummy</i> : D ₂ =0 - não; D ₂ =1 - sim.	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 2021)	-

Quadro 3 – Descrição das variáveis, fonte dos dados e embasamento teórico

(conclusão)

Variáveis explicativas	Descrição	Fonte	Embasamento teórico
<i>El Niño</i>	Ocorrência de eventos <i>El Niño</i> tendem a provocar secas, conseqüentemente, efeitos negativos no VBP/ha. <i>Dummy</i> : $D_3=0$ – não houve incidência do fenômeno; $D_3=1$ – sim	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC (INPE, 2022)	Fattori Jr., Sentelhas e Marin (2022).
<i>La Niña</i>	Ocorrência de eventos <i>La Niña</i> tendem a provocar mais chuvas, conseqüentemente, efeitos positivos no VBP/ha. <i>Dummy</i> : $D_4=0$ – não houve incidência do fenômeno; $D_4=1$ – sim		

Fonte: Elaboração própria (2022).

Nota: As variáveis em Reais (R\$) foram corrigidas pelo Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI) extraído da Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2021), com ano base de 2020.

3.2.2 Modelos e estimadores aplicados a dados em painel

Nesta subseção, encontra-se a ampla temática abordada na econometria de dados em painel por meio de seus recursos e vantagens sobre métodos puramente transversais ou de séries temporais, dependendo do objetivo de análise, bem como da disposição dos dados. Para Baltagi (2013), os dados em painel ensejam controlar a heterogeneidade individual, conseguindo explorar uma maior variabilidade para uma estimativa mais eficiente, além de captar a dinâmica do comportamento das unidades. Este método tem a possibilidade de identificar e medir efeitos que simplesmente não são detectáveis em seção transversal ou séries temporais, com mais graus de liberdade, melhores previsões, menos multicolinearidade (CAMERON; TRIVEDI, 2005). Além destas vantagens, aborda uma questão ampla: a heterogeneidade não observada (BALTAGI, 2013; GREENE, 2012).

Existem diversos modelos específicos para dados em painel e a estimação dos parâmetros depende de premissas a respeito do intercepto, dos coeficientes angulares e dos termos de erro. O modelo com dados empilhados (*pooled*) é considerado o mais restrito, pois despreza as dimensões temporal e espacial dos dados, considera todos os coeficientes constantes ao longo do tempo e entre as pessoas. De tal modo, o método habitual para estimação dos parâmetros é o de mínimos quadrados ordinários (MQO²²) e a formulação geral do modelo

²² Para mais detalhes sobre os pressupostos do MQO, ver Baltagi (2013), Cameron e Trivedi (2005) e Greene (2012).

com n observações em T períodos e k variáveis (CAMERON; TRIVEDI, 2005), conforme a Equação 9.

$$y_{it} = \alpha + x'_{it}\beta + \varepsilon_{it} \quad i = 1, \dots, n, t = 1, \dots, T \quad (9)$$

em que: y_{it} é a variável dependente do indivíduo i no tempo t ; x'_{it} é um vetor transposto de variáveis explicativas de ordem $1 \times k$; β é um vetor de ordem $k \times 1$ dos coeficientes das variáveis; α é o intercepto e ε_{it} o termo de erro do i -ésimo indivíduo no tempo t .

Caso o modelo *pooled* seja especificado corretamente e os regressores não estiverem correlacionados com o termo de erro, estimam-se consistentemente os parâmetros a partir do MQO (GREENE, 2012). Destaca-se, no entanto, que neste caso as heterogeneidades individual e temporal não são controladas (CAMERON; TRIVEDI, 2005).

Na literatura, um dos exemplos mais conhecidos da ocorrência da heterogeneidade individual não observada é representado pela função de produção agrícola, sugerida por Mundlak (1961), onde a produção (y) depende de trabalho (x), qualidade do solo (z) e um termo de perturbação estocástica (chuva) para que o processo de geração de dados possa ser representado pelo modelo acima. O autor alerta que se a qualidade do solo é conhecida pelo agricultor, a variável será correlacionada com o trabalho e, portanto, o $\hat{\beta}_{ols}$ será um estimador inconsistente para β .

Para o modelo de efeitos fixos (EF), usado quando há o interesse em analisar o impacto de variáveis que variam ao longo do tempo, explorando a relação entre as variáveis preditoras e o resultado dentro de uma entidade (país, pessoa, empresa e etc.). Admite-se que o efeito individual esteja correlacionado a algum dos regressores. Nesse aspecto, a estratégia de estimação utilizada é tratar este efeito como um parâmetro adicional a ser estimado (CAMERON; TRIVEDI, 2005). Ao usar o EF, supõe-se que algo dentro da pessoa impacta ou envia o preditor ou as variáveis de resultado, sendo necessário fazer esse controle, senão terá viés de omissão de variáveis. O EF remove o efeito das características invariantes no tempo, para que se avalie o efeito líquido dos preditores na variável de resultado.

As características invariantes no tempo são exclusivas da pessoa e não devem ser correlacionadas com outras características individuais. Cada entidade é diferente, portanto, o termo de erro da entidade e a constante (que captura as peculiaridades individuais) não deve ser correlacionado com as outras. Se os termos de erros estão correlacionados, então o EF não é adequado, uma vez que as estimativas podem não estar corretas, havendo a necessidade de

modelar essa relação (provavelmente usando efeitos aleatórios). Esta é a principal razão para o teste de Hausman (GREENE, 2012). Na Equação 10 expõe-se o procedimento do modelo de EF.

$$y_{it} = x'_{it} \beta + z'_i \alpha + \varepsilon_{it}$$

$$y_{it} = x'_{it} \beta + c_i + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

em que y_{it} é a variável dependente do indivíduo i no tempo t ; x'_{it} é um vetor transposto de variáveis explicativas; β é um vetor dos coeficientes das variáveis; $z'_i \alpha$, é a heterogeneidade (ou o efeito individual), onde z_i contém um termo constante e um conjunto específico de indivíduos ou grupos de variáveis observadas ou não observadas. As complicações surgem quando c_i é não observado; ε_{it} o termo de erro do i -ésimo indivíduo no tempo t .

Há um método alternativo, chamado de efeitos fixos de transformação. Considere-se um modelo que para cada i é calculada a média da Equação 11 à extensão do tempo (WOOLDRIGE, 2019), tem-se:

$$\bar{y}_{it} = \bar{x}'_{it} \beta + c_i + \bar{\varepsilon}_{it} \quad (11)$$

em que $\bar{y}_{it} = T^{-1} \sum_{t=1}^T y_{it}$ e assim por diante. No caso, c_i é fixo ao longo do tempo, ele aparece em ambas as Equações 11 e 12. Na notação de Wooldridge (2019), se subtrair a Equação 10 da Equação 11 para cada t , resulta em:

$$y_{it} - \bar{y}_i = \beta(x_{it} - \bar{x}_i) + \varepsilon_{it} - \bar{\varepsilon}_i, \quad t = 1, 2, \dots, T,$$

Ou

$$\dot{y}_{it} = \dot{x}_{it} \beta + \dot{\varepsilon}_{it}, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad (12)$$

A transformação de efeitos fixos também é chamada de transformação *Within* para os dados em níveis das médias dos grupos. Nessa transformação, o efeito não observado, c_i , desaparece porque a equação passa pela origem do sistema de eixos cartesianos ortogonais e, sempre que se faz esse procedimento, o termo constante desaparece.

O estimador de primeiras diferenças mensura a combinação entre variações do regressor em um período para dado indivíduo e variações da variável dependente. Portanto, ele é consistente sobre o modelo de efeitos fixos e não identifica coeficientes de regressores invariantes no tempo. Para o caso de $T > 2$, o estimador de primeiras diferenças é menos eficiente do que o estimador *Within* (CAMERON; TRIVEDI, 2005; GREENE, 2012).

Se os efeitos individuais são estritamente não correlacionados com os regressores, pode ser apropriado modelar os indivíduos em termos específicos constantes, distribuídos aleatoriamente em unidades transversais. Nesse caso, assume-se que todas as diferenças individuais são capturadas pelo intercepto α_i , mas tanto os efeitos individuais α_i como os erros ε_{it} serão tratados como variáveis aleatórias em vez de constantes. Para tanto, formalmente o modelo de efeitos aleatórios (EA) é dado por:

$$y_{it} = x'_{it} \beta + u_{it}, \quad i = 1, \dots, n \text{ e } t = 1, \dots, T \quad (13)$$

$$u_{it} = \alpha_i + \varepsilon_{it}$$

O termo de erro composto consiste em dois elementos, um componente específico individual aleatório (α_i), representando fatores não observáveis que afetam y e que não variam ao longo do tempo; e ε_{it} o erro aleatório da regressão que representa outros fatores que influenciam y , mas que variam ao longo do tempo e indivíduos; x_{it} consiste no conjunto de variáveis explicativas; e β são os parâmetros a serem estimados. A heterogeneidade individual é aleatoriamente distribuída entre as unidades, como uma variável aleatória.

Nesta pesquisa, a forma funcional da regressão foi embasada pelos princípios da função de produção transcendental logarítmica (*translog*), desenvolvida por Christensen *et al.* (1973). Essa modalidade funcional é usada para funções de produção, transformação, custo e lucro. Nessa perspectiva, a *translog* constitui uma série de Taylor em logaritmos de segunda ordem, que não impõe restrições de elasticidade de substituição. Uma das vantagens da utilização da *translog* é que ela não impõe qualquer restrição aos valores das elasticidades de substituição, diferentemente das funções Cobb-Douglas e CES. A escolha desta forma funcional justifica-se pelo entendimento de que as elasticidades não são fixas, de sorte que o efeito de cada *dummy* será isolado para cada variável analisada. Ademais, essa função não pressupõe homogeneidade. Nesse contexto, a Equação 14 representa a modalidade funcional utilizada nesta pesquisa, com suporte na qual se obteve a transformação logarítmica que resultou na Equação 15.

$$VBP = \beta_0 X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} X_3^{\beta_3} X_4^{\beta_4} e^\varepsilon \quad (14)$$

em que VBP é o valor bruto da produção agrícola por hectare; X_1 é a precipitação pluviométrica; X_2 é a temperatura média; X_3 é a área com cicatrizes de fogo; X_4 é a fertilização com CO_2 ; $\beta_i = \alpha_0 + \alpha_1 D_1 + \alpha_2 D_2 + \alpha_3 D_3 + \alpha_4 D_4$, para $i = 1, 2, 3, 4$, os coeficientes a serem estimados.

D_1, D_2, D_3 e D_4 são as *dummies* consideradas na presente pesquisa, definidas pelas variáveis: irrigação, Semiárido, *El Niño* e *La Niña*, respectivamente; e ε é o termo de erro aleatório. Vale frisar que a hipótese fundamenta que, para cada variável estimada, as elasticidades são interferidas pelas variáveis que estão nos expoentes, as *dummies* são estratégias estatísticas para captar os efeitos das variáveis sobre as elasticidades, quando estatisticamente significativas. A forma funcional *translog* é representada pela Equação 15:

$$\ln(VBP_{it}) = \beta_0 + (\alpha_0 + \alpha_1 D_1 + \alpha_2 D_2 + \alpha_3 D_3 + \alpha_4 D_4) \ln X_{1t} + (\alpha_0 + \alpha_1 D_1 + \alpha_2 D_2 + \alpha_3 D_3 + \alpha_4 D_4) \ln X_{2t} + (\alpha_0 + \alpha_1 D_1 + \alpha_2 D_2 + \alpha_3 D_3 + \alpha_4 D_4) \ln X_{3t} + (\alpha_0 + \alpha_1 D_1 + \alpha_2 D_2 + \alpha_3 D_3 + \alpha_4 D_4) \ln X_{4t} + \varepsilon_{it} \quad (15)$$

Bem como apontado por Wooldridge (2019), se os regressores não são estacionários ou integrados, os resultados da regressão não são confiáveis, pois a relação estimada é passível de ser espúria. Neste caso, para evitar regressão espúria, alguns testes de estacionariedade devem ser efetuados antes que as estimativas de regressão sejam realizadas.

A etapa de estimação dos modelos embasa-se por duas dimensões - de tempo e de seção transversal - sendo consideradas simultaneamente (BALTAGI, 2013; CAMERON; TRIVEDI, 2005; GREENE, 2012). Torna-se fundamental identificar o modelo que melhor se ajusta à regressão, quando se aplica o método de dados em painel. Por essa razão, é necessário realizar testes preliminares. Para a escolha entre o modelo *pooled* ou o EF, utiliza-se o teste de Chow (GREENE, 2012). Nesse contexto, o teste de Chow define a hipótese nula (H_0) de que o modelo *pooled* (sem heterogeneidade) e a hipótese alternativa (H_1) de que as heterogeneidades estão no modelo. Se H_0 não for rejeitada, recomenda-se a modelagem *pooled*, caso contrário, a modelagem deve ser via EF.

Quando comparados, entre os modelos *pooled* e EA, recomenda-se o teste do Multiplicador de Lagrange de Breusch-Pagan (1980) - *LM Test*. Desse modo, o teste determina que a H_0 aponta que a variância do termo aleatório (ε_{it}) do modelo é igual a zero (*pooled*) e H_1 é preferível ao modelo de EA. Já o teste de Hausman (HAUSMAN, 1978) verifica o melhor modelo entre o de efeitos aleatórios (H_0) e de efeitos fixos (H_1).

Além desses, foram realizados testes adicionais como os de Wooldridge (efeitos individuais não observados), de Pesaran (correlação contemporânea), de Wald (heterocedasticidade) e de Wooldridge (correlação serial). Observa-se que o teste de Pesaran CD é utilizado para verificar a correlação contemporânea, ou seja, testa a independência dos *cross-sections*. Assume-se que os distúrbios nos modelos são independentes em corte

transversal, principalmente, quando a dimensão da seção transversal (N) é grande. Ressalta-se que o teste de Wald é eficiente para diagnosticar heterocedasticidade no modelo de EF. O teste de Wooldridge para verificar a correlação serial é aplicável a qualquer modelo de painel com efeitos fixos (EF) (GREENE, 2012; WOOLDRIDGE, 2019).

Os procedimentos são realizados de acordo com o tipo de painel utilizado. De acordo com a definição, o painel curto possui uma grande seção transversal de indivíduos observados por alguns períodos. Já no caso do painel longo, ele detém uma pequena seção transversal de indivíduos observados por um grande período (CAMERON; TRIVEDI, 2005). Essa definição significa dizer que, um painel longo é definido quando o número de períodos (T) é maior do que o número de indivíduos (N) e painel curto é o inverso ($N > T$).

O Quadro 4 demonstra os procedimentos definidos nesta pesquisa para utilização de modelos de dados em painel, os testes, a finalidade do procedimento e interpretação dos testes das hipóteses.

Quadro 4 – Descrição dos testes, ênfase da análise e hipóteses

Teste	Ênfase do procedimento	Hipóteses
Chow (Teste F)	Verifica entre o modelo <i>pooled</i> e EF	H ₀ : Modelo <i>pooled</i> H ₁ : Modelo EF
LM de Breusch-Pagan	<i>Pooled versus</i> EA	H ₀ : Modelo <i>pooled</i> é preferível; H ₁ : Modelo EA é preferível.
Hausman	Verifica entre o modelo de EF e EA	H ₀ : Modelo EA H ₁ : Modelo EF
Wooldridge	Efeitos individuais não observados	H ₀ : Ausência de correlação entre os erros do mesmo grupo; H ₁ : Existem efeitos não observados.
Pesaran LM	Identificar correlação contemporânea entre os indivíduos	H ₀ : Independência dos <i>cross-section</i> H ₁ : Correlação contemporânea
Wald	Identificar presença de Heterocedasticidade em EF	H ₀ : Homocedasticidade H ₁ : Heterocedasticidade
Wooldridge	Verificar a correlação serial em EF	H ₀ : Não existe correlação serial H ₁ : Existe correlação serial

Fonte: Elaboração própria (2022).

3.3 Terceira estratégia empírica: abordagem da *Climate Smart Agriculture* (CSA)

No decorrer desta subseção, foram descritos os procedimentos metodológicos, necessários para se aportar ao terceiro objetivo proposto no estudo, no qual foram aferidos os três pilares relacionados à abordagem da *Climate Smart Agriculture* (CSA), os quais correspondem às seguintes dimensões: i) pilar I - aumentar a produtividade agrícola de forma sustentável para apoiar aumentos equitativos de renda; ii) pilar II - adaptar e desenvolver a resiliência de pessoas e sistemas alimentares para a mudança climática; e iii) pilar III - reduzir

e/ou remover emissões de gases de efeito estufa (GEE), quando possível. Exprime-se que a análise tem como propósito contextualizar a abordagem da CSA com base nos conhecimentos práticos adquiridos ao longo dos anos pelos agricultores da região em análise sob condições de instabilidade climática, considerando as práticas agrícolas vigentes, dada a maior vulnerabilidade em sistemas de sequeiro.

Para tanto, o presente objetivo é sua mensuração em três etapas, as quais contemplam os pilares da abordagem CSA: etapa I - análise da sustentabilidade da produtividade agrícola e da renda: mensurada a partir do cálculo da taxa geométrica de crescimento (TGC) e por meio de projeções das lavouras selecionadas via modelo de média móvel integrado autoregressivo (*autoregressive integrated moving average-ARIMA*, sigla em inglês,) desenvolvido por Box e Jenkins (1976); etapa II – mensuração da resiliência da agricultura ao clima: elaboração de um Índice de Agricultura Resiliente ao Clima (ICRA_j), por meio da análise fatorial (AF), perante os choques climáticos; e etapa III - reduzir e/ou remover os GEE: mensurar as emissões de GEE considerando as práticas agrícolas adotadas em nível municipal por meio do método de dados em painel. Os procedimentos aplicados para mensurar estas etapas estão descritos nas subseções a seguir. Ressalta-se que os três pilares da CSA foram analisados separadamente, em razão da diferença entre os períodos de disponibilidade de dados.

3.3.1 Pilar I da abordagem CSA: análise da sustentabilidade da produtividade e da renda das lavouras de feijão, mandioca e milho

Nesta etapa, o trabalho tem como ênfase o primeiro pilar da CSA, que tem como princípio aferir a sustentabilidade da produtividade agrícola e da renda. Ao inteiro desta subseção, foram descritos a área de estudo, a fonte dos dados e os procedimentos metodológicos.

3.3.1.1 Área de estudo, descrição das variáveis e fonte dos dados

A área de estudo dá ênfase aos Estados de Pernambuco, Rio Grande do Norte e Bahia, os quais possuem seus municípios, majoritariamente, localizados no Semiárido da região Nordeste do Brasil. A escolha destas Unidades Federativas (UF) se deve ao fato de ocuparem o ranque²³ dos estados nordestinos com maior número de estabelecimentos agropecuários

²³ Ranking dos estados nordestinos com maior número de estabelecimentos agropecuários (agricultor familiar): 1º lugar - Maranhão com 187118 (85,14%); 2º - Alagoas com 82369 (83,59%); 3º - Pernambuco com 23261 (82,58%); 4º - Piauí, com 197.246 (80,31%); 5º - Rio Grande do Norte, com 50.680 (79,87%); 6º - Bahia, com 593.411

classificados como de agricultura familiar, segundo o Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2019), o 3º lugar foi ocupado pelo Estado de Pernambuco, com 232.611 estabelecimentos (82,58%); 5º lugar o Rio Grande do Norte, com 50.680 estabelecimentos (79,87%) e a 6ª posição pela Bahia, com 593.411 estabelecimentos agropecuários (77,79%). Outro fator relevante para a seleção destas UF está relacionado ao número de municípios, uma vez que juntos correspondem a 769 dos 1794 da região Nordeste, equivalente a 42,87%. Além disso, para os três estados não há pesquisas relativas à abordagem da CSA, diferentemente do Ceará, que já possui trabalhos na área de agricultura resiliente ao clima, um dos pilares da CSA (PRAXEDES, 2021).

Ademais, foram as lavouras agrícolas selecionadas para a análise: feijão (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.²⁴), mandioca (*Manihot esculenta*) e milho (*Zea mays* L.). De um modo geral, são cultivadas em sua maioria por produtores familiares, os quais dispõem, muitas vezes, suas produções em sistema de sequeiro totalmente dependente da incidência de chuvas, característica marca registrada da região em análise.

Desse modo, o foco desta etapa é analisar o comportamento da produtividade (mensurada em quilogramas por hectare - Kg.ha⁻¹) e do valor bruto da produção (VBP), mensurado em reais (R\$), das lavouras de feijão, mandioca e milho, nos estados citados anteriormente, ao longo do período de 1945 a 2020. Os dados utilizados nesta etapa, de natureza secundária, foram coletados junto aos Anuários estatísticos do Brasil e retirados da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM-2021), disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1945-1973, 2021). O valor bruto da produção (VBP), por definição, configura-se como demonstra a Equação 16:

$$VBP_{it} = A_{it} \cdot R_{it} \cdot P_{it} \quad (16)$$

sendo, VBP_{it} : valor bruto da produção das lavouras, em reais (R\$), no i -ésimo estado (BA, PE e RN) com o período $t = 1945, 1946, \dots, 2020$; A_{it} : área colhida, em hectares (ha); R_{it} : produtividade ou rendimento médio, em quilogramas por hectare (Kg/ha); P_{it} : preço pago ao produtor, em reais por quilograma (Kg/R\$). Ressalta-se que, na pesquisa o VBP_{it} foi

(77,79%); 7º - Sergipe, com 72.060 (77,25%); 8º - Paraíba, com 125.489 (76,88%); e 9º - Ceará, com 297.862 (75,54%).

²⁴ Esta espécie é mais conhecida como feijão-caupi (ou feijão de corda), e, por sua vez, é o segundo feijão mais cultivado no País, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, que, segundo a CONAB (2020), elas foram responsáveis por mais de 75% da produção nacional. Das cultivares de feijão-caupi adaptadas aos Estados da BA, PE e RN, a produtividade em sistema de sequeiro é 25% menor do que no sistema irrigado (BRASIL, 2022c). Outro tipo é o feijão-carioca (*Phaseolus vulgaris* L.), o mais cultivado e consumido no Brasil.

mensurado por unidade de área colhida (A_{it}), em R\$/ha, então a partir da Equação 16, pode-se apontar que:

$$VBP_{it} = R_{it} \cdot P_{it} \quad (17)$$

3.3.1.2 Primeira etapa do pilar I da CSA: estimação das taxas geométricas de crescimento (TGC)

A ideia da definição das variáveis consideradas nesta análise tem como propósito aferir se a produtividade e o valor bruto da produção (VBP) se mantêm sustentáveis ao longo do tempo, mesmo com a instabilidade climática e o acesso limitado aos recursos, princípios pertinentes para o pilar I da CSA.

Nessa perspectiva, recorreu-se à taxa geométrica de crescimento (TGC) para analisar os percentuais de incremento ou perda média anual das seguintes variáveis: valor bruto da produção (VBP) agregado e da produtividade média das lavouras, por Estado. De acordo com Gujarati e Porter (2011), o modelo é normalmente utilizado para calcular a taxa de crescimento de determinadas variáveis econômicas, como a população, o Produto Interno Bruto (PIB), a oferta de dinheiro, o emprego, a produtividade e o déficit comercial.

A TGC é comumente aplicada na literatura, como exemplos: para aferir taxas de crescimento ao longo de uma série de anos, com enfoque no VBP, área colhida, produtividade e preço da pimenta-do-reino (ANDRADE; SILVA; SALLES, 2017); mensuração de efeitos da área, produtividade e preço da mandioca (CUENCA *et al.*, 2015), bem como na análise do índice de sustentabilidade da produção de lavouras de sequeiro (ROCHA; LEMOS; CAMPOS, 2022). Nesse aspecto, uma abordagem mais robusta para analisar a evolução da taxa de crescimento da produtividade e da renda torna-se necessária. Para tanto, tomando-se o modelo de tendência linear especificado pela Equação 20, estimou-se o coeficiente β e avaliou-se a existência de mudança estrutural na evolução do VBP e da produtividade. Antes de calcular a TGC, os VBP das lavouras selecionadas foram agregados para cada Estado (Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte), como mostra a Equação 18:

$$VBP_{agregado} = VBP_{feijão} + VBP_{mandioca} + VBP_{milho} \quad (18)$$

No caso das produtividades (PROD) das lavouras, contudo, foram considerados os valores médios, uma vez que, ao unir três tipos de culturas agrícolas, em termos agrônômicos, é mais factível estimar a produtividade média em determinada área, pois assim encontra-se um

parâmetro mais próximo da realidade vivenciada pelo produtor rural, em vez de somente agregar os valores somados pelas lavouras; dessa maneira, estaria superestimando os resultados. A Equação 19 expõe a média das produtividades das lavouras ($PROD_{média}$):

$$PROD_{média} = \frac{PROD_{feijão} + PROD_{mandioca} + PROD_{milho}}{3} \quad (19)$$

Uma vez calculados o $VBP_{agregado}$ e a $PROD_{média}$, estimam-se as TGC para o período analisado (1945 a 2020). De acordo com Gujarati e Porter (2011), ao considerar uma variável aleatória Y_t observada em uma série anual contínua e constante, é definida a maneira funcional log-linear expressa na Equação 20:

$$\ln(Y_t) = \beta_0 + \beta_1 T + \varepsilon_t \quad (20)$$

Em que Y_t corresponde a variável de interesse para estimar a TGC ($VBP_{agregado}$ e a $PROD_{média}$) das lavouras para cada estado; β_0 é o coeficiente linear (intercepto) e β_1 é o coeficiente angular da regressão, a serem estimados; T (T= 1,2, 3, ..., n) é o tempo, medido em anos; ε_t consiste no termo do erro aleatório que, por hipótese tem distribuição normal, média zero e desvio padrão igual a 1, não autorregressivo e tem variância constante.

Ressalta-se, entretanto, o fato de que, nesta análise, as TGC foram calculadas com mudanças de inclinação para o curto prazo, ou seja, o procedimento dividiu em blocos os períodos considerados como os picos de queda e de alta. Desse modo, é possível captar o crescimento no curto prazo e longo prazo (com a soma linear das TGC) com o uso de variáveis *dummies* para identificar os períodos, conforme a Equação 21:

$$\ln(Y_t) = \beta_0 + \alpha_0 T + \sum \alpha_i D_i T + \varepsilon_t \quad (21)$$

Este modelo é semelhante à Equação 20, a diferença implica que α_0 consiste na TGC considerando o período T; α_i é a TGC com efeito das variáveis *dummies* a serem definidas (D_i), no intuito de identificar os períodos de anos que compreendem os picos ao longo da série de dados. Dada a estimação, tomando por base a Equação 21, é possível mensurar r para cada variável, a que se refere a TGC em termos percentuais, conforme demonstra a Equação 22:

$$r = (\text{antilog}(\ln \hat{\beta}_1) + 1) \times 100 \quad (22)$$

Logo, cada TGC calculada corresponderá a um período específico, com probabilidade de resultados positivos ou negativos. O somatório das TGC de cada período consistirá na taxa acumulada (1945-2020). Ressalta-se que as TGC estatisticamente diferentes de zero e positivas implicam que as produtividades e as rendas se mostram sustentáveis ao longo dos anos; entretanto, quando estatisticamente diferentes de zero e negativas, apontam que os indicadores não são sustentáveis ao longo dos anos. Em caso de apresentar as TGC estatisticamente iguais a zero (não significantes), implica afirmar que produtividade média e renda agregada são estáveis no decorrer do período analisado.

Fávero e Belfiore (2017) ressaltam que a maneira funcional semilogarítmica não permite ser usada em variável explicativa *dummy*, caso contrário, não representará o efeito percentual sobre a variável em análise.

3.3.1.3 Segunda etapa do pilar I da CSA: modelos de previsões de lavouras de sequeiro nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte

De acordo com Box *et al.* (2015), uma série temporal é definida como um conjunto de observações geradas sequencialmente no tempo. Os autores apontam uma característica intrínseca de uma série temporal - é que as observações adjacentes são dependentes. Logo, a natureza desta dependência entre observações é de considerável interesse prático. Para tanto, a análise dessas séries está preocupada com técnicas para a avaliação dessa dependência. Assim, demanda-se o desenvolvimento de modelos estocásticos e dinâmicos para dados de séries temporais e o uso desses modelos em importantes áreas de aplicação, assim como na Economia Rural, em que esta pesquisa se embasa.

Evidencia-se que alguns conceitos são cruciais ao entendimento necessário para a elaboração de modelo de previsão, bem como se propõe a pesquisa sob relação. Gujarati e Porter (2011) conceituam um processo estocástico ou aleatório como uma coleção de variáveis aleatórias ordenadas no tempo. Supondo que Y denote uma variável aleatória, e em caso de ser contínua, ela será evidenciada como $Y(t)$; entretanto, se for uma variável discreta, será designada como Y_t .

De modo geral, um processo estocástico é classificado como estacionário quando sua média e variância forem constantes ao longo do tempo e a covariância não depender do tempo, derivar apenas da distância, do intervalo ou da defasagem entre os dois períodos. Quando uma série temporal não é estacionária, ela terá uma média ou uma variância que varia com o tempo, ou, ainda, ambas (BOX *et al.*, 2015; GUJARATI; PORTER, 2011).

Ressalta-se um tipo de processo estocástico (ou série temporal), ou seja, um processo puramente aleatório ou de ruído branco. A literatura define um processo estocástico puramente aleatório se ele tem média zero, variância constante (σ^2) e é serialmente não correlacionado.

Dada a hipótese de estacionariedade, a covariância entre os valores de uma série temporal, separados por k intervalos de tempo ou defasagem k , deve ser o mesmo para todo t . Segundo Gujarati e Porter (2011), esta covariância é denominada de autocovariância de defasagem (atraso ou *lag*) k . Em síntese, se uma série temporal for estacionária, a média, variância e autocovariâncias (em variadas defasagens) permanecerão as mesmas não importa em que ponto ela seja aferida, ou seja, elas serão invariantes no tempo. Box *et al.* (2015) mencionam que a estacionariedade fraca é relevante, pois ela fornece a estrutura para a previsão. A estacionariedade fraca é explicada ao admitir o Y_t como uma série temporal estocástica com as seguintes propriedades:

$$\text{Média: } E(Y_t) = \mu \quad (23)$$

$$\text{Variância: } \text{Var}(Y_t) = (Y_t - \mu)^2 = \sigma^2 \quad (24)$$

$$\text{Covariância: } \gamma_k = E[(Y_t - \mu) - (Y_{t+k} - \mu)] \quad (25)$$

Em que γ_k é a covariância (ou autovariância) na defasagem k , entre os valores de Y_t e Y_{t+k} , ou seja, entre dois valores de Y separados por k . Em caso de $k = 0$, obtém-se γ_0 , que é a variância de $Y = \sigma^2$; se $k = 1$, γ_1 é a covariância entre os dois valores adjacentes de Y .

Embora o interesse desta investigação esteja tendido para a série temporal estacionária, encontra-se frequentemente na literatura a ocorrência de série temporal não estacionária. O exemplo clássico é o modelo de passeio aleatório. Há dois tipos de passeios aleatórios: i) passeio aleatório sem deslocamento (sem termo constante ou intercepto); e ii) passeio aleatório com deslocamento, ou seja, existe um termo constante. O modelo de passeio aleatório é um exemplo do que é conhecido na literatura como processo de raiz unitária (GUJARATI; PORTER, 2011; WOOLDRIDGE, 2019).

Moretin e Tolo (2006) mencionam que as propriedades possuem características específicas que complicam seu estudo. Dentre elas, estão: a tendência, demonstrando que ao longo do tempo a série apresentará um sentido; ciclos e sazonalidade, ou seja, movimentação com períodos ondulatórios, podendo ser de curta ou de longa duração; mostra-se um erro, mais

conhecido como “ruído aleatório”, contemplando as variações naturais da série e que não possibilite ser modelado. Considere-se o modelo de passeio aleatório (Equação 26):

$$Y_t = \rho Y_{t+k} + u_t \quad -1 \leq \rho \leq 1 \quad (26)$$

Observa-se que esse é semelhante ao modelo autorregressivo de primeira ordem de Markov. Quando $\rho = 1$, torna-se um modelo de passeio aleatório (sem deslocamento). Caso ρ seja de fato 1, encontra-se o que é popularmente conhecido como problema de raiz unitária, significando dizer que há um cenário de não estacionariedade, ou seja, a variância de Y_t é não estacionária. Raiz unitária pelo fato de $\rho = 1$. Em síntese, as dicções na literatura como não estacionariedade, passeio aleatório, raiz unitária e tendência estocástica são havidas como sinônimas. Logo, se o valor absoluto de ρ for menor do que um ($|\rho| < 1$), torna-se provável demonstrar que a série temporal Y_t seja estacionária (GUJARATI; PORTER, 2011).

Embora haja vários testes de estacionariedade, neste experimento, embasou-se apenas nos que estão destacadamente discutidos na literatura, com ênfase em dois: i) análise gráfica; e ii) o teste de correlograma. Os gráficos dão uma pista inicial sobre a natureza provável da série temporal. O formato mais simplificado para analisar a estacionariedade em séries temporais é dada pela estimação dos coeficientes de autocorrelação e autocorrelação parcial. Com apoio neles, são elaborados os respectivos correlogramas: função de autocorrelação-FAC (*autocorrelation function* – ACF, sigla em inglês) e função de autocorrelação parcial-FACP (*partial autocorrelation function* – PACF, sigla em inglês). Eles representam as inspeções gráficas das defasagens. A função de autocorrelação (FAC) amostral é definida como:

$$\hat{\rho}_k = \frac{\hat{\gamma}_k}{\hat{\gamma}_0} = \frac{\frac{\sum (Y_t - \bar{Y})(Y_{t+k} - \bar{Y})}{n}}{\frac{\sum (Y_t - \bar{Y})^2}{n}} \quad (27)$$

em que, $\hat{\rho}_k$ é a função de correlação amostral; $\hat{\gamma}_k$ é a covariância da amostra e $\hat{\gamma}_0$ é a variância da amostra. Considere-se que n é o tamanho da amostra e \bar{Y} é a média da amostra. O gráfico de $\hat{\rho}_k$ contra k é conhecido como correlograma amostral.

Quanto à determinação da ordem adequada de um modelo, recomenda-se utilizar as FAC e FACP. Suas propriedades teóricas são essenciais para alguns processos estacionários, pois auxiliam na determinação da ordem (p, q) do modelo ARIMA, em que p é a ordem do modelo AR e q é a ordem do modelo MA. Algumas propriedades da FAC e FACP são observáveis no Quadro 5.

Quadro 5 - Propriedades da FAC e FACP

Processo	FAC	FACP
AR(p)	Declina exponencialmente ou padrão de onda senoidal amortecidas, ou ambas.	Picos (<i>lag</i>) significativos através das defasagens p .
MA(q)	Picos (<i>lag</i>) significativos através das defasagens q	Declina exponencialmente
ARMA(p, q)	Declínio exponencial	Declínio exponencial

Fonte: Gujarati e Porter (2011).

3.3.1.3.1 Teste de raiz unitária

Um teste amplamente utilizado na literatura é o de raiz unitária, adotado para verificar a estacionariedade (ou não estacionariedade) de uma série temporal. O ponto de partida é o processo de raiz unitária (estocástico), demonstrado na Equação 28.

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + u_t \quad -1 \leq \rho \leq 1 \quad (28)$$

em que u_t é um termo de erro de ruído branco.

Pelos mínimos quadrados ordinários (MQO), testa-se a hipótese de que $\rho = 1$ (caso de raiz unitária) pelo teste habitual, pois esse teste é viesado no caso de uma raiz unitária. Tomando por base a Equação 28 e subtraindo Y_{t-1} de ambos os lados da equação, obtém-se:

$$\begin{aligned} Y_t - Y_{t-1} &= \rho Y_{t-1} + Y_{t-1} + u_t \\ &= (\rho - 1)Y_{t-1} + u_t \end{aligned} \quad (29)$$

Reescrevendo, ela fica assim:

$$\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + u_t \quad (30)$$

em que $\delta = (\rho - 1)$ e Δ é o primeiro operador da diferença.

Na literatura, a estatística ou teste de *tau* (τ) é conhecida como teste Dickey-Fuller (DF). Com o emprego da simulação de Monte Carlo, os autores computaram os valores fundamentais dessa estatística (DICKEY; FULLER, 1981). Ele foi criado para verificar se um modelo autorregressivo (AR) tem ou não raiz unitária. Cabe mencionar que o teste de Dickey e Fuller considera o erro como um ruído branco, mas o erro é passível de ser apenas um processo estacionário qualquer, e isso promove distorções no poder do teste. Devido a isso, a

pesquisa adotou o teste Dickey e Fuller Aumentado (ADF) como meio de corrigir esse detalhe. As hipóteses do teste ADF são descritas como:

Hipótese nula: $H_0: \delta = 0$, então $\rho = 1$ (há uma raiz unitária ou a série temporal é não estacionária, ou ela possui uma tendência estocástica).

Hipótese alternativa: $H_1: \delta < 0$, então $\rho < 1$ (a série temporal é estacionária, possivelmente em torno de uma tendência determinística)

Em síntese, a decisão permeia a situação de que, se o valor absoluto computado da estatística *tau* ($|\tau|$) exceder o valor crítico da estatística *tau* Dickey-Fuller tabelado, rejeita-se a hipótese de que $\delta = 0$, e, nesse caso, a série temporal será não estacionária. Caso contrário, não se rejeita a hipótese nula, o que quer dizer que a série temporal será estacionária (GUJARATI; PORTER, 2011).

O teste de Kwiatkowski-Philips-Schmidt-Shin (KPSS), proposto em Kwiatkowski *et al.* (1992), verifica a estacionariedade, considerando um modelo com tendência, passeio aleatório e erro. Para Maddala e Kim (1998), o teste KPSS é uma estirpe de teste comprobatório e, isto posto, constata-se a eficácia da análise auferindo resultados mais robustos na verificação da ordem de integração da série. O teste KPSS é descrito conforme a Equação 31:

$$KPSS = \sum_{t=1}^T \frac{S_t^2}{T^2 \hat{\nu}^2} \quad (31)$$

em que o termo $\hat{\nu}^2$ é a variância de longo prazo, definida como:

$$\hat{\nu}^2 = \hat{\sigma}^2 + \frac{2}{T} \sum_{j=1}^M \omega \left(\frac{j}{M+1} \right) \sum_{t=j+1}^T \hat{\epsilon}_t \hat{\epsilon}_{t-j} \quad (32)$$

em que:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{t=1}^T \hat{\epsilon}_t^2}{T} \quad (33)$$

As hipóteses do teste KPSS são especificadas a seguir:

$H_0: \sigma_\mu^2 = 0$ (não possui raiz unitária, a série é estacionária);

$H_1: \sigma_\mu^2 > 0$ (possui raiz unitária, a série não é estacionária).

3.3.1.3.2 A metodologia Box-Jenkins

A metodologia desenvolvida por Box e Jenkins (BOX; JENKINS, 1976), também conhecida como modelo autorregressivo integrado de médias móveis (*auto regressive integrated moving average-ARIMA*, sigla em inglês), conduziu a uma nova geração de ferramentas de previsão, aplicado a séries estacionárias. Mais conhecida na literatura como metodologia Box-Jenkins, ou mesmo como metodologia ARIMA, compreende a elaboração de modelos uniequacionais ou de equações simultâneas, mas na análise probabilística, ou estocástica, das propriedades da série temporal (BOX *et al.*, 2015; GUJARATI; PORTER, 2011; WOOLDRIDGE, 2019). Desse modo, a estratégia para a elaboração do modelo foi embasada em um ciclo iterativo, em que a escolha da estrutura do modelo se baseia nos próprios dados.

Quando a série não se mostra com estacionariedade, é preciso utilizar ferramentas capazes de torná-la estacionária. Passada essa etapa, ao atingir a estacionariedade, facilita a definição de modelos ARIMA, como: modelo autorregressivo (AR); modelo médias móveis (MA) e modelos mistos.

A série temporal Y_t é representada pela Equação 34:

$$Y_t = \mu + \sum \psi_k u_{(t-k)} = \mu + \psi(B)u_t \quad (34)$$

Em geral, μ é parâmetro que determina o nível do processo. A representação do modelo (Equação 34) dá azo a uma gama flexível de padrões de dependência entre os valores do processo expressos em termos de choques aleatórios (não observáveis) independentes.

Box *et al.* (2015) mencionam que um modelo estocástico sobradamente útil na representação de certas séries que ocorrem na prática é o modelo autorregressivo (AR) de ordem p . Neste modelo, o valor atual do processo é expresso como um agregado finito e linear de valores anteriores do processo e um choque aleatório u_t . O operador do modelo AR é definido como:

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p \quad (35)$$

O modelo autorregressivo é escrito economicamente como

$$\phi(B)\tilde{Y}_t = u_t \quad (36)$$

Considerando que $\tilde{Y}_t = Y_t - u_t$.

Entende-se que o modelo autorregressivo expressa o desvio \tilde{Y}_t do processo como uma soma finita ponderada de p desvios anteriores $\tilde{Y}_{t-1}, \tilde{Y}_{t-2}, \dots, \tilde{Y}_{t-p}$ do processo, mais um choque aleatório u_t . Outro modelo, de grande relevância prática na representação de série temporal, é o processo de média móvel (MA) finita de ordem q . O seu operador é definido por:

$$\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q \quad (37)$$

O modelo de média móvel é escrito economicamente como

$$\tilde{Y}_t = \theta(B)u_t \quad (38)$$

A definição do filtro linear (ψ) é assim representada:

$$\psi(B) = \theta(B)/\phi(B) \quad (39)$$

Dadas as considerações acerca dos modelos, Box *et al.* (2015) afirmam que: i) $\phi(B)$ é definido como operador AR de ordem p ; ii) $\psi(B)$ é denominado de operador autoregressivo, ou seja, um operador não estacionário com “ d ” raízes de $\phi(B) = 0$ igual à unidade, ou seja, “ d ” raízes unitárias; e iii) $\theta(B)$ é chamado de operador MA de ordem q ; supõe-se que seja inversível e que as raízes de $\theta(B) = 0$ estão fora do círculo unitário.

Para obter maior flexibilidade na montagem de séries temporais reais, às vezes é vantajoso incluir tanto autorregressivos quanto termos de média móvel no modelo. Isso leva ao modelo misto autoregressivo de média móvel (ARMA). A partir das demonstrações descritas anteriormente, pode-se definir $\tilde{Y}_t = Y_t - \mu$, desse modo torna-se possível obter a sua transformação, conforme a Equação 40:

$$\phi(B)\tilde{Y}_t = \theta(B)u_t \quad (40)$$

A seleção dos modelos por meio da metodologia Box-Jenkins é iniciada com a identificação dos parâmetros AR e MA da série temporal, mas os processos AR(p), MA(q) e ARMA(p,q) são estacionários. Para processos não estacionários, é necessário que seja feita a diferenciação para torná-los estacionários, sendo acrescentado assim o parâmetro d , formando o ARIMA(p,d,q), conforme mostra a Equação 40:

$$\phi(B)\omega_t = \theta(B)u_t$$

em que

$$\omega_t = (1 - B)^d z_t$$

em que d é a ordem de integração, ou seja, o número de diferenças necessárias para tornar a série estacionária.

No caso de modelo para previsão, deve-se admitir que suas características são constantes no curso temporal e, sobretudo, de períodos futuros. Para tal propósito, requer-se que os dados sejam estacionários e que qualquer modelo que seja inferido com base nesses dados seja interpretado como estacionário e, então, fornecer uma base confiável para a previsão (GUJARATI; PORTER, 2011; WOOLDRIDGE, 2019).

A metodologia Box-Jenkins é um processo iterativo que consiste em etapas.

1. **Identificação.** Descubrem-se os valores apropriados de p , d e q . São as principais ferramentas para identificar a função de correlação amostral (ACF), a função de correlação amostral parcial (PACF) e os correlogramas resultantes.
2. **Estimação.** Aferir os parâmetros dos termos autorregressivos e dos termos de média móvel incluídos no modelo.
3. **Verificação do diagnóstico.** Passada a seleção do modelo ARIMA, é realizado o teste para verificar se os resíduos estimados com base nesse modelo são ruídos brancos; se confirmado, aceita-se o ajuste específico; em caso contrário, há necessidade de se recomeçar o processo.
4. **Previsão.** Uma das vantagens da modelagem ARIMA é justamente o seu sucesso na previsão. Na maioria das vezes, as previsões obtidas por esse método são mais confiáveis, especialmente para as previsões de curto prazo.

Os modelos tentam se aproximar da realidade, uma vez que se perdem informações ao longo do processo. Desse modo, torna-se necessário realizar a seleção do melhor modelo, dentre aqueles que foram ajustados. Para tanto, se faz necessário descrever os critérios utilizados para selecionar os melhores modelos para previsões da produtividade e valor bruto da produção (VBP) nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte.

A seleção do modelo apropriado, do ponto de vista estatístico, é um segmento por demais relevante na análise de dados (BOZDANGAN, 1987). Demanda-se pelo modelo mais parcimonioso, isto é, que envolva o mínimo de parâmetros possíveis a serem estimados e que explique bem o comportamento da variável resposta.

Desse modo, o critério é definido como a estatística que maximiza a probabilidade de se identificar o verdadeiro modelo dentre os avaliados. Testes estatísticos foram executados nesta etapa, que envolvem verificações da condição de estacionariedade, análise de significância dos parâmetros estimados e critérios de seleção do modelo. Existem diversas

ferramentas para avaliar a qualidade do ajuste e o desempenho de um modelo de previsão, sendo utilizadas nesta pesquisa, como: Critério de Informação Bayesiano (*Bayesian's Information Criterion* – BIC, sigla em inglês); erro percentual absoluto médio (MAPE), Teste de Ljung-Box e o coeficiente de correlação de Pearson.

O BIC desenvolvido por Schwarz (1978) é uma extensão bayesiana, que minimiza o critério de informação de akaike (*akaike's information criterion*-AIC, sigla em inglês). O BIC penaliza fortemente modelos com um maior número de parâmetros do que o AIC, tendendo, assim, a selecionar modelos com um menor número de parâmetros. O BIC está configurado na Equação 41.

$$\text{BIC}(k) = -2 \log f(x_n|\theta) + p \log n \quad (41)$$

em que $f(x_n|\theta)$ é o modelo escolhido, p é o número de parâmetros a serem estimados e n é o número de observações da amostra. Para Shumway e Stoffer (2016), inúmeros estudos de simulação tendem a verificar que o BIC se sai bem em obter a ordem correta em grandes amostras, enquanto o AIC tende a ser superior em amostras menores, onde o número relativo de parâmetros é grande. Nessa perspectiva, esta pesquisa adotou o BIC.

Outra medida de acurácia utilizada é o erro percentual absoluto médio (MAPE), percentual da diferença entre o previsto e o realizado, em módulo, devido a algumas características, tais como ser independente de escala e menos afetado por incidência de *outliers* da previsão. Esta medida, normalmente, é utilizada para verificar o bom desempenho do ajuste, assim como expressada a Equação 42:

$$\text{MAPE} = \left(\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{u_t}{y_t} \right) \cdot 100 \quad (42)$$

em que y_t é o valor observado tempo i , sendo $i=1, \dots, n$; $u_t = y_t - \tilde{y}_t$ é o erro de predição; n é o tamanho da série. Sugere-se tomar o modelo mais parcimonioso, ou seja, com o menor número de parâmetros (BOX *et al.*, 2015).

Realizada a etapa de estimação dos modelos, procede-se à análise dos resíduos para verificação adequada dos modelos ajustados. O teste de Box e Pierce (BOX; PIERCE, 1970), modificado por Ljung e Box x (LJUNG; BOX, 1978), é utilizado para verificar se o comportamento dos ruídos expressa um ruído branco, portanto, os resíduos não devem ser correlacionados. O teste Ljung-Box é definido por:

$$Q(k) = n(n + 2) \sum_{j=1}^k \frac{\hat{r}_j^2}{(n - j)} \quad (43)$$

sendo a hipótese nula para o teste Ljung-Box é de $H_0: \rho_1 = \dots = \rho_n = 0$ contra a hipótese alternativa $H_1: \rho_i \neq 0$ para pelo menos um $i \in \{1, \dots, n\}$. A estatística Q do teste é aproximadamente distribuída como uma Qui-Quadrada (χ^2) com $k - p - q$ graus de liberdade, em que k é o número de defasagens tomado. O desempenho do teste é influenciado pela escolha de k (BOX *et al.*, 2015; BOX; PIERCE, 1970; LJUNG; BOX, 1978). O teste examina as autocorrelações dos resíduos. Se as autocorrelações forem muito pequenas, conclui-se que o modelo não exibe falha significativa de ajuste.

Para verificar a aderência dos valores previstos em relação aos valores observados, foi utilizado o teste de correlação de Pearson (r), definido como:

$$r = \frac{\sum Z_x Z_y}{N} \quad (44)$$

em que Z_x e Z_y são os desvios-padrão das variáveis x (valores observados) e y (valores previstos); N é o tamanho da amostra. Vale frisar que o coeficiente de Pearson varia entre -1 e 1, mensura a direção e o grau da relação linear entre duas variáveis quantitativas. O padrão do sinal indica direção positiva ou negativa da relação e o valor implica a força da relação entre as variáveis. Em caso de correlação perfeita (-1 ou 1), o escore de uma variável é determinado exatamente ao se saber o escore da outra. Em outra situação, uma correlação igual a zero indica que não há relação linear entre as variáveis (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2009). Ou seja, quanto mais próximo de 1, mais aderente os valores observados estarão aos valores previstos.

3.3.2 Relação entre os modelos de previsões para as lavouras de sequeiro com a precipitação pluviométrica nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte

Cabe mencionar que esta pesquisa admite que, no cenário de previsão da produtividade média e do VBP agregado por hectare das lavouras selecionadas (feijão, mandioca e milho), os choques ξ_t apresentados foram causados por variáveis exógenas, dentre elas a precipitação pluviométrica (C_t). Nesse âmbito, o ruído ξ_t associado às projeções da produtividade média e do VBP agregado, por hectare, dos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, de 1945 a 2020, é definido pela Equação 45:

$$\xi_t = \lambda_0 + \lambda_1 C_t + v_t \quad (45)$$

em que λ_0 é o coeficiente que representa o parâmetro linear; λ_1 é o coeficiente angular que, se estatisticamente diferente de zero, mensura a sensibilidade do termo de erro do modelo de previsão (ξ_t) à instabilidade das precipitações anuais de chuvas (C_t). O termo aleatório v_t , por hipótese, é considerado ruído branco na Equação 45. Caso essa hipótese seja verdadeira, os coeficientes λ_0 e λ_1 são estimados por MQO (WOOLDRIDGE, 2019).

3.3.3 Pilar II da abordagem CSA: resiliência da agricultura ao clima

Esta subseção destina-se a indicar os principais procedimentos metodológicos utilizados para responder ao pilar II da abordagem da *Climate Smart Agriculture* (CSA) que avalia a resiliência da agricultura ao clima.

3.3.3.1 Área de estudo, descrição das variáveis e fonte dos dados

Foram examinadas informações acerca das variáveis relacionadas a produtividade, área colhida e preço médio das culturas agrícolas - feijão, mandioca e milho - uma vez que estas são praticadas, em boa parcela, por agricultores familiares que adotam o sistema de sequeiro (dependente da água da chuva) para produzir suas lavouras. Estas informações foram tomadas junto aos Anuários estatísticos do Brasil (IBGE, 1945-1973) e à Produção Agrícola Municipal - PAM (IBGE, 2021).

A escolha das variáveis para elaboração do ICRA justifica-se por definirem a produção das lavouras de feijão, mandioca e milho. Outro ponto relevante é que, em razão da análise de uma série longa de dados (1945-2020), um fator limitante é a sua disponibilidade.

Dadas as considerações, os produtores rurais possuem domínio sobre as áreas plantadas (de acordo com a disponibilidade de cada agricultor), uma vez que eles sabem exatamente a quantidade de sementes (feijão e milho) e/ou manivas (corte das ramas de mandioca para o plantio), necessária para a área de plantio, bem como as tecnologias disponíveis ao cultivo destas lavouras, as quais influenciarão nas produtividades. As áreas que serão colhidas, contudo, não serão, necessariamente, as mesmas previamente plantadas. Em consequência disso, há efeitos nos rendimentos adquiridos. Desse modo, dependem de fatores exógenos, ou seja, ocorrência de intempéries capazes de atingir essas lavouras, como: ataque

de pragas; instabilidade pluviométrica; temperatura; eventos climáticos extremos (secas prolongadas, inundações, entre outros); falta de assistência técnica, entre outros fatores. Por essa razão, os resultados tornam-se aleatórios para os agricultores, caso não tenham condições ideais durante o ciclo de produção.

O produtor até tem uma noção de um valor aproximado da área colhida e produtividade, tanto pela tecnologia utilizada (seja por práticas rudimentares ou técnicas avançadas) quanto pelo conhecimento acumulado, mas em decorrência da instabilidade da produção em sistema de sequeiro, por exemplo, não há como obter uma estipulação determinística sobre essas variáveis.

Já os preços, por outro lado, são fixados em mercados sobre os quais os agricultores não têm controle. Desse modo, configuram-se como variáveis aleatórias para os produtores rurais, uma vez que estes são tomadores de preços, no entanto, pelo fato de o agricultor implementar o *hedge* em *commodities* em sua operação, ele se torna um estrategista de preços. Essa estratégia de *hedge* para *commodities* tem como princípio evitar o efeito da imprevisibilidade do movimento de oferta e demanda. Como exemplo, tem-se a venda da produção por meio de contratos futuros, ou seja, os agricultores fixam o preço agora, mas repassam o dinheiro só no futuro. Desse modo, essa estratégia ajuda a controlar o mercado, evitando que a imprevisibilidade prejudique as transações e afete todo o resultado da produção de *commodities* agrícolas, como café, soja, boi gordo, entre outros produtos. Na presente pesquisa, a análise supõe, já de saída, que o agricultor é tomador de preços, pois a realidade da agricultura de sequeiro voltada para as lavouras de feijão, mandioca e milho não utiliza essa estratégia de *hedge* em *commodities*.

Na análise da CSA para aumentar a produtividade alimentar, necessita-se estabelecer a resiliência dos pequenos agricultores às mudanças climáticas e mitigar a emissão de GEE. De efeito, o conhecimento local dos pequenos produtores tem relevância significativa na manutenção das atividades agrícolas, principalmente quando se pratica agricultura de sequeiro, que é a realidade da grande parcela de agricultores nordestinos. Ogunyiola, Gardezi e Vij (2022) apontam que os formuladores de políticas públicas e acadêmicos precisam repensar como o conhecimento local dos pequenos agricultores é capaz de melhorar oportunidades e cumprir o potencial para aumentar a CSA.

No que concerne às variáveis climáticas, a temperatura média anual (em graus Celsius - °C) e a precipitação pluviométrica (em milímetros - mm) foram coletadas junto ao *National Centers for Environmental Information* fornecido pela *National Oceanic & Atmospheric Administration* (NOAA) e *Global Climate Monitor* (GCM), este último apoiando-

se no desenho de um modelo de dados e numa ferramenta para geovisualizar dados climáticos globais e indicadores climáticos-ambientais que contêm informações acessíveis de 1901 até dados recentes. É um projeto desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa Climática da Universidade de Sevilha (GCM, 2022).

Estas variáveis são condicionantes ao desempenho das atividades agrícolas nos municípios dos estados selecionados da região Nordeste, porquanto os agricultores necessitam de condições climáticas favoráveis para a produção agrícola. A precipitação pluviométrica e a temperatura, variáveis exógenas, configuram-se como elementos fora de qualquer controle do produtor rural, sendo muito complexas para a realização de previsões. Por essa razão elas possuem como justificativa o fato de serem as variáveis definidoras das instabilidades analisadas nas atividades de sequeiro para os Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte.

O período de análise compreendeu os anos de 1945 a 2020, horizonte temporal necessário para a elaboração do índice. As variáveis em reais (R\$) foram corrigidas pelo Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI), disponibilizado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2021), com ano base = 2020. No Quadro 6 estão dispostas as definições, bem como as fontes das variáveis selecionadas para a análise.

Quadro 6 – Descrição das variáveis selecionadas para a elaboração do ICRA

(continua)

Código da variável	Variáveis	Definição	Fonte
X ₁	Área colhida – feijão	Área colhida com feijão (hectare – ha)	Anuários estatísticos do Brasil ²⁵ (IBGE, 1945-1973); Produção Agrícola Municipal – PAM ²⁶ (IBGE, 2021)
X ₂	Produtividade – feijão	Produtividade do feijão, mensurada pela relação da quantidade produzida por área colhida (quilogramas por hectare – Kg.ha ⁻¹)	
X ₃	Preço médio – feijão	Preço médio da lavoura de feijão (R\$.kg ⁻¹)	
X ₄	Área colhida – mandioca	Área colhida com mandioca (hectare – ha)	
X ₅	Produtividade – mandioca	Produtividade da mandioca, mensurada pela relação da quantidade produzida por área colhida (quilogramas por hectare – Kg.ha ⁻¹)	
X ₆	Preço médio – mandioca	Preço médio da lavoura de mandioca (R\$.kg ⁻¹)	
X ₇	Área colhida – milho	Área colhida com milho (hectare – ha)	

²⁵ As informações referentes ao período de 1945 a 1973 foram coletadas junto aos Anuários estatísticos do Brasil (IBGE, 1945-1973).

