



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

ERIKA COSTA SOUSA

**REGIONALIZAÇÃO CLIMÁTICA E PROJEÇÕES DA PRODUÇÃO PER CAPITA
DE LAVOURAS ALIMENTARES DE SEQUEIRO NO ESTADO DO MARANHÃO**

FORTALEZA
2023

ERIKA COSTA SOUSA

**REGIONALIZAÇÃO CLIMÁTICA E PROJEÇÕES DA PRODUÇÃO PER CAPITA
DE LAVOURAS ALIMENTARES DE SEQUEIRO NO ESTADO DO MARANHÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Rural da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de Mestre em Economia Rural. Área de concentração: Economia de Recursos Naturais e Política Ambiental (ERNPA).

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

FORTALEZA

2023

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)

- S696r Sousa, Erika Costa.
Regionalização climática e projeções da produção per capita de lavouras alimentares de sequeiro no Estado do Maranhão / Erika Costa Sousa. – 2023.
93 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. José de Jesus Sousa Lemos.
1. Agricultura de sequeiro. 2. Segurança alimentar. 3. Instabilidade pluviométrica. 4. Desenvolvimento rural. 5. Agricultura familiar. I. Título.
- CDD 338.1
-

ERIKA COSTA SOUSA

**REGIONALIZAÇÃO CLIMÁTICA E PROJEÇÕES DA PRODUÇÃO PER CAPITA
DE LAVOURAS ALIMENTARES DE SEQUEIRO NO ESTADO DO MARANHÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Rural da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de Mestre em Economia Rural. Área de concentração: Economia de Recursos Naturais e Política Ambiental (ERNPA).

APROVADA EM: 10/07/2023

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Elano Ferreira Arruda
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Ronaldo Haroldo Nascimento de Menezes
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

A Deus.

In Memoriam, à minha querida e admirável
mãe Eliane Nunes Costa.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, dedico este trabalho à minha querida mãe Eliane Nunes Costa (*in memoriam*) que sempre fez de tudo para dar uma boa educação às suas duas filhas. Por sempre ter sido uma mãe incrível que me apoiou nas decisões e acreditou no meu potencial.

Agradeço a Deus, que esteve ao meu lado em todos os momentos, guiando-me.

Agradeço à minha irmã Gabrielle Costa Sousa, que mesmo distante se fez presente em minha trajetória. Tenho muito orgulho do que estás se tornando.

Aos colegas que conquistei no percurso do curso da turma de mestrado e doutorado, especialmente à Laura Lessa e Eucinete Menezes. Obrigada pela amizade e apoio mútuo. Agradeço, também, imensamente à Milena Monteiro pela elaboração dos mapas que enriqueceram significativamente este trabalho. Espero que façamos parte da trajetória uma da outra por um grande tempo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José de Jesus Sousa Lemos por estar sempre presente e fazer com que os temas mais complexos pareçam simples, possíveis e divertidos. Sou muito grata por tudo que fez por mim. O senhor é um ser humano iluminado e sou prova viva que é o tipo de orientador que todo aluno sonha em ter.

Aos professores participantes da banca examinadora, Elano Ferreira Arruda e Ronaldo Haroldo Nascimento de Menezes, pelo tempo disponibilizado e por todas as contribuições pertinentes e essenciais para a conclusão deste trabalho.

Meu agradecimento também vai a todos os professores por suas contribuições valiosas para a minha formação acadêmica e profissional. Manifesto minha gratidão eterna por compartilharem sua sabedoria, seu tempo e sua experiência.

A todas as pessoas que compõem o corpo de funcionários do departamento de Economia Agrícola, por toda dedicação e empenho. A todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para o meu desempenho profissional, acadêmico e social, durante a minha passagem pelo Mestrado em Economia Rural.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“Cultivar a terra com amor e
bravura, nobre missão que alimenta
o mundo através da agricultura.”

Rafael Nolêto.