²⁶ Os dados coletados na PAM-2021 (IBGE, 2021) têm como período de referência os anos de 1974 a 2020.

Quadro 6 – Descrição das variáveis selecionadas para a elaboração do ICRA

(conclusão)

Código da variável	Variáveis	Definição	Fonte
X ₈	Produtividade – milho	Produtividade do milho, mensurada pela relação da quantidade produzida por área colhida (quilogramas por hectare – Kg.ha ⁻¹)	Anuários estatísticos do Brasil ²⁷ (IBGE, 1945-1973); Produção Agrícola Municipal – PAM ²⁸ (IBGE, 2021)
X ₉	Preço médio – milho	Preço médio da lavoura de feijão (R\$.kg ⁻¹)	
X ₁₀	Temperatura	Temperatura média anual (mensurada em graus Celsius - °C)	NOAA (2022); GCM (2022)

Fonte: Elaboração própria (2022).

De modo geral, os preços tendem a se elevar em períodos de escassez da produção que, possivelmente, acontecerão em períodos de precipitações pluviométricas reduzidas e que, conseqüentemente, causarão elevações de preços. Caso contrário, a produção tende a indicar uma realidade satisfatória com a elevação do seu nível e, em decorrência disso, apontar maior oferta e, conseqüentemente, menor preço, em virtude de uma maior quantidade de produto disponível no mercado.

3.3.3.2 O método de análise fatorial (AF)

Com o escopo de avaliar as interações das variáveis definidoras da produção de feijão, mandioca e milho nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, de 1945 a 2020, recorre-se à análise fatorial (AF)²⁹. Desse modo, examinam-se as sinergias entre as variáveis: áreas colhidas, produtividades e preços das lavouras selecionadas.

O método adequado para a elaboração do Índice de Agricultura Resiliente ao Clima (ICRA) refere-se a AF, técnica que se mostra mais robusta para o propósito de elaboração de índices sintéticos, uma vez que se embasou em um grande número de variáveis originais para transformar em um reduzido número de fatores, que, por definição, além de ser menor do que o quantitativo de variáveis, incorpora de modo latente as que mostram elevada correlação entre si.

²⁷ As informações referentes ao período de 1945 a 1973 foram coletadas junto aos Anuários estatísticos do Brasil (IBGE, 1945-1973).

²⁸ Os dados coletados na PAM-2021 (IBGE, 2021) têm como período de referência os anos de 1974 a 2020.

²⁹ Para mais detalhes sobre o contexto histórico e a evolução da fundamentação do método, ver Fávero e Belfiore (2017); Marôco (2014); Pearson (1896); e Spearman (1904).

Atualmente, a AF é utilizada em diversas áreas do conhecimento. Menciona-se em Fávero e Belfiore (2017) que as técnicas exploratórias de AF são pertinentes quando há a finalidade de se analisar variáveis que exibam, entre si, coeficientes de correlação relativamente elevados e se pretende constituir novas variáveis que assimilem o comportamento agregado das variáveis originais. Para Marôco (2014), refere-se a uma técnica de análise exploratória de dados, que visa a elaborar uma escala de mensuração para fatores (intrínsecos) que, de algum modo, controla as variáveis originais, desde um conjunto de variáveis inter-relacionadas. Cada nova variável gerada é chamada de fator, que corresponde ao agrupamento de variáveis. A AF estima fatores comuns, subjacentes às variáveis e não diretamente observáveis (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

A técnica de AF tem como propósitos: i) identificar dimensões latentes (fatores) que expliquem correlações entre um conjunto de variáveis; ii) detectar um conjunto menor de variáveis latentes (os fatores) que serão não correlacionadas para substituir um conjunto original de variáveis correlacionadas em grupos; e iii) constatar em um conjunto maior, um menor grupo de variáveis que se destacam para uso em uma análise posterior (FÁVERO; BELFIORE, 2017; JOHNSON; WICHERN, 2007).

De acordo com Hair Jr. *et al.* (2009), quando se trata de AF, é essencial destacar algumas suposições.

- i. Normalidade e linearidade: desvios na normalidade e na linearidade conseguem restringir as correlações observadas entre as variáveis e, conseqüentemente, dificultar a solução.
- ii. Matriz de correlações com valores significativos: deve apontar valores altos aceitáveis no intuito de fundamentar a aplicação; mas, se a matriz de correlações não indicar valores superiores a 0,30 e estatisticamente diferentes de zero, a sua utilização, certamente, será inapropriada. Em síntese, a matriz de correlação entre as variáveis estudadas não é uma identidade.

O sistema de estimação da técnica de AF possui algumas etapas. Segundo Fávero e Belfiore (2017), é decomposto em: a) verificação da matriz de correlações e adequações da utilização da AF; b) extração dos fatores iniciais e delimitação do número de fatores; c) rotação dos fatores; e d) interpretação dos fatores.

O modelo geral da AF é representado por meio da Equação 46:

$$X_i = \alpha_i F + \varepsilon_i \quad (46)$$

onde:

X_i = i-ésimo escore da variável estudada;

F = fator aleatório comum para todas as variáveis mensuradas;

ε_i = componente aleatório. Em que, $E(\varepsilon_i) = E(F) = 0$;

α_i = constante denominada de carga fatorial (*loading*), que afere a relevância dos fatores na composição de cada variável (correlação).

Nessa concepção, o modelo de AF consiste em retirar de uma população que contém p variáveis observáveis ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_p$), dada a população com vetor de média μ e matriz de covariância Σ , m fatores comuns $F_1, F_2, F_3, \dots, F_m$ e p fatores complementares de variação $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_p$, identificados como erros ou fatores específicos (JOHNSON; WICHERN, 2007).

Sob o fundamento do modelo geral, efetua-se a padronização de X (média 0 e desvio padrão 1); o modelo de AF é descrito, de modo genérico, por meio da Equação 47:

$$X_i = \alpha_{i1}F_1 + \alpha_{i2}F_2 + \dots + \alpha_{im}F_m + \varepsilon_i \quad (i = 1, \dots, p) \quad (47)$$

onde, X_i representa as variáveis padronizadas; α_i configura as cargas fatoriais; F_m os fatores comuns; e ε_i os fatores específicos. O modelo descrito na Equação 47, todavia, segundo Marôco (2014), admite algumas premissas, conforme está à continuidade.

- I. Os fatores comuns (F_k) são independentes (ortogonais) e uniformemente disseminados, com média 0 e variância 1 ($k = 1, \dots, m$).
- II. Os fatores específicos (ε_i) são independentes e equitativamente difundidos, com média 0 e variância ($i = 1, \dots, p$).
- III. F_k e ε_i são independentes.

Considera-se que o termo ψ_i representa a variância de ε_i , assim dizendo, $\text{Var}(\varepsilon_i) = \psi_i$. Fávero e Belfiore (2017) afirmam que, se as três premissas forem analisadas, logo vêm como modelo fatorial ortogonal, caso contrário, se F_k e ε_i forem correlacionados, o modelo fatorial será denominado oblíquo.

No que concerne à estimação dos fatores, ressalta-se que esta etapa é realizada por combinação linear das variáveis, como mostra a Equação 48.

$$F_1 = d_{11}X_1 + d_{12}X_2 + \dots + d_{1m}X_i$$

$$F_2 = d_{21}X_1 + d_{22}X_2 + \dots + d_{2m}X_i$$

⋮

$$F_m = d_{m1}X_1 + d_{m2}X_2 + \dots + d_{mi} X_i \quad (48)$$

em que, F_m são os fatores comuns; d_{mi} são os coeficientes dos escores fatoriais; e X_i são as variáveis originais. A multiplicação dos coeficientes d_{mi} pelo valor das variáveis originais converte em escore fatorial.

Em se tratando da variância de X_i , de acordo com Fávero e Belfiore (2017), ela é fracionada em duas partes, conforme Equação 49:

$$Var(X_i) = h_i^2 + \psi_i \quad (i = 1, 2, \dots, p) \quad (49)$$

onde a comunalidade ($h_i^2 = \alpha_{i1}^2 + \alpha_{i2}^2 + \dots + \alpha_{im}^2$) configura-se como uma estimativa da variância X_i , explicada pelos fatores comuns. Isso significa dizer que corresponde à variância total compartilhada de cada variável em todos os fatores extraídos com suporte em autovalores (*eigenvalues*) maiores do que 1; e ψ_i representa a variância específica de X_i , ligada ao fator comum.

A finalidade substancial da análise das comunalidades é averiguar se alguma variável não compartilha um percentual considerável de variância com os fatores extraídos - a despeito de que não haja uma zona de corte no tocante à comunalidade ser considerada alta ou baixa, uma vez que a dimensão da amostra interfere nessa avaliação. Em caso de as comunalidades serem baixas, comparadas às demais, sugere-se reconsiderar a inclusão da referente variável na análise fatorial (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

3.3.3.3 Adequação global da análise fatorial

Uma vez especificados os fatores, delineiam-se, então, as cargas fatoriais, as quais correspondem às correlações de Pearson entre as variáveis originais e cada um dos fatores (FÁVERO; BELFIORE, 2017). Para tanto, compreende-se que a correlação de Pearson refere-se a uma medida do grau de associação linear entre duas variáveis métricas, que suporta a variação entre -1 e 1; quanto mais próximo de um desses extremos, é indicada relação linear entre as variáveis, o que tende a contribuir para a extração de fator único.

De outro modo, caso o valor da correlação de Pearson seja próximo de zero, aponta que a relação linear entre as duas variáveis é praticamente inexistente, o que contribui para variados fatores serem extraídos (HAIR JR. *et al.*, 2009). Para os autores, se o reconhecimento

visual da matriz de correlações não revelar um número considerável de valores estatisticamente superiores a 0,30, representa um indício preliminar de que a aplicação da técnica vai ser inadequada.

Nessa perspectiva, a fim de que seja examinado o ajustamento global apropriado da extração dos fatores, a literatura recomenda tomar por base a estatística Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e o teste de esfericidade de Bartlett (JOHNSON; WICHERN, 2007; HAIR JR. *et al.*, 2009).

No concernente à estatística KMO, inicialmente expressa por Kaiser (1970), ela concede a proporção de variância julgada comum às variáveis na amostra em análise, sendo designada à existência de um fator comum. O parâmetro dessa estatística varia de 0 a 1, ou seja, quanto mais próximas de 1, fica evidenciado que as variáveis partilham um percentual de variância elevado (correlação alta), enquanto para valores mais próximos de 0, ocorre o contrário, situação essa que aponta a impossibilidade da aplicação da análise fatorial (FÁVERO; BELFIORE, 2017). A estatística KMO é mostrada pela Equação 50:

$$KMO = \frac{\sum_{l=1}^k \sum_{c=1}^k \rho_{lk}^2}{\sum_{l=1}^k \sum_{c=1}^k \rho_{lk}^2 + \sum_{l=1}^k \sum_{c=1}^k \varphi_{lk}^2}, l \neq c \quad (50)$$

onde l e c denotam, de modo respectivo, as linhas e colunas da matriz de correlações ρ (valores da correlação linear de Pearson ou coeficientes de correlação de ordem zero), e os termos φ retratam os coeficientes de correlação parcial (ou de ordem superior) entre duas variáveis. Para tanto, os coeficientes de correlação parcial colaboram com a análise, uma vez que, de acordo com Gujarati e Porter (2011), são aplicados logo que se estima averiguar a correlação entre duas variáveis, dominando-se ou desprezando-se os efeitos de outras variáveis na base de dados.

Quando os coeficientes de correlação parcial entre as variáveis são baixos, a análise fatorial é considerada adequada. Isso indica que as variáveis compartilham um elevado percentual de variância, logo, a desconsideração de uma ou mais delas na análise tem potencial de afetar a qualidade da extração dos fatores. Nesse âmbito, o Quadro 7 denota os parâmetros que indicam a relação entre a estatística KMO e a adequação global da análise fatorial.

Quadro 7 - Estatística Kaiser-Meyer-Olkin e níveis de adequação da análise fatorial

Estatística KMO	Adequação da Análise Fatorial
1,00 - 0,90	Excelente
0,80 - 0,90	Boa
0,70 - 0,80	Média
0,60 - 0,70	Razoável
0,50 - 0,60	Má, mas ainda aceitável
<0,50	Inaceitável

Fonte: Fávero e Belfiore (2017); Marôco (2014).

Similar ao cálculo da estatística KMO, a medida de adequação da amostra (*measure sampling adequacy-MSA*, sigla em inglês) inclui somente os coeficientes que se pretende avaliar. Inicialmente, segundo Hair Jr. *et al.* (2009), o pesquisador deve verificar os valores de MSA para cada variável, individualmente, e suprimir as que se deparam no domínio inaceitável.

O teste de esfericidade de Bartlett consiste em contrapor a matriz de correlações ρ com uma matriz identidade **I** de mesma dimensão (BARTLETT, 1954). Caso as diferenças entre os valores equivalentes fora da diagonal principal de cada matriz não forem estatisticamente diferentes de 0, sob determinado nível de significância, considera-se que a extração dos fatores não será adequada. Em caso de a hipótese nula (H_0 : a matriz de correlações é uma matriz identidade) ser aceita, isso significa que as variáveis não estão correlacionadas e, nesse caso, a aplicação da AF será inadequada; mas, se a hipótese nula não for aceita, indicará que há correlações significativas entre as variáveis originais (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

Fávero e Belfiore (2017) salientam que o teste de esfericidade de Bartlett é preferível à estatística KMO, quando deparar propósitos de decisão sobre a adequação global da análise fatorial. Ao passo que o primeiro é um teste com determinado nível de significância, o segundo é meramente um coeficiente (estatística) estimado sem distribuição de probabilidades determinada e hipóteses que concedam aferir o nível correspondente de significância para efeitos de tomada de decisão.

3.3.3.4 Métodos de extração e rotação dos fatores

Dentre os procedimentos relativos à análise fatorial, existem diversos métodos³⁰ para a determinação (extração) de fatores desde a matriz de correlações de Pearson. A literatura retrata que o método mais utilizado é denominado por análise de decomposição em

³⁰ Alguns métodos para extração dos fatores são: mínimos quadrados generalizados, mínimos quadrados ponderados, máxima verossimilhança, *alpha factoring* e *image factoring*, que mostram distintos critérios e determinadas particularidades (FÁVERO; BELFIORE, 2017; MATOS; RODRIGUES, 2019).

componentes principais (ACP), no qual ocorre a chamada transformação de Karhunen-Loeve, em que há redução estrutural (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

O método ACP baseia-se no pressuposto de que são extraídos fatores não correlacionados com base em combinações lineares das variáveis originais. Ou seja, concede, a partir de um grupo de variáveis originais correlacionadas entre si, determinar outro conjunto de variáveis (fatores) resultantes da combinação linear do primeiro conjunto (HAIR JR. *et al.*, 2009).

Na análise fatorial, a rotação dos fatores é um processo que maximiza as cargas de cada variável em determinado fator, em detrimento dos demais. Nessa concepção, o intuito fundamental da rotação é a redistribuição das cargas fatoriais para fatores que exibam previamente menores percentuais de variância dividida por todas as variáveis originais. Ele tem o objetivo de transformar os coeficientes dos componentes principais retidos em uma estrutura simplificada (JOHNSON; WICHERN, 2007; HAIR JR. *et al.*, 2009).

Ressalta-se que a adequação global da análise fatorial (estatística KMO e teste de esfericidade de Bartlett) não é alterada com a rotação, uma vez que a matriz de correlações ρ continua a mesma (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

Dentre os métodos rotacionais ortogonais, destacam-se o *varimax*, o *quartimax* e o *equamax*. O mais empregado pela literatura, contudo, e que aqui adotado, é o *varimax*. Essa é a nomenclatura proposta por Kaiser (1958), que tem como finalidade reduzir o montante de variáveis que expõem elevadas cargas em determinado fator por meio da redistribuição das cargas fatoriais e maximização da variância compartilhada em fatores correspondentes a autovalores mais baixos (FÁVERO; BELFIORE, 2017; MARÔCO, 2014).

3.3.3.5 *Elaboração do Índice de Agricultura Resiliente ao Clima (ICRA)*

O acervo literário que cobre esta matéria (FÁVERO; BELFIORE, 2017; HONGYU, 2018; MATOS; RODRIGUES, 2019) retrata inúmeras aplicações da análise fatorial. Uma das possibilidades é auxiliar a instauração de índices sintéticos, amplamente disseminados sob distintos domínios e aspectos de mensuração, como: qualidade do solo (BENISTON; LAL; MERCER, 2016); sustentabilidade energética (BEZERRA *et al.*, 2019); desenvolvimento sustentável nas cidades (RODRIGUES; FRANCO, 2020); desenvolvimento rural (BEZERRA; LIMA, 2022; BITTENCOURT; LIMA, 2014; MELO; PARRÉ, 2007; SANTOS; FERREIRA; SALGADO, 2017; SOUZA, 2019); níveis de degradação ambiental

(LEMOS, 2001); sinergia entre o nível de produtividade agropecuária e a pluviometria (LEMOS *et al.*, 2020), entre outros.

Dada a robustez do método, critério necessário à continuidade do procedimento metodológico a que se propõe esta subseção, nesta ideia, foi elaborado o Índice de Agricultura Resiliente ao Clima (ICRA), que suporta informações concernentes aos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte. Estes contemplam um grupo de 769 municípios, equivalente a 42,87% do total de municípios da região Nordeste (1794). De acordo com a SUDENE (2021), na região Nordeste, dos seus nove estados, metade tem mais de 85% de sua área caracterizada como semiárida. Em número de municípios, de acordo com a nova delimitação do semiárido³¹, os estados com maior quantidade são: Bahia (283); Piauí (215); Paraíba (188); Ceará (171); Rio Grande do Norte (141) e Pernambuco (137). Em síntese, os estados selecionados para a investigação ora sob relato configuram um total de 561 municípios inseridos no Semiárido (SUDENE, 2021).

A ideia de se elaborar um índice agregado visa a analisar o comportamento sob o contexto produtivo das culturas agrícolas, selecionadas, com o intento de verificar a resiliência da agricultura de sequeiro ante as oscilações de precipitação pluviométrica e temperatura durante o horizonte de 76 anos (1945-2020). Esta etapa conduz à análise de um dos pilares da abordagem da CSA empregada pela FAO (2010, 2013). Estes fundamentos são passíveis de ser captados na maneira como os agricultores atuam perante as dificuldades climáticas, considerando em conhecimento prévio, da vivência com os problemas da escassez hídrica e dos rigores do clima.

A escolha do Nordeste decorre do fato de ser uma das regiões mais vulneráveis do Brasil, em consequência da instabilidade climática, traduzida pelo baixo nível de precipitação pluviométrica e irregularidade em sua distribuição, más condições edafoclimáticas, bem como por ter boa parte dos municípios (1218) inseridos no Semiárido, região caracterizada por intensiva restrição hídrica, que impõe limites e condicionalidades para a produção agropecuária (BUAINAIN; GARCIA, 2015). Consoante ensina Lemos (2020), os níveis de vulnerabilidades induzidas são elevados nos municípios do Semiárido brasileiro e, em sua maioria têm PIB *per capita* de, no máximo, um salário-mínimo, configurando grande heterogeneidade entre municípios.

³¹ Critérios técnicos adotados pela SUDENE na nova delimitação: i) Índice de Aridez (IA) de Thornthwaite inferior ou igual a 0,50; ii) Precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800mm e; iii) Percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano.

O diferencial desta aplicação corresponde à abordagem CSA, pois atualmente ainda não se encontram trabalhos dessa natureza com enfoque nos seus pilares norteadores da FAO (2010) para elaboração de índice sintético. Ressalta-se que a elaboração de um indicador sintético, como conforma esta pesquisa, compreende a necessidade de lidar com distintas unidades de medida, que, conseqüentemente, se não houver a escolha adequada para o tratamento dos dados, vai ocorrer problema em sua consolidação, bem como vieses nos resultados. Desse modo, para evitar que tal suceda, tem-se a necessidade de realizar a normalização pelo método min-max, para expressar os valores obtidos em uma escala entre 0 e 1. Uma vez gerados os escores fatoriais provenientes da AF, prossegue-se com a etapa de normalização, conforme a Equação 51:

$$F_{ji} = \frac{F_j - F_{min}}{F_{max} - F_{min}} \quad (51)$$

em que F_{ji} é o escore fatorial padronizado pelo estado j-ésimo estado, do i-ésimo fator; F_{max} escore fatorial máximo do i-ésimo fator e F_{min} escore fatorial mínimo do i-ésimo fator. O F_{ji} está disposto de tal forma que o pior resultado é 0 e o melhor é 1.

Após a normalização dos escores fatoriais, calculou-se o Índice de Agricultura Resiliente ao Clima ($ICRA_j$), conforme a Equação 52:

$$ICRA_j = \sum_{i=1}^n \left(\frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} F_{ij} \right) \quad (52)$$

em que

$ICRA_j$ = Índice de Agricultura Resiliente ao Clima do j-ésimo estado (BA, PE e RN);

w_i = percentual da variância explicada por cada fator i. Os pesos foram calculados a partir de w_i / percentual da variância total explicada por todos os fatores ($\sum_{i=1}^n w_i$);

F_{ij} = escore fatorial padronizado pelo j-ésimo estado, do i-ésimo fator;

$i = 1, \dots, n$ (componentes principais);

$j =$ Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte.

No que concerne ao resultado do Índice de Agricultura Resiliente ao Clima ($ICRA_j$), varia entre zero e um ($0 \leq ICRA_j \leq 1$). Quanto mais próximo de 1, significa dizer que melhor terá sido o comportamento das variáveis ligadas à produção das lavouras naquele ano; ou seja, significa dizer que os produtores conseguiram obter bons resultados das lavouras de feijão,

mandioca e milho. E quanto mais próximo de 0, aponta que o desempenho das variáveis relacionadas a produção foi insatisfatório. Ressalta-se que os índices estabelecidos foram elaborados separadamente para cada Estado sob exame, com o escopo de aferir a resiliência da produção ao clima individualmente. Espera-se que os melhores desempenhos aconteçam nos anos classificados como normais e chuvosos definidos na pesquisa (ver Quadro 9).

Em continuidade às etapas, o grau de estabilidade do $ICRA_j$ foi aferido por meio do coeficiente de variação (CV), cuja finalidade é medir a homogeneidade dos dados em relação à média, representando uma medida de risco relativo, bem como é definido na Equação 53:

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \times 100\% \quad (53)$$

em que, CV corresponde ao coeficiente de variação (%); μ representa a média; e σ é o desvio-padrão. Desse modo, caso o CV seja superior a 30%, interpreta-se que o conjunto de dados é heterogêneo. Entretanto, se for abaixo de 30%, os dados poderão ser considerados homogêneos (FÁVERO; BELFIORE, 2017). Para Gomes (1985), com base em experimentação agrícola, os limites para classificação dos CV são estabelecidos, conforme o Quadro 8.

Quadro 8 - Classificação do CV, de acordo com a sua amplitude

Classificação do CV	Amplitude do CV
Baixo	$CV < 10\%$
Médio	$10\% \leq CV < 20\%$
Alto	$20\% \leq CV < 30\%$
Muito alto	$CV \geq 30\%$

Fonte: Gomes (1985).

Logo, entende-se que o CV associado às médias de determinadas variáveis é empregado no intuito de mensurar a sua estabilidade/instabilidade. De acordo com a sua definição, o CV mede a relação percentual entre o desvio-padrão e a média de uma variável aleatória. Aponta-se como vantagem associada ao CV o fato de conceder a confrontação entre variáveis de natureza e medições diferentes (FÁVERO; BELFIORE, 2017; GOMES, 1985; GARCIA, 1989; SORENSEN, 2000).

Desse modo, quanto menor o CV, mais homogênea (estável) será a distribuição das observações da variável em torno da sua média. Ao empregar o CV, como parâmetro para o grau de estabilidade/instabilidade de determinada distribuição, recomenda-se obter o conhecimento da estipulação dos seus valores críticos.

3.3.3.6 Análise da resiliência da produção agrícola ao clima

Após a elaboração do $ICRA_j$, realizou-se o confronto deste com a variável precipitação pluviométrica, com a intenção de analisar o comportamento da produção após choques climáticos, dada a sua capacidade de retornar ao nível produtivo de antes da ocorrência desses eventos.

Nesta etapa, afere-se a resiliência da produção agrícola referente aos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, que pertencem a região do Semiárido nordestino, tomando por base o comportamento do $ICRA_j$ ante os efeitos da precipitação pluviométrica média anual (mm). Mensura-se, via regressão linear, o efeito da oscilação dos períodos pluviométricos captados com relação ao $ICRA_j$, bem como a interferência da precipitação média (mm) nos fatores condicionantes da produção agrícola implícitos no índice sintético estabelecido. Foi inserida na análise uma variável *dummy* que identifica ao extenso da série de anos os períodos de seca, normalidade e chuvoso, no horizonte temporal de 1945 a 2020.

Para a interpretação acerca da pluviometria observada, recorreu-se ao critério adotado para os municípios do Estado Ceará, com base na abordagem realizada por Lemos e Bezerra (2019), onde se consideram as flutuações do desvio-padrão em torno da média pluviométrica. A escolha do Ceará como parâmetro para os demais estados se justifica pelo fato de este deter os 171 municípios (do total de 184) inseridos no Semiárido, ou seja, praticamente todo o seu território. Dessa maneira, o Quadro 9 demonstra a definição dos três períodos referentes à pluviometria.

Quadro 9 - Classificação da pluviometria para os estados selecionados

Classificação dos períodos	Intervalo de variação
Seca	Pluviometria < (média – ½ desvio padrão)
Normalidade	(Média – ½ desvio padrão) ≤ pluviometria ≤ (média + ½ desvio padrão)
Chuvoso	Pluviometria > (média + ½ desvio padrão)

Fonte: Lemos e Bezerra (2019).

Nota: Período chuvoso > período de normalidade > período de seca.

Os parâmetros estabelecidos no Quadro 9 consideram a precipitação pluviométrica do período de 1901 a 2020. A consistência da classificação esboçada nessa ilustração é aferida por teste estatístico para avaliar se as médias das pluviometrias estimadas em cada um dos grupos são estatisticamente diferentes. Se confirmado isto, assume-se que a estratégia da classificação adotada é de utilidade prática (LEMOS; BEZERRA, 2019).

Após as especificações das amplitudes desses períodos para cada Estado, testam-se as diferenças de suas oscilações médias, tomando-se por base a Equação 54:

$$Y_t = \alpha_0 + \beta_1 D_1 + \beta_2 D_2 + \varepsilon_t \quad (54)$$

em que Y_t é a precipitação pluviométrica anual observada no i -ésimo estado (BA, PE e RN) no ano t ($t = 1945, 1946, \dots, 2020$). O coeficiente linear (α_0) sendo estatisticamente diferente de zero e $D_1 = D_2 = 0$, estima-se a média pluviométrica dos períodos de estiagem. Se o coeficiente estimado (β_1) for estatisticamente diferente de zero, quer dizer que a média pluviométrica no período de normalidade difere das médias dos demais períodos. Quanto ao coeficiente (β_2), em caso de ser estatisticamente diferente de zero, indicará que a média pluviométrica nos anos chuvosos são diferentes daquelas observadas nos demais períodos. Desse modo, torna-se possível, estatisticamente, escrever a seguinte hierarquia: $\beta_2 > \beta_1 > \alpha_0$. O termo aleatório (ε_t), via de regra, deve expressar média zero, variância constante e que não seja autocorrelacionado. Atendendo aos requisitos básicos, estima-se a Equação 54 com base no modelo dos mínimos quadrados ordinários (MQO) (GREENE, 2012; GUJARATI, PORTER, 2011; WOLDRIDGE, 2019).

As variáveis *dummies*, D_1 e D_2 , são assim definidas:

$D_1 = 0$ - períodos de estiagens e chuvosos;

$D_1 = 1$ - períodos normais;

$D_2 = 0$ - períodos de estiagens e normais;

$D_2 = 1$ - períodos chuvosos

$D_1 = D_2 = 0$ - períodos de estiagens.

Para tornar possível a mensuração da resiliência da capacidade de produção agrícola nos estados selecionados, foi utilizada uma série de 76 anos, com o intuito de captar o comportamento do índice após a ocorrência de choques climáticos, aqui mensurado pela incidência de secas e/ou redução dos níveis de chuvas. Para tanto, foi estimada uma regressão linear, representada pela Equação 55.

$$ICRA_j = \beta_0 + \beta_1(PRECIP) + \beta_2 D_1 + \beta_3 D_2 + \varepsilon_t \quad (55)$$

onde $ICRA_j$: Índice de Agricultura Resiliente ao Clima para o j -ésimo estado (BA, PE e RN) no tempo ($t = 1945, 1946, \dots, 2020$) - variável dependente; $PRECIP$: precipitação pluviométrica anual (mm); D_1 e D_2 são variáveis *dummies* (binárias), onde $D_1 = 0$, demais períodos; $D_1 = 1$,

período normal; $D_2 = 1$, período chuvoso; $D_2 = 0$, demais períodos; $D_1 = D_2 = 0$, período seco; ε_t : termo de erro aleatório; e $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ e β_3 são os coeficientes a serem estimados. Por hipótese, o termo ε_t atende aos pressupostos do modelo linear clássico, e assim são os parâmetros da Equação 55 estimados pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO) (GREENE, 2012).

Para mensurar se houve resiliência associada à sinergia entre as áreas colhidas, produtividades e preços das lavouras de feijão, mandioca e milho nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, de 1945 a 2020 (76 observações), conforme o ICRA, assume-se o procedimento descrito nesta subseção. Foram computados, em sequência, os anos de chuva nos períodos de seca, normal e chuvoso. Quando ocorrem sequências de mais de um ano nos períodos de seca, são calculadas as médias do ICRA dessas sequências de anos. Em outra mão, quando ocorrem sequências de períodos normais e chuvosos, as médias desses períodos são calculadas agregadamente. Estes, por sua vez, são os períodos sem ocorrência de seca. Portanto, assume-se que a resiliência conforma a capacidade de recuperação dos períodos sem seca que se seguiram após a ocorrência de anos secos.

Para tanto, foram elaborados gráficos para cada Estado, mostrando a sequência: anos secos e não secos. Desse modo, para que exista resiliência, é necessário que nessas sequências, o comportamento dos períodos de não ocorrência de seca sejam sempre, ou predominantemente, superiores aos observados para os anos de seca. A hipótese da existência de resiliência é confirmada ou rejeitada no i -ésimo estado, por meio do teste de contraste de médias (MONTEIRO; LEMOS, 2019; SAMUELS, 2014; XU *et al.*, 2017).

O prosseguimento do ICRA é, então, delineado em um número de pares identificados como antes e depois dos períodos de seca. Na sequência, aplica-se o teste paramétrico, que em geral é aplicado em situações em que se conhece a distribuição que melhor retrata os dados analisados. Nesse aspecto, a presente pesquisa utilizou o teste t de Student, para comparação de médias emparelhadas, geralmente empregado para verificar se as médias de duas amostras estão relacionadas com distribuição normal, extraídas da mesma população, são ou não significativamente diferentes. Além disso, o teste exige que as variâncias de cada amostra sejam iguais entre si, via homocedasticidade (FÁVERO; BELFIORE, 2017). O teste anteriormente citado foi utilizado para comparar as médias do ICRA nos dois grupos (antes e depois). As hipóteses ancoradas nesta etapa são descritas, como mostra a Equação 56:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \text{ ou } H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0 \text{ ou } H_0: \mu_D = 0$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \text{ ou } H_0: \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \text{ ou } H_0: \mu_D \neq 0 \quad (56)$$

Se a hipótese nula (H_0) não for rejeitada, confirma-se, com a margem de erro do teste de 5% (nível de significância - $\alpha = 0,05$), que existe resiliência nas variáveis agrupadas através do ICRA. Espera-se que as médias sejam diferentes, ou seja, $\mu_D \neq 0$. Nesta pesquisa, o teste de comparação das médias dos grupos é realizado com o desconhecimento dos respectivos desvios-padrão, embora tenha a possibilidade de serem estimados. Define-se a variável \bar{D} como as diferenças estimadas entre as duas médias. Estima-se o desvio-padrão para as diferenças entre os pares do contraste S_D . A estatística do teste é:

$$T_{cal} = \frac{\bar{D} - \mu_D}{\frac{S_D}{\sqrt{n}}} \sim t_{n-1} \quad (57)$$

O valor t calculado é, então, comparado ao valor t crítico com $df = n - 1$ (graus de liberdade) da tabela de distribuição t para um nível de confiança escolhido. Se o valor t calculado for maior do que o valor t crítico, rejeita-se a hipótese nula (e conclui-se que as médias são significativamente diferentes). Na Equação 57, t_{n-1} refere-se à distribuição estatística de Student com $(n - 1)$ graus de liberdade, sendo n o número de pares a serem testados (FÁVERO; BELFIORE, 2017; SAMUELS, 2014; XU *et al.*, 2017).

3.3.4 Pilar III da abordagem CSA: redução e/ou remoção dos gases do efeito estufa na agricultura

Nesta seção, foram descritos os procedimentos metodológicos utilizados para mensurar o pilar III da abordagem CSA, que se refere à redução e/ou remoção dos GEE na agricultura. Diferentemente dos demais pilares analisados em nível de estado, esta etapa se propôs avaliar os efeitos das práticas agrícolas nas emissões de GEE, nos municípios da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte.

3.3.4.1 Área de estudo, descrição das variáveis e fonte dos dados

Em consequência da disponibilidade limitada dos dados, o período de análise foi compatível com as informações dos Censos Agropecuários (2006 e 2017), pelo fato de divulgarem informações mais detalhadas sobre as práticas adotadas no campo. Em aditamento,

foram considerados os dados para as emissões de GEE em nível municipal correspondente ao período de 2000 a 2019, fazendo-se necessário, então, compatibilizar as séries, uma vez que as variáveis contidas nos Censos Agropecuários 2006 e 2017 condicionam ao entendimento das práticas agrícolas que interferem na intensificação e/ou redução das emissões de GEE. Os dados foram coletados junto ao Sistema do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística de Recuperação Automática – SIDRA (IBGE, 2007, 2019), ao Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa – SEEG (OC, 2022) e ao Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MAPBIOMAS, 2022).

Para tanto, foi utilizado o método de dados em painel (conforme descrição do método na subseção 3.2.2), no intuito de mensurar o efeito das atividades agropecuárias na emissão de GEE, tomando por base um painel de dados com um total de 769 municípios dos Estados da Bahia (417), Pernambuco (185) e Rio Grande do Norte (167). O Quadro 10 contém as variáveis selecionadas e suas definições.

Quadro 10 – Descrição das variáveis selecionadas para aferir o Pilar III da abordagem da CSA (continua)

	Rótulo	Variáveis	Definição	Unidade	Fonte
Variável resposta	GEE	Emissões de gases do efeito estufa	Nível de emissão de gases do efeito estufa	Tonelada de CO ₂ equivalente (t CO ₂ e)	Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa - SEEG (OC, 2022).
Variáveis explicativas	TLA	Taxa de lotação animal	Efetivo de rebanho bovino por área de pastagem	Total de cabeças por hectare de pastagem (cabeças/ha)	Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MAPBIOMAS, 2022); Censos Agropecuários 2006 e 2017 (IBGE, 2007, 2019).
	AC	Área colhida	Área colhida dos estabelecimentos agropecuários com produção vegetal – soma das lavouras temporária e permanente	Hectares (ha)	
	DEFA	Defensivos agrícolas	Número de estabelecimentos agropecuários que utilizam defensivos agrícolas	Unidade	
	IRRIG	Uso de irrigação	Área dos estabelecimentos agropecuários que utilizam sistema de irrigação	Hectares (ha)	

Quadro 10 – Descrição das variáveis selecionadas para aferir o Pilar III da abordagem da CSA (conclusão)

	Rótulo	Variáveis	Definição	Unidade	Fonte
Variáveis explicativas	TRAT	Tratores	Razão entre o número de tratores existentes e a área dos estabelecimentos agropecuários	Unidade/ha	Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MAPBIOMAS, 2022); Censos Agropecuários 2006 e 2017 (IBGE, 2007, 2019).
	ASSIST	Assistência técnica	Razão entre o número de estabelecimentos agropecuários que recebem assistência técnica, por meio: própria (produtor); Governo; empresas privadas; cooperativas; Organização não-governamental (ONG); Sistema S e outras, e o total de estabelecimentos agropecuários	Unidade/total de estabelecimentos agropecuários	
	PCS	Práticas de conservação do solo	Razão entre o número de estabelecimentos agropecuários que aplicam práticas de conservação - plantio em nível e/ou rotação de culturas e/ou pousio ³² ou descanso de solos, e o total de estabelecimentos.	Unidade/total de estabelecimentos agropecuários	

Fonte: Elaboração própria (2022).

3.3.4.2 Método de análise: dados em painel

Dada a descrição das variáveis, ressalta-se que os estimadores (*pooled*, efeitos fixos e efeitos aleatórios) e os testes necessários para escolha do melhor modelo (conforme já descrito na subseção 3.2.2) foram realizados. Nesta pesquisa, foi elaborado um painel curto, que segundo Greene (2012), o número de indivíduos (N) é maior do que o número de períodos (T), essa condição se aplica exatamente à situação da disponibilidade de dados já citada. Em síntese, a Equação 58 representa o modelo geral com as variáveis selecionadas, descritas no Quadro 10.

³² Por definição, sob as Leis nº 12.727/2012 e 12.727/2012 que regulamentam o Código Florestal Brasileiro, classifica-se a prática de pousio como uma prática de interrupção temporária de atividades ou usos agrícolas, pecuários ou silviculturais, por no máximo 5 (cinco) anos, para possibilitar a recuperação da capacidade de uso ou da estrutura física do solo (BRASIL, 2012).

$$\ln(GEE_{it}) = \alpha_i + \beta_1 \ln(TLA_{it}) + \beta_2 \ln(AC_{it}) + \beta_3 \ln(DEFA_{it}) + \beta_4 \ln(IRRIG_{it}) + \beta_5 \ln(TRAT_{it}) + \beta_6 \ln(ASSIST_{it}) + \beta_7 \ln(PCS_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (58)$$

O objetivo, portanto, é estimar os parâmetros α_i (representa o intercepto para cada indivíduo e pode assumir efeitos fixos ou aleatórios) e β_j ($j = 1, 2, \dots, 7$) - coeficientes de cada variável explicativa, a fim de que seja compreendido o comportamento do fenômeno em estudo, representado pela variável dependente $\ln(GEE_{it})$ - logaritmo natural da emissão de GEE, varia entre indivíduos e ao longo do tempo, em função do comportamento das variáveis explicativas (TLA_{it} , AC_{it} , $DEFA_{it}$, $IRRIG_{it}$, $TRAT_{it}$, $ASSIST_{it}$ e PCS_{it}); e ε_{it} representa o termo de erro. O subscrito i representa cada um dos indivíduos da amostra em análise ($i = 1, 2, \dots, n$), em que n é a quantidade de indivíduos na amostra) e o subscrito t representa os períodos analisados, 2006 e 2017 (FÁVERO; BELFIORE, 2017; GREENE, 2012; WOOLDRIDGE, 2019).

Realizada a etapa de estimação dos modelos para cada estado em análise, tomam-se por base duas dimensões - de tempo e de seção transversal - sendo consideradas simultaneamente (BALTAGI, 2013; CAMERON; TRIVEDI, 2005; GREENE, 2012). Quando se utilizam dados em painel, é fundamental identificar o modelo que melhor se ajusta à regressão. Para tanto, é crucial que se realizem testes preliminares para uma seleção do modelo que seja mais adequada. Para a escolha entre o modelo *pooled* ou o EF, utiliza-se o teste de Chow (GREENE, 2012). Nesse contexto, o teste de Chow define a hipótese nula (H_0) de que o modelo *pooled* (sem heterogeneidade) é mais adequado e a hipótese alternativa (H_1) de que as heterogeneidades estão presentes no modelo. Se H_0 não for rejeitada, recomenda-se a modelagem *pooled*, caso contrário a modelagem deve ser via EF.

Quando comparados, entre os modelos *pooled* e EA, recomenda-se o teste do Multiplicador de Lagrange de Breusch-Pagan (1980) - *LM Test*. Desse modo, o teste determina que a H_0 aponta que a variância do termo aleatório (ε_{it}) do modelo é igual a zero (*pooled*) e H_1 é preferível ao modelo de EA. Já o teste de Hausman (HAUSMAN, 1978) verifica o melhor modelo entre o de efeitos aleatórios (H_0) e de efeitos fixos (H_1)

Além desses citados, testes adicionais foram realizados para diagnosticar autocorrelação, correlação contemporânea e heterocedasticidade. Na pesquisa foram utilizados os testes de Wooldridge, de Pesaran e de Wald, respectivamente. Observa-se que o teste de Pesaran CD é utilizado para verificar se há correlação contemporânea, ou seja, testa a independência dos *cross-sections*. Assume-se que os distúrbios nos modelos são independentes em corte transversal, principalmente quando a dimensão da seção transversal (N) é grande.

Ressalta-se que o teste de Wald é eficiente para diagnosticar a heterocedasticidade no modelo de EF (GREENE, 2012; WOOLDRIDGE, 2019).

Os procedimentos são realizados de acordo com o tipo de painel utilizado, no caso deste estudo, caracteriza-se como painel curto. De acordo com a definição, painel curto possui uma grande seção transversal de indivíduos observados por alguns períodos; já no caso do painel longo, ele detém uma pequena seção transversal de indivíduos observados por um grande período (CAMERON; TRIVEDI, 2005). Essa definição significa dizer que, um painel longo é definido quando o número de períodos (T) é maior do que o total de indivíduos (N) e painel curto é o inverso ($N > T$).

O teste de Wooldridge para verificar a correlação serial é aplicável a qualquer modelo de painel com efeitos fixos (EF) e, em particular, a painéis curtos, quando a dimensão de tempo é menor do que a dos indivíduos ($N > T$).

O Quadro 11 mostra os procedimentos definidos nesta pesquisa para utilização de modelos de dados em painel, os testes, a finalidade do procedimento e interpretação dos testes das hipóteses.

Quadro 11 – Descrição dos testes, ênfase da análise e hipóteses

Teste	Ênfase do procedimento	Hipóteses
Chow (Teste F)	Verifica entre o modelo <i>pooled</i> e EF	H ₀ : Modelo <i>pooled</i> H ₁ : Modelo EF
LM de Breusch-Pagan	<i>Pooled versus</i> EA	H ₀ : Modelo <i>pooled</i> é preferível; H ₁ : Modelo EA é preferível.
Hausman	Verifica entre o modelo de EF e EA	H ₀ : Modelo EA H ₁ : Modelo EF
Wooldridge	Efeitos individuais não observados	H ₀ : Ausência de correlação entre os erros do mesmo grupo; H ₁ : Existem efeitos não observados.
Pesaran LM	Identificar correlação contemporânea entre os indivíduos	H ₀ : Independência dos <i>cross-section</i> H ₁ : Correlação contemporânea
Wald	Identificar presença de Heterocedasticidade em EF	H ₀ : Homocedasticidade H ₁ : Heterocedasticidade
Wooldridge	Verificar a correlação serial em EF	H ₀ : Não existe correlação serial H ₁ : Existe correlação serial

Fonte: Elaboração própria (2022).

A ideia nesta análise é mensurar o efeito das práticas agrícolas nas emissões de GEE, adotadas pelos agricultores nos municípios da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte. Feito isso, as aferições de todos os pilares estabelecidos pela abordagem da *Climate Smart Agriculture* (CSA) são concluídas, sendo possível avaliar a situação para cada Estado.

A expansão de boas práticas agropecuárias, com o fomento e adoção de tecnologias de mitigação e adaptação, torna-se fundamental para gerar o efeito “poupaterra”, conduzindo a redução da pressão por desmatamento de novas áreas. Desse modo, a abordagem da CSA contribui para que os agricultores adotem princípios relacionados a sustentabilidade, resiliência ao clima e redução das emissões de GEE em suas práticas agrícolas adotadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção demonstra os resultados das estimações realizadas na Tese. Estes, por sua vez, foram organizados na mesma sequência dos objetivos propostos na introdução deste trabalho, respeitando os procedimentos metodológicos selecionados para cada problema de pesquisa específico, uma vez expressos na seção 3.

4.1 Programa ABC: elaboração de uma versão sintética do Brasil

Dada a metodologia descrita na seção 3, elaborou-se uma versão sintética do Brasil, a partir dos pesos estimados para os valores que melhor representam o valor bruto da produção por emissões de gases do efeito estufa (GEE) na agropecuária, referente ao período de pré-tratamento (1991-2009). As covariáveis usadas para calcular os pesos para a série de controle sintético estão listadas na Tabela 2, juntamente com seus valores médios para o Brasil, para os países que compõem o controle sintético e para a amostra total.

Tabela 2 - Valores médios das covariáveis do período de pré-tratamento para o Brasil e para a sua versão sintética

Variáveis	Brasil	Controle sintético	Média da amostra
Produção pecuária (cab.)	20.803	20.621	20.115
Consumo de fertilizantes (t)	15.686	15.068	15.234
Uso de agrotóxicos (t)	12.521	9.018	11.520
Terras agrícolas (Kha)	12.343	11.011	11.804
Estoque de carbono florestal (Mt)	10.930	9.337	8.618
Precipitação pluviométrica (mm)	7.486	7.592	6.736
Temperatura (F)	4.354	4.169	4.063
Mão de obra (mil pessoas)	9.390	10.022	8.718
Capital humano (índice)	0.718	0.854	0.955
Produção por emissões de GEE da agropecuária (US\$/Gt CO ₂ e)	17.722	17.758	19.306

Fonte: Elaboração própria, com base nos resultados da pesquisa (FAOSTAT, 2021; NOAA, 2022).

Nota: As variáveis foram transformadas em logaritmo para evitar problemas referentes às unidades de medidas. Além desta etapa, a variável temperatura, mensurada em graus Celsius (°C), foi transformada em Fahrenheit (F), devido ao fato de haver temperaturas negativas. Nesse contexto, não seria possível aplicar o logaritmo, caso permanesse em °C.

A Tabela 2 exprime os resultados necessários para a comparação entre a unidade tratada e o grupo sintético no período de pré-intervenção. Quase todas as variáveis dos países que compõem o *donor pool* (países que não foram tratados - grupo sintético) aproximaram-se

mais do Brasil do que a média amostral. Há ressalvas à mão de obra e ao capital humano que mostraram as médias das covariáveis superiores as do Brasil real. De modo geral, as covariáveis dos dois grupos em análise indicaram comportamentos semelhantes.

As variáveis da Tabela 2 exibem os condicionantes para a produção por emissões de GEE da agropecuária. Os fatores ligados à produção agropecuária produzem GEE, desde o preparo do solo até o processo de comercialização do produto. Essa contabilização supera as expectativas se considerar as emissões em todas as etapas do processo produtivo: antes, dentro e fora da porteira. Isso devido aos inúmeros processos interligados às cadeias produtivas dos produtos agropecuários, como exemplos têm-se: os insumos utilizados (agrotóxicos e fertilizantes); práticas agrícolas adotadas (preparo e correção do solo, plantio direto, cultivo mínimo, sistema de irrigação, entre outras); atividade pecuária, bem como a interferência do estoque de carbono na biomassa viva em áreas florestais, um indicador do poder de absorção do CO₂e.

O Brasil revelou uma média superior de estoque de carbono comparada aos demais países do controle sintético, significando que há maior área coberta por espécies florestais. Segundo os dados da *Global Forest Watch* (GFW, 2022) de 2002 a 2021, entretanto, o Brasil perdeu 27,8Mha de floresta primária úmida, representando 46% de sua perda total de cobertura arbórea no mesmo período. A área total de floresta primária úmida no País reduziu em torno de 8,1%. Essa perda ocorreu em áreas onde os fatores dominantes resultaram em desmatamento, com intensificação de incêndios e mudanças do uso do solo para a produção de *commodities*.

De 2001 a 2021, o Brasil perdeu cerca de 62,8Mha da cobertura arbórea, equivalente a uma diminuição de 12%, o que corresponde a 14% do total global. O País ocupou a segunda posição do ranque global, ficando atrás apenas da Rússia (76,0Mha), em terceiro lugar o Canadá (46,6Mha), seguido dos Estados Unidos (44,3Mha) e Indonésia (28,6Mha) (GFW, 2022).

Embora esta análise não tenha considerado a variável desmatamento, as variáveis terras agrícolas e estoque de carbono florestal conseguem captar os efeitos do desmatamento, uma vez que é mensurada a área agrícola total (ha), equivalente à soma das terras cultivadas com lavouras temporárias, permanentes e com pastagens e o estoque de carbono na biomassa viva em áreas florestais (Mt). Estas informações apontam a real configuração do Brasil e dos demais países sobre o nível de mudança do uso da terra e o potencial de absorção de carbono nas áreas florestais, ou seja, quanto maior a transformação de áreas para atividades agrícolas, menor será o estoque de carbono florestal. Essa discussão torna-se pertinente, uma vez que o crédito

fornecido pelo Programa ABC direciona suas metas ao estímulo de práticas agrícolas sustentáveis que reduzam as emissões de GEE.

A Tabela 3 reporta-se aos pesos que cada um dos nove candidatos ao controle recebeu para a elaboração do Brasil sintético. Esse, por sua vez, foi constituído por meio de uma média ponderada de potenciais países do *donor pool*, que inclui uma amostra de países: Argentina, Austrália, Canadá, China, Estados Unidos, Índia, Indonésia, México e Tailândia. Os pesos para cada país que contribuíram para a versão sintética do Brasil são exibidos na Tabela 3.

Tabela 3 – Pesos dos países que contribuíram para a elaboração da versão sintética do Brasil

País	Pesos do controle sintético (w)
Argentina	0,000
Austrália	0,000
Canadá	0,127
China	0,055
Estados Unidos	0,039
Índia	0,000
Indonésia	0,779
México	0,000
Tailândia	0,000

Fonte: Elaboração própria, com base nos resultados da pesquisa (2022).

Nota: De acordo com o método de Controle Sintético, a extrapolação não é permitida, de sorte que todos os pesos estão entre $0 \leq w_j \leq 1$ e $w_j = 1$.

Dos países da Tabela 3, apenas quatro receberam um peso (w) maior do que zero no período de pré-intervenção. Eles são: Canadá (0,1266), China (0,0547), Estados Unidos (0,0393) e Indonésia (0,7793). Esses valores correspondem aos países que mais contribuíram para o controle sintético em comparação ao Brasil. Os demais exibiram valores próximos a zero, considerando mais casas decimais. Conforme resultados da Tabela 3, o país que mostrou o maior peso foi a Indonésia. Isso significa dizer que é o país que mais se aproxima ao Brasil, no contexto da construção do grupo sintético.

4.1.2 O efeito do Programa de Agricultura de Baixo Carbono (ABC) no Brasil

A pesquisa se propôs analisar o efeito causal do Programa de Agricultura de Baixo Carbono (ABC) no Brasil, para o que se levou em consideração a disposição de um painel de dados anuais em nível de país para o período total composto de 1991 a 2019. Este limite

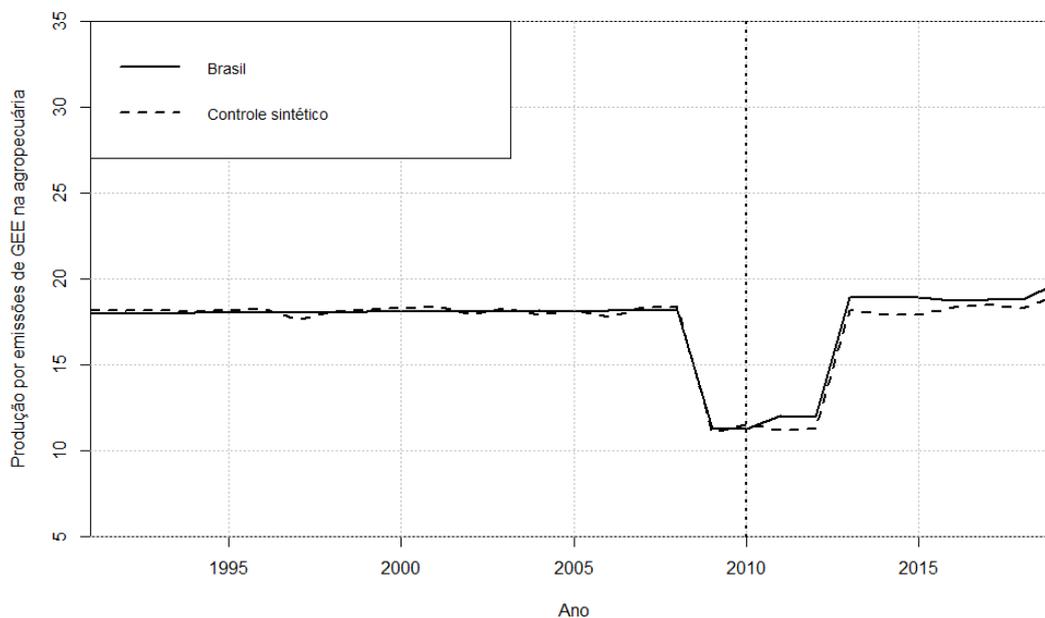
temporal justifica-se pela disponibilidade de dados, porém, mesmo considerando esse fator limitante, os períodos analisados, tanto para o pré-tratamento (1991-2009) quanto para o pós-tratamento (2010-2019), mostraram-se adequados para a aplicação do método de controle sintético, ou seja, as informações se referem ao período de pré-intervenção de 19 anos e 10 anos após a atuação da política, o que se torna um limite adequado para a amplitude de previsão.

O Gráfico 2 mostra o itinerário da produção por emissões de gases do efeito estufa (GEE) do setor agropecuário no Brasil e seu controle sintético, representado pelo valor bruto da produção (em milhares de U\$) por emissões de gigatoneladas (Gt) de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}). Essa é uma medida internacionalmente aceita que expressa a quantidade de GEE em termos equivalentes da quantidade de dióxido de carbono (CO₂). Portanto, a equivalência leva em conta o potencial de aquecimento global (GWP) dos gases envolvidos e calcula quanto de CO₂ seria emitido se todos os GEE fossem emitidos como esse gás (EPA, 2022).

Com suporte no Gráfico 2, assere-se que o Brasil sintético reflete a evolução da produção por emissões de GEE da agropecuária, com base nos dados reais brasileiros durante todo o período de pré-intervenção (1991-2009). Os desvios entre a evolução real e sintética da variável de resultado são observáveis no Gráfico 2, ou seja, exibe melhor o impacto do Programa ABC. Preliminarmente, nota-se que, na maioria das especificações, no período pré-intervenção, os países do grupo sintético reproduziram satisfatoriamente o comportamento do Brasil real, com desvios muito pequenos. Dada a trajetória de pré-tratamento, sinaliza-se que os países selecionados para o âmbito comparativo ao Brasil exibiram bons ajustamentos, dada a similaridade do comportamento da produção por emissões de GEE e também pelas covariáveis aqui analisadas.

Sob a óptica do método de controle sintético, proposto por Abadie e Gardeazabal (2003), Abadie *et al.* (2010) e Abadie *et al.* (2015), tecnicamente, esse procedimento tem a finalidade de encontrar a trajetória aproximada do indicador de interesse (produção por emissões de GEE da agropecuária), em que a unidade tratada supostamente teria seguido caso não tivesse passado pela intervenção do Programa ABC. Nesse contexto, para que isso seja possível, é necessário calcular a média ponderada das unidades não tratadas cujos pesos minimizam a distância do comportamento da unidade tratada no período anterior ao tratamento. Posteriormente, projeta-se a trajetória do controle sintético (nove países selecionados) no período pós-tratamento (2010-2019), comparando com o comportamento da unidade tratada (Brasil), conforme é exibido no Gráfico 2. Logo, a diferença (*gap*) entre essas duas trajetórias é compreendida como o efeito do tratamento.

Gráfico 2 - Evolução real e contrafactual da produção por emissões de GEE da agropecuária: Brasil *versus* controle sintético



Fonte: Elaboração própria, com base nos resultados da pesquisa (2022).

Nota: As variáveis foram transformadas em logaritmo, no intuito de evitar problemas relacionados às unidades de medidas.

No que se refere ao período pós-intervenção (2010-2019), observa-se o contrário: a trajetória do Brasil descola-se do comportamento dos países do controle sintético. Percebe-se que, desde 2010, primeiro ano de atuação do Programa ABC, o deslocamento da curva referente ao Brasil começou a se distanciar um pouco do grupo sintético. Ressalta-se que, no período 2009-2012, os países de um modo geral exibiram uma queda no valor bruto da produção por emissões de GEE da agropecuária, assim como mostra o Gráfico 2. Esses resultados implicam afirmar que os níveis de emissões foram elevados, fazendo com que esse indicador denote um nível de desempenho não muito satisfatório, já que os países terão que emitir mais GEE para se atingir uma produção desejada, ou seja, uma tendência que vai na contramão das metas estabelecidas pelas Conferências das Partes (COP), realizadas pela Organização das Nações Unidas (ONU).

De acordo com a FAO (2012), a disparada do valor da alimentação em 2007/08 provocou conflitos generalizados em vários países em desenvolvimento, por exemplo. A corrida foi intensa e na safra seguinte os preços já tinham recuado, em parte, por causa da crise financeira mundial, aprofundada em 2008, com a quebra do banco Lehman Brothers. A queda brusca retratada no Gráfico 2 é explicada, segundo os dados da FAO (2012), pelo fato de grande parte dos mercados agrícolas haver mostrado intensas elevações de preços por causa de quebras de

safras no mundo, provocadas por problemas climáticos. As cotações dos grãos atingiram níveis recordes, enquanto as do açúcar alcançaram seu maior valor desde o início dos anos de 1980. Com estoques baixos em muitas *commodities*, como açúcar, café e milho, os mercados ficaram ainda mais sujeitos a choques de oferta com a redução na área plantada e, conseqüentemente, redução no valor bruto da produção.

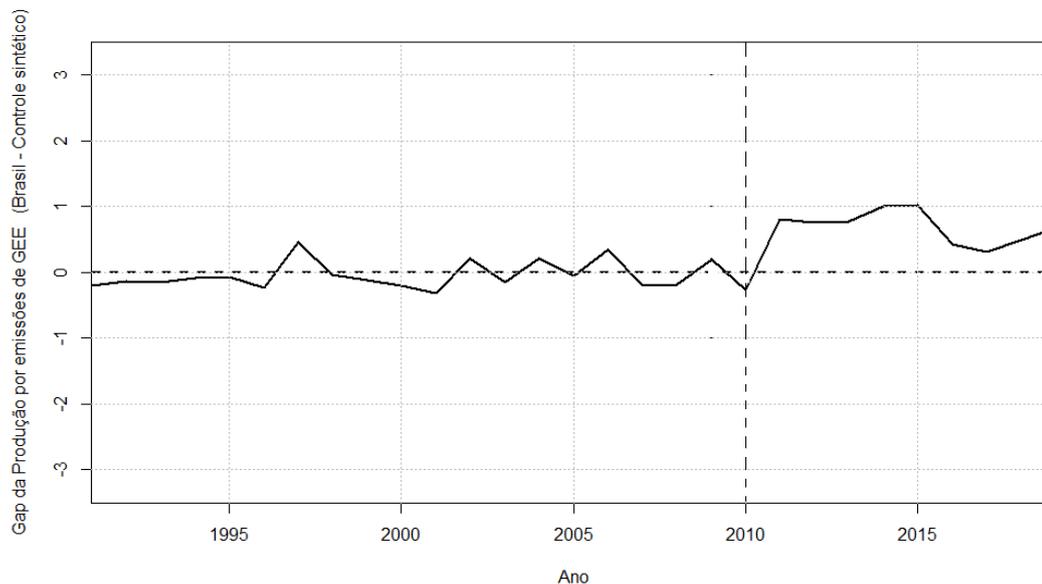
A realidade foi se modificando em 2013, com o aumento expressivo desse indicador capaz de alterar bruscamente a trajetória, que até então estava em queda, levando esse horizonte temporal a uma tendência de crescimento, assim como é exibido no Gráfico 2.

Constatou-se que as estimativas exibidas referentes ao impacto do Programa ABC sobre a produção por emissões de GEE da agropecuária equivalem à diferença entre o Brasil real e a sua versão sintética. Esta interpretação implica dizer que, quanto maior for a produção por emissões de GEE, mais favorável será o desempenho, uma vez que a produção será maior com uma menor taxa de emissão, já que essa é a finalidade de uma produção sustentável, que respeite a tendência de redução de GEE no setor agrícola.

A adoção de políticas públicas dirigidas à elaboração de sistemas agrícolas que respeitem o meio ambiente, com reduzidos impactos aos recursos naturais e que tragam como princípio a agricultura de baixo carbono, configura-se como um grande desafio atual e, principalmente, futuro, conforme vem sendo discutido e regulamentado pelas COP; entretanto, a realidade não é muito animadora, já que nem todos os países estão dispostos a executar tais mudanças drásticas em seus territórios.

O Gráfico 3 representa o *gap* entre o Brasil e os países que compõem o controle sintético, ou seja, mostra o efeito médio do tratamento após a intervenção do Programa ABC. No primeiro ano de atuação do programa (2010), houve um efeito negativo ($\widehat{\alpha}_{it} < 0$) na variável de interesse. Esse desempenho configura-se como dentro da normalidade, já que é o início da intervenção e, de modo geral, exprime baixa distribuição de crédito. Posteriormente, a partir de 2011 é que ocorreu um comportamento ascendente no efeito de tratamento, sendo válido ressaltar que a produção por emissões de GEE referentes ao setor agropecuário do Brasil real teve uma elevação superior aos países do grupo de controle sintético, embora em alguns períodos os dois grupos analisados tenham se mostrado muito próximos quanto à trajetória do efeito de tratamento.

Gráfico 3 – Diferença entre a produção por emissões de GEE na agropecuária (Brasil e o controle sintético)



Fonte: Elaboração própria, com base nos resultados da pesquisa (2022).

Dada a exposição do Gráfico 3, constatou-se que o efeito da intervenção do Programa ABC, mensurado pelo *gap* entre a unidade tratada (Brasil) e o seu controle sintético (Argentina, Austrália, Canadá, China, Estados Unidos, Índia, Indonésia, México e Tailândia) no período pós-tratamento, detém uma trajetória que oscila entre efeitos negativo (em 2010 - primeiro ano de intervenção) e positivo no horizonte temporal de 2011 a 2019. Isto significa que, neste caso, divisa-se que a diferença se acentua durante o período pós-tratamento.

Os resultados implicam afirmar que o Programa ABC no Brasil, durante o período de intervenção analisado (2010-2019), o balanço final do programa, é que houve um efeito positivo no aumento do valor bruto da produção por emissões de GEE do setor agropecuário. Embora tenha expressado efeitos positivos durante o período estipulado, estes resultados devem ser interpretados com parcimônia, uma vez que é possível haver outros fatores condicionantes ou mesmo outros países passíveis de comparação com o Brasil que poderiam exibir efeitos distintos dos que foram expostos aqui.

Na literatura, alguns trabalhos avaliaram os efeitos do Programa ABC, porém, eles apontam efeitos tanto positivos quanto negativos. Esses resultados divergentes são explicados em razão da natureza da análise, pela limitação dos dados, pelo grupo de países considerados como contrafactual, ou mesmo por efetivar uma análise no plano estadual, não permitindo assim inferir sobre as demais Unidades Federativas brasileiras. O diferencial desta pesquisa está em aferir o efeito do Programa ABC adicionando variáveis relacionadas a mudança do uso da terra, bem como a explanação do perfil de distribuição do crédito nas regiões e estados brasileiros.

Lima (2017) aferiu os impactos econômicos e da mudança no uso da terra decorrentes de duas ações presentes no Plano ABC. Para tanto, o autor elaborou um modelo de equilíbrio geral computável (EGC) para seis grandes regiões brasileiras divididas pela relevância econômica e fronteira agrícola: Sul, Sudeste, Norte, Centro-Oeste, Nordeste e Nordeste Cerrado (nova fronteira agrícola). Os resultados apontaram que a maior oferta de pastagens recuperadas e com alta produtividade, somadas às tecnologias integração lavoura-pecuária (iLP) e integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF), promoveram o efeito poupador de terra como resultado agregado. Os resultados regionais, contudo, mostraram que as regiões de fronteira agrícola reagem diferentemente às ações do Plano ABC. No âmbito macroeconômico, observaram-se ganhos de bem-estar, com exceção das regiões do Nordeste e Nordeste Cerrado.

O autor menciona, ainda, que a variação do PIB regional aponta redução expressiva nessas regiões. Desse modo, isso sugere que o Plano ABC eleva as disparidades regionais no Brasil, demonstrando que na configuração das políticas públicas devem-se considerar os aspectos dessas divergências. Wander, Tomaz e Pinto (2016) afirmam que os estados do Norte e Nordeste retratam a desigualdade, também, na promoção do incentivo a projetos para a contratação de financiamento pelo Plano ABC, demonstrando dificuldades no acesso ao crédito.

Faz sentido salientar que o Plano ABC, em si, não determinou com clareza, durante a sua primeira fase (2010-2020), os mecanismos e tecnologias mais adequados para se atingirem as metas estabelecidas nos documentos oficiais. Isso dificulta até mesmo para os agricultores, bem como às agências bancárias quanto a aprovação do crédito. Por essa razão, deve-se rever as metas e considerar as peculiaridades regionais para não elevar as disparidades.

Carauta *et al.* (2018) avaliaram a efetividade do Programa ABC para a difusão da agricultura de baixa emissão de carbono no Mato Grosso, usando simulações bioeconômicas e biofísicas. Os autores apontaram que o crédito do programa não tem sido considerado um determinante crucial da adoção de sistemas integrados no Mato Grosso. Nessa perspectiva, Costa Júnior *et al.* (2019) analisaram o impacto de duas políticas públicas complementares, uma federal, o Programa ABC, e outra estadual, o programa de desenvolvimento da carne bovina, de Santa Catarina. Os autores concluíram que as políticas públicas tiveram influxo positivo na pecuária de corte. Demais disso, o investimento em práticas de produção, como implantação, recuperação e manejo adequado das pastagens (além da redução da idade de abate dos animais) denota potencial mitigador de GEE. Esse resultado positivo corrobora o encontrado neste experimento de cariz doutoral.

Outro ponto relevante na discussão é o fato de que apenas o acesso ao crédito não é o suficiente para a promoção de uma agricultura sustentável com potencial mitigador de

GEE. É necessário investir em capacitação e assistência técnica, uma vez que o acesso à educação por parte dos agricultores beneficiados pelo Programa ABC possui um poder transformador no campo, desde que seja bem conduzido pelos órgãos responsáveis. Entender o ambiente no qual o agricultor vive é o primeiro ponto a ser levado em conta, já que as tecnologias devem ser adaptadas a cada realidade, respeitando as peculiaridades regionais. A resistência, contudo, à adoção de novas tecnologias por parte dos agricultores mais tradicionais ainda se configura como um fator limitante, pois essa mudança de paradigma é um processo lento e que depende de ações direcionadas que conduzam o entendimento para o cenário atual e as perspectivas do novo modelo de produção.

Diferentemente dos resultados aqui expostos, Silva e Vieira Filho (2020) avaliaram o Programa ABC, comparando o Brasil (unidade tratada) com Argentina, Austrália, China, Índia e Estados Unidos (grupo de controle), no período de 2000 a 2015. Os resultados apontaram que o impacto do programa foi nulo na variável de interesse no período pós-intervenção. Os autores mencionam que os custos com aprendizado e transição associados à adoção de novas práticas agrícolas, barreiras econômicas e questões burocráticas, são alguns dos fatores que influenciaram os resultados aquém do esperado. Outro ponto citado por eles foi a limitação do programa quanto ao nível de participação dos estabelecimentos agropecuários, adicionada à concentração do crédito para regiões com o baixo potencial de mitigação.

A análise efetivada por Vinholis *et al.* (2021) teve o intuito de mensurar os efeitos das mesoinstituições criadas para acelerar e monitorar as ações e metas do Plano ABC, tanto na decisão dos agricultores de adotar os sistemas iLP quanto no desempenho das fazendas em São Paulo. Os resultados corroboram a hipótese de que as mesoinstituições são de alçada importância para melhorar a utilização dos recursos pelos agricultores. Os autores apontaram, ainda, que os incentivos econômicos, redução de risco, capacitação e compartilhamento de conhecimentos fornecidos por mesoinstituições produziram impactos significativos na probabilidade de adoção do iLP e no desempenho das fazendas.

Reforçando esses resultados, Bragança *et al.* (2022) documentaram o impacto do treinamento e assistência técnica na restauração e produtividade de pastagens no Brasil. Os autores apontaram que viabilizar assistência técnica aos produtores possibilitou a restauração de pastagens, contribuindo para o maior uso de insumos, ajudou-os a aprimorar suas práticas e elevou a produtividade, bem como o sequestro de carbono. Mais uma, a capacitação e o acompanhamento técnico estabeleceram o diferencial nos indicadores produtivos.

Essa discussão acerca dos resultados aqui expostos, juntamente com os encontrados na literatura, que retratam o impacto do Plano e Programa ABC no Brasil, só reforçam a

necessidade de uma maior clareza no estabelecimento das metas, na definição das melhores tecnologias sustentáveis, aperfeiçoamento do monitoramento dos beneficiários, capacitação, assistência técnica para os agricultores e mais clareza nos critérios adotados para concessão do crédito pelas agências bancárias.

4.1.3 Inferência: testes de placebo

Nesta seção, foi conduzida uma série de testes de placebo, com vistas a assegurar a significância estatística e a robustez dos resultados estimados. Para tanto, foram mostrados os testes de placebo “no espaço”, “no tempo”, teste de permutação e a razão do erro quadrático médio de previsão (MSPE).

Preliminarmente, foi realizado o teste de placebo “no espaço”. Esse teste consiste no mesmo exercício da etapa da seção anterior, porém utiliza como unidade tratada um país que não foi objeto da intervenção do Programa ABC comparado a um número escolhido de unidades não tratadas na base de dados, considerando-se o mesmo indicador de interesse e o mesmo ano do suposto tratamento. Com o interesse de evidenciar que o tratamento tenha expressado efetividade, a trajetória da produção por emissões de GEE da agropecuária deve ser mais elevada para a unidade tratada do que para os testes de placebo. Isso significa dizer que a probabilidade de esse evento ocorrer, com amparo numa amostra disponível, é aferida como um pseudo *p*-valor. Em outras palavras, a ideia é avaliar se um ou mais países não tratados pelo Programa ABC indicaram evolução semelhante no período pós-intervenção, ainda que não tenham sido tratados.

Dada a perspectiva do método de controle sintético, é válido frisar que a inferência estatística no tocante aos resultados alcançados, proposta por Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie, Diamond e Hainmueller (2010, 2015), os autores recomendam tomar por base os testes de placebo. Essa recomendação é adotada nesta pesquisa. Assim expresso, essa etapa consiste em analisar a probabilidade de ocorrer o efeito do tratamento, caso algum dos países do *donor pool* fosse aleatoriamente tomado, em vez do Brasil, que, de fato, passou pela intervenção do Programa ABC.

Nessa conjuntura, o Gráfico 4 reproduz o teste de placebo “no espaço”, no qual considera como unidade tratada a Indonésia, país que se aproxima do Brasil em termos de covariáveis, mas não teve a intervenção do Programa ABC. Os demais países da amostra foram inseridos no grupo para constituir a versão sintética da Indonésia. Já o Gráfico 5 denota o *gap* entre a produção por emissões de GEE na agropecuária na Indonésia e o seu controle sintético.

Gráfico 4 – Teste de placebo: Indonésia versus Indonésia sintética

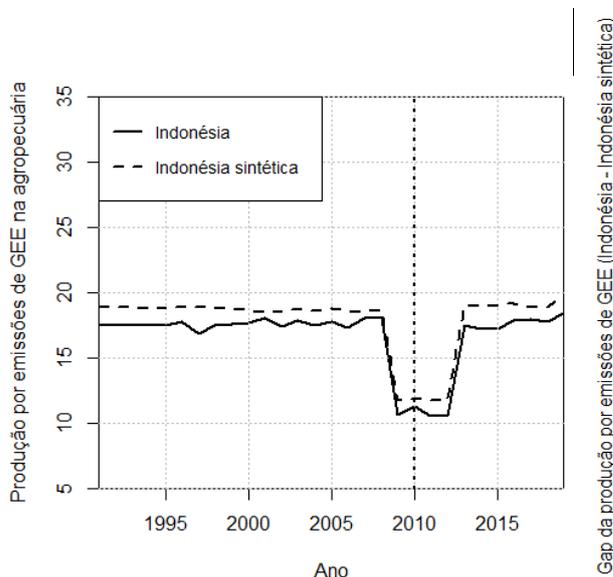
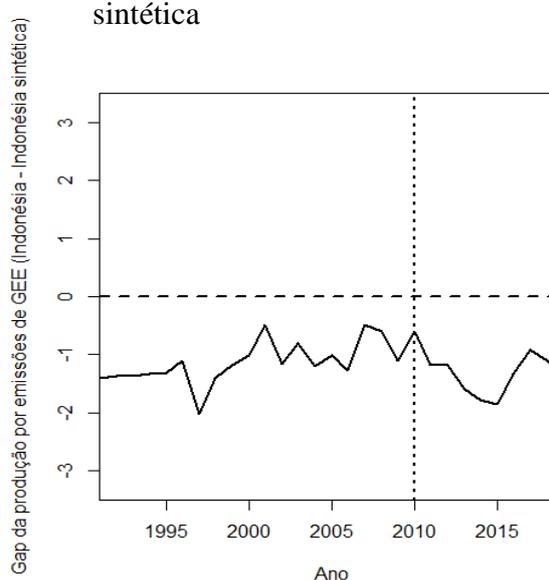


Gráfico 5 – *Gap* do efeito de tratamento entre a Indonésia real e sua versão sintética



Fonte: Elaboração própria, com base nos resultados da pesquisa (2022).

Observa-se que, pelo comportamento do Gráfico 4, apesar de a Indonésia se mostrar muito semelhante ao Brasil, em termos de parâmetros comparativos referentes ao controle sintético, esse país não teve efeito do Programa ABC, já que não houve a intervenção da política. A trajetória da produção por emissões de GEE da agropecuária retratada no Gráfico 4 mostra que a Indonésia real está abaixo de sua versão sintética, tanto no período pré-tratamento (1991-2009) quanto no pós-tratamento (2010-2019), implicando afirmar que não houve efeito do tratamento na variável de resultado. O Gráfico 5, que corresponde ao *gap* entre a Indonésia real e a sua versão sintética, confirma que o efeito de tratamento foi negativo no período de pós-tratamento, diferentemente do caso brasileiro. Esse resultado corrobora a hipótese do teste de placebo ao inserir um país que não foi tratado com a política em questão.

Nessa perspectiva, Silva e Veira Filho (2020), ao aferirem o impacto do Programa ABC no período 2000-2015, apontaram a Índia como unidade de análise no teste de placebo, pois em seus resultados não se observou efeito na variável de interesse, bem como ocorreu na nesta análise para o caso da Indonésia.

Outro teste realizado foi o placebo “no tempo” (Gráfico 6), consistente em realizar o mesmo procedimento convencional do método de controle sintético, porém com o deslocamento para o ano 2000, como o início da intervenção do Programa ABC, ou seja, dez

anos antes da real atuação da política. No Gráfico 7, o *gap* entre o Brasil real e o Brasil sintético é analisado com o teste de placebo temporal para o ano 2000.

Gráfico 6 – Teste de placebo temporal

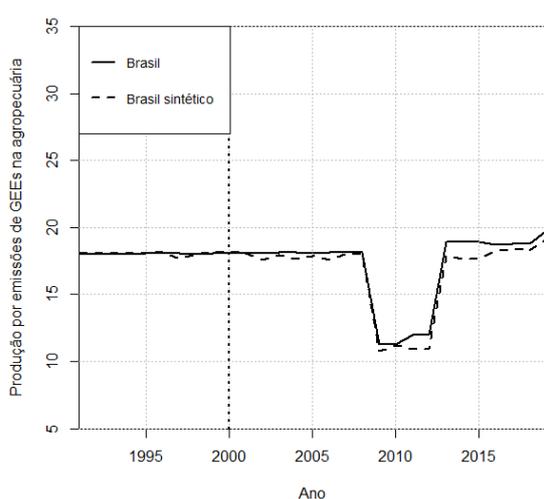
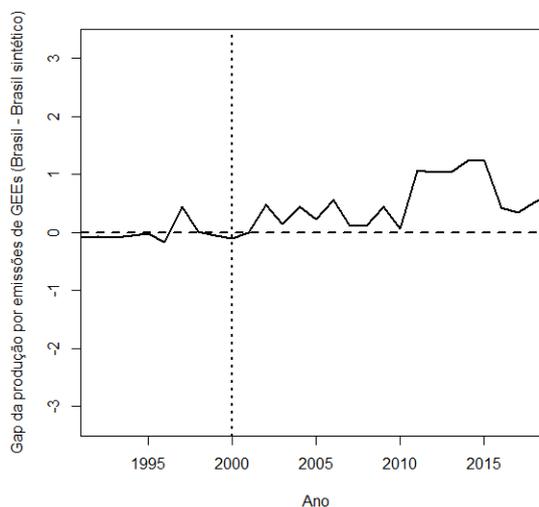


Gráfico 7 - *Gap* do efeito de tratamento entre o Brasil real e sua versão sintética (início em 2000)



Fonte: Elaboração própria, com base nos resultados da pesquisa (2022).

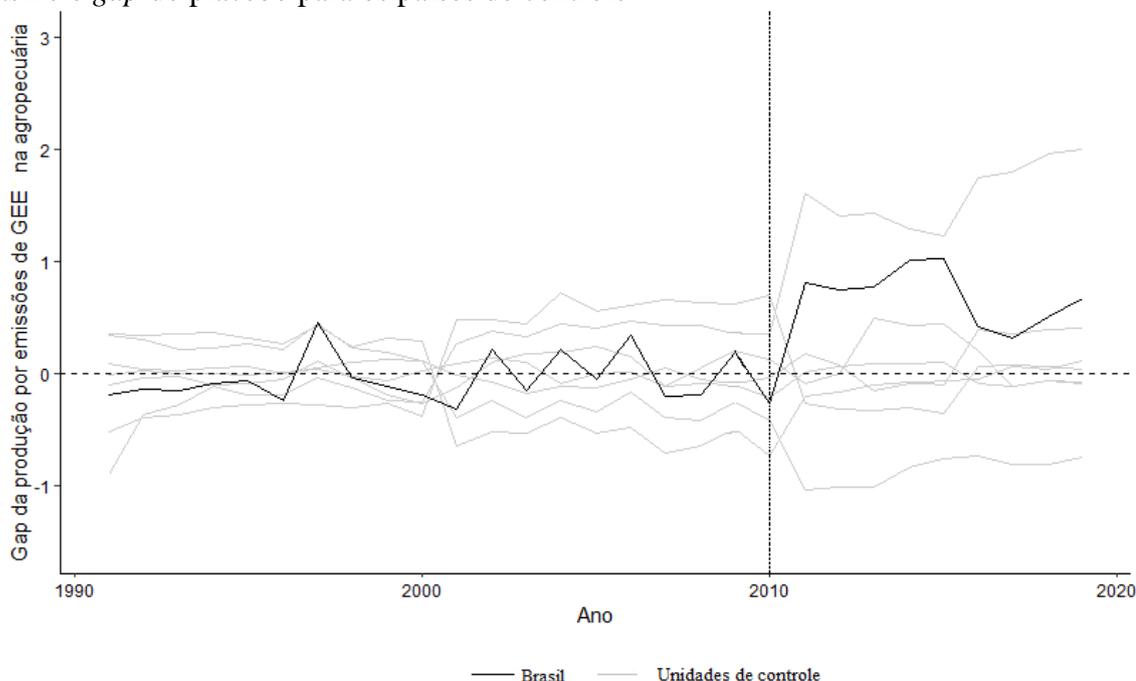
A ideia da realização do teste de placebo temporal consiste em verificar se o tratamento com o placebo não resulta em uma divergência pós-tratamento na trajetória da produção por emissões de GEE da agropecuária entre o Brasil e o seu controle sintético. Um grande efeito placebo lança dúvidas sobre a afirmação de que o resultado ilustrado nos Gráficos 2 e 3 é o efeito causal real do Programa ABC. O Gráfico 6 mostra que tal divergência não foi encontrada, significando dizer que não houve mudança na trajetória, mesmo mudando o horizonte temporal do início da intervenção.

Entende-se que o teste de permutação é empregado para inferências no método de controle sintético (ABADIE; GARDEAZABAL, 2003; ABADIE; DIAMOND; HAINMUELLER, 2010, 2015; FIRPO; POSSEBOM, 2018). Esse, por sua vez, consiste em aplicar o método em todos os países que compõem o grupo de controle, no intuito de coletar informações entre a diferença na variável de interesse para cada iteração. Ou seja, aplica-se o modelo em todos os países como tratados pelo Programa ABC, sendo cada resultado dos *gaps* da produção por emissões de GEE na agropecuária comparado ao Brasil. A ideia, então, é mensurar se algum outro país expressa uma evolução superior ao Brasil em relação à variável de interesse.

O Gráfico 8 demonstra o resultado do teste de permutação. O impacto do Programa ABC no Brasil no período de pós-tratamento é negativo apenas para o ano de 2010, porquanto de 2011 a 2019 o programa obteve um efeito positivo. O teste visual da distribuição de placebo

aponta que, para o período de pós-tratamento, o Programa ABC no Brasil exibiu um efeito significativo. As linhas cinzas representam a lacuna associada a cada uma das nove execuções do teste. Ou seja, as linhas cinzas mostram a diferença na produção por emissões de GEE da agropecuária entre cada país do *donor pool* e sua respectiva versão sintética. A linha preta sobreposta denota a diferença estimada para o Brasil. De acordo com o Gráfico 8, o *gap* estimado para o Brasil durante o período 2010-2019 é relativamente grande em relação à distribuição dos *gaps* para os países do *donor pool*, tendo apenas um país que obteve um nível acima do que realmente foi tratado com o programa.

Gráfico 8 - Teste de permutação: *Gap* da produção por emissões de GEE da agropecuária no Brasil e o *gap* do placebo para os países de controle



Fonte: Elaboração própria, com base nos resultados da pesquisa (2022).

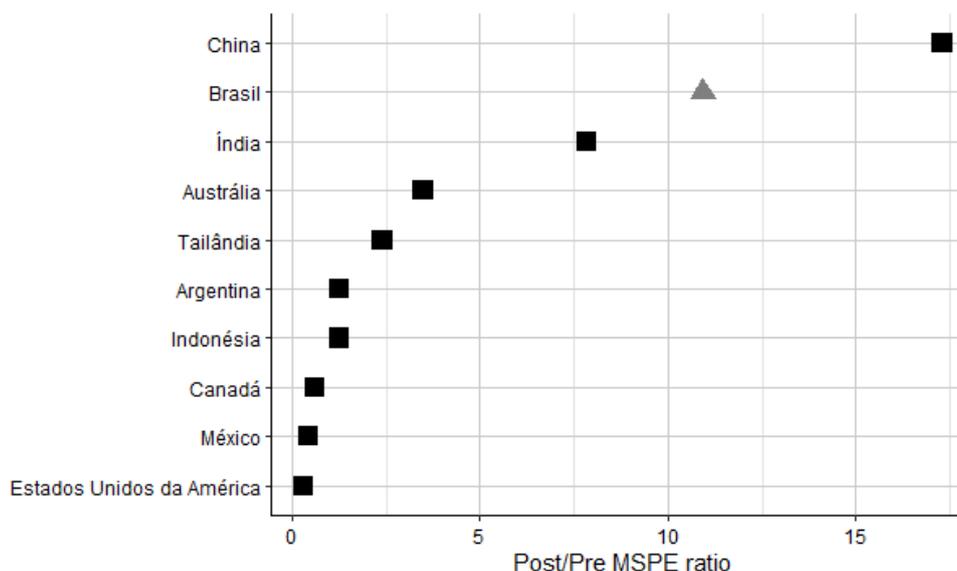
De acordo com o método desenvolvido por Abadie, Diamond, e Hainmueller (2010), ranqueiam-se os resultados dos países e calcula-se o *p*-valor latente, o que se configura como a probabilidade de alcançar uma estimativa tão elevada quanto a obtida quando a intervenção é estipulada aleatoriamente no grupo das observações. Esse *p*-valor latente é concedido, portanto, pelo número de países que mostraram um “efeito” superior ao do país tratado com o Programa ABC no período pós-intervenção.

Nessa concepção, como a amostra da presente pesquisa é composta por dez países (um tratado e nove controles), o menor valor assumido por *p* é 0,1 (1/10), o que ocorre no caso de não haver nenhum país no *donor pool* que aponta um “impacto” superior ao tratamento

placebo. O outro p -valor obtido, contudo, foi 0,2 (2/10), pondo em pauta a probabilidade de considerar dois países com valores elevados, porém é necessário frisar que apenas o Brasil foi tratado pelo Programa ABC, portanto, adota-se $p = 0,1$. Esse resultado indigita uma rejeição marginal da hipótese nula de nenhum efeito, dado o pequeno tamanho da amostra.

Para mensurar a qualidade do pareamento, há outro método de comparação por meio da razão entre o erro quadrático médio - MSPE (*root mean squared prediction error*-RMSPE, sigla em inglês) pós e pré-intervenção para todos os países da amostra. Ele é apontado como mais robusto, uma vez que considera a qualidade do ajuste pré-intervenção para todos os países. A visão por trás dessa abordagem é examinar para quais países o nível de distanciamento do país tratado com relação ao país sintético, no período pós-intervenção, é maior quando confrontado ao nível de afastamento pré-intervenção. Ou seja, o intuito é analisar a probabilidade de efeitos de grandeza similar aos verificados no Brasil serem capazes de acontecer ao acaso, conforme é exibido no Gráfico 9.

Gráfico 9 - Razão entre o erro quadrático médio (MSPE) pós e pré-tratamento: Brasil e os nove países do controle sintético



Fonte: Elaboração própria, com base nos resultados da pesquisa (2022).

Nota: Razão pós-tratamento/pré-tratamento do MSPE (*Post/Pre MSPE ratio*).

A razão do MSPE entre o pós e pré-intervenção chega, por exemplo, a 11 no Brasil, enquanto o maior valor observado para um país do *donor pool* é de 17, caso da China. Além deste, a Índia também exibiu uma elevada razão MSPE, chegando a um valor próximo a 8, o valor médio da razão MSPE é de 3,88 para as unidades de controle. Este resultado, no entanto, deve ser interpretado com parcimônia, já que apenas o Brasil foi tratado com a política, com ressalvas para a China, que apontou uma alta relação pós/pré-tratamento do MSPE, porém deve

ressaltar que o país em questão não adotou o Programa ABC e, contrariamente às suas metas, este país ocupa posição de destaque no raque como o maior emissor global de gases do efeito estufa (GEE) no período de pós-intervenção, fator que põe em pauta a corrente contrária da pretensão de uma política que promova a agricultura de baixa emissão de carbono. De semelhante modo é o caso da Índia, conhecido pelos altos índices de emissões de GEE e por não ter adotado uma política focada na agricultura de baixo carbono até o período sob análise.

Abadie *et al.* (2010) apontam que a escolha de um limite de corte específico para o valor do MSPE ao realizar testes de permutação é arbitrária. Os autores mencionam que um método inferencial mais adequado é, justamente, a razão do MSPE pós-tratamento/pré-tratamento, com a suposição de que uma ampla proporção é indicativa de um verdadeiro efeito causal do tratamento. Desse modo, com a execução do teste, não é necessário realizar o descarte de países com base em uma seleção arbitrária e, portanto, esse teste é vantajoso quando se tem um número pequeno de unidades de controle, como é o caso desta pesquisa.

A escolha de um determinado limite de corte para o valor do erro quadrático médio de previsão (MSPE) ao aplicar testes de permutação é arbitrária. Desse modo, o método inferencial que mensura a razão do MSPE pós e pré-tratamento (ABADIE *et al.*, 2010) conduz à ideia de que uma proporção elevada é indicativa de um verdadeiro efeito causal do tratamento. Nesse processo, o uso do teste de razão (pós/pré-tratamento) do MSPE não precisa descartar países com arrimo numa regra de corte por uma escolha arbitrária, enquanto a outra vantagem é quando a análise possui um pequeno número de unidades de controle, como é o caso desta investigação.

Ferman, Pinto e Possebom (2020) apontam que a ausência de uma regra clara na literatura sobre a melhor maneira de selecionar as variáveis utilizadas para o pareamento do controle sintético, sobretudo, no tocante à inclusão ou não de defasagens da variável dependente, torna o modelo propenso à procura de especificações que expressem resultados satisfatórios, por parte do pesquisador. Para tanto, na presente pesquisa, essa missão foi cumprida, ao realizar os testes necessários para se provar a robustez dos resultados aqui descritos.

Ao concluir os testes de placebo, assegura-se que o método de controle sintético sobra adequado para aferir o impacto do Programa de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC) no Brasil, ou seja, demonstra robustez dos resultados estimados. Em suma, no período de pós-intervenção, o País exibiu impacto positivo no tocante à variável de interesse que mensura a produção por emissões de gases do efeito estufa (GEE) no setor agropecuário.

4.2 Panorama do Programa ABC no Brasil

Dada a mensuração do impacto do Programa ABC no Brasil, evidenciada na subseção anterior, é relevante ressaltar nesta subseção a trajetória nacional, regional e estadual, quanto a disponibilidade e concessão de crédito, considerando os vários programas e subprogramas.

Está perfazendo, em 2022, 12 anos que o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) lançou o Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono, mais conhecido como Plano ABC. Este visa a incentivar produtores rurais a adotarem práticas sustentáveis no campo, visando a reduzir as emissões de GEE.

Criado na safra 2010/2011 e instituído pela Resolução do Banco Central do Brasil nº 3.896, de 17 de agosto de 2010, o Programa ABC teve como recursos o equivalente a R\$ 2,0 bilhões, apenas 1,87% do total de recursos direcionados ao Plano Safra (R\$ 107,2 bilhões). Além deste, outros dois programas receberam recursos, como: R\$ 1,0 bilhão para o Programa de Estímulo à Produção Agropecuária Sustentável (Produsa) e R\$ 150 milhões para o Programa de Plantio Comercial e Recuperação de Florestas (Propflora), que naquela época eram separados do Programa ABC. Posteriormente, no Plano Safra 2011/2012 o Programa incorporou as duas categorias de investimento, como: Propflora e Produsa, no intuito de simplificar o processo de concessão de crédito ao produtor rural (BRASIL, 2011).

A primeira fase do Programa ABC correspondeu ao período 2010-2020 e incluiu algumas técnicas, como: plantio direto; recuperação de pastagens degradadas; tratamento de dejetos animais; sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta; florestas plantadas, fixação biológica de nitrogênio e bioinsumos.

O Plano Safra 2020-2021 destinou para o Programa ABC uma cota de R\$ 2,5 bilhões para financiamentos, ou seja, gerou uma ampliação de R\$ 400 milhões em relação ao ano-safra anterior. De acordo com o disposto no Código Florestal, essa medida teve o intuito de promover a regularização ambiental dos imóveis rurais, tendo sido admitida, no âmbito do Programa ABC e das operações ordinárias de investimento, a possibilidade de financiamento para a aquisição de cotas de reserva ambiental, para fins de compensação de Reserva Legal (RL) - complementarmente aos financiamentos destinados à recomposição de RL e às Áreas de Proteção Permanente - APPs (ABC Ambiental) (BRASIL, 2020).

Nessa categoria, foi atribuída a menor taxa de juros da agricultura empresarial (4,5% ao ano), com exceção do PRONAF (2,75% e 4%), e de 6% ao ano para as demais tecnologias, bens e serviços financiados. O limite de crédito por beneficiário ficou em torno de

R\$ 5,0 milhões, com prazo máximo de 12 anos e carência máxima de oito anos (BRASIL, 2020). Embora tenha expressado uma ampliação no volume de recursos, o Programa ABC recebeu apenas 4,4% do total do Plano Safra 2020-2021, que acumulou um total de R\$ 56,92 bilhões.

Na perspectiva do Plano Safra 2021-2022, do valor total destinado ao crédito rural (R\$ 251,2 bilhões), apenas 2% foram direcionados ao Programa ABC, o que equivale a R\$ 5,05 bilhões. Isso significa dizer que ao longo dessa trajetória de 12 anos do Programa ABC, os recursos ainda se conservam aquém das grandiosas metas que o Governo Federal pretende atingir, como promessa de transformar a agropecuária brasileira em um modelo mais sustentável e com uma menor emissão de GEE.

A Tabela 4 denota o panorama da concessão de crédito do Programa ABC no Brasil, no período 2013-2021, identificando a área (hectares), quantidade e valores dos contratos. Os programas e subprogramas são exibidos com os seus respectivos investimentos.

Tabela 4 – Crédito do Programa ABC no Brasil: área investida, quantidade e valor dos contratos por programa e subprograma

(continua)				
Ano	Subprograma	Área Invest.	Quantidade	Valor
2013	Sem subprograma	-	11.359	2.403.376.778,25
	Recuperação de pastagens	-	10	5.174.530,50
	Plantio direto	-	2	1.611.430,00
	Total	-	11.371	2.410.162.738,75
2014	Sem subprograma	-	12.794	3.390.577.013,07
	Recuperação de pastagens	-	1	1.621.181,34
	Integração lavoura-pecuária-floresta e sistemas agroflorestais	-	1	1.000.000,00
	Total	-	12.796	3.393.198.194,41
2015	Sem subprograma	0	6.922	1.535.912.134,17
	Recuperação de pastagens	110.500,62	1.107	311.965.008,75
	Plantio direto	128.052,03	403	212.643.745,13
	Financiamentos com recursos dos fundos constitucionais	27.134,03	143	92.209.822,95
	Florestas	6.751,13	93	38.626.509,27
	Integração lavoura-pecuária-floresta e sistemas agroflorestais	12.024,99	80	33.167.290,03
	Adequação e/ou regularização ambiental	519	12	3.102.682,66
	Tratamento de dejetos	0	5	3.010.583,52
	Total	284.981,80	8.765	2.230.637.776,48
2016	Recuperação de pastagens	166.081,57	1.768	519.355.205,03
	Plantio direto	105.174,92	401	200.203.966,32
	Florestas	15.354,64	117	56.417.414,80
	Integração lavoura-pecuária-floresta e sistemas agroflorestais	913.343,82	125	47.760.646,97

Tabela 4 – Crédito do Programa ABC no Brasil: área investida, quantidade e valor dos contratos por programa e subprograma

				(continuação)
Ano	Subprograma	Área Invest.	Quantidade	Valor
	Financiamentos com recursos dos fundos constitucionais	4.096,60	64	24.643.705,35
2016	Tratamento de dejetos	0	14	5.318.685,58
	Adequação e/ou regularização ambiental	5.821,18	19	3.827.990,98
	Fixação biológica de nitrogênio	0	1	2.000.000,00
	Total	1.209.872,73	2.509	859.527.615,03
	Recuperação de pastagens	245.646,87	2.583	767.978.534,95
	Plantio direto	222.087,77	929	471.049.517,40
	Florestas	14.711,49	166	87.385.768,09
2017	Integração lavoura-pecuária-floresta e sistemas agroflorestais	33.817,69	165	73.476.900,73
	Adequação e/ou regularização ambiental	2.977,59	58	14.184.721,14
	Tratamento de dejetos	95	27	10.554.284,64
	Sistemas orgânicos	13	2	2.300.228,00
	Açaí, cacau, oliveira, noqueira	6,5	5	80.655,65
	Total	519.355,91	3.935	1.427.010.610,60
		Recuperação de pastagens	286.372,32	3.316
	Plantio direto	335.144,94	1.206	828.952.998,52
	Integração lavoura-pecuária-floresta e sistemas agroflorestais	65.991,94	252	126.966.483,49
2018	Adequação e/ou regularização ambiental	6.139,73	66	17.653.176,08
	Tratamento de dejetos	0	17	8.642.991,55
	Açaí, cacau, oliveira, noqueira	373,86	27	4.898.626,40
	Fixação biológica de nitrogênio	1.296,52	4	3.585.174,84
	Sistemas orgânicos	2,52	7	592.771,58
	Total	710.945,22	5.094	2.083.385.807,20
		Plantio direto	306.791,94	975
	Recuperação de pastagens	209.461,97	2.286	787.841.030,49
	Florestas	18.586,53	118	137.064.446,94
	Integração lavoura-pecuária-floresta e sistemas agroflorestais	68.714,41	194	136.014.890,61
	Tratamento de dejetos	0	17	12.167.645,11
2019	Adequação e/ou regularização ambiental	2.259,26	26	8.218.790,93
	Sistemas orgânicos	695,6	5	5.064.325,00
	Financiamentos com recursos dos fundos constitucionais	438,75	2	3.361.819,99
	Açaí, cacau, oliveira, noqueira	169,25	15	2.660.486,51
	Fixação biológica de nitrogênio	860,39	4	2.032.278,20
	Financiamentos com recursos da poupança rural	0	1	1.000.000,00
	Total	607.978,10	3.643	2.062.279.465,70
	Recuperação de pastagens	413.857,15	3.195	998.932.905,21
	Plantio direto	340.073,11	969	965.012.505,16
	Integração lavoura-pecuária-floresta e sistemas agroflorestais	93.464,57	184	161.188.032,73
2020	Florestas	15.455,03	105	85.168.859,03
	Adequação e/ou regularização ambiental	13.602,95	70	51.952.070,56
	Tratamento de dejetos	9,11	25	21.091.034,31
	Fixação biológica de nitrogênio	1.344,80	11	8.004.407,51
	Açaí, cacau, oliveira, noqueira	593,62	18	7.355.421,36
	Sistemas orgânicos	80,91	11	1.023.638,09
	Total	878.481,25	4.588	2.299.728.873,96
	Plantio direto	366.542,94	731	1.209.169.677,10
	Recuperação de pastagens	289.070,96	2.429	957.368.791,72
2021	Adequação e/ou regularização ambiental	37.743,14	159	142.017.472,97
	Integração lavoura-pecuária-floresta e sistemas agroflorestais	34.255,70	151	123.966.652,30

Tabela 4 – Crédito do Programa ABC no Brasil: área investida, quantidade e valor dos contratos por programa e subprograma

Ano	Subprograma	Área Invest.	Quantidade	(conclusão)
				Valor
	Florestas	16.214,49	102	106.881.508,04
	Manejo dos solos	21.844,71	60	48.345.942,17
	Tratamento de dejetos	166,9	23	15.911.193,25
2021	Sistemas orgânicos	663,1	18	6.936.151,79
	Açaí, cacau, oliveira, noqueira	716	5	3.980.734,00
	Fixação biológica de nitrogênio	1.499,80	5	3.353.736,02
	Bioinsumos e biofertilizantes	27	4	434.076,23
	Total	768.744,74	3.687	2.618.365.935,59

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados do Departamento de Regulação, Supervisão e Controle das Operações do Crédito Rural e do Proagro (DEROP) e Sistema de Operações do Crédito Rural e do Proagro (SICOR) - Banco Central do Brasil (BCB, 2022).

Percebe-se que, em 2013 e 2014, os subprogramas beneficiados eram muito limitados, tornando o crédito direcionado apenas à recuperação de pastagens, integração lavoura-pecuária-floresta e sistemas agrofloretais. Outro ponto a ser citado é que a categoria “sem subprograma” contemplou a maior parte do crédito concedido nos anos de 2013 a 2015. A falta de definição para que tipo de subprograma seria destinado o uso do crédito rural abre uma brecha para os produtores investirem em outras atividades, não necessariamente as que estão regulamentadas pelo Plano ABC. Essa particularidade torna-se ainda mais difícil de ser detectada, pois seria necessário um maior rigor na fiscalização e acompanhamento dos produtores beneficiários, fato esse que geralmente não acontece com frequência.

Por meio das informações levantadas, acerca dos empréstimos concedidos (Tabela 4), verifica-se que os subprogramas destinados ao tratamento de dejetos; sistemas orgânicos; produção de açaí, cacau, oliveira e noqueira; fixação biológica de nitrogênio; bioinsumos e biofertilizantes detêm um ínfimo volume de contratos. Este resultado sinaliza a necessidade de popularização dessas tecnologias nas várias regiões, promovendo a capacitação e a assistência técnica, para que os produtores se achem habilitados à adoção das práticas sustentáveis que contemplem esses subprogramas, caso contrário, permanecerá uma certa resistência por parte dos beneficiários.

Nessa perspectiva, cabe mencionar o trabalho de Kunz *et al.* (2005) sobre os custos da implementação de sistemas de tratamento de dejetos em criação de suínos. Os autores assinalam que são bem elevados, dada a reduzida capacidade de investimento do produtor. Gianetti e Ferreira Filho (2021) apontam que algumas das hipóteses da baixa representatividade do subprograma tratamento de dejetos são, justamente, a especificidade técnica e a necessidade de capital. Essas barreiras fazem com que os produtores rurais optem por outros subprogramas, favorecendo a concentração em algumas linhas de financiamento.

Quanto ao crédito rural concedido, no período entre 2013 e 2021, a queda mais significativa foi referente ao ano de 2016, que apontou uma redução em torno de 61,5% no valor final dos investimentos dos contratos, quando comparado ao ano anterior. Nos anos seguintes, houve uma recuperação no aporte do crédito concedido, bem como a inserção de outros subprogramas no *roll* dos contratos financiados.

Com base no Gráfico 10, são exibidos os percentuais da expansão das tecnologias do Plano ABC, no horizonte temporal de 2010 a 2020, quanto aos compromissos relacionados à redução das emissões de GEE no setor agropecuário brasileiro. Observa-se que as metas previstas foram alcançadas. Quando o Plano ABC foi lançado, ele tinha o propósito de expandir a área das tecnologias em torno de 35,5 milhões de hectares, mas os resultados atingidos na primeira fase do plano, de 2010 a 2020, superaram as metas, uma vez que a área das tecnologias preconizadas foi estipulada em 35,5 milhões, porém se atingiu uma área de 54,8 milhões de hectares, o equivalente a 154,38% da meta estabelecida.

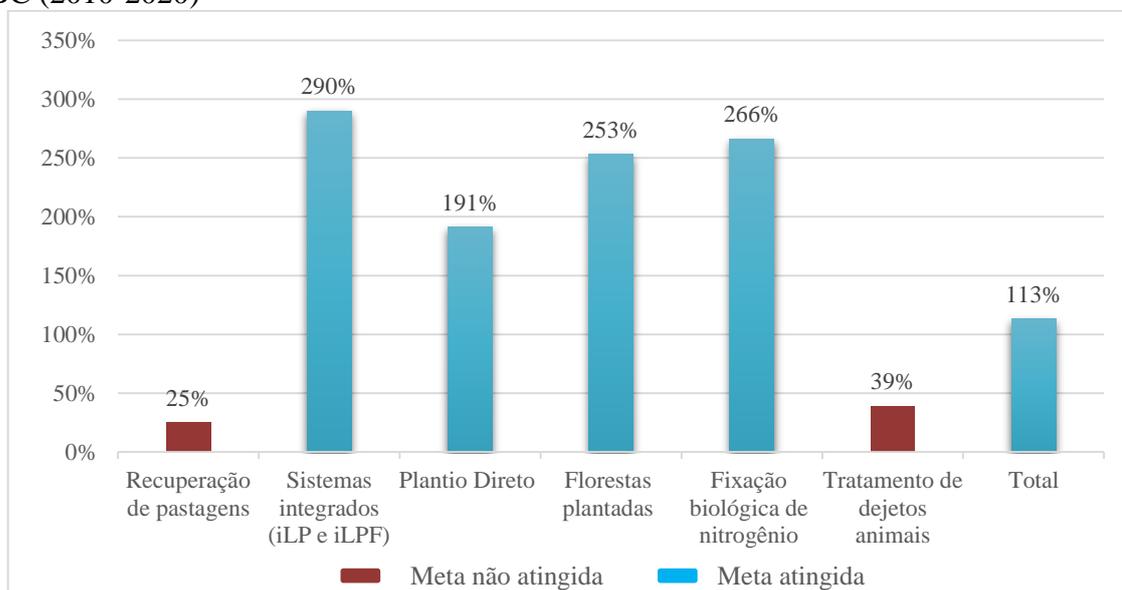
Gráfico 10 – Plano ABC no Brasil (2010-2020): compromisso e expansão da área das tecnologias de baixa emissão de carbono no setor agropecuário



Fonte: Elaboração própria, com base em Banco Central (BCB, 2022) e Telles *et al.* (2021).

Quanto ao potencial de mitigação de CO₂ e meta atingida com as tecnologias do Plano ABC, no período de 2010 a 2020, levando-se em consideração os compromissos brasileiros da redução das emissões de GEE, o Gráfico 11 demonstra os níveis de alcance das metas estabelecidas desde o princípio do Plano. Nessa perspectiva, observou-se que foram mitigadas cerca de 152,93 milhões de t CO₂e, ou seja, a adoção das tecnologias previstas no Plano ABC atingiu o nível de 113% da meta estabelecida.

Gráfico 11 - Cumprimento das metas de mitigação de CO₂e diante dos compromissos do Plano ABC (2010-2020)



Fonte: Elaboração própria, com base em Telles *et al.* (2021).

As emissões de GEE na agropecuária são causadas, sobretudo, por conversões nos estoques de carbono no solo e, em menor intensidade, por fertilizantes e resíduos, pelo cultivo de arroz irrigado, pela queima da palhada residual após a colheita, pelo uso de combustíveis fósseis nas operações agrícolas e pela fermentação entérica, em razão da criação animal. Tradicionalmente, a maior parte das emissões de GEE do Brasil é proveniente de mudanças no uso da terra, especificamente da conversão de vegetação natural para uso agrícola. Portanto, mudanças no uso e manejo da terra têm potencial de promover efeitos negativos ou positivos quanto à emissão ou sequestro de GEE para a atmosfera, com possibilidade de sensibilizar a sustentabilidade e a produtividade agrícola por meio da degradação da matéria orgânica do solo, promovendo efeitos negativos nos atributos físicos, químicos e biológicos (CARVALHO *et al.*, 2014; MANZATO *et al.*, 2020).

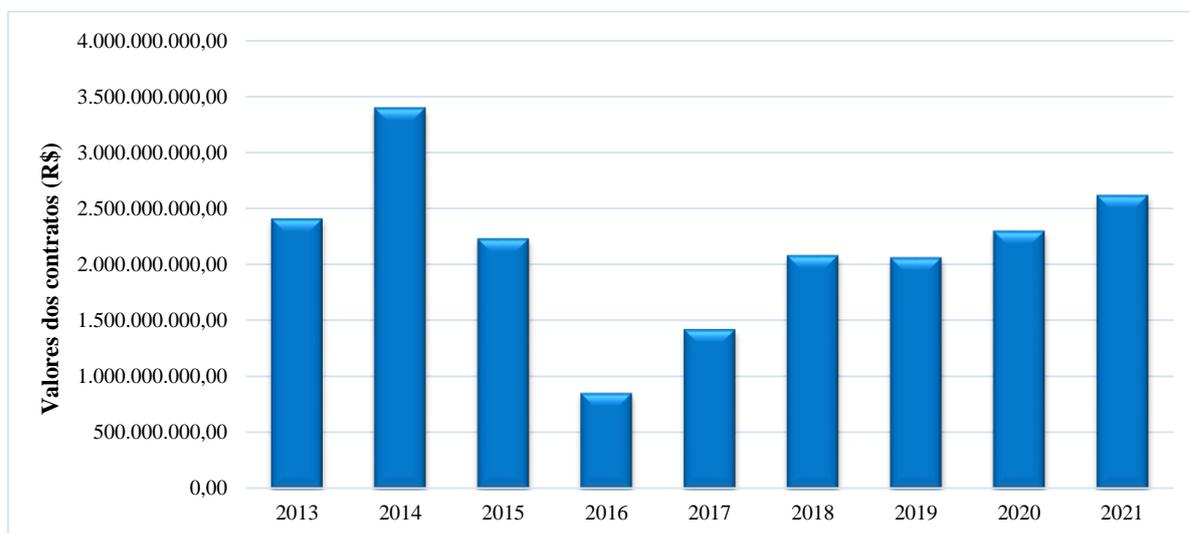
Dadas as tecnologias incentivadas pelo Plano ABC, Balbino *et al.* (2011) apontam a renovação das pastagens em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) e a adoção de plantio direto (PD) diminui a mineralização de carbono do solo quando comparado ao preparo convencional. Embora a literatura indique as vantagens da adoção de sistemas integrados, bem como tecnologias menos impactantes ao meio ambiente, Sá *et al.* (2013) mencionam que, no Brasil, ainda há escassez de estudos regionalizados sobre estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) em sistemas de uso e gestão da terra de paisagens agrícolas, com

o propósito de serem contemplados nas estimativas de emissões de uso, mudanças de uso e manejo agrícola das terras.

Nessa perspectiva, Madari *et al.* (2018) apontam uma visão crítica quanto a essa deficiência, pois, em análise aos projetos desenvolvidos pela Embrapa, os autores afirmam que os modelos de simulação e cenários das emissões de GEE em sistemas agrícolas, utilizados atualmente, não fornecem resultados satisfatórios pela ausência de parâmetros para as condições brasileiras. Além disso, o monitoramento da adoção das tecnologias mitigadoras é configurado como um desafio complexo.

Essas deficiências também são refletidas na adesão dos subprogramas e número de contratos, sendo mais evidente quando comparado o cenário regional. No que se refere ao número e valores dos contratos do Programa ABC no Brasil, o Gráfico 12 aponta que 2014 foi o ano que obteve o maior aporte de recursos (R\$ 3,4 bilhões) destinado à agricultura de baixa emissão de carbono, seguido de 2021 com o patamar de R\$ 2,6 bilhões. De 2013 a 2021, houve uma oscilação no comportamento dos recursos disponibilizados, tanto em quantidade quanto em valores do crédito rural concedido.

Gráfico 12 – Contratos do Programa ABC no Brasil (em R\$ bilhões)

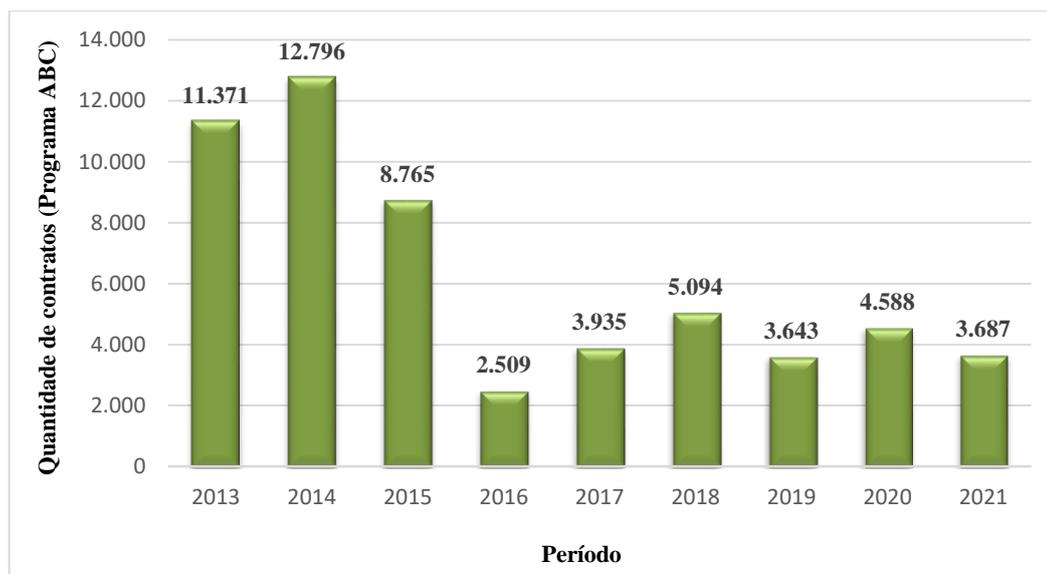


Fonte: Elaborada própria (2022), com base nos dados do Departamento de Regulação, Supervisão e Controle das Operações do Crédito Rural e do Proagro (DEROP) e Sistema de Operações do Crédito Rural e do Proagro (SICOR) - Banco Central do Brasil (BCB, 2022).

Quanto ao número de contratos, o ano de 2016 foi o que atingiu a maior queda, em torno de 71,37% quando comparado ao ano anterior. Essa ocorreu tanto no valor total do crédito quanto nos subprogramas. De 2013 a 2015 foi o período referente aos maiores níveis atingidos em termos de número de contratos beneficiados pelo Programa ABC. A partir de 2016, houve

uma queda brusca, redução com sequência até 2021. Embora o número de contratos tenha esse comportamento no período analisado, os valores dos contratos concedidos (Gráfico 13) exprimiram uma tendência de crescimento, de 2017 em diante, conforme exibido anteriormente.

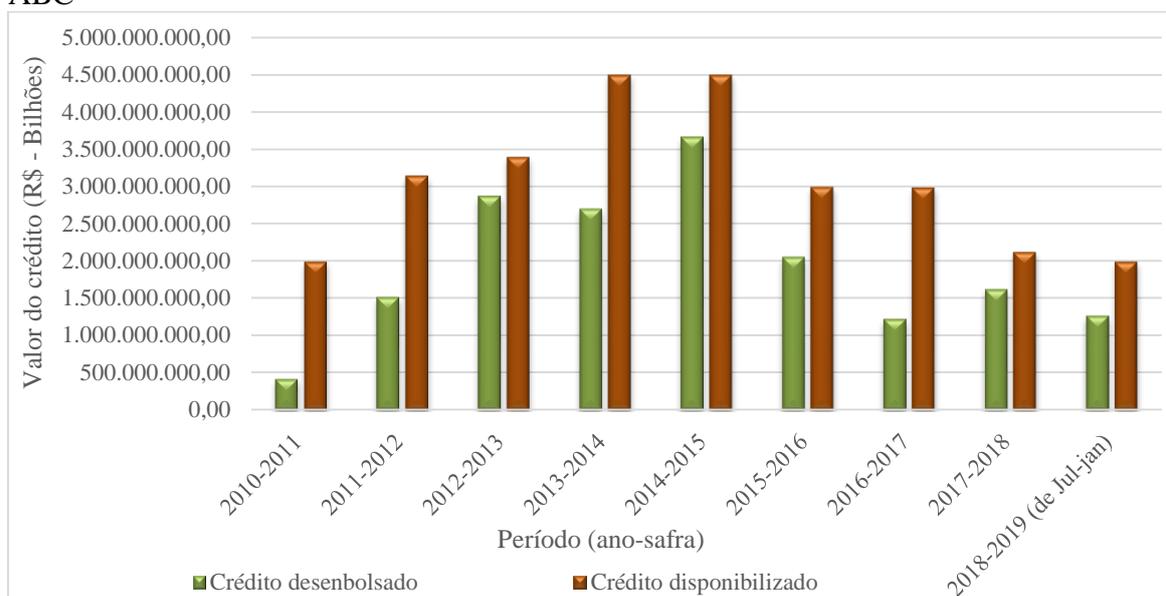
Gráfico 13 – Número de contratos do Programa ABC no Brasil (em R\$ bilhões)



Fonte: Elaboração própria (2022), com base nos dados do Departamento de Regulação, Supervisão e Controle das Operações do Crédito Rural e do Proagro (DEROP) e Sistema de Operações do Crédito Rural e do Proagro (SICOR) - Banco Central do Brasil (BCB, 2022).

O balanço entre o crédito rural concedido e o disponibilizado pelo Programa ABC em todos os anos-safras analisados (2010/2011 a 2019/2019) ficou com uma margem negativa, quanto aos recursos efetivamente concedidos quando comparados aos que as agências bancárias forneceriam, o que resultou em recursos remanescentes que potencialmente financiariam projetos sustentáveis no campo, porém não foram utilizados. Esse comportamento é notório no Gráfico 14.

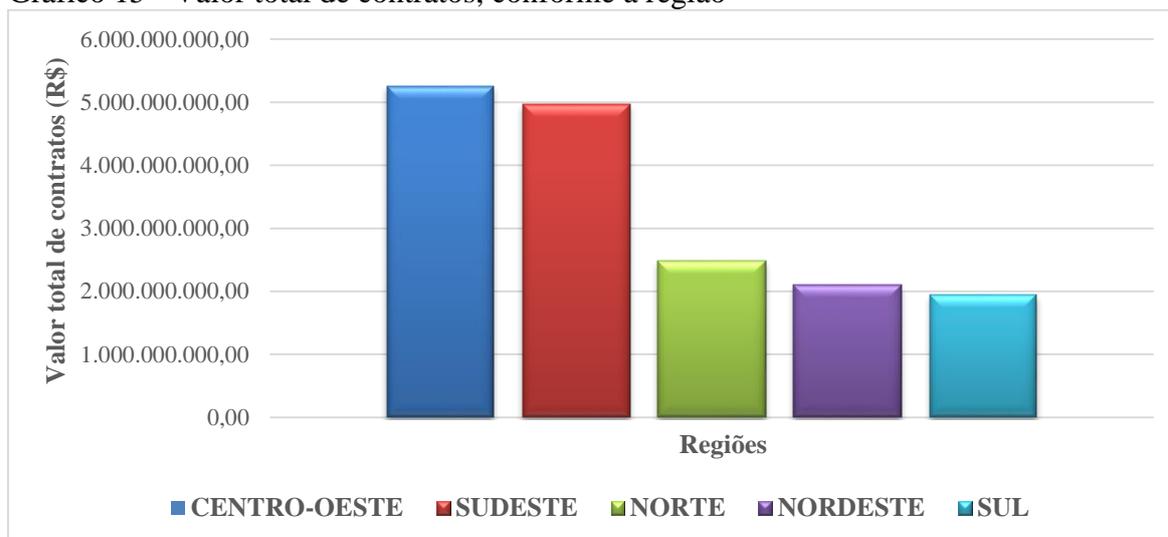
Gráfico 14 – Comparativo entre o crédito concedido e o crédito disponibilizado pelo Programa ABC



Fonte: Elaboração própria (2022), com base nos dados do Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária (BRASIL, 2022a).

Nota-se que, além da aglutinação identificada nas linhas de financiamento do Programa ABC, existe a centralização de recursos em alguns estados e regiões brasileiras. De acordo com os dados do Sistema de Operações do Crédito Rural e do Proagro (SICOR) fornecidos pelo Banco Central do Brasil (BCB, 2022), no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2020, houve uma concentração na concessão de crédito rural disponibilizado pelo Programa ABC para as regiões Centro-Oeste e Sudeste, que receberam em torno de 31,37% e 29,65%, respectivamente. Esses valores referem-se ao crédito total no período (2013-2020). As regiões Norte e Nordeste receberam cerca de 27,40% dos recursos e, em último lugar, ficou a região Sul, com 11,58%. Essas disparidades regionais só fortalecem a rejeição da hipótese de que as regiões que estão sendo mais contempladas pelo Programa são as áreas mais vulneráveis, sendo na realidade o contrário e adicionalmente as que mais emitem GEE, possuem melhores condições edafoclimáticas para a produção, bem como a capacidade financeira para investir em tecnologias, inclusive com capital próprio do produtor rural. O Gráfico 13 mostra a distribuição dos contratos, conforme a região.

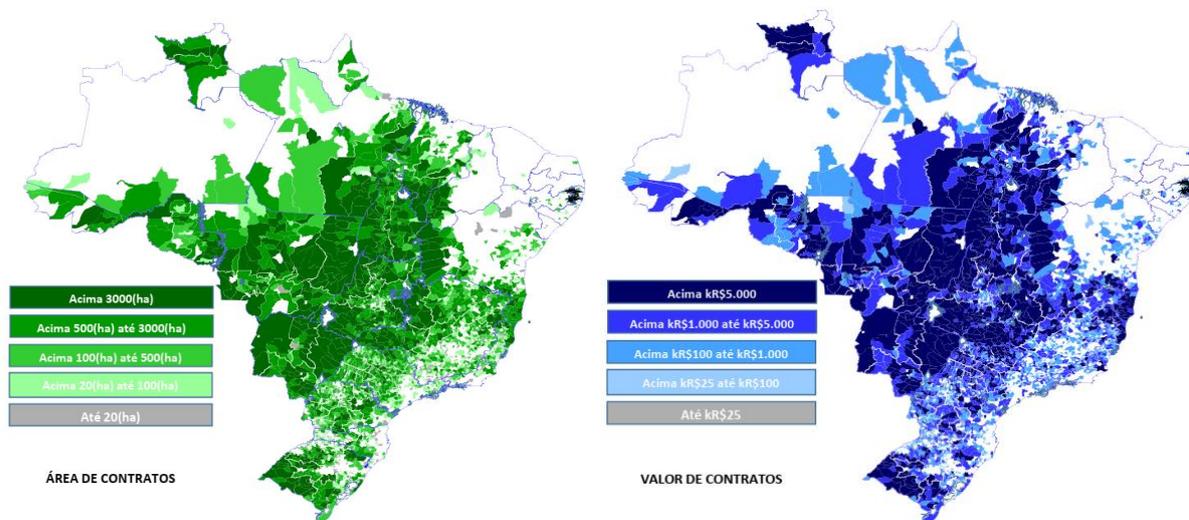
Gráfico 15 - Valor total de contratos, conforme a região



Fonte: Elaboração própria (2022), com base nos dados do Departamento de Regulação, Supervisão e Controle das Operações do Crédito Rural e do Proagro (DEROP) e Sistema de Operações do Crédito Rural e do Proagro (SICOR) - Banco Central do Brasil (BCB, 2022).

Nos casos do Norte e Nordeste, além das condições edafoclimáticas desfavoráveis, há aspectos econômicos considerados como entraves, e, além disso, há maior concentração de áreas degradadas e com baixa produtividade. No que se refere ao Nordeste, região de instabilidade climática, como solo de baixa aptidão agrícola e deficiência na assistência técnica no campo, por exemplo, teoricamente, seria uma das mais habilitadas a receber recursos do Programa ABC, se fosse considerada pelo critério de prioridade, assim como a região Norte, mas, na prática, essa realidade é totalmente diferente, já que as áreas priorizadas são as que possuem os melhores indicadores produtivos, boas condições edafoclimáticas e melhores níveis de tecnologias e recursos financeiros. Ainda em se tratando de disparidades regionais, as Figuras 6 e 7 representam bem o quanto a distribuição do crédito do Programa ABC está aquém da descentralização.

Figuras 6 e 7 – Financiamentos do Programa ABC, por área e por valor contratado, de janeiro/2013 a janeiro/2019, respectivamente



Fonte: Brasil (2022).

Esses resultados corroboram a literatura (ASSAD, 2015; ASSAD *et al.*, 2019; BARROS, 2017; GIANETTI; FERREIRA FILHO, 2021, TELLES *et al.*, 2021), que aponta a ineficiência da alocação de recursos do Programa ABC entre as regiões brasileiras. Nota-se que, segundo os dados desta pesquisa, propõem-se que as regiões que deveriam ser prioritárias recebem baixo volume de recursos, configuração acompanhada durante toda a primeira fase do Programa (2010-2020), mostrando a necessidade para revisão de alguns aspectos essenciais, como: metas; tecnologias sustentáveis; indicadores que serão utilizados para o acompanhamento dos beneficiários; melhor definição dos critérios para distribuição do crédito; revisão das taxas de juros para os pequenos produtores e para regiões prioritárias; assistência técnica contínua e direcionada; entre outros fatores relevantes ao bom funcionamento e monitoramento do Plano ABC.

Outro ponto a ser citado é que, de acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2022a), os produtores contratam outras linhas de crédito, que não são específicas do Programa ABC, para implementar ações de agricultura de baixa emissão de carbono em suas propriedades, entretanto não se detalham o montante e o tipo de tecnologia adotada. Ademais, os produtores rurais, em muitos casos, utilizam recursos próprios para implementação de tecnologias sustentáveis ou mesmo provenientes da iniciativa privada. Assim, a ausência dessas informações precisas torna o sistema de monitoramento ainda mais vulnerável.

Antes de qualquer avaliação acerca dos instrumentos adotados no País, é imprescindível mencionar a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei nº 12.651/2012), ou simplesmente Código Florestal, cujos dispositivos de proteção limitam a expansão em termos de área de produção, as Áreas de Preservação Permanente (APP) e a Reserva Legal (RL), ou seja, criam incentivos para que os produtores rurais invistam em tecnologias para a modernização da agricultura e em práticas que promovam ganhos de produtividade, conservação e restauração florestal. Essa lei foi um dos pontos de partida para a criação do Cadastro Ambiental Rural ³³(CAR) - registro eletrônico, obrigatório para todos os imóveis rurais - que teoricamente ajudaria os produtores a regularizar suas terras e assim reduzir, dentre outros fatores, o desmatamento ilegal (BRASIL, 2012). A Lei de Proteção da Vegetação Nativa implementa as determinações e os instrumentos do Código Florestal, incluindo o CAR e os Programas de Regularização Ambiental (PRA) (ASSAD *et al.*, 2019). Após dez anos, todavia, segundo os dados do relatório “Onde Estamos na Implementação do Código Florestal?”, divulgado pela *Climate Policy Initiative* (2021), apenas 28,6 mil dos 6,5 milhões de imóveis cadastrados foram analisados, o que representa menos de 0,5% dos imóveis. Esses resultados mostram que a realidade é bem diferente do cenário previsto para a regularização fundiária brasileira, promovendo uma grande barreira burocrática para a efetivação e aprovação do CAR.

O relatório aponta, ainda, que 52% dos 6,5 milhões dos cadastramentos já pediram para aderir à regularização ambiental. Apenas 1169 termos de compromisso, porém, foram assinados em todo o Brasil, esse patamar equivale a apenas 0,01% dos imóveis cadastrados (CLIMATE POLICY INITIATIVE, 2021). Essa lentidão acerca do cadastramento só enaltece a vulnerabilidade do monitoramento dos imóveis rurais pelo País. A flexibilização do Código Florestal, também, fragiliza ainda mais esse processo, bem como ocorreu recentemente com a aprovação do Projeto de Lei 36/21 (BRASIL, 2021a) que prorrogou, até o dia 31 de dezembro de 2022, o prazo para que pequenos produtores rurais se inscrevessem no CAR e tivessem direito aos benefícios do PRA.

Ressalta-se que a ausência de efetividade do cadastro produz um obstáculo à adesão ao programa de regularização ambiental, bem como para recomposição de uma vegetação nativa em uma propriedade rural. Com isso, a impunidade e o sucateamento da política

³³ Criado no âmbito do Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente - SINIMA, e regulamentado pela Instrução Normativa MMA nº 2 de 5 de maio de 2014, o CAR é definido como um registro público eletrônico de âmbito nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais, com o propósito de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais referentes à situação das APP, das áreas de RL, das florestas e dos remanescentes de vegetação nativa, das áreas de uso restrito e das áreas consolidadas, compondo base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento (BRASIL, 2012).

ambiental brasileira, em consequência da redução de multas aplicadas nos últimos anos, só reforçam a fragilidade desses instrumentos. Toda essa discussão acerca dos instrumentos utilizados pelo Código Florestal brasileiro configura-se como de suma relevância para a avaliação do Plano e/ou Programa ABC, uma vez que essas estratégias estão interligadas convergindo ao foco principal que é tornar o setor agropecuário mais sustentável, sobretudo, com leis que fomentem a conservação e recuperação dos recursos naturais.

Dada a realidade brasileira quanto a avaliação do Programa ABC e a distribuição dos recursos nas distintas regiões, apontam-se algumas estratégias adotadas pelo Brasil, as quais influenciam, tanto no processo de transição para uma agricultura de baixa emissão de carbono, quanto no auxílio ao monitoramento da adoção de tecnologias sustentáveis, como

- i) Programa Nacional de Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc) - instituído pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), por meio do Decreto nº 9.841, de 18 de junho de 2019, no qual tem como finalidade indicar datas de semeadura por cultura e por município, considerando a característica do clima, tipo de solo e ciclo da cultivar, de modo a reduzir as perdas agrícolas e contribuir para o aumento da produção (BRASIL, 2019);
- ii) Rede ILPF³⁴ – tem o objetivo de acelerar uma ampla adoção das tecnologias de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) por produtores rurais;
- iii) AgroTag³⁵ - Sistema que contempla um aplicativo para extração de dados georreferenciados em campo (modo *offline*) interligado a uma interface WebGIS para acesso e análise dos dados. Refere-se ao levantamento de dados sobre uso e cobertura das terras, sistemas integrados de manejo, sistemas aquícolas, monitoramento de recomposição florestal, acompanhamento das áreas de manejo florestal e extrativismo e para apoiar a gestão de propriedades rurais no âmbito do desenvolvimento sustentável do estado do Pará (em desenvolvimento);
- iv) Plataforma GeoInfo – conjunto integrado de tecnologias, políticas, normas, mecanismos de coordenação e monitoramento e acordos necessários para

³⁴ Associação Rede ILPF é formada pelo Bradesco, Ceptis, Cocamar, John Deere, Soesp, Syngenta e Embrapa. A Rede ILPF apoia 16 Unidades de Referência Tecnológica (URT) e 12 Unidades de Referência Tecnológica e de Pesquisa (URTP), distribuídas entre os biomas brasileiros e envolvendo a participação de 22 unidades de pesquisa da Embrapa (REDE ILPF, 2022).

³⁵ O aplicativo foi desenvolvido pela Embrapa Meio Ambiente (Jaguariúna, SP), com apoio da Rede ILPF, Instituto de Pesquisas Eldorado e da Plataforma Multi-institucional de Monitoramento das Reduções de Emissões de Gases de Efeito Estufa (Plataforma ABC) (EMBRAPA, 2022a).

- facilitar e organizar a produção, gestão, acesso, compartilhamento, divulgação e uso dos dados geoespaciais. Esta plataforma foi criada a partir da adesão da Embrapa à Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (Inde);
- v) Plataforma ABC - instalada na Embrapa Meio Ambiente, tem como missão articular ações multi-institucionais de monitoramento da redução das emissões de GEE dos setores da agropecuária brasileira, sobretudo, as reduções provenientes das ações previstas e em execução pelo Plano ABC (EMBRAPA, 2022b);
 - vi) Observatório ABC³⁶ – responsável pelo monitoramento das ações do Plano e do Programa ABC desenvolvendo estudos técnicos para subsidiar e facilitar o diálogo com *stakeholders*;
 - vii) Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) - iniciativa do Observatório do Clima que compreende a produção de estimativas anuais das emissões de GEE no Brasil (OC, 2022).

Esses são alguns dos instrumentos implantados no Brasil, no entanto, malgrado a existência dessas estratégias capazes de monitorar e acompanhar a realidade nacional, ainda assim, necessita-se de uma intensificação quanto ao monitoramento e acompanhamento técnico, pois ainda é muito incipiente, o que torna o ambiente vulnerável em caso de uma análise mais aprofundada do Programa ABC, devido ao reduzido nível de informações disponíveis.

Foi publicado o Decreto nº 11.075, de 19 de maio de 2022, que institui o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito (SINARE) e estabelece o procedimento para elaboração dos Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas. Essa medida promove o mercado regulado de carbono, com foco em exportação de créditos, especialmente, para países e empresas que precisam compensar emissões para cumprir com seus compromissos de neutralidade de carbono. Essa iniciativa converge com os compromissos firmados durante a COP 26, realizada em 2021, na Escócia (BRASIL, 2022b). A dúvida que permanecerá é se com essa medida haverá margem para os países poluírem ainda mais e a intensificarem seus modelos de produção agropecuária e demais setores, sem se preocuparem com os níveis de emissões de GEE e exploração dos recursos naturais, já que o Brasil estará com um mercado de crédito de carbono direcionado para a exportação. Essa medida traz mais dúvidas do que certezas e deixa

³⁶ Coordenado pelo Centro de Estudos de Agronegócios da Fundação Getulio Vargas (GVAgro) e desenvolvido em parceria com o Centro de Estudos em Sustentabilidade da FGV (GVces), tem como foco a implementação do Plano Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC), em atividade desde 2013 (OBSERVATÓRIO ABC, 2022).

muitas lacunas em aberto sobre como funcionaria, efetivamente, um sistema de comércio de emissões nacional.

Em síntese, é indispensável para o Brasil o investimento em sistemas sustentáveis que respeitem, sobretudo, a dimensão ambiental, para que com isso o país se aproprie de benefícios sob acordos internacionais, que favoreçam maiores aportes financeiros, para garantir parcela dos incentivos utilizados na transição para uma agricultura de baixa emissão de carbono. As estratégias apontadas no decorrer de todo este escrito, sejam as que são adotadas pelo Plano ABC ou mesmo pela iniciativa privada, são suscetíveis de conduzir inúmeros benefícios aos produtores rurais, porém essas ações não serão suficientes para garantir o sucesso dessa transição de paradigma. Uma das saídas seria a promoção do cenário de pastagens degradadas para o setor de produção agropecuária, ou seja, intensificar a recuperação de áreas nas regiões do Brasil com vistas a torná-las aptas às atividades agrícolas.

Há a necessidade de um maior esforço quanto à avaliação das carências regionais, ao monitoramento da distribuição de recursos (crédito rural), acompanhamento dos beneficiários, entre outros fatores condicionantes ao reconhecimento da realidade brasileira. Essa discussão levanta o seguinte questionamento: - o Plano ABC+ (2020-2030) será capaz de sanar todas as lacunas deixadas pela primeira fase (2010-2020), com potencial para uma intensificação da distribuição de recursos financeiros aos pequenos e grandes produtores nas distintas regiões brasileiras? Para que os resultados sejam satisfatórios, o Programa precisa ser ajustado e revisto, principalmente em pontos burocráticos, perfis dos agricultores, práticas e tecnologias agrícolas adequadas a cada região, entre outros fatores relevantes, no intento de contemplar lacunas não preenchidas na fase anterior. Espera-se que essa complexidade seja respondida com resultados positivos futuramente, ou o modelo de agricultura sustentável para a realidade brasileira ficará apenas como uma utopia para os agricultores localizados em regiões mais vulneráveis do Brasil.

Os agricultores de pequeno porte, frequentemente, se veem barrados, seja por falta de conhecimento dos critérios ou mesmo por incapacidade de pagamento ante as condições estabelecidas pelas agências bancárias, principalmente em decorrência da taxa de juros. Desse modo, considera-se que é preciso o aprimoramento dos requisitos de concessão, pois, na prática, os operadores de crédito seguem protocolos e regras, visando a metas de projetos contratados, muitas vezes desconhecendo a realidade de cada agricultor. Desenhar uma política homogênea não é a solução mais adequada para um país como o Brasil, que detém grande dimensão e peculiaridades regionais bem diferenciadas. Acredita-se que, com esteio na discussão aqui retratada, vai-se ter consciência da situação de cada localidade e da realidade financeira dos

agricultores, porquanto o crédito é liberado de maneira generalizada e não conforme a região. Nessa circunstância, os recursos necessitam ser disponibilizados por perfil, monitorados e auxiliados por profissionais capacitados, iniciando pela base do problema, que é o grau de vulnerabilidade dos possíveis beneficiários. Para tanto, o apoio nas esferas municipal, distrital, estadual e federal tem papel fundamental para o sucesso do Programa ABC+.

4.3 Resultados da mensuração do impacto da instabilidade climática na agricultura brasileira

Os resultados das estimativas dos parâmetros inclusos nos modelos aplicados em dados em painel, para avaliar o impacto da instabilidade climática sobre o valor bruto da produção agrícola nos estados brasileiros, estão delineados à continuação.

4.3.1 Estatísticas descritivas

A Tabela 5 encerra as estatísticas descritivas das variáveis selecionadas utilizadas na estimação. As dez variáveis são reportadas no plano da referida tabela, entretanto foram utilizadas em logaritmo natural nas estimações, uma vez que a pesquisa adotou o formato funcional *translog*. Os dados obtidos, sob variadas fontes, representam as características para cada Unidade da Federação.

Observa-se que o indicador mensurado pelo valor da produção agrícola por área colhida (R\$/ha) mostrou grande disparidade entre os estados analisados, em que o Estado do Piauí, em 2002, obteve o menor valor (R\$764,00/ha) da série de dados, e, em contrapartida, o Amapá atingiu o valor mais elevado, com R\$34510,00/ha, em 1994. Embora esse resultado conduza ao entendimento dos valores extremos da série de dados quanto ao indicador analisado, Mato Grosso atingiu o maior patamar do valor bruto da produção agrícola, em 2020, totalizando R\$79209570000,00 com uma área colhida em torno de 17187508ha. Como o indicador foi composto por esses dois elementos, ele não conseguiu ocupar o nível mais elevado da série para o VBP/ha. O valor médio ficou em torno de R\$5560,00/ha

Esses resultados tão divergentes implicam apontar que Mato Grosso se configura como o estado brasileiro que detém a maior área colhida (ha) agregada com lavouras temporárias e permanentes, principalmente com a produção de algodão, milho, soja e girassol, os principais responsáveis pelo bom desempenho do setor na economia do Estado. Essa posição no ranque ocorre desde 2012 (dez anos). A menor área colhida foi exibida pelo Estado do

Amapá (3825,00ha), localizado na região Norte, indicador destacado negativamente de 1990 a 2004 (quinze anos). Desse modo, entende-se que são condições bem distintas em termos de produção agrícola e incentivos do setor sob exame, enquanto o primeiro é conhecido por exibir uma fronteira agrícola que é referência no agronegócio brasileiro e participação na balança comercial. O outro Estado detém baixa produtividade e reduzida contribuição relativa no setor agrícola dentre as UF analisadas.

De modo geral, os estados da região Norte apontaram as menores áreas colhidas com lavouras temporárias e permanentes, quando comparados aos demais. As maiores áreas colhidas no Brasil estão aglomeradas em Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo, Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, na maioria dos anos considerados na análise. Esses estados pertencem às regiões do Centro-Oeste, Sul e Sudeste, que detêm os grandes empreendimentos rurais do setor agrícola brasileiro. Fora dessa rota, está a Bahia, localizado no Nordeste, que obteve um bom desempenho ao longo dos anos, no que se refere à área colhida e ao valor bruto da produção agrícola.

Tabela 5 – Estatísticas descritivas das variáveis selecionadas

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão
Valor da produção por hectare (mil R\$/ha)	764,00	34.510,00	5.560,00	3.200,00
Precipitação pluviométrica (mm)	248,30	3.078,74	1.470,13	568,69
Temperatura (°C)	18,37	28,10	24,91	2,36
Área com cicatrizes de fogo (ha)	129,82	6.701.050,24	539.822,29	941.700,51
Fertilização com CO ₂ (tCO ₂)	85,78	5382020,76	511204,50	816217,88
Irrigação (<i>dummy</i>)	0,00	1,00	0,82	0,39
Semiárido (<i>dummy</i>)	0,00	1,00	0,34	0,47
<i>El Niño</i> (<i>dummy</i>)	0,00	1,00	0,42	0,49
<i>La Niña</i> (<i>dummy</i>)	0,00	1,00	0,29	0,45

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados da pesquisa (2022).

De 1990 a 2020, a precipitação pluviométrica mínima foi encontrada no Rio Grande do Norte, no ano de 1993, com 248,3mm, e o patamar mais elevado foi referente ao Amapá com 3.078,74mm, em 1990. A precipitação média foi de 1.470,13mm. Embora esse valor seja calculado com base em todas as Unidades Federativas, essa média não condiz com a realidade de todos os estados, uma vez que as regiões detêm peculiaridades que tornam heterogêneos os fatores condicionantes à agricultura, tendo-se, a título de exemplo, os estados que possuem municípios inseridos no Semiárido, região caracterizada por temperaturas elevadas e instabilidade pluviométrica, em escala temporal e espacial. Isto é diferente da região Norte, que

possui maior frequência e mais volume pluviométrico, tornando essa região mais úmida e com maior disponibilidade de recursos hídricos para as atividades agrícolas.

Relativamente à temperatura média ($^{\circ}\text{C}$), em 1990, a mínima encontrada foi em Santa Catarina ($18,37^{\circ}\text{C}$) e a máxima no Maranhão ($28,1^{\circ}\text{C}$) em 2016, estados das regiões Sul e Nordeste, respectivamente. Essas regiões possuem características que vão de um extremo ao outro, quanto aos fatores edafoclimáticos. A primeira é classificada como a mais fria e a outra como uma das mais quentes do País. A seleção das variáveis temperatura e precipitação inseridas como *proxy* para o clima é habitual na literatura, considerada a disponibilidade da gama de dados históricos e suas projeções, bem como por exibir vínculo com outras variáveis climáticas, como os níveis de umidade relativa do ar, evapotranspiração, entre outras. Dada essa contextualização, esta pesquisa teve como escolha estas variáveis, em virtude da alta sensibilidade da produtividade agrícola à temperatura e aos níveis de precipitação.

Quanto à área com cicatrizes de fogo, Alagoas obteve o menor indicador, com 129,82ha, enquanto o Mato Grosso apontou o nível mais elevado, com 6.701.050,24ha. De acordo com os dados do MapBiomas (2022), um quinto do solo brasileiro já foi queimado ao menos uma vez desde 1985, com um total de área queimada de 1.672.142 km^2 (19,6% do território do País). Nessa perspectiva, 85% da área total queimada no país, em 31 anos (1990-2020), se concentram na Amazônia (41%) e no Cerrado (44%). Nesse período, o percentual de 65% do fogo ocorreu em vegetação nativa e 35% em área antrópica. Ou seja, formações savânicas foram o tipo de uso e cobertura natural com maior ocorrência de fogo. No caso da área com pastagens, configura-se como o tipo de uso antrópico com maior ocorrência de fogo. O ranque dos dez estados que mais possuem cicatrizes de fogo até 2020 está assim caracterizado: 1 - Mato Grosso (399.014 k^2); 2 - Pará (215.715 k^2); 3 - Tocantins (166.686 k^2); 4 - Maranhão (156.895 k^2); 5 - Bahia (116.303 k^2); 6 - Piauí (98.403 k^2); 7 - Rondônia (95.443 k^2); 8 - Minas Gerais (90.659 k^2), 9 - Goiás (89.590 k^2); e 10 - Mato Grosso do Sul (87.649 k^2).

Nesta pesquisa, foi utilizada a variável fertilização com CO_2 , indicador que desempenha dois tipos de efeitos: positivo, se na concentração adequada favorece o desenvolvimento das plantas; e/ou negativo, quando a emissão atinge além do limite máximo de absorção favorável, ou seja, quando o dióxido de carbono se torna prejudicial ao sistema. O valor mínimo foi encontrado no Amapá, em 1993, quando se obteve o nível de 85,78 tCO_2 ; já o Mato Grosso ocupou o maior patamar da série, com 5.382.020,8 tCO_2 , em 2020. Esses resultados decorrem da intensificação das atividades agrícolas que, convencionalmente, são desempenhadas no estado focalizado. Em vários anos, Mato Grosso ocupou a primeira posição na emissão de CO_2 pela agropecuária. Esta variável configura-se como de suma relevância para

esta discussão, uma vez que a fertilização desse tipo de gás será benéfica ou prejudicial ao valor bruto da produção agrícola, por área colhida.

Além desses indicadores, foram utilizadas variáveis *dummies* para captar os efeitos das elasticidades nos estados analisados com sistema de irrigação, pertencentes à região do Semiárido (Alagoas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Maranhão, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe), ocorrência dos fenômenos *El Niño* (1991,1992,1993,1997,1998,2002,2003,2006,2007,2009,2010,2015 e 2016) e *La Niña* (1998,1999,2000,2007,2008,2010,2011,2017 e 2018). Essas variáveis estão relacionadas às condições climáticas interferentes no sucesso da produção agrícola e, conseqüentemente, no valor bruto da produção agrícola, por hectare.

4.3.2 Testes para seleção do modelo adotado pelo método de dados em painel

Para verificar os modelos estimados, bem como as características dos dados coletados, a pesquisa realizou alguns testes aplicados ao método de dados em painel e, posteriormente, foi selecionado o modelo mais apropriado para aferir os efeitos da instabilidade climática no valor bruto da produção agrícola. Os resultados dos testes estão escritos na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados dos testes aplicados com suas respectivas hipóteses

Teste	Ênfase da análise	Hipóteses	P-valor
Chow (Teste F)	Verifica entre o modelo <i>Pooled</i> e EF	H ₀ : Modelo <i>pooled</i> H ₁ : Modelo EF	0,000
LM de Breusch-Pagan	<i>Pooled versus</i> EA	H ₀ : Modelo <i>pooled</i> é preferível; H ₁ : Modelo EA é preferível.	0,000
Hausman	Verifica entre o modelo de EF e EA	H ₀ : Modelo EA H ₁ : Modelo EF	0,000
Wooldridge	Efeitos individuais não observados	H ₀ : Ausência de correlação entre os erros do mesmo grupo; H ₁ : Existem efeitos não observados.	0,001
Pesaran LM	Identificar correlação contemporânea entre os indivíduos	H ₀ : Independência dos <i>cross-section</i> H ₁ : Correlação contemporânea	0,000
Wald	Identificar presença de Heterocedasticidade em EF	H ₀ : Homocedasticidade H ₁ : Heterocedasticidade	0,000
Wooldridge/ Breusch- Godfrey	Verificar a correlação serial em EF	H ₀ : Não existe correlação serial H ₁ : Existe correlação serial	0,004

Fonte: Elaboração própria, com base nos resultados da pesquisa (2022).

Os resultados da Tabela 6 apontam que o teste de Chow indicou um p-valor inferior a 0,05, evidenciando que a hipótese nula não foi aceita, ou seja, o modelo de efeitos fixos é

preferível ao modelo *pooled* (com dados empilhados). Quanto ao teste do Multiplicador de Lagrange (LM) de Breusch-Pagan, a hipótese nula não foi aceita, o que corresponde à afirmação de que o mais indicado é o modelo de efeitos aleatórios (EA). Quanto ao teste de Hausman, o p-valor foi inferior a 0,05, caso em que o modelo de efeitos fixos (EF) foi considerado mais adequado quando comparado ao modelo de efeitos aleatórios (EA).

O teste de Wooldridge evidencia que a hipótese nula não foi aceita, indicando que existem efeitos não observados. O teste de Pesaran LM, a seu turno, indica que a hipótese nula aponta correlação entre *cross-sections*. O suporte nos resultados, notou-se que a hipótese nula não foi aceita, de modo que os *cross-sections* são independentes. Quanto ao teste de Wald, não foi acatada a hipótese nula da existência de homocedasticidade, ou seja, incide a heterocedasticidade. De acordo com o teste de Wooldridge/ Breusch-Godfrey, o p-valor foi inferior a 0,05, afirmando-se, por conseguinte, que existe correlação serial (rejeita-se H_0) no modelo de efeitos fixos (EF). Após a identificação da heterocedasticidade e correlação serial, necessitou-se de realizar correções nos modelos para ajustar os problemas citados. Para tanto, Hoechle (2007) sugere a utilização do estimador de Driscoll-Kraay para a correção das regressões, tornando o modelo com erro-padrão robusto, como apontam os resultados na Tabela 7.

4.3.3 Efeitos da instabilidade climática sobre o valor bruto da produção agrícola

Para mensurar os efeitos da instabilidade climática sobre o valor bruto da produção agrícola (VBP), foi elaborado um painel de dados com todas as Unidades da Federação do Brasil, considerando o período de análise de 1990 a 2020. Desse modo, os coeficientes foram estimados com procedência nas variáveis agroclimáticas, com vistas a captar os efeitos desses condicionantes sobre o VBP. Esta pesquisa contribui para a discussão da problemática relacionada a clima e agricultura, ao inserir elementos norteadores que tornam o modelo econométrico, aqui adotado, como uma aproximação da realidade, uma vez que os efeitos da incidência dos fenômenos *El Niño* e *La Niña*, a diferenciação com base nos estados que possuem municípios na região do Semiárido, bem como a fertilização com CO₂, mostram-se como inovadores ao contexto das mudanças climáticas na agricultura.

O recorte temporal perfilhado para a elaboração do modelo-base compreende um período de 31 anos, de 1990 e 2020, obedecendo, assim, o padrão mínimo de 30 anos estabelecido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) quando se trata de análises sobre mudanças climáticas. Esse período de três décadas, conhecido como normal

climatológico, é utilizado como referência no cálculo da média de variáveis climáticas. Desse modo, o efeito relacionado às mudanças climáticas é constatado quando há alterações significativas nos valores médios das variáveis entre as normais climatológicas. As mudanças de temperatura e precipitação foram utilizadas como *proxy* para as mudanças climáticas no modelo. As estimações foram realizadas sobre a produtividade agrícola, mensurada pela razão entre o valor bruto da produção agrícola e a área colhida (VBP/ha).

Após o tratamento dos dados e as estimações dos modelos aplicados ao método de dados em painel, foram realizados os testes necessários ao prosseguimento das análises, expressos na seção anterior. *Ex postis*, com suporte nesses resultados, interpretou-se o modelo que melhor transmite o efeito na variável resposta proposto inicialmente por esta pesquisa. O padrão escolhido após a realização dos testes foi o de efeitos fixos (EF), no formato funcional *translog*, que, por sua vez, representa um diferencial relativo à inserção das variáveis *dummies* atuando sobre as demais variáveis inclusas no modelo, partindo-se da premissa de que as elasticidades não são fixas. Esse resultado corrobora a literatura (CHEN; CHEN; XU, 2016; HUANG; KHANNA, 2010; OCHIENG; KIRIMI; MATHENGE, 2016).

A Tabela 7 representa as estimativas realizadas para os três modelos aqui definidos como: *pooled* (MQO com dados empilhados), efeitos aleatórios (EA) e efeitos fixos (EF). Com elas, apontam-se seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) ajustados, os quais implicam afirmar que as variáveis selecionadas possuem um grau de explicação em torno de 53,3% (*pooled*), 18,4% (EA) e 19,3% (EF). Em análise aos impactos dos cenários climáticos na agricultura da China, Mendelsohn (2014) encontrou o valor do R^2 ajustado em torno de 21%, bem como os que foram estimados por Ochieng Kirimi e Mathenge (2016), para aferir o efeito das mudanças climáticas nas receitas das culturas (agregadas), milho e chá no Quênia, separadamente, usando um estimador de efeitos fixos, com o grau de explicação das variáveis selecionadas em 22,8%, 33,1% e 12,8%, respectivamente. Isso significa que os resultados expostos nesta pesquisa estão dentro do padrão aceitável do R^2 ajustado encontrado na literatura.

Para a correção dos problemas relacionados a heterocedasticidade, autocorrelação e correlação serial, foram necessárias novas estimativas com o erro-padrão robusto de Driscoll-Kraay. Por essa razão, os resultados da Tabela 7 indicam os três modelos ajustados, corrigidos com esteio nos testes contidos na Tabela 6, respeitando as orientações divulgadas na literatura da área.

A interpretação dos resultados da Tabela 7 requer o entendimento de que, para cada variável, o efeito foi mensurado considerando a atuação das quatro *dummies* separadamente,

que, no caso, correspondem a: irrigação (D_1), Semiárido (D_2), *El Niño* (D_3) e *La Niña* (D_4). Nesse contexto, as elasticidades atuam sobre as variáveis na modalidade funcional *translog*.

Os resultados desta pesquisa indicam que o efeito da irrigação, juntamente com o avanço da área colhida, proporciona melhores níveis de produtividades das culturas agrícolas e, conseqüentemente, maior probabilidade de adquirir uma renda favorável pelos agricultores, traduzida pelo VBP. A irrigação é caracterizada como uma prática que melhora a capacidade adaptativa às mudanças climáticas na agricultura, já que ela ameniza a dependência exclusiva pela precipitação pluviométrica, porém nem todos os agricultores possuem condições financeiras para esse tipo de investimento na propriedade. No caso dos estados que detêm municípios pertencentes às regiões com instabilidades climáticas e riscos de secas prolongadas, como no Semiárido, naturalmente, eles tendem a passar por choques climáticos intensos, uma vez que a vulnerabilidade da agricultura torna-se a porta de entrada para os danos causados pelos eventos extremos. A relevância deste estudo se mantém, porquanto os resultados indicam a magnitude de ganho em VBP/ha necessário para compensar os efeitos das mudanças climáticas.

Tabela 7 - Resultados dos modelos robustos de Driscoll-Kraay: *pooled*, efeitos aleatórios (EA) e efeitos fixos (EF) para o painel de dados das Unidades Federativas (UF) do Brasil

Variáveis explicativas	Variável dependente: ln(valor bruto da produção agrícola por hectare)								
	Modelos								
	<i>Pooled</i>	Erro-padrão	P-valor	EA	Erro-padrão	P-valor	EF	Erro-padrão	P-valor
D1: ln(precipitação pluviométrica)	0,181	0,260	0,487 ^{NS}	0,166	0,294	0,571 ^{NS}	0,307	0,273	0,261 ^{NS}
D2: ln(precipitação pluviométrica)	-0,678	0,127	0,000 ^{***}	-0,115	0,127	0,365 ^{NS}	-0,153	0,158	0,332 ^{NS}
D3: ln(precipitação pluviométrica)	-0,119	0,044	0,008 ^{***}	-0,071	0,058	0,221 ^{NS}	-0,011	0,058	0,844 ^{NS}
D4: ln(precipitação pluviométrica)	-0,042	0,082	0,612 ^{NS}	0,040	0,079	0,611 ^{NS}	0,079	0,071	0,026 ^{**}
D1: ln(temperatura)	-2,329	1,389	0,094 ^{NS}	-3,188	1,026	0,002 ^{***}	-1,816	0,832	0,029 ^{**}
D2: ln(temperatura)	-8,461	1,132	0,000 ^{***}	-2,009	1,482	0,176 ^{NS}	0,798	1,788	0,656 ^{NS}
D3: ln(temperatura)	-0,403	0,369	0,274 ^{NS}	-0,324	0,235	0,169 ^{NS}	-0,219	0,204	0,285 ^{NS}
D4: ln(temperatura)	-0,608	0,323	0,060 ^{NS}	-0,177	0,295	0,549 ^{NS}	-0,042	0,252	0,869 ^{NS}
D1: ln(área com cicatrizes de fogo)	0,000	0,033	0,995 ^{NS}	0,024	0,039	0,540 ^{NS}	0,007	0,038	0,858 ^{NS}
D2: ln(área com cicatrizes de fogo)	0,079	0,019	0,000 ^{***}	0,071	0,025	0,005 ^{***}	0,003	0,022	0,886 ^{NS}
D3: ln(área com cicatrizes de fogo)	0,006	0,015	0,688 ^{NS}	0,002	0,012	0,843 ^{NS}	-0,002	0,011	0,880 ^{NS}
D4: ln(área com cicatrizes de fogo)	0,029	0,016	0,076 [*]	0,004	0,013	0,738 ^{NS}	-0,003	0,011	0,763 ^{NS}
D1: ln(fertilização com CO₂)	0,070	0,034	0,039 ^{**}	0,126	0,030	0,000 ^{***}	0,129	0,031	0,000 ^{***}
D2: ln(fertilização com CO₂)	0,092	0,040	0,023 ^{**}	0,058	0,045	0,194 ^{NS}	-0,003	0,032	0,936 ^{NS}
D3: ln(fertilização com CO₂)	-0,012	0,022	0,568 ^{NS}	-0,002	0,018	0,910 ^{NS}	0,006	0,017	0,711 ^{NS}
D4: ln(fertilização com CO₂)	-0,015	0,017	0,369 ^{NS}	0,001	0,016	0,956 ^{NS}	0,012	0,015	0,417 ^{NS}
Intercepto	-9,116	3,591	0,011 ^{**}	-8,741	2,915	0,003 ^{***}	-	-	-
R ² ajustado	0,533			0,184			0,193		
Teste F	41,035 ^{***}			-			10,297 ^{***}		
Teste Qui-Quadrado (χ^2)	-			170,768 ^{***}			-		
Observações	837			837			837		

Fonte: Elaboração própria, com base nos resultados da pesquisa, incluindo, também, os dados da PAM (IBGE, 2021), MapBiomass (2022), SEEG (OC, 2022) e INPE (2022).

Nota: (***) significativo a 1%; (**) significativo a 5%; (*) significativo a 10%; e (^{NS}) não significativo.

Sabe-se que a atuação do *El Niño* provoca redução da precipitação pluviométrica e alteração na temperatura. Um dos efeitos da *La Niña* é aumentar a pluviometria. Com elevadas temperaturas e escassez hídrica, tendem a provocar a maior incidência de pragas e doenças e, conseqüentemente, redução na produtividade que, por efeito cascata, tornará o valor bruto da produção agrícola menor do que o esperado.

A literatura retrata o efeito dos eventos *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) na agricultura. A abordagem de Fattori Jr., Sentelhas e Marin (2022) refere-se à avaliação desses eventos na severidade da doença chamada **ferrugem asiática da soja (ASR)** e, conseqüentemente, na produtividade da soja no Brasil. Os autores concluíram que, na megaregião Sul, o *El Niño* incidiu maiores impactos sobre doenças do que *La Niña* e eventos neutros. Em outra mão, os eventos *La Niña* promoveram mais doenças e reduziram a produtividade da soja na região Norte, enquanto na megaregião Central não houve evidência de impactos dos ENOS na severidade da ASR e na produtividade da soja. Essa redução causada por eventos *La Niña* corrobora a discussão desenvolvida nesta pesquisa.

Quanto à precipitação pluviométrica, apenas o modelo de efeitos aleatórios (EA) não apontou coeficientes significativos para as quatro *dummies* adicionadas (D_1 , D_2 , D_3 e D_4). Já o modelo *pooled* indicou que o aumento de 1% na precipitação pluviométrica em estados que pertencem ao Semiárido e em anos que incidem os eventos *El Niño*, provocam, em média, uma queda de 0,68% e 0,12% no valor bruto da produção agrícola, por hectare (VBP/ha), respectivamente. Quanto ao modelo de efeitos fixos (EF), selecionado com suporte nos testes da Tabela 6, apontou que o aumento de 1% na pluviometria em anos de ocorrência de eventos *La Niña* tende a causar a elevação de 0,08% no indicador de produtividade agrícola (VBP/ha) nos estados brasileiros.

Esta variável representa alçada importância na agricultura, sobretudo, para os agricultores familiares que cultivam em sistema de sequeiro, os quais aguardam apenas a atuação da natureza para as lavouras serem irrigadas. Outro ponto a ser citado é que, para a manutenção dos sistemas irrigados, necessita-se de precipitação pluviométrica para que os recursos hídricos sejam disponibilizados para a canalização em áreas de produção agrícola. Cabe mencionar que, em razão de a análise ser agregada em nível de estado, considerando todas as categorias dos sistemas de produção (irrigada e sequeiro), o valor médio de determinado estado é capaz de operar divergência, de modo considerável, com os dos municípios que possuem condições desfavoráveis na pluviometria; talvez o VBP/ha seja mais impactado pela oscilação das chuvas nas atividades agrícolas, como nos estados do Nordeste, por exemplo, que

passam boa parte do ano, em torno de oito meses, sem incidência de chuvas, e assim muitos agricultores dependem exclusivamente desse fenômeno para manutenção de suas lavouras.

No Brasil, nos últimos anos, os períodos de estiagens prolongadas não foram isolados apenas para os estados do Nordeste, como historicamente acontece, pois essa circunstância acomete outros estados de regiões que antes não tinham esse problema, como no Sul e Sudeste. O setor agrícola, de um modo geral, necessita implantar estratégias que promovam a capacidade adaptativa aos eventos extremos causados pelas alterações climáticas.

No que tange ao efeito da temperatura média no modelo de EF, o aumento de 1% tende a causar, em média, uma redução de 1,82% no VBP/ha, mesmo quando essa mudança incide em áreas que possuem sistemas de irrigação, prática classificada como adaptativa às mudanças climáticas. Esse influxo negativo é capaz de ser maior, ao se considerar o modelo de efeitos aleatórios (EA), com uma redução de 3,19% no VBP/ha. O aumento de 1% na temperatura em estados que possuem municípios inseridos na região do Semiárido tende a expor uma redução de 8,46% no VBP/ha, ao admitir o modelo *pooled*, que não considera a heterogeneidade entre os estados. Essa lógica apontada pelo modelo EF corrobora o resultado encontrado por Tanure (2020), porém com uma queda em torno de 3,08% na produtividade agrícola do Brasil, provocado pelo efeito da elevação da temperatura.

A influência das mudanças climáticas na agricultura, mensurada por meio de modelo econométrico, dependendo da região e considerando aspectos inerentes às condições edafoclimáticas, expressam resultados distintos. Um exemplo está nas regiões de clima temperado, passíveis de ser beneficiadas com a elevação da temperatura, porém as regiões tropicais, subtropicais e/ou de clima Semiárido, como em alguns estados brasileiros, possivelmente, tendem a suportar mais intensamente os choques climáticos que provocam escassez de chuva e elevação da temperatura, afetando diretamente a produtividade das lavouras e a continuidade das atividades agrícolas.

No Brasil, os estados da região Sul possuem condições de temperatura totalmente distintas das encontradas no Nordeste. *Exempli gratia*, enquanto a primeira possui as quatro estações bem definidas, caracterizadas pelas baixas temperaturas em boa parte do ano, a segunda representa uma parte do País que possui elevada temperatura o ano inteiro. Contrariamente ao ciclo encontrado nos estados do Sul, as plantas sofrem com a evapotranspiração excessiva em decorrência das altas temperaturas. Essas características implicam assinalar que o aumento desse fator ocasiona efeitos com intensidades distintas, dependendo da região.

Nesse aspecto, Ortiz-Bohea (2019) ao mensurar o impacto das mudanças climáticas na agricultura dos Estados Unidos, com amparo no modelo ricardiano, constatou que o aumento da temperatura causou uma redução no valor da terra com cultivos e com pastagens, em torno de 21% e 17,9%, respectivamente. Tanure (2020), quando aferiu o efeito das mudanças climáticas na produtividade agrícola, considerando variáveis climáticas e geográficas, estimou que o aumento da temperatura impacta de maneira negativa essa razão entre o valor da produção agrícola e a área colhida. Efeitos negativos advindos da elevação da temperatura na agricultura são encontrados nas diversas abordagens da literatura relacionada às alterações climáticas. A título de exemplos, têm-se: os impactos nas receitas agrícolas do Quênia (OCHIENG; KIRIMI; MATHENGE, 2016), nas receitas agrícolas dos países da Ásia (MENDELSON, 2014), no valor da terra dos Estados Unidos (ORTIZ-BOBEA, 2019), na produtividade agrícola do Brasil (FATTORI JR.; SENTELHAS; MARIN, 2022; TANURE, 2020) entre outros. Desse modo, os resultados desta pesquisa corroboram a literatura.

Kumar, Sharma e Joshi (2016) verificaram o impacto dos fatores climáticos na produtividade da terra (em termos monetários) na Índia, mostrando que a temperatura anual média teve um efeito negativo, porém o efeito positivo das chuvas não compensa a perda de produtividade da terra, em razão do aumento nas temperaturas máxima e mínima. Diferentemente dos resultados encontrados no experimento agora relatado, especificamente para os efeitos da precipitação pluviométrica e da temperatura, Bozzola *et al.* (2018), ao examinarem os impactos na agricultura da Itália, concluíram que as temperaturas anuais mais altas são prejudiciais para as terras irrigadas, mas benéficas para as terras de sequeiro. As receitas líquidas das fazendas são muito sensíveis às mudanças sazonais de temperatura e precipitação, haja vista o fato de que as fazendas de criação de gado e de cultivos têm respostas diferentes ao clima.

Dando continuidade à interpretação dos resultados da Tabela 7, menciona-se que o efeito de um aumento de 1% da área com cicatrizes de fogo nos estados que possuem municípios inseridos no Semiárido causou, em média, uma elevação de 0,08% e 0,07% no VBP/ha, respectivamente. Esses resultados são destacados nos modelos *pooled* e EA, entretanto, para o modelo de efeitos fixos (EF), os coeficientes não foram estatisticamente significantes, não se mostrando adequados para interpretação. De modo geral, a mudança do uso da terra ocorre inicialmente com o desmatamento das áreas com vegetação nativa, e, após essa etapa, é comumente realizada a limpeza com o uso do fogo, e só então a área fica liberada para implantação dos cultivos de lavouras agrícolas, implantação de pastagens e/ou criação de animais.

A identificação dos efeitos considerando as áreas com cicatrizes de fogo são relevantes para o entendimento da mudança do uso da terra nos estados brasileiros, para que haja a implantação de estratégias mitigadoras e adaptativas. A obtenção de informações sobre a dinâmica das mudanças na cobertura da terra é uma etapa valiosa para melhorar as ações práticas de conservação.

No que tange ao crescimento de 1% na fertilização com CO₂, nos estados que possuem sistema de irrigação, este provocou uma elevação de 0,13% no VBP/ha, referente ao modelo de efeitos fixos (EF). Já nos modelos *pooled* e EA, os resultados apontaram que o aumento de 1% da fertilização com CO₂ causou uma elevação de 0,07% e 0,13% no VBP/ha, respectivamente. Quando o aumento da fertilização com CO₂ ocorre em estados que possuem municípios no Semiárido, este causou, em média, o aumento de 0,09% no VBP/ha, no modelo *pooled*. A fertilização com CO₂ transfere dois tipos de efeitos, benéfico e/ou maléfico, à produção agrícola e, conseqüentemente, ao VBP/ha, indicador de produtividade, tudo dependendo do grau de concentração e da maneira como este indicador é despejado na natureza. Esses resultados devem ser interpretados com parcimônia, pois o grande questionamento embasa-se no limite de CO₂, benéfico às plantas, ou sobre o nível que reverte para a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global.

Acima de qualquer resultado estimado pelo modelo econométrico, deve-se esclarecer sobre a fertilização com CO₂. Torna-se relevante o pesquisador compreender os fatores que afetam a assimilação do carbono pelas plantas, etapa do ciclo de Calvin, substancial ao processo de fotossíntese³⁷. Os fatores ambientais diretos, como luz, concentrações de CO₂ do ambiente e temperatura, ou, indiretamente, como a umidade do ar e umidade do solo, são indispensáveis nesse processo. Com esse entendimento, implica afirmar que o crescimento de uma cultura está associado ao balanço entre os ganhos inerentes à fotossíntese e às perdas com respiração (GUARDA; CAMPOS, 2014; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Nessa discussão, faz sentido mencionar os apontamentos do trabalho de Peñuelas *et al.* (2017), os quais afirmam que os efeitos da fertilização com dióxido de carbono (CO₂) e seu sequestro no ecossistema conduz à redução, no futuro, devido às restrições emergentes de nutrientes, mudanças climáticas reduzindo o efeito da fertilização, expansão da mudança no uso da terra e seu manejo. Também, as altas temperaturas recordes e secas estão levando a

³⁷ Processo físico-químico, pelo qual a planta sintetiza compostos orgânicos, com base em água e gás carbônico sob luz. Ocorre nos cloroplastos e resulta na liberação de oxigênio molecular e na captura de dióxido de carbono da atmosfera, que é utilizado para sintetizar carboidratos (TAIZ; ZEIGER, 2009).

influências negativas nos sumidouros de carbono. Para os autores, em comparação ao período histórico, os impactos do futuro aquecimento e da seca, provavelmente, serão maiores do que os benefícios obtidos com os efeitos da fertilização com CO₂, em consequência das restrições climáticas e de nutrientes, bem como do intenso manejo da terra, que reduzem os estoques de carbono e, bem como a capacidade de sequestro dos ecossistemas terrestres.

Em países que possuem climas tropical e subtropical, como no caso do Brasil, que tem temperaturas elevadas durante o ano todo, principalmente os estados da região Nordeste que possuem essa característica, provavelmente, o efeito dessa fertilização com CO₂ será comprometido. O ponto fundamental é entender o nível de mitigação climática necessária para alcançar as metas de temperatura definidas globalmente. As regiões que possuem maior intensidade na agricultura emitem mais gases do efeito estufa (GEE), dentre eles o CO₂, como os estados do Centro-Oeste, Sul e Sudeste. Além desses, os do Norte possuem elevadas emissões motivadas pelo desmatamento para a mudança do uso solo. Essas condições implicam afirmar que, por mais que essa fertilização tenha mostrado efeito positivo no VBP/ha, ela, provavelmente, em um cenário futuro, não será capaz de neutralizar os influxos negativos do excesso de emissões de GEE na agricultura.

Com amparo nos princípios agronômicos relacionados ao desenvolvimento das plantas, um dos pontos cruciais é, justamente, ter a disponibilidade de CO₂ para concluir o ciclo de Calvin, no processo de fotossíntese das plantas, sob o qual a planta absorve o CO₂ e libera oxigênio (O₂), porém, se essa quantidade for exarcebada, as plantas não conseguirão absorver, causando, assim, o acúmulo na atmosfera, o que torna prejudicial ao ecossistema. As plantas do tipo C₃³⁸ (arroz, trigo, soja e todas as árvores) usam o processo convencional de fixação de CO₂, enquanto aquelas que economizam o processo de fotorrespiração se classificam como C₄³⁹ (cana-de-açúcar e o milho) e CAM⁴⁰ (cactos e abacaxis). Essa classificação expressa que, para cada região, o ideal é praticar o cultivo de espécies vegetais que se adaptem às condições climáticas vigentes, pois isso facilita a manutenção dos cultivos, bem como a redução das perdas das lavouras em épocas com eventos climáticos extremos.

Em suma, os resultados desta pesquisa implicam afirmar que a agricultura brasileira deverá implantar estratégias que contemplem as peculiaridades regionais para que os efeitos da

³⁸ Plantas que executam o ciclo de Calvin para a assimilação de carbono (C) – rubisco incorpora CO₂ em uma molécula de ribulose-1,5-bifosfato (5C) gerando duas moléculas de 3-fosfoglicerato (3C).

³⁹ Plantas com uma prévia fixação de CO₂ em um composto com 4C (fosfoenolpiruvato) crescem com alta intensidade de luz e temperatura.

⁴⁰ Esse tipo de planta possui uma prévia fixação de CO₂ em um composto com 4C (Malato) e utilização dele em tempo diferente, característica de plantas que crescem em ambientes com pouca água.

instabilidade climática não interferiram nos condicionantes relacionados à produtividade agrícola, transcorrendo, assim, para o valor bruto da produção agrícola, por hectare. A ideia é promover melhores técnicas de produção que priorizem a agricultura de baixa emissão de carbono, como propõe o Plano ABC, porém este plano ainda não se tornou uma realidade para todos os estados brasileiros, uma vez que, passada sua primeira fase (2010-2020), os estados mais contemplados por esta linha de crédito rural foram justamente os que pertencem às regiões com a agricultura mais intensiva, deixando em segundo plano as regiões Norte e Nordeste.

Apenas elaborar políticas públicas para os problemas climáticos na agricultura não é suficiente para sanar os problemas recorrentes. É necessário acompanhar os agricultores, instruindo o conhecimento, para que haja a transição para uma agricultura de base sustentável, sobretudo que seja rentável para os produtores rurais. Considere-se que o Brasil é dotado de imensidão territorial, de sorte que não adianta agrupar agricultores de portes diferentes, seja na capacidade técnica ou financeira, e lançar políticas climáticas que sugiram soluções como se o País fosse homogêneo, ante os seus diversos aspectos.

A expansão e a intensificação agrícola nas Unidades Federativas do Brasil tendem a se aproximar de um limite climático que resulte na produção de sequeiro. Mesmo em áreas irrigadas, o aquecimento e a incidência de secas prolongadas prejudicam, inclusive, áreas agrícolas consideradas mais produtivas. Essa conjunção de problemas não envolve apenas o conhecimento dos reais impactos à instabilidade climática na agricultura, mas, também, faz um alerta para o papel do agricultor nesse sistema em constante mudança, pois nem todos os agricultores terão estratégias suficientes para acompanhar as alterações climáticas e suas demandas por uma maior capacidade adaptativa e mitigadora no campo.

4.4 Resultados da abordagem *Climate Smart Agriculture (CSA)* nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil

Esta subseção é destinada aos resultados do terceiro objetivo específico da pesquisa, - a análise sob abordagem CSA nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, localizados na região Nordeste do Brasil, de acordo com os seus três pilares estabelecidos pela FAO. O estudo foi dividido em três etapas para melhor compreensão dos procedimentos metodológicos utilizados para o alcance dos resultados, consoante sobra expresso nas seguintes subseções.

4.4.1 Resultados do pilar I da abordagem CSA: análise da sustentabilidade da produtividade e da renda das culturas agrícolas selecionadas

A mensuração do pilar I da abordagem CSA corresponde a hipótese determinada para esta dimensão, na qual se testou que: $H_{Pilar\ I}$: A produtividade e a renda dos produtores das lavouras de feijão, mandioca e milho não conseguem obter a sustentabilidade desses indicadores ao longo dos anos, dada a instabilidade pluviométrica temporal e espacial nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, localizados na região Nordeste. Com apoio nesta suposição, este pilar foi mensurado por meio de procedimentos econométricos, os quais serão descritos ao largo desta etapa metodológica.

4.4.1.1 Critérios delimitadores dos períodos de chuvas nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte

Estipulam-se, de logo, por ser necessário, as classes que caracterizam o padrão da precipitação pluviométrica de cada estado analisado, pois a proposta aqui explicitada permeia a análise de seus pilares mediante a interferência da instabilidade climática, principalmente pela incidência da irregularidade da precipitação pluviométrica em sistemas de sequeiro, característica comumente encontrada nos estados da região Nordeste.

A classificação adotada aqui configura-se com amparo no conceito de seca meteorológica, uma das categorias definidas na literatura (WILHITE; GLANTZ, 1985). Entende-se que as características definidoras da seca incluem intensidade, duração, extensão espacial e temporal. De modo geral, a intensidade refere-se à magnitude do déficit de precipitação e à rapidez com que ela se desenvolve. Historicamente, observa-se que cada seca é singular, mas as características comuns das secas mais severas incluem longa duração e grandes défices de umidade com grande extensão de área, particularmente durante uma estação climatológica úmida.

Acerca dessa classificação, a literatura em si não exprime com clareza os parâmetros que definem os períodos serem categorizados como secos, normais e/ou chuvosos. Apesar de haver as definições de secas, não há um consenso sobre que critérios são passíveis para a categorização da precipitação pluviométrica condizente com os grupos citados, razão pela qual esta pesquisa adotou as classes definidas por Lemos e Bezerra (2019). Dadas as considerações, a Tabela 8 e 9 contêm os parâmetros e a classificação das chuvas, respectivamente, para os estados em análise.

Tabela 8 – Parâmetros comparativos para delimitação dos períodos de chuva (1901-2020)

UF	Média (mm)	Desvio padrão	Períodos		
			Seco	Normal	Chuvoso
BA	876,46	169,99	Chuva < 791,47	$791,47 \leq \text{Chuva} \leq 961,46$	Chuva > 961,46
PE	998,49	208,28	Chuva < 894,35	$894,35 \leq \text{Chuva} \leq 1102,64$	Chuva > 1102,64
RN	788,16	242,76	Chuva < 666,78	$666,78 \leq \text{Chuva} \leq 909,54$	Chuva > 909,54

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados da NOAA (2022).

A Tabela 8 aponta que, dentre os três estados analisados, o Rio Grande do Norte se mostrou como o que possui o menor limite de precipitação (666,78mm) para ser classificado como um período seco e, conseqüentemente, as demais categorias. Já o Pernambuco obteve o maior patamar para o período seco (<894,35mm), valor puxado por sua precipitação média. Em posição intermediária ficou a Bahia, que historiou o período seco com limite abaixo de 791,47mm.

Tabela 9 – Classificação dos períodos de chuva, de acordo com o padrão de cada estado selecionado (1901-2020 e 1945-2020)

UF	Períodos	Ocorrência de 1901 a 2020				Ocorrência de 1945 a 2020			
		Frequência	Frequência	Média	CV	Frequência	Frequência	Média	CV
		absoluta	relativa (%)	(mm)	(%)	absoluta	relativa (%)	(mm)	(%)
BA	Seco	41	34,17	697,01	11,17	31	40,79	694,08	11,57
	Normal	46	38,33	889,06	5,67	26	34,21	873,01	5,76
	Chuvoso	33	27,50	1081,86	9,83	19	25,00	1114,39	10,03
PE	Seco	35	29,17	777,13	12,20	21	27,63	767,31	13,95
	Normal	54	45,00	983,45	5,78	35	46,05	980,35	5,99
	Chuvoso	31	25,83	1274,62	11,05	20	26,32	1295,00	11,45
RN	Seco	34	28,33	535,90	18,97	21	27,63	540,03	19,38
	Normal	54	45,00	764,57	8,90	33	43,42	765,95	8,48
	Chuvoso	32	26,67	1096,00	17,95	22	28,95	1108,12	19,71

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados da NOAA (2022).

Para verificar se as médias dos períodos de chuva classificados estão estatisticamente diferentes, elas foram aferidas por meio de uma regressão simples com auxílio de variáveis *dummies*. Evidencia-se que, para os três estados, o valor médio de cada período se mostrou estatisticamente diferente, ao nível de significância de 1%, revelando os coeficientes R^2 ajustados elevados para a Bahia (80,7%), Pernambuco (78,5%) e Rio Grande do Norte (75,2%), indicando boa adequação do modelo utilizado.

Tabela 10 – Resultados do teste de comparação de médias entre as três classificações pluviométricas anuais observadas nos estados selecionados

UF	Período de 1945 a 2020				
	Variável	Coefficientes	T	Sig.	R ² ajustado
BA	Constante	694,076	47,579	0,000	0,807
	D ₁	178,931	8,284	0,000	
	D ₂	420,317	17,761	0,000	
PE	Constante	767,315	34,364	0,000	0,785
	D ₁	213,031	7,542	0,000	
	D ₂	527,687	16,505	0,000	
RN	Constante	540,033	18,158	0,000	0,716
	D ₁	225,914	5,938	0,000	
	D ₂	568,091	13,663	0,000	

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados da NOAA (2022).

O período seco no Estado da Bahia ocorreu em 31 dos 76 anos da série (40,79%). Na fase normal, a incidência ficou em torno de 26 anos (34,21%) e o período chuvoso com apenas 19 anos (25%), significando afirmar que essa região denota períodos de seca com maior frequência durante os anos estudados. Constatou-se, ainda, que as maiores instabilidades pluviométricas, aferidas pelos CV, aconteceram nos períodos seco e chuvoso, 11,57% e 10,03%, respectivamente.

No Estado de Pernambuco, o período seco ocorreu em 21 dos 76 anos da série (27,63%), e, na fase normal, o nível de incidência foi de 35 anos (46,05%), ao passo que o período chuvoso atingiu o patamar de 20 anos (26,32%). A maior frequência está no período de precipitação normal, pois os níveis com maiores instabilidades mensuradas pelo CV apontaram para o período seco (13,95%) e chuvoso (11,45%).

De maneira similar a Pernambuco, foram os resultados do Rio Grande do Norte, onde a maior incidência foi obtida para o período normal (33 anos, corresponde a 43,42%), seguido dos períodos chuvosos, com um total de 22 anos (28,95%), e o seco, com 21 anos (27,63%). A maior instabilidade foi encontrada no período chuvoso (CV=19,71%), seguido do seco (CV=19,38%) e normal (CV=8,48%).

Ao se fazer referência aos estudos relacionados às variáveis climáticas, é relevante citar os eventos *El Niño* e *La Niña*, os quais fazem parte de um mesmo fenômeno atmosférico-oceânico que ocorre no oceano Pacífico Equatorial (e na atmosfera adjacente), denominado de *El Niño* Oscilação Sul (ENOS). O ENOS refere-se às situações nas quais o oceano Pacífico Equatorial está mais quente (*El Niño*) ou mais frio (*La Niña*) do que a média histórica. A

mudança na temperatura do oceano Pacífico Equatorial acarreta efeitos globais na temperatura e precipitação (INPE, 2022). Com efeito, esses fenômenos interferem no posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que, a seu turno, influencia na distribuição das chuvas sobre o Nordeste. A incidência da *La Niña* é associada a uma precipitação maior e o *El Niño* à ocorrência de chuvas abaixo da média (PEZZI; CAVALCANTI, 2001). Em vista disso, Menezes *et al.* (2008) encontraram maior incidência de veranicos nas microrregiões da Paraíba, uma realidade similar quanto à concentração de chuvas, e, conseqüentemente, a ocorrência de períodos de estiagem foi encontrada nos Estados de Pernambuco (NÓBREGA; SANTIAGO, 2014) e do Rio Grande do Norte (CARVALHO, 2020).

Nessa perspectiva, se faz necessário mostrar os anos de ocorrência de *El Niño* e *La Niña*, juntamente com a classificação dos fenômenos em forte, moderada e fraca, conforme o exposto na Tabela 11.

Tabela 11 - Classificação e intensidade dos fenômenos do *El Niño* e da *La Niña*, no período de 1899 a 2018

<i>El Niño</i>				<i>La Niña</i>			
Período	Intensidade	Período	Intensidade	Período	Intensidade	Período	Intensidade
1899-1900	Forte	1963-1964	Fraca	1903-1904	Moderada	1973-1974	Moderada
1902-1903	Forte	1965-1966	Forte	1906-1907	Fraca	1975-1976	Moderada
1904-1905	Moderada	1968-1969	Fraca	1908-1909	Moderada	1988-1989	Moderada
1905-1906	Moderada	1969-1970	Moderada	1909-1910	Forte	1998-1999	Fraca
1911-1912	Moderada	1972-1973	Forte	1910-1911	Fraca	1999-2000	Moderada
1913-1914	Fraca	1976-1977	Moderada	1916-1917	Forte	2007-2008	Moderada
1914-1915	Moderada	1979-1980	Moderada	1917-1918	Moderada	2010-2011	Moderada
1918-1919	Forte	1982-1983	Forte	1924-1925	Moderada	2017-2018	Moderada
1919-1920	Moderada	1986-1987	Moderada	1933-1934	Moderada		
1925-1926	Moderada	1987-1988	Forte	1937-1938	Fraca		
1930-1931	Forte	1991-1992	Forte	1938-1939	Fraca		
1939-1940	Fraca	1992-1993	Fraca	1942-1943	Forte		
1940-1941	Forte	1997-1998	Forte	1949-1950	Forte		
1941-1942	Fraca	2002-2003	Moderada	1954-1955	Fraca		
1951-1952	Moderada	2006-2007	Moderada	1955-1956	Moderada		
1952-1953	Fraca	2009-2010	Moderada	1967-1968	Fraca		
1957-1958	Forte	2015-2016	Forte	1970-1971	Fraca		

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC (INPE, 2022).

Na Tabela 11, observa-se que os períodos classificados com a ocorrência do fenômeno *El Niño* correspondem ao total de 34, sendo 13 desses episódios com intensidade forte, 14 com intensidade moderada e sete com intensidade fraca. No caso da *La Niña*, os períodos atingiram o nível de 25 episódios, com quatro deles de forte intensidade, 13 com intensidade moderada e oito com intensidade fraca. Esses resultados da Tabela 11 corroboram as trajetórias da precipitação pluviométrica e temperatura dos estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, avaliados nesta pesquisa.

É válido afirmar que os períodos em que há atuação do fenômeno *El Niño* correspondem, justamente, àqueles classificados nesta pesquisa como secos e, em direção contrária, quando há incidência do fenômeno *La Niña*, classificam-se dentro dos períodos de precipitação normal ou chuvoso. Então, isso mostra que os parâmetros utilizados aqui para categorizar os períodos de chuvas vão de encontro à incidência do fenômeno atmosférico-oceânico que atinge os estados do Nordeste brasileiro, os quais configuram o *El Niño* e *La Niña*.

4.4.1.2 Primeira etapa do pilar I da CSA: estatísticas descritivas e taxa geométrica de crescimento (TGC)

Nesta etapa, como consequência do contexto, torna-se relevante analisar o comportamento da produtividade e do valor bruto da produção (VBP) das lavouras selecionadas, com enfoque aos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte. Nessa perspectiva, utilizam-se os parâmetros calculados desde as estatísticas descritivas, que, segundo Fávero e Belfiore (2017), concedem ao pesquisador melhor compreensão do desempenho dos dados por meio de tabelas, gráficos e medidas-resumo, identificando tendências, variabilidade e valores atípicos. A Tabela 12 expõe as medidas de posição (tendência central e dispersão), bem como a taxa geométrica de crescimento (TGC) de longo prazo, calculadas para o período de 1945 a 2020.

Tabela 12 – Estatísticas descritivas e TGC das produtividades médias e dos valores brutos das produções (VBP) agregados, por hectare, dos estados selecionados (1945-2020)

(continua)						
UF	Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	TGC (% a.a)
Bahia	Produtividade média (Kg.ha ⁻¹)	3669,37	6510,80	5138,96	630,17	0,50*
	VBP agregado por hectare (R\$.ha ⁻¹)	5483,80	30351,15	12576,98	5075,18	4,80*
Pernambuco	Produtividade média (Kg.ha ⁻¹)	1887,98	4873,20	3683,19	518,38	-0,30*
	VBP agregado por hectare (R\$.ha ⁻¹)	3834,24	19276,50	9744,20	3896,06	-0,70*

Tabela 12 – Estatísticas descritivas e TGC das produtividades médias e dos valores brutos das produções (VBP) agregados, por hectare, dos estados selecionados (1945-2020)

(conclusão)						
UF	Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	TGC (% a.a)
Rio Grande do Norte	Produtividade média (Kg.ha ⁻¹)	392,74	4340,69	2838,77	943,17	12,3*
	VBP agregado por hectare (R\$.ha ⁻¹)	3014,29	26505,46	8161,48	4540,68	2,60*

Fonte: Elaboração própria, com base nos resultados da pesquisa (2022).

Notas: Os valores dos VBP foram deflacionados pelo o Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI), ano-base = 2020 (FGV, 2022). (*) significativo estatisticamente a 5%; (^{NS}) não significativo estatisticamente.

Quanto à evolução dos valores das produtividades médias das lavouras na Bahia (Tabela 12), observou-se que a TGC total de longo prazo (1945-2020) foi de 0,5% ao ano, quando calculadas as TGC em curto prazo, divididas em etapas, a saber: período I (1945-1970) correspondeu a uma TGC de 0,5% a.a; período II (1971-1984) a taxa foi de 0,1% a.a; e no período III (1985-2020) a TGC foi negativa, -0,1% a.a. Isso significa que no longo prazo a produtividade média foi sustentável, com ressalva para o período de 1985 a 2020 que mostrou insustentabilidade neste indicador por 36 anos. Esses resultados foram endossados positivamente pela cultura do milho. Apesar de a cultura da mandioca indicar o maior valor médio da produtividade, ainda assim, obteve a maior redução da TGC quando comparada às demais culturas, considerando o horizonte de 1945 a 2020.

No que se refere ao valor bruto da produção por hectare (VBP/ha), o cenário da TGC no período total (1945-2020) foi em torno de 4,8% a.a, resultante da soma linear das taxas de curto prazo. Para os três períodos selecionados, as TGC foram positivas, em torno de 2,7% a.a (1945-1977), 1,7% a.a (1978-1989) e 0,4% a.a (1990-2020). Ou seja, tanto no curto prazo quanto no longo prazo, os VBP agregados por hectare na Bahia exprimiram taxas de crescimento que apontam sustentabilidade ao extenso dos períodos classificados. Assim como na produtividade média, os resultados do VBP agregado por hectare tiveram interferência positiva para a cultura do milho, enquanto o feijão e a mandioca obtiveram resultados negativos e não significativos nas TGC individuais, respectivamente.

Tanto a produtividade quanto o VBP das lavouras de feijão, mandioca e milho demonstraram um comportamento oscilatório ao longo dos anos, com picos de queda e elevação nesses indicadores. Quanto às culturas do milho e do feijão, no final dos anos de 1980, a produtividade, apesar de revelar picos de queda, permanece com a tendência de crescimento, diferentemente da mandioca, que perdeu produtividade nos últimos anos. Comportamentos similares são encontrados para os VBP das lavouras citadas.

Para o Estado de Pernambuco, a TGC calculada pela divisão dos períodos I (1945-1972); II (1971-2005 e III (2006-2020), exibiu estimativas não significativas estatisticamente. Já para o VBP agregado por hectare, os períodos classificados foram: I (1945-1973); II (1974-2003); e III (2004-2020). Desses, apenas o período III foi significativo estatisticamente, com uma TGC de -1,1% a.a. Em razão de os resultados encontrados para as TGC de curto prazo não terem sido significativos, a TGC de longo prazo foi mensurada pelo procedimento convencional, considerando o período total. As TGC da produtividade média e do VBP agregado por hectare foram de -0,30% a.a e -0,70% a.a, respectivamente. Esses resultados implicam mencionar que não houve sustentabilidade desses indicadores no período de 1945 a 2020. São inúmeros os fatores condicionantes que interferem nestes resultados, a começar pela produção em sistema de sequeiro, que fica totalmente vulnerável às condições climáticas naturais, dependendo da ocorrência de chuvas e temperaturas adequadas em cada ciclo das culturas. Ademais, a baixa tecnologia implantada nesses sistemas colabora para os baixos índices produtivos quando comparados a outras regiões.

A produtividade média das lavouras do Rio Grande do Norte denotou uma TGC de longo prazo em torno de 12,3% a.a. Os resultados para o curto prazo foram mensurados em: período I (1945-1958) com a TGC de 7,0% a.a; período II (1959-1993) exibiu a TGC de 3,2% a.a; e o período III obteve a TGC de 2,1% a.a. Para todos os períodos analisados, as TGC foram positivas, implicando afirmar que a produtividade das lavouras se manteve sustentável tanto no curto quanto no longo prazo, ou seja, os agricultores conseguiram manter o nível razoável da produção diante da área cultivada no Estado, com destaque para o período de 1945 a 1958. Quando analisado o comportamento das lavouras individualmente, divisa-se o fato de que as culturas do milho e do feijão não expressaram TGC significativas estatisticamente, no longo prazo, porém a cultura da mandioca obteve um saldo positivo, sendo uma das mais elevadas entre os estados analisados, provavelmente por esta cultura ser mais adaptada à instabilidade da região, diferentemente das demais lavouras analisadas.

No que concerne ao VBP por hectare para o Rio Grande do Norte, a TGC agregada exibiu o valor de 2,6% a.a. Já em relação às TGC de curto prazo, dois dos três períodos selecionados foram significativos estatisticamente, pois o período I (1945-1985) exibiu a TGC de 2,2% a.a e o período III (1998-2020) mostrou uma TGC de 0,4% a.a. O período 1986-1997 não foi significativo estatisticamente, implicando afirmar que não é possível apontar que houve sustentabilidade do VBP agregado por hectare; mas, tanto no extenso quanto no curto prazo, houve sustentabilidade da renda dos agricultores que produzem lavouras de feijão, mandioca e milho.

Destaca-se que a lavoura de feijão na região Nordeste é popularmente cultivada pela maioria dos produtores rurais, principalmente por agricultores familiares que executam suas produções em sistema de sequeiro. Na safra 2019/20, segundo a CONAB (2020), a Bahia ocupou o primeiro lugar, com uma produtividade de 1.080kg/ha, seguida de Pernambuco, com 780kg/ha. Cabe ressaltar que a demanda atípica em 2020, impulsionada, em grande parte, pela crise da pandemia da COVID-19, promoveu intensa procura pelo produto, com destaque para a região Nordeste. Desse modo, essa condição contribuiu para a elevação do consumo interno e tornou mais escasso o abastecimento do grão comercial.

O cultivo de mandioca está, em distintas escalas, em todas as regiões brasileiras, entretanto a maior produção se concentra no Norte e Nordeste do País. Nesse âmbito, a região Norte corresponde a 38% da produção nacional, Sul com 24,2%, Nordeste com 17,9%, Sudeste com 11,9% e Centro-Oeste com 7,7% (IBGE, 2021a). O Nordeste já foi a principal região produtora de mandioca, contudo, nos últimos anos, enfrenta períodos recorrentes de secas, fator que afeta significativamente os plantios nos principais estados produtores.

Realidade característica da região Nordeste aponta que os cultivos são explorados por centenas de pequenos produtores e, geralmente, por agricultores familiares. Essas produções são destinadas às casas de farinha e, na maioria das vezes, de pequeno porte, sendo uma elevada parcela do processo industrial realizada manualmente, promovendo o emprego de um grande contingente de mão de obra - diferentemente das regiões Sul e Sudeste, principalmente, nos Estados do Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo. Essas regiões são predominantemente compostas por lavouras cultivadas em grande escala e com relativos avanços na inserção de tecnologias e uso massivo de mecanização agrícola.

Quanto ao cultivo do milho, na safra 2020/21, de acordo com a CONAB (2022) a Bahia deteve a maior produção dessa lavoura no Nordeste, com 2.724,3 toneladas (t), Pernambuco ocupou a sétima posição (141,0 t) e o nono lugar foi ocupado pelo Rio Grande do Norte (27,7 t). Esse ranque demonstra a divergência entre os estados analisados em termos de produção, apesar de pertecerem à mesma região.

Em suma, analisar as lavouras de feijão, mandioca e milho mediante a aferição da TGC proporciona o conhecimento sobre os indicadores no horizonte de longo prazo, tornando possível identificar a sustentabilidade na produtividade média e na renda dos agricultores dos Estados da Bahia e do Rio Grande do Norte, porém o cenário não foi positivo para Pernambuco, com insustentabilidade durante a série estudada.

4.4.1.3 Segunda etapa do pilar I da CSA: resultados encontrados nas estimativas dos modelos ARIMA que embasaram as previsões da produtividade e renda das lavouras

O modelo ARIMA é, de um modo geral, aplicado para dados de séries temporais estacionárias. Para verificar essa condição, aplicou-se o teste de Dickey Fuller Aumentado – ADF (DICKEY; FULLER, 1979, 1989), para aferir a estacionariedade das séries em análise. Conforme a Tabela 13 supracitada, os resultados do teste ADF foram estimados em nível e, posteriormente, foi verificada a necessidade da primeira diferença. Os resultados estimados mostraram que, para as variáveis analisadas, observou-se a não estacionariedade das séries (p -valor > 0,05).

Tabela 13 – Hipóteses e resultados do teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) aplicado aos estados selecionados

UF	Variáveis ^a	Ênfase da análise	Teste Dickey-Fuller Aumentado ⁴¹ (ADF)		
			Hipóteses	Estimativa	P-valor
Bahia	Produtividade média	Raiz unitária	H ₀ : $\delta = 0$ (há uma raiz unitária ou a série temporal é não estacionária); H ₁ : $\delta < 0$ (a série temporal é estacionária, possivelmente em torno de uma tendência determinística ⁴²).	-0,006	0,457
	VBP/ha			-0,035	0,255
Pernambuco	Produtividade média			-0,011	0,421
	VBP/ha			-0,048	0,170
Rio Grande do Norte	Produtividade média			-0,002	0,918
	VBP/ha			-0,060	0,145

Fonte: Elaboração própria (2022), com base nos dados dos anuários estatísticos do Brasil (IBGE, 1945-1973) e da PAM-2021 (IBGE, 2021).

Nota: ^a referere-se às lavouras de feijão, mandioca e milho.

De acordo com as informações da Tabela 13, é notório que o teste ADF apontou indícios de que ambas as séries se mostraram não estacionárias para os dados originais, considerando o nível de significância de 5%. Os resultados demonstraram que não se deve rejeitar a hipótese nula (H₀) - existência de raiz unitária para todas as variáveis. Desse modo, as séries são no mínimo I(1), ou seja, para garantir que as séries sejam I(1), deve-se fazer o teste ADF nas séries diferenciadas e só então não aceitar a hipótese de raiz unitária; após a realização dessa etapa as séries tornaram-se estacionárias em primeira diferença. Os testes com os dados em primeira diferença ensejaram que se chegasse às seguintes conclusões: de acordo com as estatísticas do teste ADF (p -valor < 0,05), evidencia-se que as séries são estacionárias.

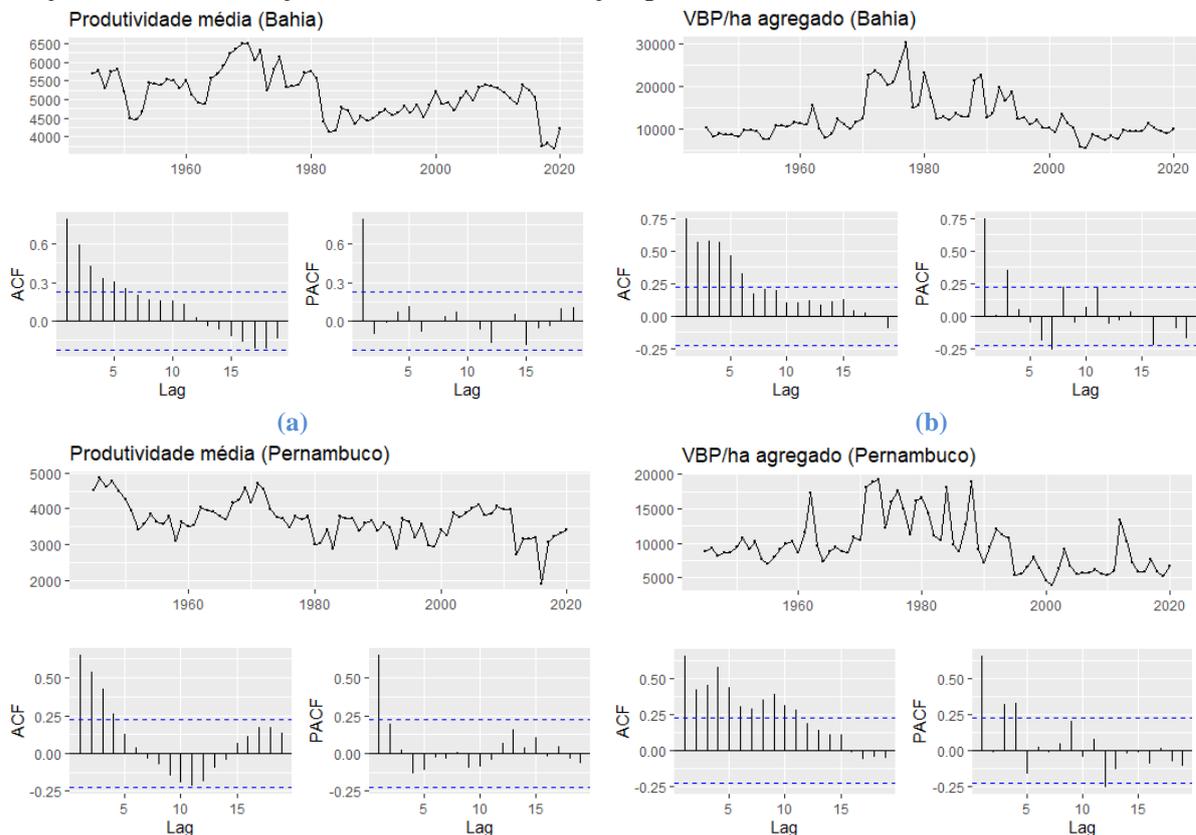
⁴¹ Se o valor absoluto computado da estatística tau ($|t|$) exceder o valor crítico ($t < \tau$) nas estatísticas tau Dickey-Fuller e MacKinnon, rejeita-se a hipótese de que $\delta = 0$, e, nesse caso, a série temporal será não estacionária.

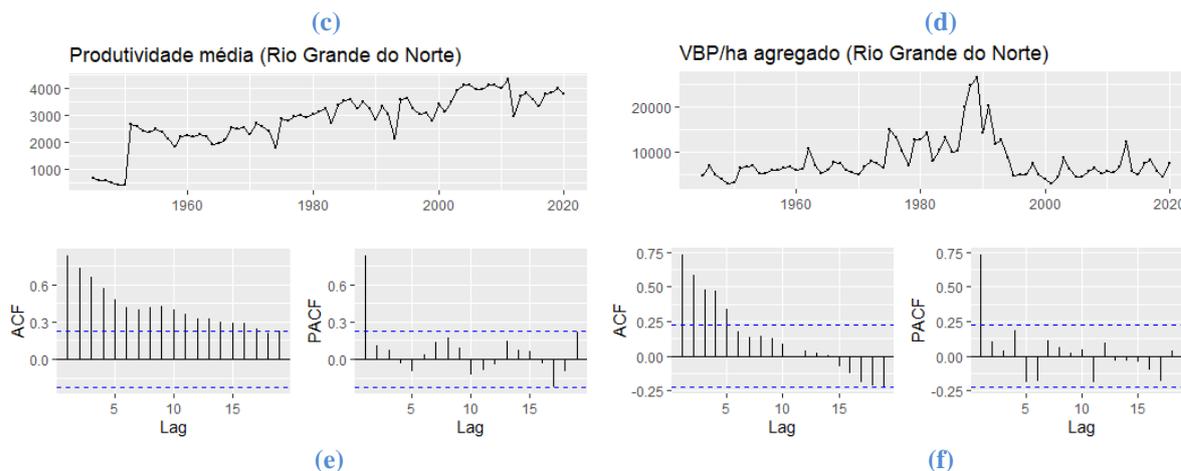
⁴² Rejeita-se qualquer possibilidade de que $\delta > 0$, porque, nesse caso $\rho > 1$, em que a série temporal será explosiva (GUJARATI; PORTER, 2011).

Resultados similares foram encontrados por Mahto *et al.* (2021), ao estimarem o modelo ARIMA para os preços da cultura da soja. O teste ADF com os dados originais exibiu o $p\text{-valor} > 0,05$, assim como nesta pesquisa. Os autores assinalam que a previsão de *commodities* agrícolas é muito importante para a sustentabilidade das gerações futuras, uma vez que a economia indiana é baseada, principalmente, na agricultura. Essa característica é bastante similar ao caso brasileiro, especificamente, aos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, móveis desta análise.

Realizado o teste ADF, prossegue-se com o andamento da análise. A representação gráfica das funções de autocorrelação (ACF) e de autocorrelação parcial (PACF) das séries originais estão na Figura 8, demonstradas pelos correlogramas para os Estados da Bahia (a; b), Pernambuco (c; d) e Rio Grande do Norte (e; f), respectivamente. Pela análise do correlograma, observa-se que a série não decaiu rapidamente para zero, indicando a sua não estacionariedade - mesmo com alguns períodos de quedas na produtividade média e VBP/ha, o que normalmente é esperado, dado que a natureza das atividades é afetada, principalmente, por fatores climáticos, uma vez que estas lavouras são produzidas, predominantemente, em sistema de sequeiro.

Figura 8 - Representação gráfica das séries originais da produtividade média e do valor bruto da produção por hectare (VBP/ha) das lavouras de feijão, mandioca e milho, juntamente com a função de autocorrelação (ACF) e autocorrelação parcial (PACF)





Fonte: Elaboração própria (2022), com base nos dados dos anuários estatísticos do Brasil (IBGE, 1945-1973) e da PAM-2021 (IBGE, 2021).

Uma vez estabilizadas as séries, os gráficos das funções ACF e PACF auxiliam a identificação do grau do modelo desejado, ou seja, a ordem (p,d,q) . Observa-se, na Figura 8, que o decaimento lento dos valores de ACF demonstra que as séries temporais originais não são estacionárias, e, por essa razão, algumas modificações são necessárias.

Considerando a correlação sem nenhuma diferença entre os dados das lavouras agregadas, por intermédio da ACF e da PACF, as produtividades médias e VBP/ha dos estados exibiram comportamentos parecidos. Desse modo, ambos os dados revelaram uma diminuição lenta da ACF e com no máximo três *lags* fora de controle (VBP/ha no Pernambuco) na PACF, nas demais variáveis dos estados há apenas um *lag* fora dessa área, demonstrando a provável conduta autorregressiva das seis séries analisadas.

Nesse âmbito, com esteio nessas conclusões, estimou-se o modelo de previsão, por meio da metodologia de Box-Jenkins (1976), com o uso do modelo ARIMA (p,d,q) , e, posteriormente, com a identificação do melhor modelo de previsão para representar as séries das produtividades e renda (VBP/ha) das lavouras. Logo, como resultado desse processo, identificaram-se alguns modelos, assim como eles foram tabulados (Tabela 14) para posterior comparação e escolha do melhor método para realizar a previsão.

Depois de estimar os modelos apropriados, os parâmetros utilizados para a escolha dos melhores modelos foram embasados nas estatísticas de ajuste demonstradas na Tabela 14, com base no desempenho de métricas, como: critério de informação bayesiano (BIC), proposto por Schwarz (1978), erro percentual absoluto médio (MAPE) e a estatística Ljung-Box (χ^2). Quanto menores o BIC e o MAPE, mais ajustados serão os modelos, critérios adotados nesta análise (Tabela 14).

Tabela 14 - Modelos ajustados às previsões de produtividade média e valor bruto da produção agregado por hectare das lavouras de feijão, mandioca e milho nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte de 1945 a 2020

UF	Modelo	Estatísticas de ajuste do modelo						
		Coefficientes	R ²	MAPE	BIC normalizado	Ljung-Box ^a	r (Pearson)	
Bahia	Produtividade média – ARIMA (1,1,1)	AR	Lag1 = 0,788*	0,643	5,536	11,993	19,209 ^{NS}	0,998*
		MA	Lag1 = 0,948*					
	VBP agregado/ha ARIMA (0,1,2)	MA	Lag1=0,206*** Lag2 =0,287*	0,581	16,856	16,334	22,313 ^{NS}	0,978*
Pernambuco	Produtividade média – ARIMA (1,1,0)	AR	Lag1= -0,376*	0,417	8,676	11,997	9,393 ^{NS}	0,953*
	VBP agregado/ha ARIMA (2,1,1)	AR	Lag1=0,147 ^{NS} Lag2= -0,379*	0,511	19,438	16,034	18,180 ^{NS}	0,909*
		MA	Lag 1= 0,519*					
Rio Grande do Norte	Produtividade média – ARIMA (1,1,1)	AR	Lag1=0,648**	0,746	11,093	12,394	5,527 ^{NS}	0,993*
		MA	Lag1=0,808*					
	VBP agregado/ha ARIMA (1,1,1)	AR	Lag1=0,610*	0,523	26,756	16,237	16,877 ^{NS}	0,986*
	MA	Lag1=0,870*						

Fonte: Elaboração própria, (2022), com base nos dados dos anuários estatísticos do Brasil (IBGE, 1945-1973) e da PAM-2021 (IBGE, 2021).

Nota: ^a usa a estatística do Qui-Quadrado (χ^2). (^{NS}): Não significativo estatisticamente; (*) significativo a 1%; (**) significativo a 5%; (***) significativo a 10%.

Conforme as informações da Tabela 14, reuniram-se, além dos modelos encontrados para cada série dos estados, os valores dos coeficientes estimados, o coeficiente de determinação ajustado (R²), MAPE, BIC, Ljung-Box e o coeficiente de correlação de Pearson (r) - entre os dados observados e previstos, para cada método proposto.

De acordo com Morettin e Tolo (2006), o princípio para aferir as relações de regressão é o coeficiente de correlação, uma vez que este configura o grau de associação entre as variáveis analisadas. A correlação de Pearson (r) varia entre -1 e +1, o grau de associação negativa será ao se aproximar de -1 e, quanto mais próximo de +1, maior o grau de associação a série possui. Quanto ao coeficiente de correlação de Pearson (r) entre os valores observados e os valores previstos das séries aqui analisadas, todos os valores foram estatisticamente diferentes de zero, a 1% de significância, apontando correlações muito fortes, acima de 90%, o que denota um alto poder explicativo da análise, uma vez que os valores previstos estarão dentro do intervalo de confiança. Logo, foram selecionados os modelos para

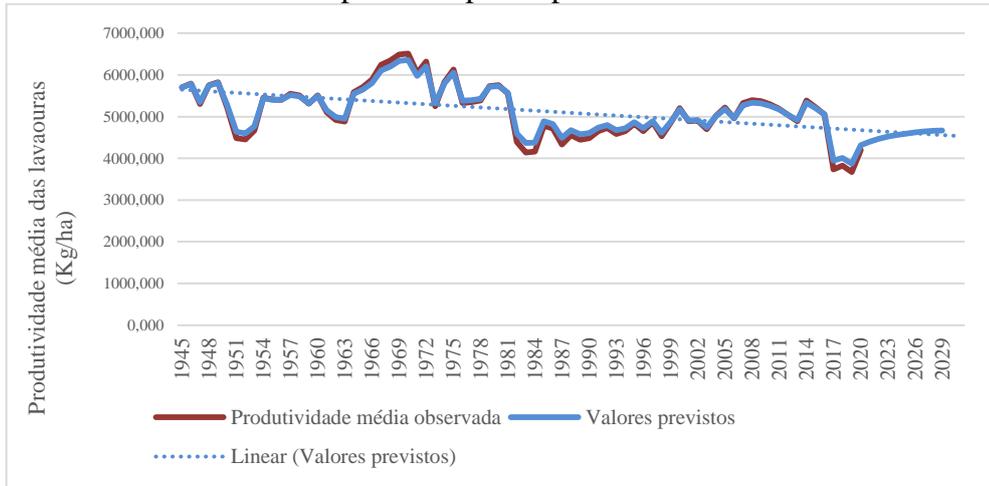
previsão da produtividade média e VBP/ha das lavouras de feijão, mandioca e milho (agregadas).

Quanto aos modelos estimados, o critério de escolha partiu, principalmente, para os mais parcimoniosos, como é indicado pela literatura. Desse modo, estabeleceram-se os menores BIC e MAPE como parâmetros de escolha. Nesse âmbito, para todos os modelos os coeficientes do Ljung-Box foram não significativos, demonstrando que os modelos estão adequados para previsão. Os menores coeficientes do BIC e MAPE foram encontrados para a produtividade média das lavouras da Bahia, 5,536 e 11,993, respectivamente. Quanto aos coeficientes mais elevados, esses foram observados no VBP/ha agregado do Rio Grande do Norte. O menor coeficiente de determinação ajustado (R^2) foi encontrado para a produtividade média do Pernambuco ($R^2=0,417$), enquanto o mais elevado foi para o mesmo indicador referente ao Rio Grande do Norte ($R^2=0,746$). Esse coeficiente mostra o grau de explicação do modelo. Apesar de exprimirem valores relativamente baixos, a literatura que retrata casos para as mesmas culturas agrícolas aponta coeficientes ainda menores (LEMOS *et al.*, 2022; PADHAN, 2012; THAPA *et al.*, 2022)

Corroborando os resultados, Padhan (2012), em análise da produtividade de 34 produtos agrícolas na Índia, estimou modelos de previsão desde o período de 1950 a 2010. O modelo ARIMA estabelecido para cada produto previu cinco o cenário de anos. Dentre os produtos, o autor mencionou as culturas da mandioca, com $R^2=0,05$ e MAPE=19,06, e do milho, com $R^2=0,24$ e MAPE=12,32. Esses resultados das estatísticas de ajustes indicaram limites inferiores aos da Tabela 14. Thapa *et al.* (2022), ao utilizarem o modelo desenvolvido por Box-Jenkins (ARIMA) para previsão da área, produção e produtividade de hortaliças, tomaram posse dos mesmos critérios que os já descritos nesta pesquisa para a seleção dos melhores modelos. No caso da produtividade, o teste de Ljung-Box obteve um resultado similar ao encontrado para o Rio Grande do Norte.

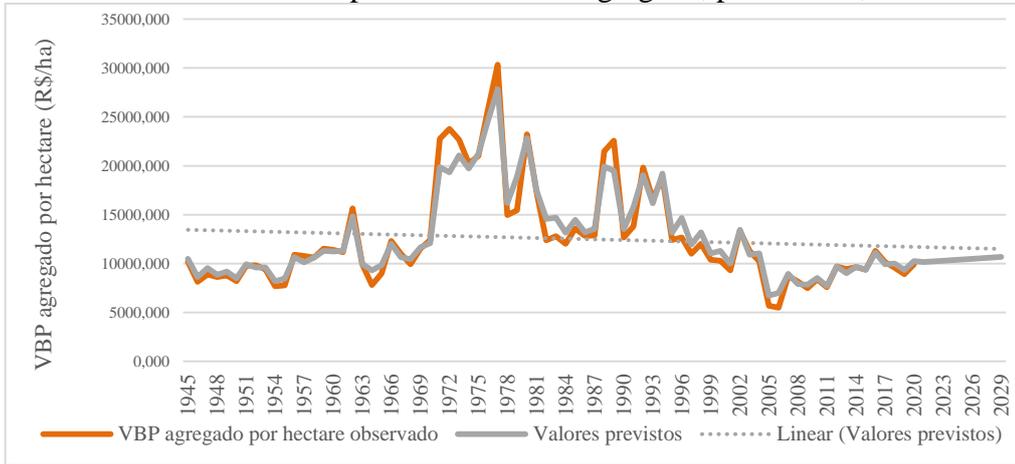
Os modelos da Tabela 14 são expostos graficamente, plotados os valores observados e os previstos para as variáveis produtividade média (Kg/ha) e o valor bruto da produção por hectare (R\$/ha) das lavouras de feijão, mandioca e milho (Gráficos 16, 17, 18, 19, 20 e 21).

Gráfico 16 - Valores observados e previstos para a produtividade média do Estado da Bahia



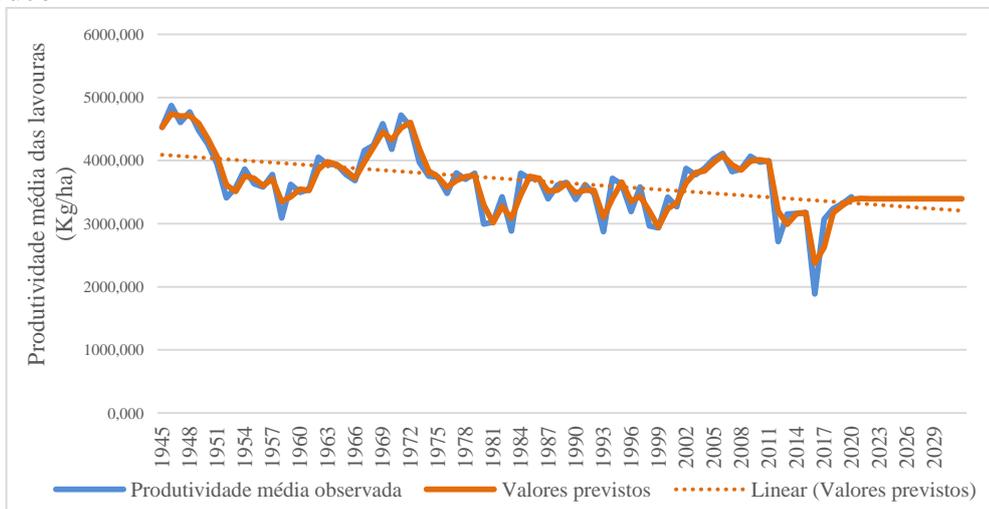
Fonte: Elaboração própria, (2022), com base nos resultados da pesquisa, com arrimo nos dados dos anuários estatísticos do Brasil (IBGE, 1945-1973) e da PAM-2021 (IBGE, 2021).

Gráfico 17 - Valores observados e previstos do VBP agregado, por hectare, do Estado da Bahia



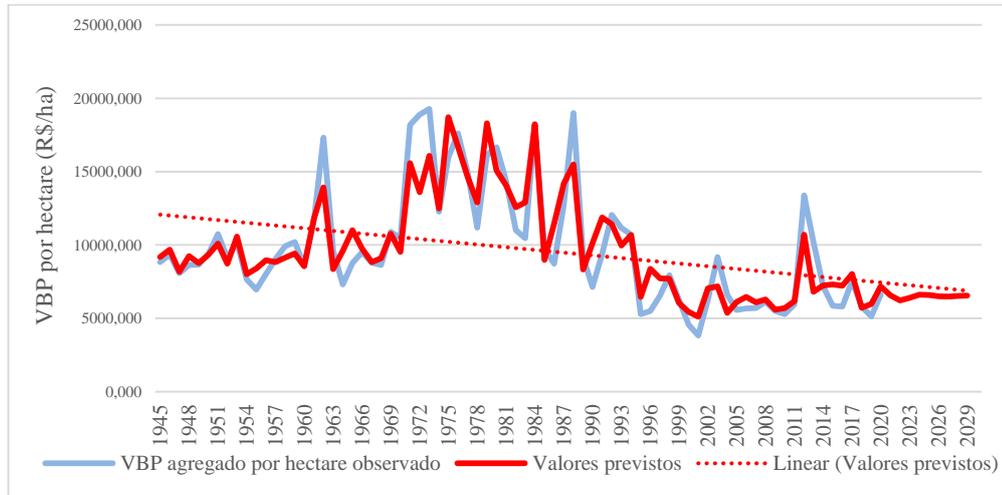
Fonte: Elaboração própria, (2022), com base nos resultados da pesquisa, com arrimo nos dados dos anuários estatísticos do Brasil (IBGE, 1945-1973) e da PAM-2021 (IBGE, 2021).

Gráfico 18 - Valores observados e previstos para a produtividade média do Estado do Pernambuco



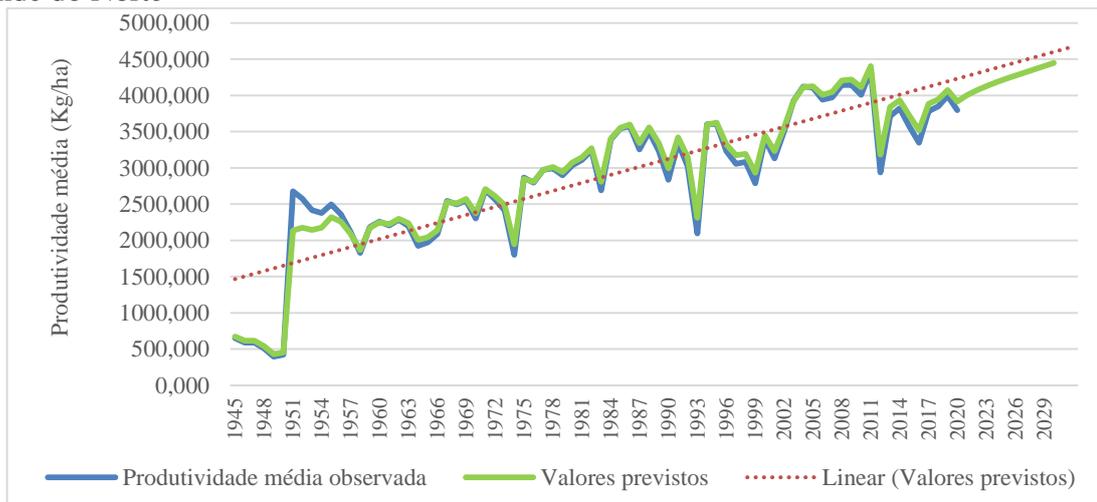
Fonte: Elaboração própria, (2022), com base nos resultados da pesquisa, com arrimo nos dados dos anuários estatísticos do Brasil (IBGE, 1945-1973) e da PAM-2021 (IBGE, 2021).

Gráfico 19 - Valores observados e previstos do VBP agregado, por hectare, do Estado do Pernambuco



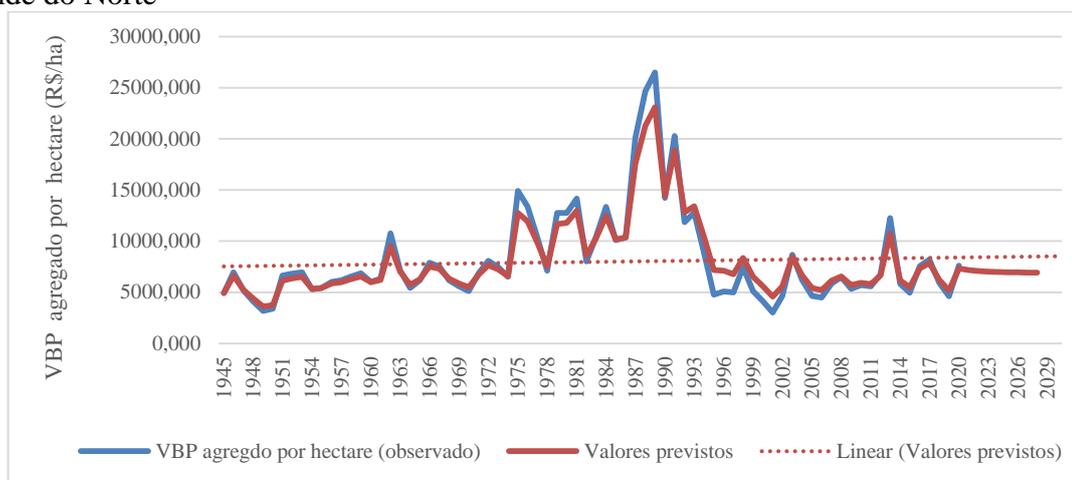
Fonte: Elaboração própria, (2022), com base nos resultados da pesquisa, com arrimo nos dados dos anuários estatísticos do Brasil (IBGE, 1945-1973) e da PAM-2021 (IBGE, 2021).

Gráfico 20 - Valores observados e previstos para a produtividade média do Estado do Rio Grande do Norte



Fonte: Elaboração própria, (2022), com base nos resultados da pesquisa, com arrimo nos dados dos anuários estatísticos do Brasil (IBGE, 1945-1973) e da PAM-2021 (IBGE, 2021).

Gráfico 21- Valores observados e previstos do VBP agregado, por hectare, do Estado do Rio Grande do Norte



Fonte: Elaboração própria, (2022), com base nos resultados da pesquisa, com arrimo nos dados dos anuários estatísticos do Brasil (IBGE, 1945-1973) e da PAM-2021 (IBGE, 2021).

Alternativa para confirmar a eficiência dos modelos é comparar as previsões com os dados reais (observados) das séries e verificar os ajustes necessários para corrigir esta diferença, logo se a diferença entre a previsão e o valor observado for baixa, entende-se que o modelo é considerado eficiente. Do Gráfico 16 ao 21 esboçam as trajetórias das previsões aplicadas nas séries das produtividades médias e dos VBP/ha para os três estados analisados. De modo geral, os modelos utilizados para as previsões se ajustaram bem à trajetória proposta, confirmados pela aproximação dos valores reais aos valores previstos plotados nos gráficos.

A Bahia apontou tanto para a produtividade média quanto para o VBP por hectare das lavouras agregadas; bons ajustamentos para as trajetórias dos valores reais e valores previstos. Para as duas séries de dados, o longo prazo apontou para um leve crescimento, com as TGC de 0,50% a.a e 4,80% a.a, respectivamente. É válido ressaltar que, durante as trajetórias, ambas as variáveis indicaram picos positivos e negativos, sendo os melhores saldos ocorridos nos anos em que a precipitação pluviométrica foi classificada como normal ou chuvosa, e os picos negativos (cenário de queda) ocorreram nos períodos secos, corroborando a classificação realizada anteriormente.

Em Pernambuco, os modelos utilizados para as previsões também foram bem ajustados, entretanto houve um comportamento inesperado, principalmente, nos anos classificados como secos, especificamente 1962 e 2012. Para o primeiro, houve um pico elevado no VBP/ha e para o segundo uma queda na produtividade média, embora o VBP por hectare tenha apresentado valor elevado. Esses indicadores apontaram comportamentos distintos dos demais períodos, demonstrando o efeito da instabilidade pluviométrica nos condicionantes das lavouras de sequeiro, uma vez que a incidência dos períodos classificados

nesta pesquisa vai ao encontro dos resultados da produtividade e da renda dos agricultores dos estados avaliados.

Dentre os estados analisados, o Rio Grande do Norte revelou um crescimento mais ascendente dos dados observados, bem como dos valores previstos da produtividade média das lavouras. A linha de tendência (linear) demonstra que, para o cenário de grande prazo, este comportamento permanecerá, corroborando a $TGC=12,3\%$ a.a, calculada na seção anterior, ou seja, a produção das lavouras se manterá sustentável ao longo dos anos. Já para o VBP por hectare, a tendência se manteve com um leve crescimento para o cenário previsto, com uma $TGC=2,60\%$ a.a.

Partindo-se do princípio da lei da oferta e da demanda, os períodos em que há uma menor produtividade resultam, em média, menores quantidades de produtos agrícolas para serem ofertados e, conseqüentemente, haverá uma elevação dos preços, reduzindo o poder de compra dos consumidores. No campo, os produtores planejam a área plantada de acordo com os rendimentos e áreas cultivadas em períodos anteriores, ou seja, uma safra colhida no ano vigente foi planejada, provavelmente, no ano passado, tomando-se por base indicadores de safras transatas. Mediante esse contexto, torna-se relevante enfatizar que prever cenários para a produção agrícola, sobretudo, em regiões de instabilidade climática, fará com que os agricultores reduzam os riscos ligados à manutenção da atividade.

O zoneamento agroclimático auxilia os agricultores nessa demanda pela identificação de cenários previstos, pois, assim, tem como se precaver de maiores riscos no campo que venham a acontecer.

Nessa corrente de projeções de lavouras cultivadas em sistema de sequeiro, Lemos *et al.* (2022) estimaram modelos para previsões das culturas de arroz, feijão, mandioca e milho do Semiárido no Estado do Ceará, sob instabilidade pluviométrica. Os autores concluíram que a precipitação tem relevante impacto na produção agrícola de alimentos, principalmente nas variáveis: (i) área colhida (feijão e milho); (ii) rendimento médio (arroz, feijão, mandioca e milho); e (iii) preço (feijão e milho), de modo a influenciar a geração de renda de seus produtores no Estado.

Há elevada complexidade para prever o comportamento dos condicionantes que interferem o sucesso da produção agrícola, pois muitos eventos ocorrem de maneira aleatória, principalmente, quando se trata de agricultura dependente da incidência de chuva (agricultura de sequeiro). Por essa razão, os modelos de previsão não são muito adequados para prever chuvas. Acerca dessa perspectiva, esta pesquisa se propôs estimar previsões das produtividades e valores brutos das produções (VBP) das lavouras de feijão, mandioca e milho, uma vez que,

ante os resultados encontrados, afirma-se que, no horizonte de longo prazo, estas lavouras se mostraram estáveis em termos de produtividade e renda, com crescimento significativo para os Estados da Bahia e do Rio Grande do Norte.

A metodologia de previsão auxilia os agricultores e formuladores de políticas públicas a procurarem as melhores estratégias ante o panorama de instabilidade que assola o ambiente rural numa região com instabilidade climática, como ocorre nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte.

4.4.1.4 Relação entre os resíduos gerados nos modelos de previsão e a precipitação pluviométrica

Em conformidade com a Tabela 15, os resultados encontrados nas estimativas da relação entre a precipitação pluviométrica e os resíduos provenientes de cada modelo formulado para as previsões das variáveis estudadas (exibidos na seção anterior), observou-se que as estimativas dos resíduos sugerem que as chuvas não influenciaram nas discrepâncias entre os erros e os valores esperados das produtividades médias e valores brutos das produções agregadas por hectare, ou seja, os coeficientes estimados para medir o impacto das chuvas sobre os resíduos dessas variáveis não foram estatisticamente diferentes de zero.

Os resíduos gerados nos modelos para previsões das variáveis dos estados selecionados não foram sensíveis às variações pluviométricas, bem como os resíduos associados ao ajuste dos modelos para preverem os VBP agregados por hectare da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte foram significativos apenas aos níveis de 11,7%, 9,49% e 18,5% de erro, respectivamente. Tais resultados são considerados com uma elevada margem de erro, razão por que não foram significativos para a proposta desta pesquisa.

Tabela 15 - Resultados da relação entre os resíduos dos modelos ajustados para previsão e a precipitação pluviométrica anual entre 1945 e 2020, nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte

UF	Variáveis (ruídos)	Constante		Regressor		R ² ajustado
		Coefficiente	Sig.	Coefficiente	Sig.	
Bahia	Produtividade média	-254,788	0,223	0,243	0,308	0,014
	VBP agregado/ha	0,185	0,126	0,000	0,117	0,200
Pernambuco	Produtividade média	195,968	0,355	-0,215	0,296	0,015
	VBP agregado/ha	9,057	0,995	-0,094	0,949	-0,014
Rio Grande do Norte	Produtividade média	0,123	0,202	-9,929E-005	0,383	-0,003
	VBP agregado/ha	-1442,739	0,229	1,894	0,185	0,011

Fonte: Elaborada própria (2022), com base nos dados dos anuários estatísticos do Brasil (IBGE, 1945-1973) e da PAM-2021 (IBGE, 2021).

Nesta pesquisa, a pluviometria foi analisada como variável com probabilidade de provocar mudanças nas trajetórias das previsões. Como isso não se comprovou estatisticamente, significa dizer que as chuvas não afetaram as tendências de sustentabilidade ou de insustentabilidade das produtividades e das rendas dos agricultores.

Diferentemente dos resultados da Tabela 15, Lemos *et al.* (2022), ao estimarem a relação entre os resíduos das projeções para as lavouras de arroz, feijão, mandioca e milho e as chuvas no Estado do Ceará, apontaram que os efeitos foram observados nas culturas do feijão e do milho, as quais são mais sensíveis às instabilidades pluviométricas na região, entretanto, para os preços do arroz, a área colhida e os preços da mandioca, as chuvas não influenciaram os resíduos das projeções, resultados que corroboram os encontrados na Tabela 15. O Estado analisado pelos autores detém 171 dos seus 184 (92,93%) municípios inseridos no Semiárido, fato que interfere diretamente nos efeitos da instabilidade climática sobre a produção agrícola no Ceará.

Os estados selecionados para esta pesquisa possuem municípios classificados na região do Semiárido. A Bahia detém 283 (67,86%) dos seus 417 municípios, Pernambuco possui 137 municípios do total de 185 (74,05%) e Rio Grande do Norte com 141 (84,43%) dos seus 167 municípios. Isso implica afirmar, que, nesses estados, os agricultores habitualmente enfrentam instabilidades climáticas inerentes e essa classificação.

Na região Nordeste, de modo geral, os agricultores que cultivam em sistema de sequeiro aguardam a época chuvosa para iniciar suas plantações. Mesmo que esta seja tardia, abundante ou ineficiente, eles seguem a programação anual do plantio. Então, mesmo que o histórico de chuvas não seja positivo, eles continuarão com as atividades, demandando estratégias para a manutenção dos cultivos, no escopo de melhorar seus níveis de produção e de renda.

4.4.2 Resultados do Pilar II da abordagem CSA: aferição da resiliência da agricultura ao clima

Nesta seção, mensurou-se a resiliência da agricultura ao clima, fundamentada nas lavouras dos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte. Esse objetivo embasou-se na seguinte hipótese: $H_{Pilar II}$: Os agricultores que cultivam as lavouras de feijão, mandioca e milho, de modo geral, produzidas em sistema de sequeiro, nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, conseguem promover a resiliência da agricultura ao clima ao longo dos

anos, ainda que haja a incidência de choques climáticos caracterizados por altas temperaturas e pela instabilidade pluviométrica.

Esses fatores climáticos são exógenos, fora do alcance das decisões dos agricultores que afetam as atividades agrícolas, sobretudo, as de sequeiro. Logo, as oscilações temporais e espaciais da precipitação pluviométrica, tendem a ocasionar contratempos na produção e no incremento da redução na produtividade da terra, oscilações nas áreas colhidas e nos preços, causando efeitos na segurança alimentar, na formação de renda das famílias que cultivam essas lavouras, principalmente, no Semiárido.

4.4.2.1 Primeira etapa do pilar II da CSA: estatísticas descritivas das variáveis selecionadas na pesquisa

Impende necessário obter informações acerca do comportamento das variáveis selecionadas, de modo que esta etapa se configura crucial ao estudo do problema de pesquisa e, posteriormente, à aplicação do método de análise escolhido, pois, apesar de pertecerem à mesma região, Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte possuem peculiaridades inerentes aos seus aspectos regionais que interferem direta e/ou indiretamente nos indicadores de produção agrícola, especificamente nas lavouras de feijão, mandioca e milho, aqui analisadas.

A Tabela 16 fornece as estatísticas descritivas das variáveis ligadas à produção das lavouras citadas. É importante salientar que o comportamento dos valores médios e seus desvios-padrão interferem diretamente na aferição dos coeficientes de variação (CV). Verifica-se que, de 1945 a 2020, a Bahia demonstrou instabilidades quanto aos indicadores estudados, mensurados pelos CV. A área colhida mostrou o CV entre 34,22% (mandioca) e 61,61% (feijão); o preço pago ao produtor exibiu CV bem elevados, com amplitude em torno de 51,89% (mandioca) e 56,78% (feijão). A produtividade do feijão expressou um CV de 27,84%, enquanto a mandioca obteve um percentual em torno de 17,85%, CV classificado como de média instabilidade. A cultura do milho exprimiou-se com os CV classificados como muito altos (≥ 30), em que a área colhida (53,45%), preço (50,10%) e produtividade (79,09%) indicaram resultados que sinalizam alta instabilidade das variáveis analisadas, tanto sob os parâmetros estipulados por Gomes (1985) – usados nesta pesquisa, quanto por Garcia (1989), critérios amplamente divulgados na literatura.

Em Pernambuco, o comportamento dos indicadores mostrou-se bem semelhante ao caso da Bahia, em que as áreas colhidas com as três lavouras apontaram CV entre 44,83% (milho) e 46,18% (mandioca), as produtividades oscilaram entre 13,49% (mandioca) e 33,72%

(milho), classificados como médio e muito alto, respectivamente; e os preços apontaram um total de 41,52% (milho) a 54,99% (feijão). De acordo com a classificação de Gomes (1985), esses CV estão muito elevados, com algumas exceções para os casos das produtividades do feijão e da mandioca. De modo geral, afirma-se que estas lavouras têm seus indicadores produtivos bastante instáveis sob as condições inerentes ao Estado.

No Rio Grande do Norte, todos os indicadores CV foram bastante elevados, como a área colhida, que apontou resultados de 39,45% (mandioca) a 58,31% (feijão) e as produtividades ficaram em torno de 33,49% (feijão) e 37,68% (milho). Os preços, por sua vez, exibiram valores muito altos, que variaram de 45,86% (milho) a 94,54% (mandioca), sendo os preços mais instáveis entre os estados analisados.

Tabela 16 – Estatísticas descritivas das variáveis selecionadas (1945-2020)

UF	Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
Bahia	Área colhida com feijão (ha)	65801,00	897744,00	386720,42	238276,35	61,61
	Preço* do feijão (R\$)	1,81	15,96	5,95	3,38	56,78
	Produtividade do feijão (Kg.ha ⁻¹)	204,90	876,59	581,13	161,76	27,84
	Área colhida com mandioca (ha)	90995,00	417000,00	239867,88	82084,67	34,22
	Preço* da mandioca (R\$)	0,22	1,56	0,58	0,30	51,89
	Produtividade da mandioca (Kg.ha ⁻¹)	6710,64	17776,83	13384,38	2389,03	17,85
	Área colhida com milho (ha)	84962,00	773462,00	402420,01	215106,62	53,45
	Preço* do milho (R\$)	0,57	3,91	1,68	0,84	50,10
	Produtividade do milho (Kg.ha ⁻¹)	238,33	4661,59	1451,37	1147,89	79,09
Temperatura	23,53	25,35	24,26	0,40	1,64	
Pernambuco	Área colhida com feijão (ha)	53720,00	382148,00	202021,92	90570,88	44,83
	Preço* do feijão (R\$)	2,57	18,74	6,09	3,35	54,99
	Produtividade do feijão (Kg.ha ⁻¹)	179,34	609,42	401,92	106,41	26,47
	Área colhida com mandioca (ha)	24146,00	200565,00	104885,58	48441,19	46,18
	Preço* da mandioca (R\$)	0,24	1,60	0,64	0,29	45,61
	Produtividade da mandioca (Kg.ha ⁻¹)	5307,65	13258,09	10058,85	1357,29	13,49
	Área colhida com milho (ha)	22036,00	520000,00	227118,46	103047,96	45,37
	Preço* do milho (R\$)	0,80	3,51	1,79	0,74	41,52
	Produtividade do milho (Kg.ha ⁻¹)	145,48	944,72	588,79	198,55	33,72
Temperatura (°C)	23,52	25,69	24,77	0,31	1,26	
Rio Grande do Norte	Área colhida com feijão (ha)	6194,00	234284,00	101023,22	58905,00	58,31
	Preço* do feijão (R\$)	2,10	18,76	5,61	3,53	62,94
	Produtividade do feijão (Kg.ha ⁻¹)	66,50	594,70	355,47	119,04	33,49
	Área colhida com mandioca (ha)	8025,00	88963,00	43038,05	16978,19	39,45
	Preço* da mandioca (R\$)	0,21	4,92	0,93	0,88	94,54
	Produtividade da mandioca (Kg.ha ⁻¹)	339,74	11868,24	7700,27	2822,23	36,65
	Área colhida com milho (ha)	6195,00	171546,00	87181,42	46436,97	53,26
	Preço* do milho (R\$)	0,84	5,09	2,10	0,96	45,86
	Produtividade do milho (Kg.ha ⁻¹)	43,40	806,96	460,58	173,55	37,68
Temperatura (°C)	25,03	27,33	26,46	0,36	1,35	

Fonte: Elaboração própria (2022), com base nos resultados da pesquisa e com apoio nos dados dos anuários estatísticos do Brasil (IBGE, 1945-1973), PAM-2021 (IBGE, 2021) e NOAA (2022).

Nota: * Os preços foram deflacionados pelo o Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI), ano base = 2020 (FGV, 2022).

A literatura retrata que o uso do coeficiente de variação (CV) para analisar as instabilidades dos aspectos produtivos das culturas agrícolas se mostrou bastante útil para especificar com certa eficiência a exatidão de resultados experimentais (GARCIA, 1989; GOMES, 1985). Os critérios comparativos para as classes dos CV interpretados nesta pesquisa conduzem a uma realidade de campo e, não necessariamente, uma zona experimental que foi totalmente controlada artificialmente. Por essa razão, a interpretação dos resultados de pesquisas que mostram a realidade em campo, assim como esta, devem sinalizar que se trata de uma interpretação parcimoniosa, sendo necessária uma análise complementar diante das informações fornecidas - corroborando a realidade encontrada nesta pesquisa.

Há a necessidade de classificação dos CV para a realidade inerente a cada cultura agrícola, no intuito de se obter um referencial comparativo aplicado aos experimentos agrícolas distintos. Nesse sentido, a literatura aborda trabalhos realizados com feijão (GURGEL; FERREIRA; SOARES, 2013), milho (SCAPIM; CARVALHO; CRUZ, 1995), mandioca (KUMAR; BRIGIT; JASLAM, 2018), citros (AMARAL; MUNIZ; SOUZA, 1997), soja e trigo (LÚCIO, 1997), arroz (COSTA; SERAPHIN; ZIMMERMANN, 2002), espécies forrageiras (AMBROSANO; SCHAMMAS, 1994), espécies florestais (GARCIA, 1989) e diversas culturas agrícolas (ESTEFANEL *et al.*, 1987).

Ambrosano e Schammas (1994), ao analisarem 1054 trabalhos científicos publicados de 1950 a 1990, constataram que 32% dos experimentos exibiram CV menores do que 10% e apenas 10,5% maiores do que 30%. Para as gramíneas, as leguminosas e os experimentos consorciados, os CV médios foram 16,58%, 16,50 e 20,52%, respectivamente. Outro ponto citado pelas autoras é o fato de a estimativa do CV em experimentos realizados em campo serem maiores do que experimentos executados em casa de vegetação (ambiente controlado). Confirmando a utilidade científica dos resultados desta pesquisa, os CV foram elevados, uma vez que a área de estudo contemplou a realidade em campo.

Ao mensurarem os CV da produção de mandioca no Estado de Kerala, Sul da Índia, Kumar, Brigit e Jaslam (2018) aferiram a instabilidade da área, da produção, da produtividade e do preço dessa cultura agrícola, por um período de 25 anos (1991-2016). Os autores encontraram os seguintes CV: área (23,38%), produção (4,72%), produtividade (23,56%) e preço (70,38%). Esses resultados corroboram os encontrados na Tabela 16 deste trabalho, diferindo-se na área colhida (acima de 34% para os três estados), produtividade e preço (inferiores a 18% e 46%, respectivamente, para BA e PE). Apenas para o RN, o CV do preço ficou em 94,54%, patamar elevado, assim como o encontrado pelos autores citados.

Na contramão das demais variáveis avaliadas na Tabela 16, a temperatura apontou um CV muito baixo, significando exprimir que não houve instabilidade ao longo do período para os três estados analisados. Tais resultados decorrem do fato de as temperaturas nos estados do Nordeste expressarem baixa amplitude térmica, comparada, por exemplo, com a dos estados das regiões Sul e Sudeste, as quais possuem maior diferença entre as temperaturas máxima e mínima, a depender da época do ano.

4.4.2.2 Segunda etapa do pilar II da CSA: resultados associados à análise fatorial

Para a elaboração do Índice de Agricultura Resiliente ao Clima (ICRA), foi aplicada a análise fatorial (AF) para estimar os resultados expressos na Tabela 17, que se configuram como indispensáveis ao andamento das etapas que antecedem a formulação do ICRA. Desse modo, conhecer os indicadores de adequação da AF é de suma importância para dar continuidade às próximas etapas da análise.

Tabela 17– Resultados da estatística KMO e do teste de esfericidade de Bartlett

Estatísticas dos testes	Unidades Federativas		
	Bahia	Pernambuco	Rio Grande do Norte
Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)/measure of sampling adequacy (MSA)	0,675	0,678	0,639
Teste de esfericidade de Bartlett			
Approx. qui-quadrado ($\chi^2_{Bartlett}$)	683,172	549,176	620,537
Graus de liberdade	45	45	45
Sig.	0,000	0,000	0,000

Fonte: Elaboração própria (2022), com base nos resultados da pesquisa e nos dados dos anuários estatísticos do Brasil (IBGE, 1945-1973), PAM-2021 (IBGE, 2021) e NOAA (2022).

De acordo com a Tabela 17, os valores da estatística KMO, para análise da adequabilidade da amostra, expressaram valores acima de 0,60 para os três estados analisados, implicando afirmar que a amostra é adequada para ser explorada pela análise fatorial (AF). Essa estatística fornece a proporção de variância considerada comum às variáveis na amostra em análise. Isso quer dizer que é atribuída à existência de um fator comum. A estatística $\chi^2_{Bartlett}$ rejeita, ao nível de significância de 5% e com base nas hipóteses do teste de esfericidade de Bartlett, que a matriz de correlações ρ seja estatisticamente igual à matriz identidade **I** de mesma dimensão. Desse modo, conclui-se que a AF é apropriada para os três estados.

Consideraram-se dez variáveis originais para cada Estado. Como a AF foi estimada separadamente para cada Unidade Federativa (UF), dessas variáveis originais, resultaram em entre três (BA e PE) e quatro (RN) fatores ortogonais. Essa etapa foi realizada pelo método de

componentes principais, que possibilitou a extração dos fatores com raiz característica maior do que 1 (um), sintetizando as informações das variáveis originais, conforme observado na Tabela 18. O nível de explicação captado pela variância acumulada para os Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte correspondeu a 83,55%, 75,77% e 87,37%, respectivamente.

Tabela 18– *Eigenvalues*, percentual explicado por fator, de *per se*, variância acumulada e pesos

UF	Fatores	Autovalores (<i>eigenvalues</i>)	Variância explicada pelo fator (%)	Variância acumulada (%)	Pesos (W)
Bahia	1	3,914	31,751	31,751	0,380
	2	3,301	28,990	60,741	0,347
	3	1,139	22,795	83,536	0,273
Pernambuco	1	3,344	30,096	30,096	0,397
	2	2,840	26,314	56,410	0,347
	3	1,393	19,357	75,767	0,255
Rio Grande do Norte	1	3,546	33,120	33,120	0,379
	2	2,518	26,179	59,300	0,300
	3	1,641	17,135	76,435	0,196
	4	1,032	10,934	87,369	0,125

Fonte: Elaboração própria (2022), com base nos resultados da pesquisa e nos dados dos anuários estatísticos do Brasil (IBGE, 1945-1973), PAM-2021 (IBGE, 2021) e NOAA (2022).

Os pesos (W) foram calculados com base na relação da variância explicada por parte de cada fator com a variância acumulada. De modo geral, os maiores pesos foram relacionados ao primeiro fator gerado pela AF.

Destaca-se na Tabela 19 a maior carga fatorial para cada variável, e, portanto, verificou-se que, na Bahia, os preços (feijão e milho) e a produtividade (mandioca) denotaram maiores correlações positivas com o primeiro fator (F1), embora a produtividade do milho esteja negativamente relacionada. Já o segundo fator (F2) está positivo e fortemente relacionado à área colhida (feijão, mandioca e milho) e à temperatura. O terceiro fator (F3) encontra-se relacionado, intensa e positivamente com o preço da mandioca e negativamente com a produtividade do feijão. Para a Bahia, todas as comunalidades dos fatores gerados foram acima de 0,60.

De acordo com Marôco (2014), caso algum valor da comunalidade esteja abaixo de 0,5, isso implica afirmar que essa variável específica não se ajusta à estrutura definida pelas outras variáveis e, assim, merece ser eliminada.

Tabela 19 - Componentes (cargas fatoriais) e comunalidades

UF	Variáveis	Cargas fatoriais				Comunalidades
		F1	F2	F3	F4	
Bahia	Área colhida (feijão)	-0,142	0,917	0,238	-	0,917
	Preço (feijão)	0,672	-0,004	0,587	-	0,796
	Produtividade (feijão)	0,063	-0,395	-0,780	-	0,769
	Área colhida (mandioca)	0,380	0,852	0,205	-	0,912
	Preço (mandioca)	0,023	0,233	0,845	-	0,769
	Produtividade (mandioca)	0,863	-0,116	-0,364	-	0,892
	Área colhida (milho)	-0,407	0,856	0,091	-	0,906
	Preço (milho)	0,751	-0,130	0,564	-	0,899
	Produtividade (milho)	-0,900	0,082	-0,117	-	0,831
	Temperatura	-0,519	0,594	0,202	-	0,663
Pernambuco	Área colhida (feijão)	-0,018	-0,086	0,958	-	0,926
	Preço (feijão)	0,904	-0,161	0,125	-	0,858
	Produtividade (feijão)	-0,075	0,914	-0,115	-	0,854
	Área colhida (mandioca)	0,842	0,280	0,308	-	0,882
	Preço (mandioca)	0,679	-0,358	0,020	-	0,590
	Produtividade (mandioca)	-0,084	0,787	0,157	-	0,652
	Área colhida (milho)	0,235	0,361	0,872	-	0,946
	Preço (milho)	0,953	0,012	0,042	-	0,911
	Produtividade (milho)	0,033	0,897	0,207	-	0,848
	Temperatura	-0,212	-0,046	-0,252	-	0,110
Rio Grande do Norte	Área colhida (feijão)	0,144	0,937	-0,063	-0,182	0,936
	Preço (feijão)	0,898	0,223	0,053	0,014	0,858
	Produtividade (feijão)	-0,934	0,110	0,012	-0,035	0,886
	Área colhida (mandioca)	0,149	0,816	0,018	0,264	0,759
	Preço (mandioca)	0,174	-0,004	0,886	0,007	0,815
	Produtividade (mandioca)	0,043	-0,020	-0,915	-0,036	0,841
	Área colhida (milho)	-0,159	0,927	0,075	-0,196	0,928
	Preço (milho)	0,809	0,356	0,277	-0,016	0,858
	Produtividade (milho)	-0,936	0,139	0,015	-0,058	0,899
	Temperatura	0,042	-0,080	0,037	0,973	0,955

Fonte: Elaboração própria (2022), com base nos resultados da pesquisa e nos dados dos anuários estatísticos do Brasil (IBGE, 1945-1973), PAM-2021 (IBGE, 2021) e NOAA (2022).

Nota: Método de extração: componentes principais; método de rotação: *varimax* com normalização Kaiser.

Em Pernambuco, o fator de maior explicação (F1) contemplou variáveis como os preços (feijão, mandioca e milho) e a área colhida com feijão. Já o segundo fator (F2) condensou as produtividades das três lavouras, exibindo uma relação fortemente positiva. O terceiro fator (F3) denotou uma relação positiva com as áreas colhidas com feijão e milho, porém a temperatura apontou uma relação negativa. Quanto às comunalidades, quase todas as variáveis relataram valores acima de 0,50, com ressalva para a temperatura, que exibiu o valor igual a 0,110, indicativo para a exclusão da variável na análise, por decisão do pesquisador. Como nesta análise o problema de pesquisa envolve a resiliência da agricultura ao clima, esta variável permaneceu no modelo para que a comparação entre os estados analisados seja coerente com os mesmos indicadores adotados, apesar de, neste Estado, não indicar efeito significativo.

Para os resultados do Rio Grande do Norte, observou-se que os preços (feijão e milho) possuem uma relação fortemente positiva, ao passo que a produtividade do feijão exibiu uma relação negativa com o primeiro fator (F1). O segundo fator (F2) detém as áreas colhidas das três lavouras. Quanto ao terceiro fator (F3), ele é explicado pela relação robustamente positiva com o preço da mandioca e, em contrapartida, pela relação negativa com a produtividade da mandioca. O quarto fator (F4) contemplou apenas a relação fortemente positiva com a temperatura. As comunalidades para todas as variáveis foram acima de 0,75.

Esses resultados são essenciais para a etapa de formulação do Índice de Agricultura Resiliente ao Clima (ICRA), uma vez que a análise fatorial conduz a se mensurar a sinergia entre as variáveis relacionadas às produções das lavouras de feijão, mandioca e milho, nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte. Dado que, na região Nordeste, conhecer os reais efeitos e a capacidade de os agricultores promoverem a resiliência da agricultura aos choques climáticos, principalmente, devido aos efeitos da elevada temperatura e da instabilidade pluviométrica, ao longo do período de 1945 a 2020, esses resultados deram ênfase às reflexões no âmbito das estratégias adotadas quanto a capacidade adaptativa dos agricultores, com efeito na elaboração da resiliência.

4.4.2.3 Terceira e quarta etapas do pilar II da CSA: resultados associados ao Índice de Agricultura Resiliente ao Clima (ICRA) e ao teste de resiliência climática ante a precipitação pluviométrica

Pesquisas na área de resiliência da agricultura às ameaças das mudanças climáticas são relativamente novas quando comparadas a vulnerabilidade e risco. Na verdade, não há consenso sobre como medir a resiliência, por isso configura-se como um desafio para os pesquisadores. Por esta razão, nesta Tese, mensurou-se a resiliência, partindo do conceito abordado na literatura com ênfase na aplicação empírica para replicação noutras regiões, como é o caso da feitura de indicadores sintéticos que alinham os dados, com o intento de adquirir respostas por meio de informações extraídas e interpretadas com esteio na realidade.

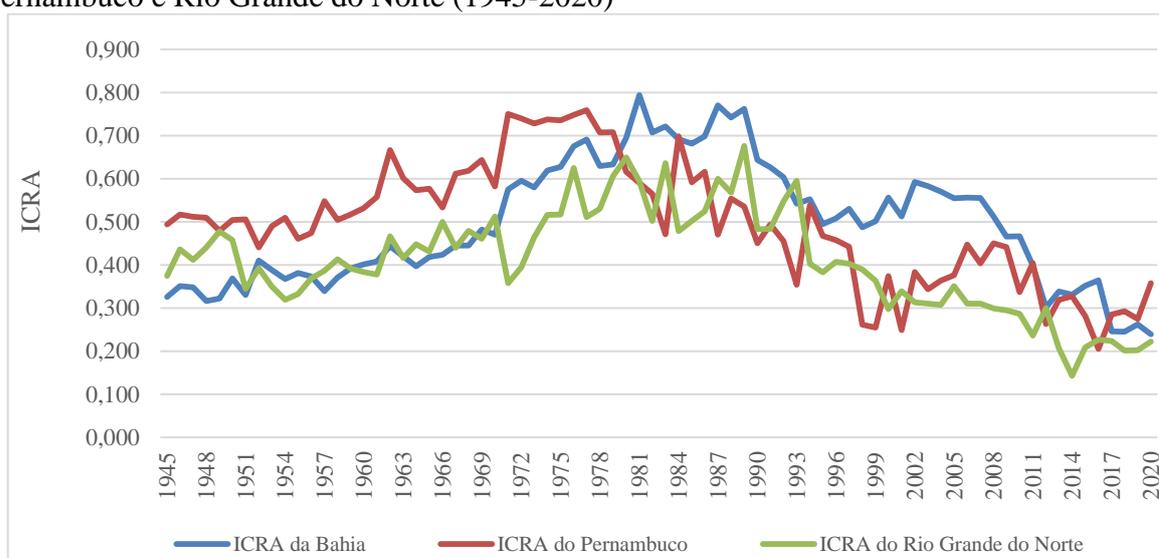
Destaca-se que o conceito de agricultura resiliente ao clima (*Climate Resilience Agriculture* – CRA, sigla em inglês) é definido como uma etapa anterior ao CSA. Segundo Rao *et al.* (2016), CRA significa a incorporação de adaptações, adicionada a outras práticas na agricultura que sejam habilitadas a promover o sistema produtivo em responder a distintas instabilidades climáticas, pela resistência aos danos, restabelendo-se rapidamente e possibilitando a produção sustentável. Ela é uma maneira de alcançar prioridades de

desenvolvimento agrícola de curto e longo prazos, em face da mudança climática, e serve como uma ponte para outras prioridades do desenvolvimento.

Dado o contexto supracitado, uma das etapas da abordagem da *Climate Smart Agriculture (CSA)* é mensurar a resiliência da agricultura, motivo por que esta pesquisa propôs esta etapa com apoio na elaboração do Índice de Agricultura Resiliente ao Clima (ICRA), no qual sua mensuração só foi possível após a geração dos fatores provenientes da análise fatorial, demonstrada na seção anterior. Este índice denota que, para Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, os condicionantes relacionados às culturas do feijão, da mandioca e do milho que, majoritariamente, são produzidas em sistema de sequeiro, são considerados indicadores sintéticos capazes de apontar o comportamento da resiliência da agricultura ao clima durante o período de 1945 a 2020.

A região sob estudo está centrada na agricultura que é, potencialmente, vulnerável às mudanças climáticas em decorrência, por exemplo, da dependência de culturas de sequeiro, que tradicionalmente os estados do Nordeste possuem. Então, a interpretação do ICRA, mensurado na escala de 0 a 1, aponta que, quanto mais próximo de zero, menor a resiliência da agricultura, e quanto mais próximo de um, mais resiliente será a agricultura ao clima. Dada esta contextualização, o Gráfico 22 demonstra o comportamento da realidade de longo prazo dos índices para cada estado citado.

Gráfico 22 – Índice de Agricultura Resiliente ao Clima (ICRA) nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte (1945-2020)



Fonte: Elaboração própria (2022), com base nos resultados da pesquisa a nos indicadores dos anuários estatísticos do Brasil (IBGE, 1945-1973), PAM-2021 (IBGE, 2021) e NOAA (2022).

Percebe-se que, no período analisado, o ICRA dos três estados oscilou bastante, mostrando que o índice captou a sinergia entre as variáveis e o comportamento dos períodos de chuvas. Na Bahia, o período pluviométrico classificado como chuvoso perdurou por 19 anos, e o valor médio do ICRA foi de 0,504. Nos 26 anos em que as chuvas foram categorizadas como normais, o ICRA registrou uma média de 0,530. Já no período seco, o valor médio do ICRA foi de 0,457, fase mais longa, pois durou 31 anos. Os períodos secos estão relacionados aos anos de incidência do evento *El Niño* (ver Tabela 11). Destas mais de três décadas, apenas em seis anos houve a incidência do fenômeno *La Niña* (1950, 1955, 1976, 2008, 2017 e 2018). Os anos classificados como normais e chuvosos estão associados aos anos com ocorrência do fenômeno *La Niña*, embora esses fenômenos não ocorram necessariamente em todos os anos durante o período de análise (1945-2020).

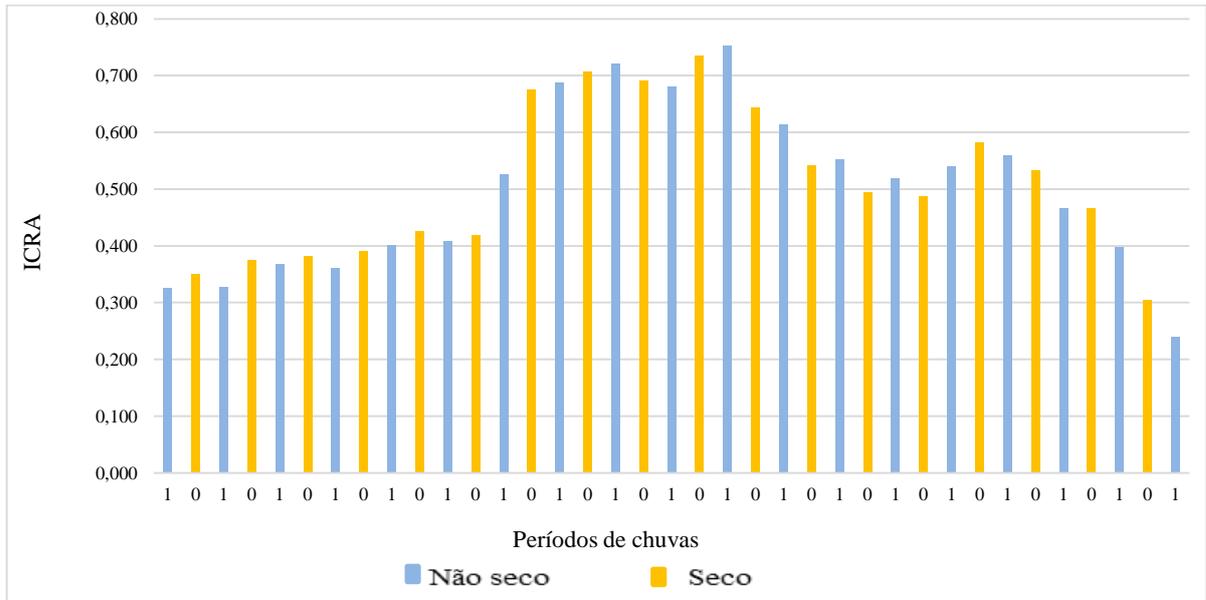
Em Pernambuco, o ICRA médio no período seco foi de 0,410, situação que perdurou por 21 anos. Na classe de pluviometria normal, o valor médio do índice foi de 0,507, resultando um total de 35 anos nessa categoria. Quanto ao período chuvoso, o ICRA exibiu uma média em torno de 0,564, com 20 anos do total de 76 anos analisados. Diferentemente da Bahia, este Estado expressou o maior número de períodos de chuvas classificadas como normais. Quase todos os anos secos foram associados à incidência do *El Niño*, porém alguns anos ocorreram durante a *La Niña* (1955, 1999, 2000, 2011 e 2018), exceto os períodos em que não houve incidência de ambos os fenômenos. A *La Niña*, também, exibiu relação com os anos classificados como normais e chuvosos.

Quanto ao estado do Rio Grande do Norte, os 21 anos classificados como secos resultaram em um ICRA médio em torno de 0,386. Já nos períodos classificados como normais (33 anos), o valor médio do ICRA foi de 0,418. Os 22 anos categorizados como chuvosos no Estado resultaram no ICRA médio em torno de 0,418. Dos períodos secos, apenas quatro (1954, 1999, 1970 e 2017) ocorreram durante a passagem do evento *La Niña*, ao passo que outros anos foram, majoritariamente, associados aos eventos *El Niño*. Para os anos com incidência do fenômeno *La Niña*, estes resultaram em períodos classificados como normais e chuvosos.

De modo geral, quando comparadas as médias do ICRA para os três períodos, os índices elaborados obtiveram níveis de intermediário a baixo, mostrando que, malgrado os períodos com recorrentes secas, os agricultores ainda conseguem produzir as lavouras, porém com indicadores em níveis não muito satisfatórios. Esses resultados corroboram a classificação pluviométrica adotada nesta pesquisa, ou seja, os parâmetros utilizados não são arbitrários aos preceitos dos fenômenos meteorológicos que influenciam a precipitação pluviométrica nos estados da região Nordeste, especialmente, os que ora foram avaliados.

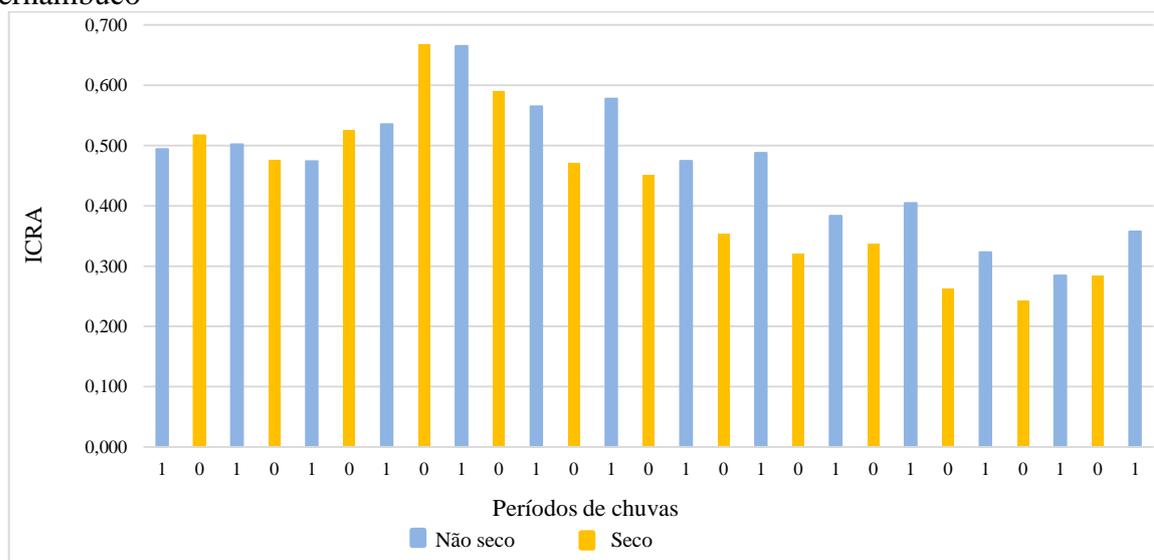
Partindo do conceito de resiliência, isto é, a capacidade de o sistema retornar ao estado inicial após sofrer choques, no caso da agricultura, esses choques são avaliados com suporte na instabilidade climática, critério adotado nesta pesquisa. Para tanto, realizou-se um agrupamento desde o ICRA, calculando as médias dos anos secos e não secos (grupo formado pelos anos com as categorias: normal e chuvoso), para verificar o comportamento do índice após sofrer os choques consequentes das baixas precipitações pluviométricas. O comportamento esperado para o ICRA é o de que, após a seca, os anos subsequentes (não secos) sejam iguais ou superiores aos períodos antes da incidência de seca, mostrando que a agricultura foi resiliente mesmo sofrendo choques climáticos. A representação gráfica para os Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte é visualizável à continuação.

Gráfico 23 – Índice de Agricultura Resiliente ao Clima (ICRA) e os períodos de chuva na Bahia



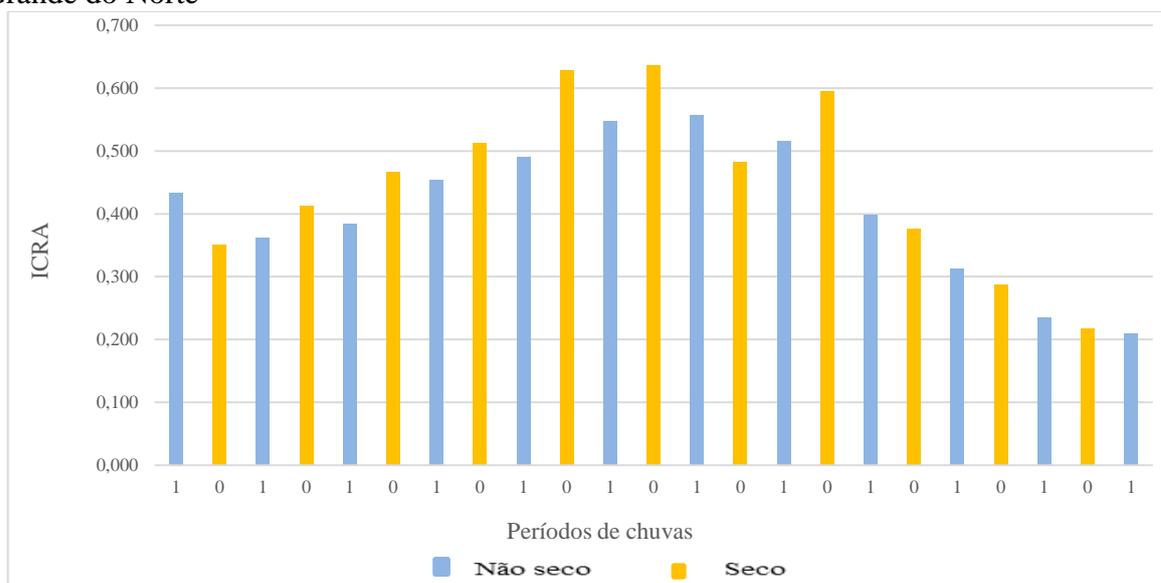
Fonte: Elaboração própria (2022), com base nos resultados da pesquisa e nos dados dos anuários estatísticos do Brasil (IBGE, 1945-1973), PAM-2021 (IBGE, 2021) e NOAA (2022).

Gráfico 24 – Índice de Agricultura Resiliente ao Clima (ICRA) e os períodos de chuva em Pernambuco



Fonte: Elaborada pela autora (2022), com base nos resultados da pesquisa a partir dos dados dos anuários estatísticos do Brasil (IBGE, 1945-1973), PAM-2021 (IBGE, 2021) e NOAA (2022).

Gráfico 25 – Índice de Agricultura Resiliente ao Clima (ICRA) e os períodos de chuva no Rio Grande do Norte



Fonte: Elaboração própria (2022), com base nos resultados da pesquisa e nos dados dos anuários estatísticos do Brasil (IBGE, 1945-1973), PAM-2021 (IBGE, 2021) e NOAA (2022).

Observa-se, com amparo nos Gráficos 23, 24 e 20, que o comportamento do período foi avaliado sob a comparação entre pares dos períodos secos e não secos. O total de pares estimados para Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte foram 18, 13 e 11, respectivamente. Com base nesses pares, foi realizado o teste de comparação de médias (teste t de Student), considerando os períodos antes e depois da ocorrência de seca. As médias do ICRA foram testadas e exibiram-se estatisticamente diferentes nos períodos de chuvas classificados. A outra

etapa adotou a hipótese nula (H_0) que testa se a média do período antes é igual ao período depois da seca. Nesse caso, indicou a existência de resiliência da agricultura ao clima. Caso a média depois da seca seja menor do que a de antes, não é possível afirmar a existência de resiliência. Estes resultados são visualizáveis na Tabela 20.

Tabela 20 – Teste de contraste para avaliar a diferença do ICRA nos períodos antes e depois da ocorrência de secas nos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, no período de 1945 a 2020

UF	Contraste	Diferença entre médias	ICRA médio antes da seca	ICRA médio depois da seca	Estatística t	Graus de liberdade	Sig.
Bahia	Antes - Depois	0,005	0,512	0,507	0,250	17	0,805
Pernambuco		0,010	0,475	0,464	0,509	12	0,620
Rio Grande do Norte		0,020	0,426	0,406	1,069	10	0,310

Fonte: Elaboração própria (2022), com base nos resultados da pesquisa e nos indicadores dos anuários estatísticos do Brasil (IBGE, 1945-1973), PAM-2021 (IBGE, 2021) e NOAA (2022).

Pelo comportamento dos gráficos e pelos testes realizados, considerando o ICRA como parâmetro para tais análises, concluiu-se que apenas o estado do Pernambuco mostrou resiliência da agricultura ao clima. Nos casos da Bahia e do Rio Grande do Norte, os resultados implicam afirmar que, ao considerar o ICRA e os períodos de chuvas categorizados, não houve resiliência ante essa análise agregada, mas ressalta-se que, ao agregar os dados no plano de Estado, as peculiaridades de determinadas regiões não são captadas.

Inúmeros fatores conduziram a esses resultados. Ponto a ser citado é a dimensão do Estado da Bahia, com um total de 417 municípios contemplados dentro de sete mesorregiões⁴³. Dentro do mesmo Estado, encontram-se diferenças inerentes aos recursos naturais, financeiros, capacitação técnica, acesso ao crédito rural, uso de tecnologias, práticas agrícolas entre outros fatores, totalmente heterogêneos entre os agricultores das lavouras de feijão, mandioca e milho.

A realidade do Rio Grande do Norte, apesar de não ser um estado tão amplo quanto a Bahia, há também heterogeneidade entre os 167 municípios, disseminada entre suas quatro mesorregiões⁴⁴. Um fator bastante limitante é que este Estado é um dos mais castigados pelos efeitos climáticos, uma vez que grande parte do seu território está inserido no Semiárido, o que interfere, direta e indiretamente, nos rendimentos das culturas.

⁴³ Extremo Oeste; Vale São-Franciscano da Bahia; Centro-Norte; Nordeste; Metropolitana de Salvador; Centro-Sul e Sul Baiano.

⁴⁴ Oeste; Central; Agreste e Leste Potiguar.

Apesar de Pernambuco⁴⁵ apontar resiliência da agricultura ao clima, há de se considerar que os agricultores cultivam suas lavouras mesmo com a instabilidade climática, embora as condições de assistência técnica e de acesso aos recursos tecnológicos e financeiros sejam entraves, principalmente, para os agricultores familiares. As práticas agrícolas utilizadas são, muitas vezes, de baixo custo e com a mínima inserção de tecnologias adequadas para as características regionais. Os conhecimentos passados à extensão dos anos pelos agricultores fazem com que estes promovam as estratégias adaptativas às intempéries ambientais.

Há de se considerar o efeito dos anos com a incidência dos eventos *El Niño*, pois, nesta pesquisa, sobrou evidente sua relação com a ocorrência de secas e, conseqüentemente, a interferência nos resultados do ICRA. Corroborando este resultado, Canedo-Rosso *et al.* (2021) verificaram que os eventos de secas mais severas na Bolívia, geralmente, ocorreram durante os anos com a incidência de *El Niño*. Além disso, os autores descobriram que a diminuição da vegetação é causada, principalmente, por baixa precipitação e alta temperatura. De semelhante modo, Li, Strapasson e Rojas (2020) analisaram os impactos dos eventos *El Niño* e *La Niña* na agricultura da China, e os resultados constataram que, no longo prazo, os eventos *La Niña* tendem a ter influxos líquidos positivos na produtividade de grãos, em comparação com os efeitos de eventos *El Niño*.

De supina relevância é entender como se comportaram as produtividades das lavouras em cada estado, uma vez que esta é a única variável inserida no ICRA, da qual, de fato, o agricultor possui algum controle, já que ele adiciona recursos habilitados a melhorar a capacidade de produção da área disponível.

Na Bahia, as produtividades das lavouras expressaram médias distintas ao esperado, quando comparadas entre as classes dos períodos de chuvas. No período chuvoso, a produtividade do feijão ficou em torno de 698,39 kg/ha, no período normal resultou em 535,35 kg/ha e no seco atingiu cerca de 547,67 kg/ha. Quanto à cultura da mandioca, no período chuvoso, a produtividade foi de 14300,85 kg/ha, no período normal exibiu em torno de 15029,21 kg/ha e no seco chegou a 11443,13 kg/ha. Na cultura do milho, a produtividade revelou valores muito discrepantes, pois, quanto aos períodos chuvoso, normal e seco, atingiu os patamares em torno de 833,44 kg/ha, 701,97 kg/ha e 2458,63 kg/ha, respectivamente. Um fato a ser considerado é que a produtividade do feijão no período seco foi maior do que no normal. Já a mandioca, o maior valor foi no período de normalidade pluviométrica, uma vez que esta cultura não suporta excesso de chuva durante o seu desenvolvimento. No caso do

⁴⁵ O Estado possui cinco mesorregiões: Sertão; São Francisco; Agreste; Mata e Metropolitana do Recife.

milho, dentre as culturas analisadas, os resultados foram bastante incomuns ao que era esperado, pois a maior produtividade ocorreu durante os períodos classificados como secos.

Pernambuco apontou a produtividade de feijão em torno de 403,37kg/ha no período chuvoso, 424,82 kg/ha no período normal e 362,39 kg/ha no seco. Para a mandioca, o período chuvoso resultou em 10547,78 kg/ha, no de normalidade pluviométrica foi de 10296,03 kg/ha e no período mais crítico de chuva foi de 9197,92 kg/ha. A lavoura de milho indicou uma produtividade de 667,36 kg/ha no período chuvoso, 612,93 kg/ha sob normalidade e 473,71 kg/ha na fase seca. Nesse âmbito, apenas na cultura do feijão foi que a produtividade do período de normalidade pluviométrica resultou superior ao período chuvoso. As demais culturas responderam acerca dessa classificação, respeitando a hierarquia pluviométrica: seco<normal<chuvoso.

No Rio Grande do Norte, durante o período chuvoso, a produtividade média do feijão atingiu 403,01kg/ha, no período de normalidade alcançou 368,67 kg/ha e em menor nível foi encontrado no período seco, com 284,91 kg/ha. Quanto à cultura da mandioca, a maior produtividade média foi alcançada no período chuvoso, com 8512,21kg/há. Já na fase seca alcançou uma produtividade de 8088,99 kg/ha e, por último, o período normal atingiu 6911,60 kg/ha. A cultura do milho exibiu a menor produtividade entre os estados analisados, para os três períodos de chuvas classificados, apontando os patamares em torno de 560,68 kg/ha (chuvoso), 465,34 kg/ha (normal) e 348,25 kg/ha (seco). Os resultados mostram que as lavouras exprimem respostas decrescentes quanto às produtividades diante dos períodos de chuvas (chuvoso>normal>seco). Teoricamente, esse seria o resultado esperado, porém a cultura da mandioca obteve uma produtividade superior no tempo seco quando comparada ao de normalidade pluviométrica, diferentemente das demais culturas.

Um fator relevante na discussão destes resultados permeia o uso de irrigação⁴⁶, uma vez que os dados das produtividades estão agregados (sequeiro e irrigado), valendo frisar que as culturas selecionadas são majoritariamente produzidas em sistema de sequeiro. Em regiões onde a demanda não acompanha a oferta hídrica, há a necessidade de implantação de sistema de irrigação ou mesmo uma intervenção no que concerne aos recursos hídricos disponíveis, para que haja o suprimento para aos agricultores; mas, para a realidade brasileira, essa medida não

⁴⁶ De acordo com a ANA e IBGE (2021), a agricultura irrigada exprime duas parcelas distintas de consumo de água: a demanda suprida por fontes naturais, assim como no sistema de sequeiro (chuva/solo – “água verde”); e a parcela suplementada total ou parcialmente com água captada em mananciais superficiais ou subterrâneos (irrigação – “água azul”).

é tão fácil de ser adquirida, principalmente por pequenos produtores, que muitas vezes possuem recursos limitados, tanto financeiros quanto técnicos.

Essa perspectiva traduz-se nas propriedades rurais, que, segundo o Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2019), apontou que no Brasil apenas 9,90% (502379) dos estabelecimentos agropecuários possuem sistema de irrigação, de igual modo como acontece em outras partes do País. Observa-se que a região Sudeste possui o maior índice de irrigação, com 16,67% (161572), seguida da região Nordeste, com 9,81% (227933), Sul, com 6,94% (59218), havendo o Norte expressado em torno de 6,10% (35421) e, por último, a região Centro-Oeste, com 5,25% (18235) dos seus estabelecimentos agropecuários com irrigação. Procede-se a uma ressalva para estes resultados - o fato de as regiões Sul e Centro-Oeste terem revelado menores percentuais comparados ao Nordeste, explicando-se pelo fato de estas duas regiões possuírem menores valores em estabelecimentos, porém com áreas irrigadas em patamares bem superiores.

Quanto aos estados analisados, o padrão não foi muito diferente da realidade regional, pois o maior nível de irrigação dos estabelecimentos agropecuários foi encontrado no Rio Grande do Norte, com 15,01% (9525), seguido de Pernambuco, com 14,00% (39429), e da Bahia, com 12,27% (93595). Isso implica afirmar que a agricultura nesses estados é, majoritariamente, cultivada em sistema de sequeiro, mencionando-se, entretanto, que, em termos comparativos, dadas as proporções entre eles, a Bahia possui o maior nível de irrigação, seguida do Pernambuco e do Rio Grande do Norte, uma vez que o número de estabelecimentos agropecuários tem interferência nesses indicadores.

Sabe-se que a disponibilidade hídrica total do território nordestino não se encontra igualmente distribuída. A tendência é haver uma expansão das práticas agrícolas em territórios favoráveis do ponto de vista agroclimático, reduzindo os riscos à produção (como exemplos: distribuição espacial das temperaturas e precipitações), mas, também, são influenciadas por outros fatores físicos, econômicos, sociais, políticos e de infraestrutura.

Os agricultores, de um modo geral, desenvolvem habilidades de convivência com as secas, seja por meio dos conhecimentos adquiridos pelos seus antepassados, ou pelas próprias experiências. Esses conhecimentos adquiridos, então, os transportam a conceber estratégias de sobrevivência e adaptação aos períodos mais críticos. Um desses conhecimentos é classificado por Devendra (2016) como auto-resiliência, pois ele é apontado como independente da intervenção de agentes externos, ou mesmo de políticas públicas. A constituição da resiliência torna-se benéfica neste contexto quando se permitem ações coordenadas em vez de depender apenas de ações autônomas e descoordenadas no contexto local/fazenda.

As atividades agrícolas são totalmente dependentes das condições ambientais, e possuem, além de uma heterogeneidade espacial, um componente associado à variação temporal. Nesse âmbito, as variáveis edafoclimáticas controlam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, e sua análise serve como suporte para a identificação de regiões com alto potencial de produção, isto é, áreas onde a variabilidade climática e as condições de solo sejam adequadas para o pleno desenvolvimento das culturas. Nesse aspecto, o agricultor tem o calendário agrícola como fonte de informação, com o propósito de indicar os meses em que se realizam a semeadura e a colheita de diversas culturas agrícolas ao longo do ano, de acordo com a região do País, com a finalidade de reduzir os riscos.

4.4.3 Pilar III da abordagem CSA: mensuração do impacto das práticas agrícolas nas emissões de gases do efeito estufa (GEE) em nível municipal

Para finalizar as análises quanto aos pilares da abordagem CSA, necessita-se mensurar o pilar III, no qual está relacionado a emissão e/ou redução dos gases do efeito estufa (GEE) na agricultura. Com tal desiderato, esta pesquisa testou a hipótese nula (H_0): As práticas agrícolas adotadas pelos produtores rurais nos municípios dos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte não são suficientes para reduzir as emissões de gases do efeito estufa (GEE). À extensão deste segmento, encontram-se os principais resultados provenientes das estimativas derivadas dos modelos aplicados ao método de dados em painel.

4.4.3.1 Análise das estatísticas descritivas

Realizou-se, inicialmente, uma análise descritiva das variáveis selecionadas, com apoio em medidas de dispersão (máximo, mínimo, desvio-padrão) e de tendência central (média), conforme a Tabela 21.

Tabela 21 – Estatísticas descritivas das variáveis analisadas

UF	Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão
Bahia	GEE	34,000	459.369,000	63.921,240	66.356,550
	TLA	0,000	11,976	0,747	0,960
	AC	0,000	573.252,000	9.122,580	37.570,260
	DEFA	0,000	3.584,000	302,830	466,980
	IRRIG	0,000	40.418,000	868,980	3.133,060
	TRAT	0,000	0,018	0,020	0,020
	ASSIST	0,000	237,000	1,080	10,460
	PCS	0,000	1.257,900	22,290	62,700
Pernambuco	GEE	27,770	174.238,450	32.596,480	28.560,970
	TLA	0,060	41,410	0,940	2,490
	AC	0,000	87.410,000	5.329,020	7.797,450
	DEFA	0,000	3.799,000	406,770	567,480
	IRRIG	0,000	39.357,000	945,460	2.737,080
	TRAT	0,000	0,150	0,002	0,010
	ASSIST	0,000	212,000	1,570	12,520
	PCS	0,000	500,740	11,060	32,160
Rio Grande do Norte	GEE	911,300	107.948,170	15.860,710	13.762,160
	TLA	0,000	36,940	2,180	3,600
	AC	0,000	28.250,000	1.966,310	3.097,840
	DEFA	0,000	1.699,000	156,710	196,190
	IRRIG	0,000	15.010,000	356,000	1.111,840
	TRAT	0,000	0,050	0,002	0,004
	ASSIST	0,000	44,750	0,870	3,210
	PCS	0,000	744,320	35,350	69,260

Fonte: Elaboração própria (2022), com base nos resultados da pesquisa e nos dados dos Censos Agropecuários 2006 e 2017 (IBGE, 2007, 2019), MapBiomass (2022) e SEEG (OC, 2022).

Destaca-se que, de acordo com a Tabela 21, no que se refere ao Estado da Bahia, o Município de Madre de Deus indicou o valor mínimo das emissões de gases do efeito estufa (GEE), em torno de 34,00 toneladas de CO₂e, em 2017. Em contrapartida, o maior patamar dentre os municípios referiu-se a São Desidério, com 459.369,00 tCO₂e, em 2017. Este, por sua vez, possui uma área de 15156,712 quilômetros quadrados (km²), o que faz dele o segundo maior município do Estado em extensão territorial, depois de Formosa do Rio Preto. Em 2019, São Desidério expressou o maior valor adicionado bruto (a preços correntes) do setor agropecuário no Estado, com R\$1,57 bilhões, bem como o maior do Brasil, posicionando Sorriso no Mato Grosso (MT) em segundo lugar, com R\$1,47 bilhões (IBGE, 2022). Como o município é uma referência na produção de grãos e, principalmente, na oferta produtiva de algodão, o potencial e a intensificação da produção agrícola justificam os elevados níveis de emissões de GEE do setor agropecuário. O nível médio de emissões GEE nos municípios foi de 63.921,240 tCO₂e.

A taxa de lotação animal (TLA), mensurada pelo efetivo de rebanho bovino por área de pastagem, exibiu o maior indicador em Ibititá-BA (11,98 cabeças/ha); já Madre de Deus

obteve o menor (0,00), com uma média em torno de 0,747 cabeça/ha, ou seja, de modo geral, não chega a atingir uma unidade animal por hectare (UA/ha). Por esse indicador, se mede o efeito da compactação do solo por pisoteio animal. Quanto à área colhida com lavouras temporárias e permanentes (AC), Madre de Deus (0,00) foi o pior resultado dentre os 417 municípios, enquanto São Desidério exibiu uma área de 573.252ha, corroborando o padrão de alta produção agrícola no Estado. São Desidério pertence à região do MATOPIBA, classificada como a nova fronteira agrícola, onde estão Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia⁴⁷.

No que tange ao número de estabelecimentos agropecuários que utilizam defensivos agrícolas (DEFA), Guanambi teve o maior nível (3.584), ao passo que Madre de Deus, Maiquinique, Salinas da Margarida, Salvador e Saubara não exibiram níveis mínimos de uso de defensivos nos estabelecimentos agropecuários. Os fatores de emissões por defensivos agrícolas são associados à etapa de produção e transporte desses químicos, que, na literatura, é definida como a pegada de carbono do produto até a entrada na propriedade rural. O uso destes produtos na fazenda é reportado como emissões indiretas (WRI, 2022).

Com relação à área irrigada (em hectares), a maior extensão territorial irrigada foi identificada no município de Juazeiro, com 40.418ha no ano de 2017, município que contempla o maior perímetro irrigado do Estado, em decorrência da grande produção agrícola beneficiada pelo rio São Francisco. De outra vertente, 36 municípios⁴⁸ não registraram áreas irrigadas. Apesar de São Desidério possuir a maior área colhida, ele permaneceu em segundo lugar em termos de área irrigada (32520ha).

A razão entre o número de tratores e a área dos estabelecimentos agropecuários (TRAT) indicou que 36 municípios não possuem essa maquinaria em seus estabelecimentos agropecuários, enquanto Paripiranga detém a maior relação: 0,018 trator por hectare. Ainda assim, todavia, esse indicador é havido como baixo.

No que se refere à assistência técnica (ASSIST), mensurada pela razão entre o número de estabelecimentos agropecuários que recebem assistência técnica e o total de estabelecimentos agropecuários, 40 municípios não receberam assistência técnica de qualquer natureza; já o município de Nova Fátima indicou uma relação de 237, confirmando o maior

⁴⁷ Municípios da Bahia que pertencem a região do MATOPIBA: Angical, Baianópolis, Barreiras, Bom Jesus da Lapa, Brejolândia, Canápolis, Carinhanha, Catolândia, Cocos, Correntina, Coribe, Cotegipe, Cristópolis, Feira da Mata, Formosa do Rio Preto, Jaborandi, Luís Eduardo Magalhães, Mansidão, Paratinga, Riachão das Neves, Santa Maria da Vitória, Santana, Santa Rita de Cássia, São Desidério, São Félix do Coribe, Serra do Ramalho, Serra Dourada, Sítio do Mato, Tabocas do Brejo Velho e Wanderley.

⁴⁸ Aiquara, Almadina, Antas, Aurelino Leal, Barra do Rocha, Buerarema, Caatiba, Cairu, Campo Alegre de Lourdes, Coronel João Sá, Dário Meira, Firmino Alves, Gongogi, Ibiquera, Itamarí, Itanagra, Itaparica, Itapebi, Itapitanga, Jucuruçu, Macajuba, Macarani, Madre de Deus, Milagres, Ouriçangas, Pau Brasil, Potiraguá, Salvador, Santa Cruz da Vitória, São José da Vitória, Saubara, Terra Nova, Ubaitaba, Ubatã, Vera Cruz e Vereda.

patamar do Estado, porém, a média dos municípios ficou em torno de 1,08, indicando que a deficiência no acompanhamento técnico no meio rural é um problema persistente, o que impede o monitoramento dos agricultores, principalmente, quando se trata de instrução de práticas mitigadoras e adaptativas às mudanças climáticas.

As práticas de conservação do solo (PCS), calculadas pela razão entre o número de estabelecimentos agropecuários que adotam práticas conservacionistas (plantio em nível e/ou rotação de culturas e/ou pousio ou descanso de solos) e o total de estabelecimentos, indicaram que 15 municípios, além de Nova Fátima, não possuíam estabelecimentos com essas práticas. Em contrapartida, em Luís Eduardo Magalhães, resultou em uma razão de 1257,90 estabelecimentos, município que também pertence ao MATOPIBA, mostrando que está inserido na fronteira agrícola e promove práticas para a melhoria dos solos. O valor médio foi de 22,29 estabelecimentos, ou seja, muito discrepante quando comparado aos limites máximos e mínimos do Estado, indicando heterogeneidade entre os municípios.

Em Pernambuco, quanto às emissões de GEE pelo setor agropecuário, o Distrito de Fernando de Noronha⁴⁹ emitiu cerca de 27,77 tCO_{2e}, menor patamar encontrado. Ressalta-se que o Arquipélago de Fernando de Noronha registra um pouco mais de duas mil pessoas que vivem na área. Recentemente, o Forte Nossa Senhora dos Remédios recebeu o Selo de Sustentabilidade "Tesouro Verde", sendo o imóvel pioneiro da ilha a neutralizar 100% das emissões de carbono e primeiro patrimônio histórico tombado do Brasil a ter este título. Apesar disso, a Ilha possui problemas ambientais, uma vez que conta atualmente com apenas 5% da camada vegetal que existia na época do Descobrimento.

No caso de São Bento do Una, localizado no Agreste, este exibiu o maior nível de emissão do Estado, totalizando 174.238,45 tCO_{2e}. A análise das emissões de GEE necessita ter uma visão holística do contexto rural. Por exemplo, as emissões de N₂O do solo são causadas não apenas pela aplicação de fertilizantes, mas também pelas práticas de preparo e manejo do pH do solo, irrigação e drenagem. Com isso, o impacto dos GEE sob distintas práticas agrícolas é mais bem avaliado, simultaneamente, e em toda a fazenda. Ademais, as principais atividades econômicas do Município dão ênfase à agropecuária, especificamente, no setor de avicultura, tanto que é considerado o maior produtor de ovos da região Nordeste.

⁴⁹ Esse Distrito Estadual se torna referência nacional em sustentabilidade, ao ser a primeira localidade com carbono neutro do País. A Lei Nº 16.810, de 7 de janeiro de 2020, proíbe, a partir do dia 10 de agosto de 2023, a entrada de veículos que emitem dióxido de carbono, e procura o maior incentivo para entrada de carros elétricos, com perspectiva para transição total da frota de veículos poluentes a partir de 2030. Essa iniciativa decorre da Lei Estadual nº 14.090/2010 (Institui a Política Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas) e do Plano Estadual de Mudanças Climáticas, além dos objetivos estabelecidos no Programa de Sustentabilidade para o Arquipélago (Noronha +20) no que se refere às emissões de carbono (PERNAMBUCO, 2021).

A taxa de lotação animal (TLA), mensurada pelo total de cabeças por hectare de pastagem, indicou 0,06 cabeça/ha para o Município de Joaquim Nabuco, menor patamar encontrado, e Olinda exibiu 41,41 cabeças/ha. Esse resultado decorre do fato de o Município ter apontado pequena área de pastagem (0,53ha), mas, quando calculado o indicador, torna-se elevado ante o efetivo bovino. Os quatro maiores efetivos bovinos do Estado referem-se aos municípios de Itáiba (52141), Buíque (49600), Bodocó (47374) e São Bento do Una (47309 cabeças).

No que tange à área colhida (AC) com lavouras temporárias e permanentes, Fernando de Noronha não mostrou resultado satisfatório; já Maraial exibiu o maior nível do Estado, em torno de 87410ha, em 2006; porém, em 2017, o cenário mudou ao promover Ipojuca e Petrolina como as duas maiores AC do Estado, com 23006ha e 19250ha, respectivamente. Ressalta-se que o Censo Agropecuário de 2017 contemplou o resultado em um período de seca prolongada que atingiu os estados do Nordeste, o que interferiu diretamente nos rendimentos das atividades agrícolas.

Em se tratando do número de estabelecimentos agropecuários que utilizam defensivos agrícolas (DEFA), em 2017, Petrolina expressou o maior nível do Estado, com 3799 estabelecimentos, em contraposição aos municípios de Camaragibe, Fernando de Noronha (que é Distrito Estadual), Ilha de Itamaracá, Olinda e Paulista, com os níveis mínimos (0,00).

A área com irrigação em Petrolina apontou o maior patamar do Estado, com 39357ha. Esse município, apesar de pertencer à região do Semiárido, possui grande potencialidade para produção agropecuária, fazendo parte do pólo agrícola do Estado, com disponibilidade hídrica derivada do rio São Francisco e recursos tecnológicos capazes de fomentar o sucesso da produção local - diferentemente de Araçoiaba, Santa Maria do Cambucá e São José da Coroa Grande, que não registaram áreas irrigadas.

Com a Indicação de Procedência Vale do São Francisco para vinhos finos e espumantes, a Indicação Geográfica de vinhos tropicais em 2021, foi depositada a Indicação de Procedência (IP) no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), baseada em requisitos equivalentes aos da União Europeia. Têm destaque os municípios pernambucanos de Petrolina, Lagoa Grande e Santa Maria da Boa Vista, além de Juazeiro, Casa Nova e Curaça, localizados no Estado da Bahia. Esse reconhecimento impulsiona o incentivo à produção agrícola desses municípios e do seu entorno.

Faz-se uma observação quanto à razão entre o número de tratores e a área total dos estabelecimentos agropecuários (TRAT), pois nos resultados a maior relação foi encontrada em Fernando de Noronha (0,15 trator/ha) e a menor em 26 municípios, que não possuem tratores.

Há ressalvas para estes resultados, uma vez que, caso se analise em número de tratores, o Município de Petrolina mostrou um acumulado de 1235 tratores, entretanto este resultado dissolve-se pela área total dos estabelecimentos, quando comparada a Fernando de Noronha, que possui um número reduzido de estabelecimentos.

No âmbito da razão entre o número de estabelecimentos agropecuários que recebem assistência técnica e a sua área (ASSIST), o Município de Santa Cruz do Capibaribe expressou-se com a maior relação (212,00) e São José da Coroa Grande exibiu o menor patamar (0,00). Assim como a realidade brasileira, os municípios de Pernambuco são deficientes em termos de assistência técnica, uma vez que a razão média dos municípios atingiu apenas a marca de 1,57.

Quanto às práticas de conservação do solo (PCS), o Município de Maraial exibiu o maior indicador, em torno de 500,74 estabelecimentos agropecuários, com relação ao número total, contra 15 que não praticaram as PCS em seus estabelecimentos. Em termos médios, as PCS atingiram o nível de 11,06 estabelecimentos diante do total. Esses indicadores se mostram ainda muito incipientes ante a necessidade de melhorar a capacidade de produção agrícola no Estado.

No Rio Grande do Norte, a seu turno, o município que mais emitiu GEE no setor agropecuário foi Caicó - 107948,17 tCO₂. Este pertence à região do Seridó, deteve a segunda maior área com pastagem (22132,798ha) do Estado, em 2017. Já Vila Flor exibiu o menor patamar das emissões de GEE: 911,32 tCO₂e.

Os agricultores familiares são caracterizados pela multifuncionalidade, o que significa dizer que, de um modo geral, em suas propriedades, são realizadas várias atividades, como a avicultura, a caprinocultura, a ovinocultura, a bovinocultura, a horticultura, fruticultura. Demais disso, caracterizam-se pela pluriatividade, que se refere a um fenômeno configurado pela combinação das múltiplas inserções ocupacionais das pessoas que pertencem a uma mesma família, desenvolvendo atividades não agrícolas. As diversas atividades, então, desenvolvidas numa propriedade rural valorizam o reconhecimento da região.

Desse modo, o INPI concedeu selo de Indicação Geográfica (IG), na categoria indicação de procedência, aos Bordados de Caicó, produzidos em 11 municípios do Seridó, no Rio Grande do Norte. Além disso, o Município tem a perspectiva de ganhar o selo IG para o queijo de manteiga artesanal, uma vez que já é reconhecido pela produção de laticínios e pela caprinocultura.

Quanto a TLA, o Município de Baía Formosa (0,00) não apontou relação com o efetivo bovino, ao passo que Tibau exibiu o maior patamar, com 36,94 cabeças/ha. O maior

rebanho bovino do Estado, contudo, foi localizado em Caicó (26825 cabeças/ha) em 2017, mas, quando afere a relação com a área de pastagem, Tibau atinge um valor superior.

No que concerne à área colhida (AC), Arês exibiu 28250 ha, que impulsionou o maior patamar do Estado em 2006. Já em 2017, a posição de destaque ficou com o Município de Serra do Mel (21261ha), sendo 94,07% deste total derivados da produção de castanha de caju. A menor área colhida foi encontrada em Fernando Pedroza (não houve) em 2006. No ano de 2017, Santana do Seridó registrou a menor área com apenas 11ha.

No quesito defensivos agrícolas, em Apodi foi encontrado o nível mais elevado em número de estabelecimentos que fazem o uso destes produtos - o total de 1699. Esse município pertence à região do Semiárido, conhecido como grande produtor e exportador de melão no Estado, conseqüentemente, os estabelecimentos possuem níveis elevados em uso de defensivos agrícolas para manutenção e controle de pragas em suas produções. Já os municípios de Ipueira, Messias Targino e Senador Georgino Avelino não utilizaram estes produtos químicos em seus estabelecimentos.

Arês e Mossoró classificaram-se como os municípios que possuem as maiores áreas irrigadas, com 15010ha (2006) e 6847ha (2017), respectivamente. Dos 167 municípios, 29 não possuem sistema de irrigação. Os municípios, em geral, são caracterizados pelo clima Semiárido e pela dependência da água da chuva para manutenção da produção agropecuária.

Com relação ao número de tratores por área dos estabelecimentos, Rio do Fogo exibiu a razão de 0,051, maior indicador encontrado. Nessa perspectiva, 47 municípios não ofereceram resultados satisfatórios (0,00). Quanto à assistência técnica, Itajá exibiu o pior patamar (0,00), já Serrinha dos Pintos ofereceu uma relação em torno de 44,75. A média foi de 0,87, resultados que implicam afirmar que o nível de assistência técnica dos produtores rurais nos municípios ainda é muito baixo. No que tange às práticas de conservação do solo (PCS), Tibau mostrou o maior patamar com relação ao número de estabelecimentos (744,32), contra 16 municípios que não adotaram essas práticas em seus estabelecimentos - com média estimada em torno de 35,35, ou seja, valores muito discrepantes quando comparados aos extremos da série de dados.

As práticas explanadas neste debate são de suma relevância para entender o comportamento dos municípios dos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, quanto às emissões de GEE e, principalmente, para identificar os seus reais efeitos no contexto das mudanças climáticas, propósito do pilar III da abordagem da CSA. Para tanto, a aplicação do método de dados em painel torna-se necessária para se chegar a esta resposta, descrita na próxima subseção.

4.4.3.2 Mensuração dos efeitos das práticas agrícolas nas emissões de GEE via dados em painel

Nesta etapa, foram testados três modelos adotados pelo método de dados em painel, utilizando-se alguns testes para selecionar o modelo mais apropriado, com a intenção de captar os efeitos das práticas agrícolas nas emissões de gases do efeito estufa (GEE) da agropecuária nos municípios dos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte. Os resultados dos testes realizados estão descritos na Tabela 22.

Tabela 22 – Testes, hipóteses e estatísticas aplicados

Teste	Ênfase da análise	Hipóteses	P-valor		
			BA	PE	RN
Chow (Teste F)	Verifica entre o modelo <i>pooled</i> e EF	H ₀ : Modelo <i>pooled</i> H ₁ : Modelo EF	0,000	0,000	0,000
LM de Breusch-Pagan	<i>Pooled versus</i> EA	H ₀ : Modelo <i>pooled</i> é preferível; H ₁ : Modelo EA é preferível.	0,000	0,000	0,000
Hausman	Verifica entre o modelo de EF e EA	H ₀ : Modelo EA H ₁ : Modelo EF	0,000	0,008	0,000
Wooldridge	Efeitos individuais não observados	H ₀ : Ausência de correlação entre os erros do mesmo grupo; H ₁ : Existem efeitos não observados.	0,000	0,000	0,000
Pesaran LM	Identificar correlação contemporânea entre os indivíduos	H ₀ : Independência dos <i>cross-section</i> H ₁ : Correlação contemporânea	0,000	0,000	0,000
Wald	Identificar presença de heterocedasticidade em EF	H ₀ : Homocedasticidade H ₁ : Heterocedasticidade	0,000	0,000	0,000
Wooldridge	Verificar a correlação serial em EF	H ₀ : Não existe correlação serial H ₁ : Existe correlação serial	0,000	0,70	0,006

Fonte: Elaboração própria (2022), com base nos resultados da pesquisa a nos dados dos Censos Agropecuários 2006 e 2017 (IBGE, 2007, 2019), MapBiomass (2022) e SEEG (OC, 2022).

Para Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, os resultados (Tabela 22) apontam que o teste de Chow expressou um p-valor inferior a 0,05, evidenciando que a hipótese nula não foi aceita para os três estados, ou seja, o modelo de efeitos fixos é preferível ao modelo *pooled*. Quanto ao teste do Multiplicador de Lagrange (LM) de Breusch-Pagan, a hipótese nula não foi aceita, apontando que o mais indicado é o modelo de efeitos aleatórios (EA). No que tange ao teste de Hausman, o p-valor foi inferior a 0,05, logo, o modelo de efeitos fixos (EF) foi considerado o mais adequado quando comparado ao modelo de efeitos aleatórios (EA).

O teste de Wooldridge indica que a hipótese nula não foi aceita, apontando que existem efeitos não observados. Dada essa condição, Croissant e Millo (2019) afirmam que esta estratégia identifica formatos gerais de persistência nos erros, indicando caminhos para uma especificação mais detalhada. Nisso, os testes mais robustos auxiliam na discriminação entre ocorrência de erros invariantes (efeitos aleatórios) e de decomposição do tempo (erros autorregressivos).

O teste de Pesaran LM possui a hipótese nula de correlação entre *cross-sections*. Com base nos resultados, observou-se que a hipótese nula não foi aceita, de modo que os *cross-sections* são independentes. O teste de Wald não aceitou a hipótese nula de homocedasticidade, indicando a existência de heterocedasticidade. De acordo com o teste de Wooldridge, o p-valor foi superior a 0,05, tendo-se, então, asserido que não existe correlação serial (não rejeita-se H_0) no modelo de efeitos fixos (EF). Após a identificação da heterocedasticidade (nas regressões para BA, PE e RN) e correlação serial (nos modelos aplicados ao PE), foi necessário corrigir os problemas citados. Para tanto, Hoechle (2007) sugere a utilização do estimador de Driscoll-Kraay para uma provável correção das regressões, bem como mostra os resultados na Tabela 22.

Os modelos estimados foram definidos como: i) *pooled* – modelo de mínimos quadrados ordinários (MQO) com dados empilhados; ii) efeitos aleatórios (EA) - assume que a variação entre os municípios deve ser aleatória e sem correlação com as emissões dos GEE da agropecuária, ou seja, ele considera que o intercepto seja uma variável aleatória e não uma constante, também chamado de modelo de correção de erros, justamente por considerar que o erro composto, na verdade, seja desagregado em dois componentes: 1) variação entre indivíduos; e 2) variação geral entre observações; iii) efeitos fixos (EF) - chamado de efeito individual ou heterogeneidade individual; o termo de erro idiossincrásico varia aleatoriamente para todos os indivíduos e períodos. Esse modelo foi usado para capturar a heterogeneidade não observada nos municípios e para controlar a diferença anual nas emissões de GEE da agropecuária.

Ante os resultados dos testes, os modelos de efeitos fixos (EF) se mostraram mais adequados para a análise dos efeitos das práticas agrícolas nas emissões de GEE da agropecuária nos municípios dos três estados analisados (BA, PE e RN). Para cada um, foi construído um painel de dados para mensurar os efeitos em cada conjunto de municípios. Acerca disso, os resultados das estimações são observáveis na Tabela 23.

Antes mesmo de especificar os cenários dos estados, cabe mencionar que no Brasil, de um modo geral, houve uma redução no número de estabelecimentos classificados como de

agricultura familiar. Segundo os Censos Agropecuários (IBGE, 2007, 2019), em 2006 constavam 4.366.267 estabelecimentos, enquanto em 2017 houve 3.897.408 estabelecimentos agropecuários, uma redução em torno de 10,74%. Na Bahia, em 2017, do total de 762.848 estabelecimentos agropecuários, 22,2% (169.437) foram classificados como de agricultura não familiar e 77,79% como de agricultura familiar (593.411). Pernambuco, por sua vez, exibiu, dos seus 281.688 estabelecimentos agropecuários, apenas 17,42% (49.077) categorizados como de agricultura não familiar e 82,58% (232.611) referentes à agricultura familiar. No caso do Rio Grande do Norte, 20,13% (12.772) dos estabelecimentos agropecuários referem-se à agricultura não familiar e 79,87% (50.680) classificados como de agricultura familiar. Esses resultados implicam afirmar que, nos três estados, a agricultura familiar prevalece como a categoria mais atuante na realidade rural.

Nesse aspecto, compreender a realidade de cada Estado é de vera relevância, pois, apesar de pertencerem à região Nordeste, as peculiaridades estaduais e municipais são bem distintas em cenários comparativos. A Tabela 23 encerra os resultados das estimações dos modelos aplicados ao método de dados em painel, considerando um painel de dados para os municípios de cada Estado analisado. A ideia nesta seção é avaliar o Pilar III da abordagem da CSA, que corresponde à análise das práticas agrícolas interferentes na emissão e/ou redução de GEE na agropecuária, nos municípios da BA, PE e RN.

Ante os resultados da Tabela 23, os coeficientes estimados são interpretados como elasticidades. Sob a interpretação dos coeficientes do modelo de efeitos fixos, nos Estados da Bahia e do Rio Grande do Norte, o aumento de 1% na taxa de lotação animal (TLA), mensurada pela relação do efetivo bovino por área de pastagem, causou, em média, uma elevação de 0,214% e 0,173% na emissão de GEE da agropecuária (CO₂e), respectivamente. Quando, porém, se trata do Pernambuco, o coeficiente estimado obteve um sinal diferente do esperado, em que o aumento de 1% na TLA causou, em média, uma redução de 0,186% na emissão de GEE da agropecuária (CO₂e). No ranque dos efetivos bovinos do Nordeste, a primeira posição pertence à Bahia (10037814), Pernambuco (1804876) em quarto e em último lugar o Rio Grande do Norte (870000). A concentração de animais na área de pastagem é que faz definir o grau de emissão de GEE, de modo que há estados onde essa concentração é mais intensiva e isso reflete na maior concentração de gases poluentes.

Os resultados conduzem ao entendimento de que, quanto maior a quantidade de bovinos numa mesma área de pastagem, possivelmente, causará um maior nível de pisoteio no solo, resultando em sua compactação, bem como num maior incremento nas emissões provenientes da digestão dos animais ruminantes (bovinos), como o metano (CH₄). Por essa

razão, esse setor é o que mais contribui para as emissões da agropecuária. Além disso, contém as emissões diretas da agricultura, por meio dos solos manejados, como as emissões de N₂O (óxido nitroso), com destaque para os gases provenientes do uso de dejetos de bovinos de corte utilizados como adubo e despejados no pasto, juntamente ao emprego de fertilizantes sintéticos.

Na região Nordeste, especificamente, em razão das condições climáticas, sobretudo, os municípios que pertencem ao Semiárido, possuem alta instabilidade espacial e temporal na precipitação pluviométrica e elevadas temperaturas, as quais interferem diretamente na criação animal. Haja vista essas características, em muitos deles, a escolha mais adequada ante às condições edafoclimáticas é investir em animais bem mais resistentes às intempéries do clima, como os caprinos e ovinos, que se adaptam melhor a essa realidade. Muitos agricultores, porém, são resistentes a essa mudança, vindo daí capacitação técnica e o auxílio de profissionais capazes de incentivar essa transição de paradigma. Uma estratégia é promover a intensificação sustentável dos sistemas produtivos pecuários, fazendo-se necessária a implementação de melhores práticas de manejo das pastagens e da nutrição animal.

O sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) constitui a alternativa para regiões como o Nordeste, pois contempla uma produção sustentável que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais, praticadas na mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão ou em rotação. O princípio desse sistema é promover efeitos sinérgicos entre os elementos do agroecossistema, respeitando os princípios ambientais, a valorização da mão de obra rural e a viabilidade econômica das atividades desenvolvidas. Há ressalvas para esta categoria, pois os agricultores enfrentam barreiras relacionadas à capacitação técnica e financeira, as quais interferem na adoção do sistema iLPF. O Programa ABC+ possui uma categoria de crédito para este tipo de sistema, que, para um cenário futuro, representa uma grande saída para os agricultores.

Tabela 23 – Resultados dos modelos robustos de Driscoll-Kraay: *pooled*, efeitos aleatórios (EA) e efeitos fixos (EF) para os municípios da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte

Variável dependente: ln(gases do efeito estufa-GEE)			Modelos/UF						
Variáveis explicativas	Bahia			Pernambuco			Rio Grande do Norte		
	<i>Pooled</i>	EA	EF	<i>Pooled</i>	EA	EF	<i>Pooled</i>	EA	EF
ln(TLA _{it})	0,226*** (0,007)	0,192*** (0,021)	0,214*** (0,035)	-0,163*** (0,053)	-0,229*** (0,077)	-0,186*** (0,000)	-0,141*** (0,017)	-0,098*** (0,011)	0,173*** (0,058)
ln(AC _{it})	0,067*** (0,003)	0,123*** (0,010)	0,066*** (0,019)	0,268*** (0,016)	0,226*** (0,020)	0,163*** (0,001)	0,102*** (0,006)	0,125*** (0,006)	0,084*** (0,031)
ln(DEFA _{jt})	0,094*** (0,003)	0,044*** (0,014)	-0,011 (0,013)	0,163*** (0,007)	0,143*** (0,002)	0,025*** (0,000)	0,110*** (0,004)	0,073*** (0,001)	-0,018 ^{NS} (0,033)
ln(IRRIG _{it})	0,093*** (0,021)	0,052*** (0,015)	-0,026** (0,011)	0,018*** (0,001)	0,010*** (0,001)	-0,016*** (0,001)	0,087*** (0,021)	0,056*** (0,021)	-0,078*** (0,023)
ln(TRAT _{it})	-0,162*** (0,015)	-0,086*** (0,005)	-0,026*** (0,010)	-0,025*** (0,006)	-0,000 ^{NS} (0,006)	0,020 ^{NS} (0,012)	-0,069*** (0,004)	-0,050*** (0,004)	-0,002 ^{NS} (0,012)
ln(ASSIST _{it})	-0,048*** (0,001)	-0,043*** (0,008)	-0,013** (0,006)	0,049*** (0,000)	0,030*** (0,009)	0,006 ^{NS} (0,017)	-0,017*** (0,001)	-0,015** (0,007)	0,004 ^{NS} (0,019)
ln(PCS _{it})	0,170*** (0,007)	0,063*** (0,011)	0,002 ^N (0,008)	0,087*** (0,019)	0,027*** (0,008)	-0,005*** (0,001)	0,014** (0,007)	-0,008** (0,004)	-0,049** (0,022)
Intercepto	7,700*** (0,263)	8,876*** (0,314)	- -	6,821*** (0,090)	7,398*** (0,187)	- -	7,458*** (0,154)	7,735*** (0,216)	- -
R ²	0,35	0,22	0,16	0,48	0,36	0,16	0,38	0,25	0,17
Teste F	628,172***	-	21,458***	47,390***	-	4,312***	22,035***	-	4,441***
Teste Qui-Quadrado (χ^2)	-	233,868***	-	-	204,596***	-	-	109,221***	-
Observações	834	834	834	370	370	370	334	334	334

Fonte: Elaboração própria (2022), com base nos resultados da pesquisa e nos dados dos Censos Agropecuários 2006 e 2017 (IBGE, 2007, 2019), MapBiomass (2022) e SEEG (OC, 2022).

Nota: Erro-padrão entre parênteses. (***) significativo a 1%; (**) significativo a 5%; (*) significativo a 10%; e (^{NS}): não significativo.

As áreas colhidas com lavouras temporárias e permanentes (AC) para os estados da BA, PE e RN mostraram efeitos significativos, em que o aumento de 1% na área colhida provocou uma elevação nas emissões de GEE da agropecuária, em torno de 0,066%, 0,163% e 0,084%, respectivamente. Esse resultado só mostra o quanto o acréscimo da área utilizada para fins agrícolas tem uma implicação em torno da mudança do uso da terra, pois serão necessários maior desmatamento, mais demanda por insumos para a produção e, com isso, tende a emitir ainda mais GEE. O princípio é aumentar a produtividade para que não haja avanço em áreas preserváveis. Uma vez elevada a área de produção, o produtor terá de elevar o nível de manejo do solo para se chegar a produtividade esperada e, conseqüentemente, aumentará a demanda por calagem (aplicação de calcário) para corrigir o pH do solo, fonte de emissão de CO₂ (dióxido de carbono), o uso de fertilizantes sintéticos (emissor de óxido nitroso - N₂O) e defensivos agrícolas (emissões indiretas).

Quanto aos defensivos agrícolas (DEFA), apenas Pernambuco referiu o coeficiente significativo para o modelo de EF, em que a elevação de 1% no número de estabelecimentos agropecuários que utilizam defensivos agrícolas provocou um aumento, em média, de 0,025% nas emissões de GEE. Os demais estados não exibiram valores significativos, tornando dispensáveis as suas interpretações. Nos modelos de efeitos aleatórios (EA) para os três estados, todavia, esta variável se mostrou com efeito positivo na emissão de GEE.

Ao referir-se a áreas com sistema de irrigação, os três estados exprimiram efeitos positivos nas emissões de GEE para os modelos *pooled* e EA, mas o modelo adotado acerca dos testes foi o de EF. Nessa perspectiva, para os municípios da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, estimou-se que o aumento de 1% na área irrigada causou uma redução média de 0,026%, 0,016% e 0,078% nas emissões de GEE, respectivamente. O sistema de irrigação só provoca a elevação da emissão de GEE quando há o manejo inadequado. Esta prática classifica-se como mitigadora às mudanças climáticas, uma vez que, para municípios com escassez hídrica, desempenha um importante papel na adaptação, porém há regiões onde esse exercício é ainda mais difícil de ser adotado, pela baixa disponibilidade hídrica nos lençóis freáticos. Em muitos casos, os agricultores possuem apenas cisternas para armazenamento da água proveniente da chuva e, nem todos, possuem cisterna-calçadão, categoria que armazena água destinada à irrigação e à alimentação animal, tipo de reservatório que recebe até 52 mil litros de água.

Em análise aos impactos das mudanças climáticas na produtividade de grãos alimentares e não alimentares na Índia, Kumar, Sharma e Joshi (2016) apontam que a produtividade da terra está positivamente associada à área de irrigação. Os autores afirmam que

mais investimentos em sistemas de irrigação e infraestrutura no setor agrícola promovem o desenvolvimento rural, e serão úteis, sobretudo, para mitigar o efeito negativo das mudanças climáticas na agricultura e melhorar a produtividade agrícola. Nessa perspectiva, Simionescu *et al.* (2019), ao avaliarem o impacto dos GEE na produção de cereais nos países da União Europeia, apontaram que durante os períodos secos as emissões de GEE causaram a necessidade de irrigação extra. Logo, os efeitos dessas emissões, também, são suscetíveis de ser avaliados, levando em consideração a parcela de terras agrícolas irrigadas. Os resultados indicaram que, somente na Hungria, o aumento das emissões de GEE determinou uma lenta elevação no volume de áreas agrícolas irrigadas no período de 2000 a 2016. Essa discussão na literatura corrobora os resultados destacados nesta pesquisa.

No que refere-se à razão entre o número de tratores e a área dos estabelecimentos agropecuários (TRAT), somente a Bahia apontou um resultado significativo, nele indicando que o aumento de 1% nessa quantidade de tratores por hectare causou uma redução de 0,026% nas emissões de GEE da agropecuária nos municípios do Estado citado. O efeito positivo era esperado, uma vez que, quanto maior a concentração de tratores, maior será a demanda por combustíveis fósseis, como o diesel, maior a compactação do solo e, como efeito final, emitirá mais gases poluentes. Exibir, contudo, um resultado negativo, decorre do fato de que poucos estabelecimentos agropecuários possuem tratores, e isso se reflete no valor total para cada município dos estados analisados, tanto que os outros não foram significantes para interpretação.

Em se tratando de assistência técnica (ASSIST), mensurada pela razão entre o número de estabelecimentos agropecuários que recebem assistência técnica e o total de estabelecimentos no município, somente a Bahia exibiu resultado significativo, pois seu coeficiente indicou que o aumento de 1% na assistência técnica dos municípios reduziu em torno de 0,013% as emissões de GEE na agropecuária. Os demais estados não revelaram resultados significativos. A assistência técnica tem o poder de capacitar os agricultores para que haja uma transição para novos sistemas de produções mais sustentáveis. Sem acompanhamento técnico, os produtores rurais não têm possibilidade de acessar os melhores métodos que sejam adequados para a realidade de cada propriedade, em termos de recursos financeiros e/ou naturais. De um modo geral, os municípios do Nordeste possuem baixos níveis de acompanhamento técnico e, quando têm, não recebem assistência contínua e muito menos direcionada para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas, ou seja, permanece com a orientação que fomenta o uso de práticas convencionais da agricultura.

Finalizando a interpretação dos coeficientes estimados pelos modelos aplicados a dados em painel, tem-se a razão entre o número de estabelecimentos agropecuários que adotaram práticas de conservação e o total de estabelecimentos (PCS). No caso do painel para os municípios da Bahia, as PCS não foram significativas, enquanto os coeficientes estimados para os municípios do Pernambuco e do Rio Grande do Norte apontaram que o aumento de 1% nas PCS causou uma redução nas emissões de GEE em torno de 0,005% e 0,049%, respectivamente. Embora os efeitos tenham sido pequenos, os agricultores que adotam as práticas de plantio em nível e/ou rotação de culturas e/ou pousio ou descanso de solos, promovem efeitos benéficos. De acordo com o *GHG Protocol Agricultural Guidance* (WRI, 2022), alguns benefícios agronômicos são citados, como: aumento do sequestro de Carbono do solo; redução das emissões de N₂O indireto; redução da necessidade por fertilizantes; redução do uso de combustível; custos com a mão de obra no campo; maior rendimento; e melhor qualidade do solo.

Tais resultados corroboram a literatura que retrata os impactos das práticas agrícolas na **pegada de carbono**, mensurada pela emissão de CO₂e proveniente da agropecuária (JAYASOORIYA, 2021; SIMIONESCU *et al.*, 2019). Esta etapa configura-se como substancial à análise do pilar III da abordagem da CSA, pois, assim, tem-se o conhecimento dos cenários para os municípios de cada estado avaliado. Realizar uma tentativa de analisar os pilares da CSA e conhecer as estratégias de intervenção para o seu alcance em determinada região torna-se um grande desafio, uma vez que este conceito ainda é muito recente e pouco adotado nos países, assim como no Brasil, que não possui políticas públicas específicas para a abordagem citada. A implementação de práticas mitigadoras e adaptativas às alterações climáticas, é considerada como o grande desafio da agricultura contemporânea, e torna-se ainda maior quando se trata de regiões onde a instabilidade pluviométrica e temperaturas elevadas ditam as regras da produção agropecuária, como nos casos dos estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, os quais possuem boa parcela dos municípios inserida na região do Semiárido.

Em síntese, esta etapa aferiu o efeito da relação das práticas agrícolas adotadas com o poder de emissão e/ou remoção (mitigação) no setor agropecuário dos estados selecionados, considerando, dentre as outras fontes, os Censos Agropecuários de 2006 e 2017. A ideia central na mensuração do pilar III da CSA não foi condicionada a analisar as mudanças climáticas, pois, de acordo com Organização Mundial de Meteorologia (OMM), seria necessário avaliar uma série de dados de no mínimo 30 anos, salientando-se que não foi esse o objeto de análise nesta pesquisa.

4.4.3.3 Panorama sob a abordagem da Climate Smart Agriculture (CSA) na Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte

Ao analisar a realidade encontrada para o pilar I da CSA, a Bahia exibiu, tanto para a produtividade média quanto para o valor bruto da produção (VBP) por hectare das lavouras agregadas, bons ajustes no que se refere aos modelos previstos. Com base neles, indicou-se que, para o horizonte de longo prazo haverá um leve crescimento, com TGC positivas tanto no curto prazo quanto no longo prazo. As oscilações dos resultados (picos de alta e de queda) correspondem também ao comportamento da precipitação pluviométrica no Estado. Com efeito, os resultados acerca da produtividade e da renda (mensurada pelo VBP por hectare) dos agricultores, aferidos pela TGC e pelos os modelos de previsão, apontaram estabilidade e leve crescimento ao decurso dos anos, o que indica sustentabilidade desses condicionantes.

Quanto ao Pernambuco, os modelos utilizados para as previsões também foram bem ajustados, a produtividade média e VBP agregado por hectare indicaram estabilidade nos valores previstos, as TGC apontaram as maiores quedas dentre os estados analisados, -0,30% e -0,70%, respectivamente. Os resultados indicaram que a realidade pernambucana se mostrou instável quando se analisam as TGC. Entrementes, nos modelos previstos, os resultados exibiram um crescimento parcimonioso no longo prazo. De modo geral, isso implica afirmar que, no período de 1945 a 2020, os condicionantes adotados para mensurar o pilar I da CSA não remeteram a uma sustentabilidade, mas, de todo modo, os resultados devem ser interpretados com cautela.

O panorama encontrado no Rio Grande do Norte deixou entrevisto um crescimento mais ascendente entre os estados analisados, principalmente na produtividade média agregada das lavouras, que exibiu uma TGC=12,30% a.a. Para o cenário previsto, a produtividade média das lavouras se manterá sustentável ao longo dos anos. Já para o VBP agregado por hectare, a tendência exibiu-se com um leve crescimento para o cenário previsto, com TGC de 2,6% a.a no período de 1945 a 2020. Então, diante do exposto, tanto a produtividade média quanto o VBP agregado por hectare das lavouras classificaram-se como sustentáveis, no curto e longo prazo.

No âmbito do pilar II, ao avaliar o Índice de Agricultura Resiliente ao Clima (ICRA), concluiu-se que apenas Pernambuco apontou resiliência da agricultura. Nos casos da Bahia e do Rio Grande do Norte, os resultados apontaram que, ao considerar o ICRA e os períodos de chuvas categorizados, não foi possível identificar a ocorrência de resiliência. Os agricultores, de um modo geral, desenvolvem habilidades de convivência com as secas, seja

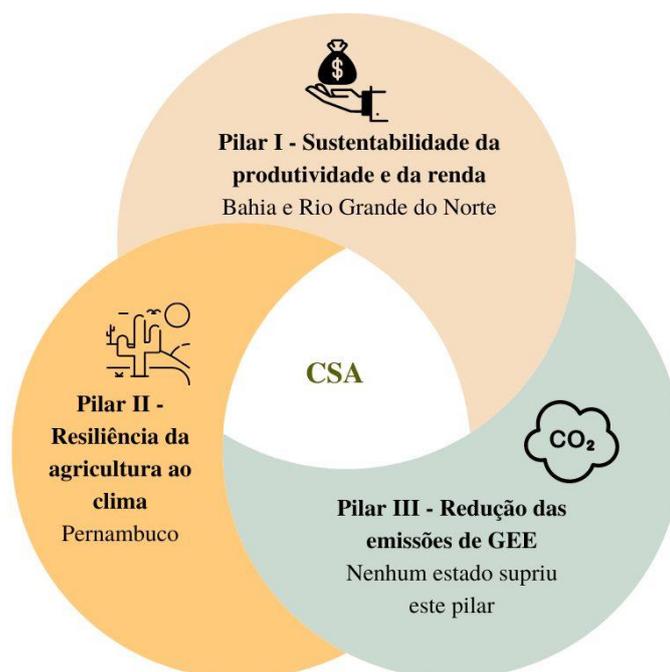
por meio dos conhecimentos adquiridos pelos seus antepassados, ou pelas próprias experiências adquiridas quando são obrigadas a gerenciar riscos recorrentes nas propriedades. Essa capacidade é mencionada como auto-resiliência, pois ela independe da intervenção de agentes externos, ou mesmo de políticas públicas, e os agricultores promovem com seus conhecimentos práticos assimilados ao longo das gerações.

No que concerne à mensuração do pilar III, no ranque dos estados que mais emitem GEE no setor agropecuário em 2020, a Bahia ocupou a décima posição nacional e a primeira da região Nordeste, com 25.491.366 tCO₂e. Pernambuco atingiu o décimo sexto lugar da classificação geral e quarto do Nordeste, com 6.636.238 tCO₂e. Com a vigésima quarta colocação nacional e a oitava posição regional, o Rio Grande do Norte exibiu em torno de 2.750.651 tCO₂e emitidas pelo setor agropecuário (OC, 2022). Essas disparidades são explicadas pela intensificação das atividades agrícolas em cada estado, bem como pelas práticas adotadas pelos agricultores. Embora os resultados apontados para o pilar III da CSA que mede a emissão e/ou redução de GEE tenham efeitos para as práticas de conservação do solo (PE e RN), assistência técnica (BA) e área irrigada (BA, PE e RN), tidas como benéficas que detêm a capacidade de melhorar as condições de produção e, principalmente, mitigar e adaptar o ambiente às mudanças climáticas, os estados analisados estão aquém dos padrões desejados, pois ainda prevalecem práticas tradicionais não adaptadas à agricultura de conservação e, quando os agricultores perfilham práticas mais sustentáveis, classificam-se como muito incipientes, sendo ocorrentes em poucos municípios. A Figura 9 demonstra o resumo da análise dos pilares da CSA para os estados selecionados.

Entende-se que a expansão de boas práticas agropecuárias, com o fomento e adoção de tecnologias de mitigação e adaptação, sobretudo, em áreas já antropizadas, é crucial para gerar o efeito “poupaterra”, reduzindo a pressão por desmatamento de novas áreas (OC, 2022).

Vale salientar que a tentativa expressa nesta pesquisa configura-se como inovadora, ao demandar a mensuração dos três pilares de maneira empírica, uma vez que, na literatura, a aferição da abordagem da *Climate Smart Agriculture* (CSA) é comumente retratada de modo teórico. Essa abordagem é recente (lançada em 2010) e, por essa razão, nem todos os países seguem as premissas definidas pela FAO (2013, 2018), porque as práticas classificadas como “inteligentes” na agricultura não são muito claras nos documentos oficiais. Uma crítica a esta abordagem é que ela necessita ser bem definida no tocante às práticas agrícolas que sejam verdadeiramente inovadoras, quanto a mitigação e adaptação às mudanças climáticas, delineando cada região de acordo com as suas peculiaridades multidimensionais.

Figura 9 – Resultado da análise dos pilares da *Climate Smart Agriculture* (CSA)



Fonte: Elaboração própria, com base nos resultados da pesquisa (2022).

Esses resultados lançam luz às ações hodiernas fundamentadas pelas políticas públicas tendidas para as questões climáticas na agricultura. Como proposta para melhoria dos municípios dos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, há a necessidade de enfatizar alguns elementos-chave nas atividades agrícolas que avancem nessa trajetória para se atingir as metas estabelecidas na abordagem da CSA, como: o acesso ao crédito rural que possibilite ao pequeno produtor ter a capacidade de investimento em tecnologias mais sustentáveis; o uso de práticas de conservação do solo adaptadas aos princípios da mitigação de GEE; a capacitação técnica dos agricultores; a inserção de conhecimentos da área da gestão de riscos no âmbito dos recursos naturais e financeiros; estratégias de convivência com a seca e inundações (eventos extremos); promover a resiliência da agricultura; possibilitar a geração de insumos próprios, para que haja a redução do uso de insumos externos que causam maiores dispêndios; melhoramento genético animal e vegetal; capacitação à gestão de recursos hídricos nas propriedades; adoção do zoneamento agroclimático; maior incentivo para a geração mais jovem, no intuito de evitar a migração da mão de obra economicamente ativa para as áreas urbanas; entre outras ações necessárias.

De maneira concisa, para que se avalie se a agricultura praticada pelos produtores rurais é inteligente ao clima, impõe-se analisar o seu comportamento de longo prazo, no que concerne à utilização de práticas como a adesão aos procedimentos de adaptação que os tornem mais resistentes à ocorrência de dificuldades climáticas. Em ambientes impactados pela

instabilidade climática, como ocorre na agricultura do Nordeste, a aplicabilidade dos conhecimentos adquiridos em sua história de vida e/ou apreendidos com os seus antepassados são capazes de situar os mais vulneráveis a essas instabilidades climáticas. Nessa contextura, os produtores rurais, decerto, vão aderir ao empreendedorismo climático, que se configura como um movimento que prioriza a criação de negócios atuantes sobre bases científicas com o propósito de elaborar soluções para a crise climática, com o elo entre o lucro da propriedade e as práticas de agricultura de baixa emissão de carbono. A escolha de boas decisões tem a possibilidade de transformar uma externalidade negativa provocada por choques climáticos recorrentes em estratégias inovadoras que utilizam o cerne do problema para um nicho de mercado que tem como base a percepção ao risco e a tomada de decisões inteligentes ao clima, com o sadio propósito de atingir melhores investimentos agrícolas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este experimento no *patim stricto sensu* acadêmico transportou uma série de elementos que possibilitaram responder os questionamentos centrais desta Tese, proporcionando uma reflexão sobre o marco-teórico conceitual, delineando-se as políticas públicas direcionadas para os aspectos climáticos, com ênfase no Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC), instrumentalizado pelo crédito concedido pelo Programa ABC e pela abordagem da agricultura inteligente ao clima (*Climate Smart Agriculture* – CSA, sigla em inglês), ambas contextualizadas à realidade brasileira e nordestina, respectivamente.

Este empreendimento universitário doutoral tem como objetivo central mensurar os efeitos da instabilidade climática ante as estratégias da agricultura de baixa emissão de carbono e inteligente ao clima no Brasil. Especificamente, pretendeu-se: i) avaliar o impacto (ou o efeito causal) do Programa de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Programa ABC) sobre o valor da produção agrícola por emissão de gases do efeito estufa (GEE) no Brasil; ii) mensurar os impactos da instabilidade climática sobre o valor da produção agrícola por hectare nos estados brasileiros; e iii) aferir o nível de implementação dos três pilares relacionados à abordagem da *Climate Smart Agriculture* (CSA) nos municípios dos Estados da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, pertencentes à região Nordeste.

Importante constatação da pesquisa revelou o efeito da intervenção do Programa ABC, mensurado pelo *gap* entre a unidade tratada (Brasil) e o seu controle sintético (Argentina, Austrália, Canadá, China, Estados Unidos, Índia, Indonésia, México e Tailândia). Seus resultados indicam que o Programa ABC no Brasil, durante o período de intervenção (2010-2019), exibiu efeito positivo no aumento do valor bruto da produção por emissões de GEE do setor agropecuário. Conquanto tenham indigitado esse efeito, expressos resultados devem ser interpretados com parcimônia, pois é possível que haja outros fatores condicionantes ou mesmo outros países passíveis de comparação com o Brasil, suscetíveis de exibir efeitos distintos dos que foram aqui expostos.

Evidencia-se que houve uma concentração na concessão de crédito rural disponibilizado pelo Programa ABC para as regiões Centro-Oeste e Sudeste, que receberam em torno de 31,37% e 29,65%, respectivamente. Esses valores referem-se ao crédito total do período de 2013 a 2020. As regiões Norte e Nordeste receberam, juntas, cerca de 27,40% dos recursos e, em último lugar, ficou a região Sul, com 11,58% de participação no rateio desses

recursos. Essas disparidades regionais só fortalecem a rejeição da hipótese de que as regiões que estão sendo mais contempladas pelo Programa são as áreas mais vulneráveis. A realidade encontrada nesta pesquisa só reforça que as regiões mais beneficiadas são as que mais emitem GEE, como ficou demonstrado na pesquisa, possuem melhores condições edafoclimáticas para a produção, bem como notável capacidade financeira para investir em tecnologias adaptadas às alterações do clima. Há de se considerar, como sugestões para o Programa ABC+ (2020-2030), contemplar regiões mais vulneráveis, caracterizadas por baixa inserção de tecnologia, escassos recursos financeiros e reduzida capacitação técnica dos produtores rurais para a transição de uma agricultura de baixa emissão de carbono, como, por exemplo, a região Nordeste.

Quanto aos efeitos da instabilidade climática sobre o valor bruto da produção da agricultura (VBP) por hectare nos estados brasileiros, mensurados pelo método de dados em painel, os resultados apontaram que o aumento de 1% na pluviometria em anos de ocorrência de eventos *La Niña* tende a causar a elevação de 0,08% no indicador de produtividade agrícola (VBP/ha). Por outro lado, o efeito do aumento de 1% na temperatura média tende a causar uma redução de 1,82% no VBP/ha, mesmo quando essa mudança reflete em áreas que possuem sistemas de irrigação (prática que melhora a capacidade adaptativa). A área com cicatrizes de fogo não exibiu efeito significativo no modelo de efeitos fixos (EF) - diferentemente da fertilização com CO₂, onde o aumento de 1% nos estados que possuem sistema de irrigação provocou uma elevação de 0,13% no VBP/ha, com ressalvas para o caso de as emissões de GEE extrapolarem os limites adequados para assimilação pelas plantas. Em sendo assim, o efeito poderá ser negativo.

As principais considerações acerca da abordagem da CSA concedem o lance de se apontar que o pilar I, relacionado à sustentabilidade da produtividade e da renda dos agricultores, indicou tendência de crescimento para os Estados da Bahia e do Rio Grande do Norte, mostrando sustentabilidade, tanto no curto quanto no longo prazo. Essa evidência não se comprovou para o Estado de Pernambuco. Com o pilar II, ao avaliar o Índice de Agricultura Resiliente ao Clima (ICRA), foi possível concluir que apenas Pernambuco operou a resiliência da agricultura. No que concerne ao pilar III, os municípios da Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte estão aquém dos padrões desejados (redução e/ou remoção dos GEE), pois ali ainda prevalecem práticas tradicionais não adaptadas à agricultura de conservação e, quando há adoção, classificam-se como muito incipientes, sendo ocorrentes em poucos municípios. Em síntese, os três estados analisados não possuem uma agricultura passível de ser caracterizada como inteligente ao clima, pois, malgrado revelarem resultados positivos para alguns pilares, os resultados apontam a necessidade de o Brasil, de um modo geral, estabelecer estratégias

mitigadoras e adaptativas que promovam a agricultura de baixa emissão de carbono e inteligente ao clima adequadas para cada região.

Os princípios relacionados ao desenvolvimento sustentável, mudanças climáticas e convivência com o semiárido são agendas políticas distintas, mas que devem ser complementares e sinérgicas. Portanto, devem ser empiricamente indissociáveis. A convergência dessas três embasa variados temas, como: agricultura de baixa emissão de carbono, estratégias mitigadoras e adaptativas às mudanças climáticas, convivência com a seca, resiliência da agricultura ao clima e semiárido. Brevemente, esses elementos deveriam nortear grande parcela das pesquisas que demandam fundamentar melhores opções para o setor agrícola, priorizando o equilíbrio da produção com a boa gestão dos recursos naturais. Esse ponto de equilíbrio deve ser o fundamento norteador de políticas que fustiguem o desenvolvimento rural sustentável, ancorado no novo contexto normativo e científico que respeite os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

A conclusão geral é de que esta Tese logrou responder aos questionamentos inicialmente estabelecidos, lançando luz aos entraves e perspectivas quanto aos impactos da instabilidade climática na agricultura brasileira, mediante as estratégias adotadas no País. Esta pesquisa reforça a necessidade para o acompanhamento do Programa ABC+, que lançou recentemente sua segunda etapa (2020-2030), bem como o estabelecimento de práticas mitigadoras e adaptativas para cada região, considerando as condições edafoclimáticas, institucionais e financeiras.

A *Climate Smart Agriculture (CSA)* é uma abordagem muito recente, lançada pela FAO em 2010, razão por que ela ainda não foi adotada oficialmente em políticas públicas no Brasil. Nessa perspectiva, tem-se a necessidade de estudar os seus três pilares para todas as Unidades da Federação, no intuito de aprofundar os conhecimentos sobre as melhores práticas que sejam ancoradas nessa abordagem para o cenário nacional.

A formulação de políticas climáticas deve priorizar a capacitação técnica dos agricultores e a disseminação de melhores práticas que adotem os princípios da conservação, da mitigação, da adaptação e da resiliência da agricultura ao clima. Demais disso, há que se disponibilizar o crédito rural, sobretudo, para os agricultores mais vulneráveis que se localizam em regiões com maior risco de incidência de eventos climáticos extremos, como, por exemplo, a seca na região Nordeste.

Acerca desta discussão, faz sentido mencionar como sugestão aos formuladores de políticas públicas o contexto da inovação assente no empreendedorismo climático, apontado nesta pesquisa como uma promessa para o cenário agrícola brasileiro, pois não se configura

como uma condição exclusiva dos agricultores que possuem alto poder aquisitivo para investimentos em tecnologias e em negócios grandiosos. A ideia aqui proposta é, justamente, lançar luz sobre os distintos aspectos encontrados no meio rural, que devem começar a montante do processo produtivo, quando os agricultores definem as áreas em que irão exercitar as suas atividades. Durante a evolução das lavouras ou da criação de animais, há que se aplicar técnicas adequadas poupadoras de água (sobretudo no Nordeste), cultivares vegetais de elevada procedência genética, de ciclos mais curtos para o Nordeste e mais elásticos a preço e para fomentar mais renda monetária para os agricultores. Aqueles que criam animais domésticos para a produção de carne ou de leite devem ter acesso à aquisição de animais de melhor potencial genético, maior capacidade de adaptação as regiões onde serão criados. A montante do processo produtivo, os agricultores devem ter acesso a procedimentos mais justos que lhes viabilizem uma comercialização que remunere dignamente sua produção. Em todos os casos: a montante, durante e a jusante do processo produtivo. Ressalta-se que a organização dos agricultores em associações e/ou em cooperativas conforma uma boa estratégia para se contraporem a boa parte das dificuldades interpostas pelas variações climáticas.

Além desses, esta pesquisa propõe a elaboração de um selo de Indicação dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (IODS), com a finalidade de fomentar o registro de produtores rurais, de variegadas categorias, que adotam práticas em respeito aos princípios dos ODS, sobretudo, os que priorizam as estratégias de combate à fome e o incentivo à agricultura, cidades e comunidades sustentáveis (ODS 2 e 11) e as ações contra a mudança climática global (ODS 13), iniciativa a ser fomentada pelas distintas esferas: nacional, estadual e municipal.

REFERÊNCIAS

- ABADIE, A. Semiparametric difference-in-differences estimators. **Review of Economic Studies**, London, v. 72, p.1–19. 2005.
- ABADIE, A; DIAMOND, A, HAINMUELLER, J. Comparative politics and the synthetic control method. **American Journal of Political Science**, Chicago, v. 59, n. 2, p. 495–510. 2015.
- ABADIE, A.; DIAMOND, A.; HAINMUELLER, J. Synthetic control methods for comparative case studies: estimating the effect of california’s tobacco control program. **Journal of the American Statistical Association**, Alexandria, v. 105, n. 490, p. 493–505. 2010.
- ABADIE, A; DIAMOND, A, HAINMUELLER, J. Synth: An R package for synthetic control methods in comparative case studies. **Journal of Statistical Software**, Califórnia, v. 42, n. 13, p. 1–17. 2011.
- ABADIE, A.; GARDEAZABAL, J. The economic costs of conflict: a case study of the Basque country. **American Economic Review**, Pittsburgh, v. 93, n. 1, p. 113–132. 2003.
- ABADIE, A.; L’HOUR, J. A penalized synthetic control estimator for disaggregated data. **Journal of the American Statistical Association**, Alexandria, v. 116, n. 536, p. 1817-1834. 2021.
- ABBE, C. Is our climate changing? **The New York Times**, New York, february 3, p. 4. 1889.
- ABD-ELMABOD, S.K.; MUÑOZ-ROJAS, M.; JORDÁN, A.; ANAYA-ROMERO, M.; PHILLIPS, J.D.; LAURENCE, J.; ZHANG, Z.; PEREIRA, P.; FLESKENS, L.; VAN DER PLOEG, M.; DE LA ROSA, D. Climate change impacts on agricultural suitability and yield reduction in a Mediterranean region. **Geoderma**, Amsterdam, v. 374, p. 114453. 2020.
- ADAMS, R. M.; HURD, B.H; LENHART, S.; LEARY, N. Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review. **Climate Research**, Oldendorf (Luhe), v. 11, n. 1, p.19–9. 1998.
- ADGER, W. N.; DESSAI, S.; GOULDEN, M.; HUME, M. Are there social limits to adaptation to climate change? **Climatic Change**, Princeton, v. 93, n. 3-4, p. 335–354. 2009.
- AGGARWAL, P.; VYAS, S.; THORNTON, P.; CAMPBELL, B. M. KROPFF, M. Importance of considering technology growth in impact assessments of climate change on agriculture. **Global Food Security**, [s. l.], v. 23, p. 41-48. 2019.
- AINSWORTH, E. A.; LONG, S. P. What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂. **New Phytologist**, Lancaster, v. 165, n. 2, p. 337-653. 2005.

ALEMAW, B. F.; SIMALENGA, T. Climate change impacts and adaptation in rainfed farming systems: a modeling framework for scaling-out climate smart agriculture in Sub-Saharan Africa. **American Journal of Climate Change**, [s. l.], v. 4, p. 313-329. 2015.

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. **Climatic Change**, Princeton, v. 140, n. 1, p. 33-45. 2017.

AKROFI-ATITIANI, F.; IFEJIKI SPERANZA, C.; BOCKEL, L.; ASARE, R. Assessing climate smart agriculture and Its determinants of practice in Ghana: a case of the cocoa production system. **Land**, [s. l.], v. 7, n. 1, 30. 2018.

ALLEN JR, L. H.; BAKER, J. T.; BOOTE, K. J. The CO₂ fertilization effect: higher carbohydrate production and retention as biomass and seed yield. *In*: SOMBROEK, W.G.; BAZZAZ, F.A. (eds.). **Global climatic change and agricultural production**. New York: John Wiley, 1996. p. 64-100.

AMARAL, A.M.; MUNIZ, J.A.; SOUZA, M. Avaliação do coeficiente de variação como medida da precisão na experimentação com citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília (DF), v. 32, p. 1221-1225. 1997.

AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMAS, E. A. Avaliação dos coeficientes de variação em experimentos com forrageiras. **Boletim da Indústria Animal**, Nova Odessa (SP), v. 51, n.1, p. 13-20. 1994.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas irrigação 2021: uso da água na agricultura irrigada**. 2. ed. Brasília: ANA, 2021. 130 p. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/1b19cbb4-10fa-4be4-96db-b3dcd8975db0>. Acesso em: 01 mar. 2021.

ANDERSSON, J. J. Carbon taxes and CO₂ emissions: Sweden as a case study. **American Economic Journal: Economic Policy**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 1–30. 2019.

ANDRADE, C. G. C.; SILVA, M. L.; SALLES, T. T. Fatores impactantes no valor bruto da produção de pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) no Pará. **Floresta e Ambiente**, [s. l.], v.24, n e00145615. 2017.

ARRHENIUS, S. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. **Philosophical Magazine and Journal of Science**, [s. l.], v. 41, n.5, p. 237–276. 1896.

ARYAL, J. P.; SAPKOTA, T. B.; KHURANA, R.; KHATRI-CHHETRI, A.; RAHUT, D. B.; JAT, M. L. Climate change and agriculture in South Asia: adaptation options in smallholder production systems. **Environment, Development and Sustainability**, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 5045-5075. 2020.

ASSAD, E. D. **Agricultura de baixa emissão de carbono: a evolução de um novo paradigma**. São Paulo: Observatório ABC, 2015. 204 p.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. São Paulo: Embrapa, 2008. 84 p.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO, J.; MARIN, F.; PELLEGRINO, G. Mudanças climáticas e a produção de grãos no Brasil: Avaliação dos possíveis impactos. **Revista Plenarium**, [s. l.], v.5, n. 5, p. 96-117. 2008.

ASSAD, E. D. *et al.* **Papel do Plano ABC e do Planaveg na adaptação da agricultura e da pecuária às mudanças climáticas**. São Paulo: WRI Brasil, 2019. 46 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1115525>. Acesso em: 10 out. 2021.

ASSUNÇÃO, J.; CHEIN, F. Climate change and agricultural productivity in Brazil: future perspectives. **Environment and Development Economics**, [s. l.], v. 21, n. 5, p. 581–602. 2016.

ATHEY, S.; IMBENS, G. W. The state of applied econometrics: causality and policy evaluation. **Journal of Economic Perspectives**, [s. l.], v. 31, n. 2, p. 3-32, spring. 2017.

AZEVEDO, T. R. **Emissões de GEE do Brasil e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris (Período 1970-2015)**. Brasília: Observatório do Clima, 2017. 80 p.

BACON, A. G. Difference-in-differences with variation in treatment timing. **NBER Working Paper**, [s. l.], n. 25018, sep. 2018.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. (ed.). **Marco referencial em integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF)**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 130 p.

BALDOS, U. L. C.; HERTEL, T. W. Global food security in 2050: the role of agricultural productivity and climate change. **Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, [s. l.], v. 58, n. 4, p. 554–570, 2014.

BALTAGI, B. H. **Econometric analysis of panel data**. 5. ed. London: John Wiley and Sons Ltd., 2013. 372 p.

BARRO, R. J.; LEE, J. W. A new data set of educational attainment in the world, 1950-2010. **Journal of Development Economics**, [s. l.], v. 104, p. 184–198. 2013.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). **Matriz de dados do crédito rural - crédito concedido**. Departamento de Regulação, Supervisão e Controle das Operações do Crédito Rural e do Proagro (Derop), Sistema de Operações do Crédito Rural e do Proagro (Sicor). Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/micrrural>. Acesso em: 10 jan. 2022.

BELOW, T. B.; MUTABAZI, K. D.; KIRSCHKE, D.; FRANKE, C.; SIEBER, S.; SIEBERT, R.; SIEBERT, R.; TSCHERNING, K. Can farmers' adaptation to climate change be explained by socio-economic household-level variables? **Glob Environ Chang**, [s. l.], v. 22, n. 1, p. 223–35. 2012.

BENISTON, J. W.; LAL, R.; MERCER, K. L. Assessing and managing soil quality for urban agriculture in a degraded vacant lot soil. **Land Degradation & Development**, [s. l.], v. 27, n. 4, p. 996-1006. 2016.

BEZERRA, F. N. R.; LEMOS, J. J. S.; LIMA, P. V. P. S.; AGUIAR, J. V. Dependência externa e (in)sustentabilidade da matriz energética brasileira entre 1970 e 2014. **Planejamento e Políticas Públicas – PPP**, [s. l.], n. 53, jul./dez. 2019.

BEZERRA, F. N. R.; LIMA, F. A. X. Multidimensionalidade do desenvolvimento rural nos municípios do Ceará. **Revista Cerrados**, Montes Claros, v. 20, n. 1, p. 149-186, jan./jun. 2022.

BJÖRNBERG, K. E.; KARLSSON, M.; GILEK, M.; HANSSON, S. O. Climate and environmental science denial: A review of the scientific literature published in 1990–2015. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 167, p. 229-241. 2017.

BOZZOLA, M.; MASSETTI, E.; MENDELSON, R.; CAPITANIO, F. A ricardian analysis of the impact of climate change on Italian agriculture. **European Review of Agricultural Economics**, [s. l.], v. 45, n. 1, p. 57-79. 2018.

BRAGANÇA, A. *et al.* Extension services can promote pasture restoration: Evidence from Brazil's low carbon agriculture plan. **PNAS**, [s. l.], v. 119, n.12, e2114913119, march. 2022.

BRASIL. Lei n. 12.727, de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. 2012. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Ano CXLIX, n. 202, 18 outubro, 2012. Seção 1, p.1. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112727.htm. Acesso em 10 mar. 2022.

BRASIL. Projeto de Lei Nº 36, de 2021. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a vegetação nativa e dá outras providências, para aumentar o prazo que os pequenos agricultores possuem para se inscrever no CAR e fazerem jus aos benefícios do PRA. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 03 de fevereiro de 2021. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1959592. Acesso em: 12 fev. 2022.

BRASIL. Decreto nº 9.841, de 18 de junho de 2019. Dispõe sobre o Programa Nacional de Zoneamento Agrícola de Risco Climático. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 de junho de 2019. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=19/06/2019&jornal=515&pagina=4&totalArquivos=78>. Acesso em: 2 março 2022.

BRASIL. Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 12 jul. 1989. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/17802.htm. Acesso em: 28 set. 2021.

BRASIL. Decreto Nº 11.075, de 19 de maio de 2022. Estabelece os procedimentos para a elaboração dos Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas, institui o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa e altera o Decreto nº 11.003, de

21 de março de 2022. **Diário Oficial da União**, Edição: 94-A, Seção: 1 - Extra A, Brasília, 19 de maio de 2022. Disponível em: <https://in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-11.075-de-19-de-maio-de-2022-401425370>. Acesso em: 23 maio 2022b.

BRASIL. Lei 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 29 de dezembro de 2009, p. 109, Edição Extra, Brasília, 2009. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm. Acesso em: 10 de jan. 2021.

BRASIL. Decreto nº 9.073 de 05 de julho de 2017. Promulga o Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, celebrado em Paris, em 12 de dezembro de 2015, e firmado em Nova Iorque, em 22 de abril de 2016. **Diário Oficial da União**, 6 jun. 2017. Seção 1, p. 3, 2017. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d9073.htm. Acesso em: 11 jan. 2021.

BRASIL. Decreto 7.390, de 9 de dezembro de 2010. Regulamenta os arts. 6, 11 e 12 da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 10 de dezembro de 2010, Seção 1, p. 4, 2010. Brasília, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Dnn/Dnn12867.htm#art1p. Acesso em: 10 de jan. de 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **ABC+:** Plano quer reduzir emissão de carbono na agropecuária na próxima década. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-e-pecuaria/2021/04/plano-quer-reduzir-emissao-de-carbono-na-agropecuaria-na-proxima-decada>. Acesso em: 23 abril 2021b.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano ABC em Números**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-em-numeros>. Acesse em: 20 fev. 2022a.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano Safra 2020-2021:** o florescer de uma nova colheita. Secretaria de Política Agrícola, Brasília: Mapa/SPA, 2020. 56 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura:** plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, coordenação da Casa Civil da Presidência da República. Brasília: MAPA/ACS, 2012. 173 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano agrícola e pecuário 2011-2012**. Secretaria de Política Agrícola, Brasília: Mapa/SPA, 2011. 92 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Registro nacional de cultivares – RNC**. CultivarWeb. Disponível em: <https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/index.php>. Acesse em: 20 março 2022c.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **PPCerrado** – Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no Cerrado: 2ª fase (2014-2015). Ministério do Meio Ambiente, Organizador. Brasília: MMA, 2014. 132 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **REDD+ Brasil: PPCDAm**. Disponível em: <http://redd.mma.gov.br/pt/accompanhamento-e-a-analise-de-impacto-das-politicas-publicas/ppcdam#:~:text=O%20PPCDAm%20foi%20estruturado%20para,fomento%20%C3%A0s%20atividades%20produtivas%20sustent%C3%A1veis..> Acesso em: 17 fev. 2021a.

BRASIL. República Federativa do Brasil. **Pretendida contribuição nacionalmente determinada para consecução do objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima**. Brasília, 2015. Disponível em: http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf. Acesso em: 12 fev. 2021.

BITTENCOURT, G. M.; LIMA, J. E. Perfil do desenvolvimento rural dos municípios da mesorregião do triângulo mineiro e Alto Paranaíba. **Gestão & Regionalidade**, [s. l.], v. 30, n. 89, p. 4-19, mai./ago. 2014.

BORUSYAK, K.; JARAVEL, X.; SPIESS, J. **Revisiting event study designs: robust and efficient estimation**. [S. l.]: Available at SSRN 2826228, 2022. 85p.

BONZI, R. S. Meio século de Primavera silenciosa: um livro que mudou o mundo **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, n. 28, p. 207-215, jul./dez. 2013.

BOX, G. E. P.; PIERCE, D. A. Distribution of residual autocorrelations in autoregressive-integrated moving average time series models. **Journal of the American Statistical Association**, Alexandria, v. 65, n. 332, p. 1509 – 1526. 1970.

BOX, G. E.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C.; LJUNG, G. M. **Time series analysis: forecasting and control**. London: John Wiley & Sons, 2015.

BREUSCH, T.S.; PAGAN, A.R. The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. **Review of Economic Studies**, London, v. 47, p. 239–253. 1980.

BROOKS, N. Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework. **Tyndall Centre for climate change research working paper**, [s. l.], v. 38, n. 38, p. 1-16. 2003.

BRUNDTLAND, G. H. *et al.* **Our common future**. World Commission on Environment and Development. [S.l.: s.n.], 1987.

BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R. Polos de Irrigação no Nordeste do Brasil. desenvolvimento recente e perspectivas. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, [s. l.], n. 23. 2015.

CARAUTA, M.; LATYNSKIY, E.; MÖSSINGER, J.; GIL, J.; LIBERA, A.; HAMPF, A.; MONTEIRO, L.; SIEBOLD, M.; BERGER, T. Can preferential credit programs speed up the adoption of low-carbon agricultural systems in Mato Grosso, Brazil? Results from

bioeconomic microsimulation. **Regional Environmental Change**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 117-128, jan. 2018.

CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. **Microeconometrics: Methods and Applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

CAMPBELL, B. M.; THORNTON, P.; ZOUGMORÉ, R.; ASTEN, P.; LIPPER, L. Sustainable intensification: What is its role in climate smart agriculture? **Current Opinion in Environmental Sustainability**, [s. l.], v. 8, p. 39-43, oct. 2014.

CAMPOS, J. G. F.; FISCHAMANN, A. A. Visão estratégica das mudanças climáticas na cadeia produtiva da carne bovina no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, 3 e SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, 2. 2014, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Uninove, 2014. Disponível em: <http://repositorio.uninove.br/xmlui/handle/123456789/1025>. Acesso em: 2 fev. 2021.

CANEDO-ROSSO, C.; HOCHRAINER-STIGLER, S.; PFLUG, G.; CONDORI, B.; BERNDTSSON, R. Drought impact in the Bolivian altiplano agriculture associated with the El Niño–southern oscillation using satellite imagery data. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, [s. l.], v. 21, n. 3, p. 995-1010. 2021.

CARSON, R. **Silent Spring**. [S. l.]: Houghton Mifflin, 1962. 400 p.

CARVALHO, A. T. F. Caracterização climática da quadra chuvosa em Apodi, semiárido brasileiro, nos anos de 2013 a 2017. **Revista Geografia em Atos**, Presidente Prudente, v. 2, n. 17, p.4-23, abr. 2020.

CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S, FRAZÃO, L. A.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; CERRI, C. C. Crop-pasture rotation: a strategy to reduce soil greenhouse gas. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 183, p. 167-175. 2014.

CASELLI, F. Accounting for cross-country income differences. In: **Phillipe Aghion and Steven N. Durlauf (eds.) Handbook of Economic Growth**, Elsevier, v. 1A, p. 679–741. 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2021/2022**. 6º Levantamento, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra/gaos>. Acesso em: 07 jul. 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Feijão**. 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao/itemlist/category/809-feijao>. Acesso em: 06 jun. 2022.

COSTA, N.H.A.D.; SERAPHIN, J.C.; ZIMMERMANN, F.J.P. Novo método de classificação de coeficientes de variação para a cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 243-249. 2002.

COSTA JÚNIOR, N. B.; BALDISSERA, T. C.; PINTO, C. E.; GARAGORRY, F. C.; MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F. Public policies for low carbon emission agriculture

foster beef cattle production in southern Brazil. **Land Use Policy**, [s. l.], v. 80, p. 269-273, jan. 2019.

CHANDRA, A.; MCNAMARA, K. E.; DARGUSCH, P. Climate-smart agriculture: perspectives and framings. **Climate Policy**, [s. l.], v. 18, n. 4, p. 526–41. 2018.

CHAISEMARTIN, C.; D’HAULTFÈUILLE, X. Two-way fixed effects estimators with heterogeneous treatment effects. **American Economic Review**, Pittsburgh, v. 110, n. 9, p. 2964-2996, sept. 2020.

CHEN, S.; CHEN, X.; XU, J. Impacts of climate change on agriculture: Evidence from China. **Journal of Environmental Economics and Management**, [s. l.], v. 76, p. 105-124, march 2016.

CLIMATE POLICY INITIATIVE. **Onde estamos na implementação do Código Florestal? radiografia do CAR e do PRA nos Estados Brasileiros**. Edição 2021. Disponível em: <https://www.climatepolicyinitiative.org/pt-br/publication/onde-estamos-na-implementacao-do-codigo-florestal-radiografia-do-car-e-do-pra-nos-estados-brasileiros-edicao-2021/#:~:text=A%20grande%20novidade%20de%202021,Paran%C3%A1%20e%20Rio%20e%20Janeiro..> Acesso em: 10 fev. 2022.

CROISSANT, Y.; MILLO, G. **Panel data econometrics with R**. Oxford, UK: John Wiley and Sons, 2019.

CUENCA, M. A. G.; SANTIAGO, A. D.; DOMPIERI, M. H. G.; SÁ, H. A. Análise da evolução e dos efeitos dos fatores da variação do valor bruto da produção de mandioca, no Estado de Alagoas. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 102**. Aracaju, SE, 2015. 37 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1042161/1/BP102.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2021.

CUNHA, D. A. **Efeitos das mudanças climáticas globais na agricultura brasileira: análise da irrigação como estratégia adaptativa**. 128f. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada - Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, 2010.

DE PINTO, A.; CENACCHI, N.; KWON, H-Y.; KOO, J.; DUNSTON, S. Climate smart agriculture and global food-crop production. **PLOS ONE**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 1-19. 2020.

DEVENDRA, C. Rainfed agriculture: its importance and potential in global food security. **Utar Agriculture Science Journal**, [s. l.], v. 2, n. 2, april 2016.

DESCHÊNES, O.; GREENSTONE, M. The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather. **American Economic Review**, Pittsburgh, v. 97, n. 1, p. 354-85. 2007.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. **Journal of the American statistical association**, Alexandria, v. 74, n. 366a, p. 427-431. 1979.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. Likelihood ratio statistics for auto-regressive time series with a unit root. **Econometrica**, [s. l.], v. 49, n. 4, p. 1057-1072. 1981.

DONATTI, C. I.; HARVEY, C. A.; M. RODRIGUEZ, R. M.; VIGNOLA, R.; RODRIGUEZ, C. M. Vulnerability of smallholder farmers to climate change in Central America and Mexico: current knowledge and research gaps, **Climate and Development**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 264-286. 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Embrapa lança aplicativo AgroTag para o monitoramento da adoção e qualificação de ILPF**. Disponível: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/28938553/embrapa-lanca-aplicativo-agrotag-para-o-monitoramento-da-adocao-e-qualificacao-de-ilpf>. Acesso em: 2 maio 2022a.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Plataforma ABC**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/meio-ambiente/plataforma-abc>. Acesso em: 10 mar. 2022b.

ESTEFANEL, V.; PIGNARATO, I.A.B.; STORCK, L. Avaliação do coeficiente de variação de experimentos com algumas culturas agrícolas. *In*: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 2. 1987, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: FUEL/RBRAS/IAPAR, p.115-131. 1987.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **“Climate-smart” agriculture: Policies, Practices and Financing for Food Security, Adaptation and Mitigation**. Rome, Italy, 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Climate smart agriculture sourcebook**. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2013.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Crop prospects and food situation**. n. 2, june, 2012. 40 p. Disponível em: <https://www.fao.org/3/al990e/al990e.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Emissions due to agriculture: Global, regional and country trends 2000–2018**, FAOSTAT analytical brief series n. 18, Rome, 2021a. Disponível em: www.fao.org/3/cb3808en/cb3808en.pdf. Acesso em: 10 dez. 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Climate smart agriculture**. Disponível em: <http://www.fao.org/climate-smart-agriculture/overview/en/>. Acesso em: 21 jan. 2021b.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION CORPORATE STATISTICAL DATABASE (FAOSTAT). **Food and agriculture data**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acesso em: 10 jan. 2021.

FATTORI, I. M.; SENTELHAS, P. C.; MARIN, F. R. Assessing the impact of climate variability on Asian rust severity and soybean yields in different Brazilian mega-regions. **International Journal of Plant Production**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 17-28. 2022.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. **Manual de análise de dados**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

FEENSTRA, R. C.; INKLAAR, R.; TIMMER, M. P. The next generation of the penn world table. **American Economic Review**, Pittsburgh, v. 105, n. 10, p. 3150-3182. 2015.

FELÍCIO, R. A. Mudanças climáticas” e “aquecimento global”–nova formatação e paradigma para o pensamento contemporâneo?. **Ciência e Natura**, [s. l.], p. 257-266. 2014.

FERMAN, B.; PINTO, C.; POSSEBOM, V. Cherry picking with synthetic controls. **Journal of Policy Analysis and Management**, [s. l.], v. 0, n. 0, p. 1–23. 2020.

FERNANDEZ, B. P. M. Ecodesenvolvimento, Desenvolvimento Sustentável e Economia Ecológica: em que sentido representam alternativas ao paradigma de desenvolvimento tradicional? **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, [s. l.], n. 23, p. 109-120, jan./jun. 2011.

FÉRES, J. G.; REIS, E.J.; SPERANZA, J.S. Impacto das mudanças climáticas no setor agrícola brasileiro. In: MOTTA, R. S.; HARGRAVE, J.; LUEDEMANN, G.; GUTIERREZ, M. B. S. (org.). **Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios**. Brasília: IPEA, p. 299-309. 2011.

FÉRES, J. G.; REIS, E. J.; SPERANZA, J. S. Mudanças climáticas globais e seus impactos sobre os padrões de uso do solo no Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 47. 2009, Brasília, DF. **Anais [...]**. Brasília: SOBER, 2009.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 115-146. 2009.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (FGV). **Agricultura de baixa emissão de carbono: avaliação do uso estratégico das áreas prioritárias do Programa ABC**. Observatório ABC, São Paulo: FGV, abril, 2017.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (FGV). **Índice Geral de Preços (IGP-DI)**. Disponível em: https://portalibre.fgv.br/?utm_source=portal-fgv&utm_medium=menu-indices&utm_campaign=portal-fgv-menu-indices. Acesso em: 10 fev. 2021.

FLEMING, J. R. **Historical perspectives on climate change**. London: Oxford University Press, 1998. 208p.

FORD, J.; SMIT, B.; WANDEL, J.; MACDONALD, J. Vulnerability to climate change in Igloodik, Nunavut: what we can learn from the past and present. **Polar Record**, [s. l.], v. 42, n. 2, p. 127–138. 2006.

- FORRY, S. The climate of the United States and its endemic influences; based chiefly on the records of the Medical Department and Adjutant General's Office. **New York Journal of Medicine and Collateral Sciences (1843-1856)**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 116. 1843.
- FÜSSEL, H. M. Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. **Global Environmental Change**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 155–167. 2007.
- GALLOPÍN, G. C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. **Global Environmental change**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 293–303. 2006.
- GARCIA, C.H. **Tabelas para classificação de coeficientes de variação**. Piracicaba: IPEF, (Circular Técnica, 171), 1989. 12 p.
- GIANETTI, G. W. **O Plano e Programa ABC: uma avaliação da execução e distribuição dos recursos**. 2017. 124f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-03052018-132608/pt-br.php>. Acesso em: 11 jul. 2021.
- GIANETTI, G. W.; FERREIRA FILHO, J. B. de S. O Plano e Programa ABC: uma análise da alocação dos recursos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [s. l.], v. 59, n. 1. 2021.
- GIL, C. G. Objetivos de desarrollo sostenible (ODS): una revisión crítica. **Papeles de relaciones ecosociales y cambio global**, [s. l.], v. 140, n. 1, p. 107-118. 2018.
- GITZ, V.; MEYBECK, A. Risks, vulnerabilities and resilience in a context of climate change. *In: FAO & OECD building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector*. Rome, 2012.
- GLOBAL CLIMATE MONITOR (GCM). **Global climate monitor**: A tool to handle global climate data. University of Seville Climate Research Group. Disponível em: <https://alojamientosv.us.es/climatemonitor/gcm-info/>. Acesso em: 17 fev. 2022.
- GLOBAL CARBON ATLAS. **Country emission**. Disponível em: <http://www.globalcarbonatlas.org/en/content/welcome-carbon-atlas>. Acesso em: 11 fev. 2021.
- GLOBAL FOREST WATCH (GFW). **Forest change**. Disponível em: <https://www.globalforestwatch.org/>. Acesso em: 10 jan. 2022.
- GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. São Paulo: ESALQ/USP, 1985. 467 p.
- GORE, A. Earth in the balance: Ecology and the human spirit. **J. of Leisure Res**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 218. 1993.
- GREENE, W. H. **Econometric analysis**. 7. ed. New York: Stern School of Business, 2012.
- GUARDA, V. D. A.; CAMPOS, L. J. M. **Bases ecofisiológicas da assimilação de carbono e suas implicações na produção de forragem**. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, Documentos 07, 2014. 48 p.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria básica**. 5. ed. New York: Mac Graw Hill; Porto Alegre: AMGH Editora Ltda., 2011.

GURGEL, F. L.; FERREIRA, D. F.; SOARES, A. C. S. **O coeficiente de variação como critério de avaliação em experimentos de milho e feijão**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, (Boletim de pesquisa e desenvolvimento), 2013. 80 p.

HAIR JR., J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 288 p.

HANDL, G. **Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment (Stockholm declaration), 1972 and the Rio declaration on environment and development, 1992**. United Nations Audiovisual Library of International Law, United Nations, 2012.

HARDOWAR, S. A review of climate-smart agriculture in mauritius: moving towards a landscape approach. *In*: VENKATRAMANAN, V.; SHAH, S.; PRASAD, R. (eds.). **Global Climate Change: Resilient and Smart Agriculture**. Singapore: Springer, 2020.

HANIF, U.a; SYED, S. H.; AHMAD, R.; MALIK, K. A. Economic impact of climate change on the agricultural sector of Punjab. **The Pakistan Development Review**, [s. l.], v. 49, n. 4, part II (Winter 2010), p. 771–798. 2010.

HAUSMAN, J. Specification tests in Econometrics. **Econometrica**, [s. l.], v. 46, p. 1251–1271. 1978.

HOECHLE, D. Robust standard errors for panel regressions with cross-sectional dependence. **The Stata Journal**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 281-312. 2007.

HONGYU, K. Análise fatorial exploratória: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E & S - Engineering and Science**, [s. l.], v. 4, n. 7, p. 88-103. 2018.

HUANG, H.; KHANNA, M. An econometric analysis of U.S. crop yield and cropland acreage: implications for the impact of climate change. **Agricultural & Applied Economics Association 2010**. Denver, n. 320-2016-10264, jul. 2010.

HUANG, J.; YU, H.; GUAN, X.; WANG, G.; GUO, R. Accelerated dryland expansion under climate change. **Nature climate change**, [s. l.], v.6, n. 2, p. 166-171. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Áreas Territoriais**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=sobre>. Acesso: 10 jan. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1945-1973. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=720&view=detalhes>. Acesso em: 15 jul. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Biomás Brasileiros**. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/18307-biomas-brasileiros.html>. Acesso em: 9 jan. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 2017: Resultados Definitivos**. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA, 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 8 jul. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 2006**. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA, 2007. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2006/segunda-apuracao>. Acesso em: 7 jul. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados>. Acesso em: 2 março 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção Agrícola Municipal – PAM 2021**. 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 20 dez. 2021.

INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA (IMAZON). **Desmatamento chega a 810km² na Amazônia Legal em março de 2021**. Disponível em: <https://imazon.org.br/imprensa/desmatamento-chega-a-810-km%C2%B2-na-amazonia-legal-em-marco-de-2021-aponta-imazon/>. Acesso em: 20 abril 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Condições atuais do ENOS: La Niña**. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 10 jan. 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014. 1132 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Working Group I. Climate Change 2013 – The Physical Science Basis – Summary for Policy Makers. Switzerland, 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Global Warming of 1.5°C**. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. *In*: MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PÖRTNER, H.-O.; ROBERTS, D.; SKEA, J.; SHUKLA, P. R.; PIRANI, A.; MOUFOUMA-OKIA, W.; PÉAN, C.; PIDCOCK, R.; CONNORS, S.; MATTHEWS, J. B. R.; CHEN, Y.; ZHOU, X.;

GOMIS, M. I.; LONNOY, E.; MAYCOCK, T.; TIGNOR, M.; WATERFIELD, T. (eds.), 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation:**

Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2012.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **The IPCC and the Sixth Assessment cycle.** Disponível em:

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/05/2020-AC6_en.pdf. Acesso em: 2 jan. 2021.

JAYASOORIYA, S. P. Impact of Agricultural Factors on Carbon Footprints for GHG Emission Policies in Asia. **MPRA Paper**, [s. l.], n. 109790, sep. 2021.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis.** 6. ed. [S. l.]: Pearson Education, 2007. 800 p.

KAISER, H. F. A second generation little jiffy. **Psychometrika**, [s. l.], v. 35, n. 4, p. 401-415. 1970.

KARAM, D.; SILVA, W. T.; RIOS, J. N. G.; FERNANDES, R. C. **Agrotóxicos.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo (Documentos 192), 2015, 28 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/149892/1/doc-192.pdf>. Acesso em: 28 set. 2021.

KLEIN, R.; NICHOLLS, R.; THOMALLA, F. Resilience to natural hazards: How useful is this concept? **Environmental Hazards**, [s. l.], v. 5, n. 1-2, p. 35-45. 2003.

KUMAR, A.; SHARMA, P.; JOSHI, S. Assessing the impacts of climate change on land productivity in Indian crop agriculture: An evidence from panel data analysis. **Journal of Agricultural Science and Technology**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 1-13. 2016.

KUMAR, N.; BRIGIT, J.; JASLAM, P.K.M. Growth and Instability in Area, Production, and Productivity of Cassava (*Manihot esculenta*) in Kerala. **International Journal of Advance Research Ideas and Innovations in Technology**, [s. l.], v. 4, n.1, p. 446-448. 2018.

KWIATKOWSKI, D.; PHILLIPS, P. C. B., SCHMIDT, P.; SHIN, Y. Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: how sure are we that economic time series have a unit root? **Journal of Econometrics**, North-Holland, v. 54, p. 159-178. 1992.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, [s. l.], v. 22, n. 3, p. 651-665. 2005.

LARCHER, T. P. A. O. **Construção de um modelo lógico do Plano ABC (agricultura de baixa emissão de carbono) como uma proposta de avaliação.** 2016. 138p. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade

de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/20399>. Acesso em: 22 maio 2021.

LEAL, B. P. **Programa ABC: uma análise para o período de 2011 a 2014**. 2016. 63f. Dissertação (Mestrado Profissional em Finanças e Economia) - Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2016. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/15972>. Acesso em: 15 jun. 2021.

LEMOS, J. J. S. Níveis de degradação no Nordeste brasileiro. **Rev. Econ. NE**, Fortaleza, v. 32, n. 3 p. 406-429, jul-set. 2001.

LEMOS, J. J.S. **Vulnerabilidades induzidas no semiárido**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2020. 170 p.

LEMOS, J. J. S.; BEZERRA, F. N. R. Interferência da instabilidade pluviométrica na previsão da produção de grãos no semiárido do Ceará, Brasil. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 9, p. 15632-15652, set. 2019.

LEMOS, J. J. S.; BEZERRA, F. N. R.; COSTA FILHO, J. da; GURJÃO, N. O. Agricultura familiar no Ceará: Evidências a partir do Censo Agropecuário de 2017. **Rev. Econ. NE**, Fortaleza, v. 51, suplemento especial, p. 93-112, ago. 2020.

LEMOS, J. J. S.; BEZERRA, F. N. R.; PAIVA, E. C.; IPOLITO, A. L. M. Rainfed crops forecasting in the semi-arid region under scenarios of rainfall instability in Ceará, Brazil. **Journal of Agricultural Science and Technology A**, [s. l.], v. 12, p. 43-53. 2022.

LI, Y.; STRAPASSON, A.; ROJAS, O. Assessment of El Niño and La Niña impacts on China: Enhancing the early warning system on food and agriculture. **Weather and Climate Extremes**. [s. l.], v. 27, p. 100208. 2020.

LIMA, R. C. A.; HARFUCH, L.; PALAURO, G. R. **PLANO ABC: Evidências do período 2010-2020 e propostas para uma nova fase 2021-2030**. Agroicone, out. 2020.

LIMA, C. Z. de. **Impacts of low carbon agriculture in Brazil: a CGE application**. 2017. 113f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Economia Aplicada, Departamento de Economia Rural, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.

LINDOSO, D. **Vulnerabilidade e adaptação da vida às secas: desafios à sustentabilidade rural familiar nos semiáridos nordestinos**. 2013. 519 p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/17150>. Acesso em: 25 abr. 2021.

LIPPER, L. *et al.* Climate-smart agriculture for food security. **Nature Climate Change**, [s. l.], v. 4, dec. 2014.

LJUNG, G. M.; BOX, G. E. P. On a measure of a lack of fit in time series models. **Biometrika**, [s. l.], n. 65, p. 297-303. 1978.

LU, S.; BAI, X.; LI, W.; WANG, N. Impacts of climate change on water resources and grain production. **Technological Forecasting & Social Change**, [s. l.], v. 143, p. 76–84. 2019.

LÚCIO, A.D. Parâmetros da precisão experimental das principais culturas anuais do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 27, n. 3, p. 530-531. 1997.

MADARI, B. E. *et al.* O papel da agricultura na mitigação das emissões de gases de efeito estufa. In: CUADRA, S. V.; HEINEMANN, A. B.; BARIONI, L. G.; MOZZER, G. B.; BERGIER, I. (eds.). **Ação contra a mudança global do clima**: contribuições da Embrapa. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 59-68.

MADDALA, G. S.; KIM, I. M. Unit roots, cointegration, and structural change. **Cambridge University Press**, Cambridge, n. 4, 1998.

MAHESWARI, M. *et al.* (Eds.). **Climate Resilient Crop Varieties for Sustainable Food Production under Aberrant Weather Conditions**. ICAR-Central Research Institute for Dryland Agriculture, Hyderabad. 2019. 64 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/331731142_Climate_Resilient_Crop_Varieties_for_Sustainable_Food_Production_under_Aberrant_Weather_Conditions/link/61a1dae707be5f31b7ba875b/download. Acesso em: 20 set. 2022.

MAHTO, A. K.; ALAM, M. A.; BISWAS, R.; AHMED, J.; ALAM, S. I. Short-Term Forecasting of Agriculture Commodities in Context of Indian Market for Sustainable Agriculture by Using the Artificial Neural Network. **Journal of Food Quality**, [s. l.], v. 2021, 13 p. 2021.

MANZATTO, C. V. *et al.* **Mitigação das emissões de gases de efeitos estufa pela adoção das tecnologias do Plano ABC**: estimativas parciais. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, (Documentos 122), 2020. 35p.

MAPEAMENTO ANUAL DA COBERTURA E USO DO SOLO NO BRASIL (MAPBIOMAS). **Estatísticas**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/estatisticas>. Acesso em: 13 fev. 2022.

MARENCO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade. caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

MARÔCO, J. **Análise estatística com o SPSS statistics**. 6. ed. Pêro Pinheiro: Report Number, 2014.

MATOS, D. A.S.; RODRIGUES, D. A. S. **Análise fatorial**. Brasília: Enap, 2019. 74 p.
MBOW, C.; SMITH, P.; SKOLE, D.; DUGUMA, L.; BUSTAMANTE, M. Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, [s. l.], v. 6, p. 8-14. 2014.

MCCARTHY, N.; LIPPER, L.; BRANCA, G. **Climate-smart agriculture**: smallholder adoption and implications for climate change adaptation and mitigation. Mitigation of climate change in agriculture series 4. Rome, Italy, 2011.

MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. L.; RANDERS, J.; BEHRENS III, W. W. **The limits to growth**. New York: Universe Books, 1972. 250 p.

MELO, C. O. PARRÉ, J. L. Índice de desenvolvimento rural dos municípios paranaenses: determinantes e hierarquização. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, v. 45, n. 2, p. 329-265. 2007.

MELLO, L. F.; HOGAN, D. J. População, consumo e meio ambiente. *In*: HOGAN, D. J. (org.). **Dinâmica populacional e mudança ambiental: cenários para o desenvolvimento brasileiro**. Campinas: Núcleo de Estudos de População-Nepo, Unicamp, 2007. 240 p.

MENDES, P. D. A. G. **Plano ABC – agricultura de baixo carbono: sua elaboração no âmbito do governo federal e sua implementação no município de Formosa – GO**. 2014. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/17836>. Acesso em: 22 abr. 2021.

MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B. D.; SANTOS, C. A. C. D.; SILVA, L. L. D. A relação entre a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos veranicos no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s. l.], v. 23, p. 152-161. 2008.

MENDELSON, R. The impact of climate change on agriculture in Asia. **Journal of Integrative Agriculture**, [s. l.], v. 13, n. 4, p. 660-665. 2014.

MENDELSON, R.; NORDHAUS, W.; SHAW, D. The impact of global warming on agriculture: a Ricardian analysis. **American Economic Review**, Pittsburgh, v. 84, n. 4, p. 753-71. 1994.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global: uma visão crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s. l.], v. 3, p. 08-24. 2008.

MONTEIRO, A. P.; LEMOS, J. J. S. Desigualdades na distribuição dos recursos do Pronaf entre as regiões brasileiras. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 6-17, jan/mar. 2019.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análises de séries temporais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006. 556 p.

MUNDLAK, Y. Empirical production function free of management bias. **Journal of Farm Economics**, [s. l.], v. 43, n. 1, p. 44-56. 1961.

NAVARRO, R. B.; NEVES, F. M. Contribuições do plano agricultura de baixa emissão de carbono para o desenvolvimento territorial mais sustentável no estado da Bahia – Brasil. **R. gest. sust. ambient.**, Florianópolis, v. 9, n. 2, p. 263-282, abr/jun. 2020.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). National centers for environmental information (NCEI, EUA). **Climate monitoring**. Disponível em: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/products/>. Acesso em: 10 dez. 2022

NEUFELDT, H. *et al.* Beyond climate-smart agriculture: toward safe operating spaces for global food systems. **Agriculture & Food Security**, [s. l.], v.2, n. 12. 2013.

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F. Tendência de temperatura na superfície do mar nos oceanos Atlântico e Pacífico e variabilidade de precipitação em Pernambuco. **Mercator**, Fortaleza, v. 13, p. 107-118. 2014.

NORDHAUS, W. How fast should we graze the global commons? **The American Economic Review**, Pittsburgh, v. 72, n. 2, p. 242-246, maio 1982.

NORDHAUS, W. Life after Kyoto: alternative approaches to global warming. **NBER**, Working Paper Series, National Bureau of Economic Research. Cambridge, dec. 2005.

O'BRIEN, K. L. *et al.* Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India. **Global Environmental Change**, [s. l.] v. 14, n. 4, p. 303–313. 2004.

OBERMAIER, M. **Velhos e novos dilemas nos sertões**: mudanças climáticas, vulnerabilidade e adaptação no semiárido brasileiro. 2011. 167 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA (OC). **Análise das emissões brasileiras de e suas implicações para as metas climáticas do Brasil 1970 – 2020**. 2021. Disponível em: https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_9/OC_03_relatorio_2021_FINAL.pdf. Acesso em: 10 jul. 2022.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA (OC). **Emissões por setor**. Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa - SEEG. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/sectors/agropecuaria>. Acesso em: 17 out. 2022.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA (OC). **Impacto da pandemia de COVID-19 nas emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. In: AZEVEDO, T. (coord.). Nota técnica, Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa – SEEG, 2020. Disponível em: https://seeg-br.s3.amazonaws.com/OC_nota_tecnica_FINAL.pdf. Acesso em: 10 fev. 2021.

OBSERVATÓRIO ABC. **Sistema ABC**. Disponível em: <http://observatorioabc.com.br/sistema-abc/>. Acesso em: 23 mar. 2022.

OLESEN, J. E.; BINDI, M. Consequences of climate change for european agricultural productivity, land use and policy. **European Journal of Agronomy**, [s. l.], v. 16, n. 4, p. 239–262. 2002.

OCHIENG, J.; KIRIMI, L.; MATHENGE, M. Effects of climate variability and change on agricultural production: The case of small scale farmers in Kenya. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**, [s. l.], v. 77, p. 71–78. 2016.

OGUNYIOLA, A.; GARDEZI, M.; VIJ, S. Smallholder farmers' engagement with climate smart agriculture in Africa: role of local knowledge and upscaling. **Climate Policy**, [s. l.], v. 22, n. 4, p. 411-426. 2022.

- ONÇA, D. S. “**Quando o sol brilha, eles fogem para a sombra...**”: a ideologia do aquecimento global. 2011. 557f. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2011.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **A ONU e o meio ambiente**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente>. Acesso em: 12 fev. 2021.
- ORTIZ-BOBEA, A. The role of nonfarm influences in Ricardian estimates of climate change impacts on us agriculture. **Amer. J. Agr. Econ.** [s. l.], v. 0, n. 0, p. 1–26. 2019.
- PADHAN, P. C. Application of ARIMA model for forecasting agricultural productivity in India. **Journal of Agriculture and Social Sciences**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 50-56. 2012.
- PAIXÃO, M. A. S.; BACHA, C. J. C. A agropecuária brasileira e a sua inserção na Economia Verde: uma análise do Plano e do Programa ABC. **Pesquisa & Debate**, [s. l.], v. 26, n. 1, v. 47, p. 75-98. 2015.
- PEÑUELAS, J.; CIAIS, P.; CANADELL, J. G.; JANSSENS, I. A.; FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, M.; CARNICER, J.; OBERSTEINER, M.; PIAO, S.; VAUTARD, R.; SARDANS, J. Shifting from a fertilization-dominated to a warming-dominated period. **Nature Ecology & Evolution**, [s. l.], v. 1, n. 10, p. 1438–1445. 2017.
- PERNAMBUCO, Secretaria de Defesa Social. Lei Nº 17.624, de 30 de Dezembro de 2021. Altera a Lei nº 16.810, de 7 de janeiro de 2020, que veda o ingresso, circulação e permanência de veículos a combustão, no âmbito do Distrito Estadual de Fernando de Noronha, a fim de adequar o prazo para entrada de veículos a combustão no referido Distrito Estadual. Recife, sexta-feira, 31 de dezembro de 2021, **Diário Oficial**, nº 246. Disponível em: https://www.sds.pe.gov.br/images/media/1640953223_246%20BGSDS%20DE%2031DEZ2021.pdf. Acesso em: 21 out. 2021.
- PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, I. F. A. The relative importance of ENSO and Tropical Atlantic Sea Surface Temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: A numerical study. **Climate Dynamics**, [s. l.], v. 17, n. 2-3, p. 205-212. 2001.
- PIMM, S. **The balance of nature?** Chicago, Illinois: University of Chicago Press, 1991.
- POGGE, T.; SENGUPTA, M. The Sustainable development goals: a plan for building a better world? **Journal of Global Ethics**, [s. l.], v. 11, n. 1. 2015.
- PRAXEDES, A. L. F. **Sinergia e resiliência entre a seca e a produção agrícola de sequeiro no semiárido do Ceará**. 2021. 97 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.
- PSACHAROPOULOS, G. Returns to investment in education: A global update. **World Development**, [s. l.], v. 22, n. 9, p. 1325–1343. 1994.

PWT, Penn World Table. **Penn world table versão 10.0**. Groningen Growth and Development Centre, University of Groningen. Disponível em: <https://www.rug.nl/ggdc/productivity/pwt/>. Acesso em: 2 jan. 2022.

QUARATIELLO, A. R. **Rachel Carson: a biography**. Westport: Greenwood Biographies, 2004.

RAO, C. S.; KAREEMULLA, K.; KRISHNAN, P.; MURTHY, G.R.K.; RAMESH, P.; ANANTHAN, P.S.; JOSHI, P.K. Agro-ecosystem based sustainability indicators for climate resilient agriculture in India: A conceptual framework. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 105, p. 621-633. 2019.

RAO, C. S.; GOPINATH, K.A.; PRASAD, J.V.N.S.; PRASANNAKUMAR; SINGH, A.K. Climate resilient villages for sustainable food security in tropical India: concept, process, technologies, institutions, and impacts. **Advances in Agronomy**, [s. l.], v. 140, p. 101-214. 2016.

RAO, C.S.; GOPINATH, K.A. Resilient rainfed technologies for drought mitigation and sustainable food security. **Mausam**, [s. l.], v. 67, n. 1, p. 169-182, jan. 2016.

RATTIS, L. *et al.* Climatic limit for agriculture in Brazil. **Nature Climate Change**, [s. l.], v. 11, p. 1098–1104. 2021.

RECHA, J. W.; CHIULELE, R. M. **Mozambique climate smart agriculture guideline**. Pretoria: Vuna Guideline, 2017.

REDE ILPF. **O que é a Rede**. Disponível em: <https://www.redeilpf.org.br/index.php/rede-ilpf/o-que-e-a-rede-ilpf>. Acesso em: 22 fev. 2022.

REVELLE, R.; SUESS, H. E. Carbon dioxide exchange between atmosphere and ocean and the question of an increase of atmospheric CO₂ during the past decades. **Tellus**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 18–27. 1957.

REY, D.; HOLMAN, I.P.; KNOX; J.W. **Developing drought resilience in irrigated agriculture in the face of increasing water scarcity**. Cranfield, Bedford ((UK): Water Science Institute, Cranfield University. 2017.

ROCHA, S. F.; LEMOS, J. J. S.; CAMPOS, R. T. Simulações de sustentabilidade na produção de alimentos da agricultura familiar do estado do Maranhão. **Desenvolvimento em Questão**, Ijuí (RS), v. 20, n. 58, e11440, p. 1-17. 2022.

RODRIGUES, M.; FRANCO, M. Measuring the urban sustainable development in cities through a composite index: the case of Portugal. **Sustainable Development**, [s. l.], v. 28, n. 4, p. 507-520, jul./ago. 2020.

ROMEIRO, A. R. Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. **Estudos Avançados**, [s. l.], v. 26, n. 74. 2012.

SÁ, J. C. M. *et al.* Soil-specific inventories of landscape carbon and nitrogen stocks under no-till and native vegetation to estimate carbon offset in a subtropical ecosystem. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 77, n. 6, p. 2094-2110. 2013.

SACHS, I. **A terceira margem: em busca do ecodesenvolvimento**. São Paulo: Campanhia das Letras, 2009.

SACHS, I. **Ecodesenvolvimento: crescer sem destruir**. São Paulo: Vértice, 1986.

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente**. São Paulo: Studio Nobel/ Fundap, 1993.

SAIN, G.; LOBOGUERRERO, A.M.; CORNER-DOLLOFF, C.; LIZARAZO, M.; NOWAK, A.; MARTÍNEZ-BARÓN, D.; ANDRIEU, N. Costs and benefits of climate-smart agriculture: The case of the Dry Corridor in Guatemala. **Agric.Syst.** [s. l.], v. 151, p. 163–173. 2017.

SAMUELS, P. Paired Samples t-test. Stats tutor. **Technical Report**, april, 2014. Disponível em:https://www.researchgate.net/publication/274635625_Paired_Samples_t-test. Acesso em: 12 fev. 2021.

SANGHI, A.; ALVES, D.; EVENSON, R.; MENDELSON, R. Global warming impacts on Brazilian agriculture: estimates of the Ricardian model. **Economia Aplicada**, [s. l.], v. 1, n.i, p. 7-33. 1997.

SANSYZBAYEVA, G.; TEMERBULATOVA, Z.; ZHIDEBEKKYZY, A.; ASHIRBEKOVA, L. Evaluating the transition to green economy in Kazakhstan: A synthetic control approach. **Journal of International Studies**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 324-341. 2020.

SANTOS, L. F.; FERREIRA, M. A. M.; SALGADO, R. J. S. F. Desenvolvimento rural dos municípios de Minas Gerais: fatores determinantes e hierarquização. **Gestão & Regionalidade**, [s. l.], v. 33, n. 97, jan-abr, p. 83-99. 2017.

SCAPIM, C.A.; CARVALHO, C.G.P.; CRUZ, C.D. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, p. 683-686. 1995.

SCHLENKER, W.; HANEMANN, W.M.; FISHER, A.C. Will U.S. Agriculture Really Benefit from Global Warming? Accounting for Irrigation in the Hedonic Approach. **American Economic Review**, Pittsburgh, v. 95, n. 1, p. 395–406. 2005.

SEO, S.N.; MENDELSON, R. Measuring Impacts and Adaptations to Climate Change: A Structural Ricardian Model of African Livestock management. **Agricultural Economics**, [s. l.], v. 38, n. 2, p. 151–65. 2008.

SILVA, F. P.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Avaliação de Impacto do Programa de Agricultura de Baixo Carbono no Brasil**. Brasília: Ipea, (Texto para Discussão), n. 2568, 2020.

SIMIONESCU, M.; BILAN, Y.; GEDEK, S.; STREIMIKIENE, D. The effects of greenhouse gas emissions on cereal production in the European Union. **Sustainability**, [s. l.], v.11, n.12, 3433. 2019.

SORENSEN, A.T. Equilibrium Price Dispersion in Retail Markets for Prescription Drugs. **Journal of Political Economy**. Chicago, v. 108, p. 833-850. 2000.

SOUZA, R. P. O Desenvolvimento Rural no Estado do Rio de Janeiro a partir de Uma Análise Multidimensional. **RESR**, Piracicaba (SP), v. 57, n. 01, p. 109-126, jan./mar. 2019.

SOUZA, B. S. **Mudanças climáticas no Brasil**: efeitos sistêmicos sobre a economia brasileira provenientes de alterações na produtividade agrícola. 2018. 129 p. Dissertação (Mestrado em Economia) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.fea.usp.br/economia/eventos/mestrado-mudancas-climaticas-no-brasil-efeitos-sistemicos-sobre-economia-brasileira>. Acesso em: 17 abr. 2021.

SMIT, B.; PILIFOSOVA, O. Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity. **Sustainable Development**, [s. l.], v. 8, n. 9, p. 9. 2003.

SNOW, J. **On the mode of communication of cholera**. 2. ed. London: Princes Street, 1855.

SPEARMAN, C. E. "General intelligence;" objectively determined and measured. **The American Journal of Psychology**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 201-292. 1904.

STERN, N. **The economics of climate change**: The Stern review. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

TAYLOR, M. Climate-smart agriculture: what is it good for?. **The Journal of Peasant Studies**, [s. l.], v. 45, n. 1, p. 89–107. 2018.

SCHWARZ, G. Estimating the dimensional of a model. **Annals of Statistics**, [s. l.], v.6, n.2, p. 461-464, march 1978.

SHUMWAY, R. H.; STOFFER, D. S. **Time series analysis and its applications with R**. 3. ed. New York: Springer, 2016. 552 p.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE (SUDENE). **Delimitação do semiárido – 2021**: Relatório final. Ministro do Desenvolvimento Regional. Recife, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiaridorelatorionv.pdf>. Acesso em: 12 março 2022.

SUN, L.; ABRAHAM, S. Estimating dynamic treatment effects in event studies with heterogeneous treatment effects. **Journal of Econometrics**, North-Holland, v. 225, n. 2, p. 175-199. 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

TANURE, T. M. P. **Mudanças climáticas e agricultura no Brasil**: impactos econômicos regionais e por cultivo familiar e patronal. 2020. 257 f. Tese (Doutorado em Economia

Aplicada) – Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional, 2020.

TELLES, T. S.; RIGHETTO, A. J. Crescimento da agropecuária e sustentabilidade ambiental. *In: VIEIRA FILHO, J. E. R. (org.). Diagnósticos e desafios da agricultura brasileira.* Brasília: Ipea, 2019.

TELLES, T. S.; VIEIRA FILHO, J. E. R.; RIGHETTO, A. J.; RIBEIRO, M. R. **Desenvolvimento da agricultura de baixo carbono no Brasil.** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília: Rio de Janeiro: Ipea, Rio de Janeiro, (Texto para Discussão), n. 2638, março, 2021.

THAPA, R.; DEVKOTA, S.; SUBEDI, S.; JAMSHIDI, B. Forecasting Area, Production and Productivity of Vegetable Crops in Nepal using the Box-Jenkins ARIMA Model. **Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology**, [s. l.], v.10, n. 2, p. 174-181. 2022.

THE R FOUNDATION. **The R Project for Statistical Computing.** Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 15 fev. 2021.

TUBIELLO, F. N. *et al.* Greenhouse gas emissions from food systems: building the evidence base. **Environmental Research Letters**, [s. l.], v. 16, n. 6, 065007. 2021.

UNIVERSITY OF EAST ANGLIA (UEA). **Data set Climatic Research Unit.** 2022. Disponível em: <https://www.uea.ac.uk/web/groups-and-centres/climatic-research-unit/data>. Acesso em: 10 jan. 2022.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, (EPA). **Greenhouse gas equivalencies calculator.** March, 2022. Disponível em: <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>. Acesso em: 10 abr. 2022.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Emissions Gap Report 2020.** Nairobi, 2020. Disponível em: <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020>. Acesso em: 10 fev. 2021.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (UNDP). **Human Development Report 2014 Sustaining Human Progress: Reducing Vulnerabilities and Building Resilience.** Plaza, New York, USA, 2014.

UNITED NATIONS (UN). **Report of the United Nations Conference on the Human Environment.** Stockholm, 1972. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/aconf48-14r1.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2021.

UNITED NATIONS (UN). **Report of the United Nations Conference on the Human Environment.** Stockholm, 546, june, New York, 1973.

UNITED NATIONS (UN). **The Sustainable Development Agenda.** Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda/>. Acesso em: 5 jan. 2021.

U.S. DEPARTMENT OF LABOR BUREAU OF LABOR STATISTIC (BLS). **Consumer price index data from 1913 to 2020**. Disponível em: <https://www.usinflationcalculator.com/inflation/consumer-price-index-and-annual-percent-changes-from-1913-to-2008/>. Acesso em: 17 jan. 2021.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade**: Uma análise comparativa. 2002. 235p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/84033>. Acesso em: 20 abr. 2021.

VINHOLIS, M. M. B.; SAES, M. S. M.; CARRER, M. J.; SOUZA FILHO, H. M. The effect of meso-institutions on adoption of sustainable agricultural technology: a case study of the Brazilian low carbon agriculture plan, **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 280, part 1. 2021.

WAASWA, A.; OYWAYA NKURUMWA, A.; MWANGI KIBE, A.; NGENO KIPKEMOI, J. Climate-smart agriculture and potato production in Kenya: review of the determinants of practice. **Climate and Development**, [s. l.], v.14, n. 1, p. 75-90. 2022.

WANDER, A. E.; TOMAZ, G. A.; PINTO, H. E. Uma avaliação formativa do Plano ABC. **Revista Política Agrícola**, [s. l.], v. 25, n. 3, jul./ago./set. 2016.

WEART, S. R. **The discovery of global warming**. Cambridge: Harvard University Press, 2003.

WEBSTER, N. **A Dissertation on the supposed change in the temperature of winter**: read before the connecticut academy of arts and sciences 1799. Oliver Steele and Company, 1810.

WEBB, N. P.; MARSHALL, N. A.; STRINGER, L. C.; REED, M. S.; CHAPPELL, A.; HERRICK, J. E. Land degradation and climate change: building climate resilience in agriculture. **Front Ecol Environ**, [s. l.], v.15, n. 8, p. 450–459. 2017.

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M. H. Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. **Water international**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 111-120. 1985.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Coronavirus disease (COVID-19)**. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/coronavirus-disease-COVID-19>. Acesso em: 12 jun. 2022.

WOOLDRIDGE, J. M. **Introductory econometrics**: A modern approach. 7. ed. Mason: Cengage Learning, 2019. 816 p.

WORLD BANK. **World Bank Open Data**. Disponível em: <https://data.worldbank.org/>. Acesso em 12 jan. 2021.

WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI). **GHG protocol agricultural guidance**: Interpreting the Corporate Accounting and Reporting Standard for the agricultural sector. Disponível em: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/GHG%20Protocol%20Agricultural%20Guidance%20%28April%2026%29_0.pdf. Acesso em: 10 fev. 2022.

WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI BRASIL). **4 gráficos para entender as emissões de gases de efeito estufa por país e por setor**. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/blog/2020/02/quatro-graficos-explicam-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-por-pais-e-por-setor>. Acesso em: 2 fev. 2021.

XU, Y. Generalized synthetic control method: causal inference with interactive fixed effects models. **Political Analysis**, [s. l.], v. 25, p. 57–76. 2017.

XU, M.; FRALICK, D.; ZHENG, J. Z.; WANG, B.; TU, X. M., FENG, C. The differences and similarities between two-sample t-test and paired t-test. **Shanghai Arch Psychiatry**, [s. l.], v. 29, n. 3, p.184–188. 2017.

YU, X.; SHEN, M.; WANG, D.; IMWA, B. T. Does the low-carbon pilot initiative reduce carbon emissions? Evidence from the application of the synthetic control method in Guangdong Province. **Sustainability**, [s. l.], v.11, n. 14, 3979. 2019.

ZHANG, P.; ZHANG, J.; CHEN, M. Economic impacts of climate change on agriculture: The importance of additional climatic variables other than temperature and precipitation. **Journal of Environmental Economics and Management**, [s. l.], v. 83, p. 8-31. 2017.

ZU ERMGASSEN, E. K. H. J. *et al.* Results from on-the-ground efforts to promote sustainable cattle ranching in the Brazilian Amazon. **Sustainability**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 1301. 2018.