RESUMO

O estado do Maranhão possui um regime pluviométrico melhor do que outros estados do Nordeste. Porém, há irregularidades na distribuição espacial e temporal das chuvas, o que resulta em sérios problemas no desenvolvimento dos cultivos, com impactos econômicos e sociais. As lavouras de arroz, feijão, mandioca e milho desempenham um papel importante na formatação da segurança alimentar, na geração de renda e na ocupação dos agricultores que, em sua maioria, são familiares. Tais lavouras estão sujeitas às variações na disponibilidade e na regularidade de chuvas, justamente por serem de sequeiros. Por ter um enorme território e apresentar biomas de Cerrados, Caatinga e Amazônico, o regime climático e a aptidão agrícola do estado em questão devem variar em diferentes espaços geográficos. O presente estudo tem os seguintes objetivos: a) classificar a precipitação de chuvas no Maranhão entre os anos de 1901 a 2020 em períodos: escassez; normal e chuvoso; b) avaliar se as regiões climáticas criadas para o estado apresentam diferenças nas suas respectivas médias pluviométricas, considerando a série de precipitações de chuvas observadas entre os anos de 1901 a 2020; c) avaliar a instabilidade das precipitações pluviométricas anuais do Maranhão entre os anos de 1901 a 2020 com desdobramento para as 10 sub-regiões climáticas em que o estado foi dividido; d) fazer projeções da trajetória da produção agregada per capita, produtividade e área colhida de arroz, feijão, mandioca e milho entre 1933 a 2021; e) aferir se a produção per capita agregada dessas lavouras foi sustentável ao longo do período de avaliação. A pesquisa utilizou dados secundários da Produção Agrícola Municipal (PAM), Anuários estatísticos do IBGE e da base de dados climáticos da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA, EUA). As metodologias utilizadas incluem análises estatísticas descritivas das variáveis relacionadas às produções de arroz, feijão, mandioca e milho, bem como da pluviosidade observada nos municípios e no estado. Além disso, análises fatoriais foram aplicadas para agregar as variáveis que definem as produções das lavouras. Para estudar a trajetória da produção per capita de alimentos de forma agregada, foi utilizado o modelo ARIMA, que também foi empregado para fazer previsões até o ano de 2031 da produção per capita de alimentos no estado, considerando diferentes cenários de crescimento da população para esse período. A pesquisa estimou as taxas geométricas de crescimento contínuas (TGC), em diferentes etapas da trajetória da produção per capita de alimentos. Os resultados encontrados mostraram que a pluviometria média para o estado nesses 120 anos foi de 1.624,78 mm, com coeficiente de variação de 17,42%. A temperatura do ar apresentou distribuição homogênea, sem grandes oscilações, possuindo uma mínima de 26,03 °C, uma máxima de 28,76 e uma média de 27,18 °C. Em relação aos períodos de chuva, foram identificados 30 anos de escassez, 57 anos de normalidade e 33 anos chuvosos. A produção média per capita das lavouras apresentou comportamento heterogêneo, com picos e cavas consideráveis, sendo melhores nos períodos chuvosos e piores nos anos de escassez. O trabalho conseguiu responder às questões, tendo em vista que foram utilizadas dez regiões climáticas que têm pluviometrias médias diferentes. Contudo, as produções agrícolas dessas regiões agregadas no índice de produtividade, criado usando o método de análise fatorial, não foram todas estatisticamente diferentes. As TGC calculadas para dois períodos da trajetória da produção per capita das lavouras estudadas mostrou-se positiva entre 1933 a 1982 e negativa a partir de 1983, com magnitude menor do que a estimada para o período anterior. Assim, o trabalho conclui que há um período em que a produção per capita das lavouras foi sustentável (1933 a 1982) e outro em que isso não aconteceu (1982 a 2020).

Palavras-chave: agricultura de sequeiro; segurança alimentar; instabilidade pluviométrica; desenvolvimento rural; agricultura familiar.

ABSTRACT

The state of Maranhão has a better rainfall regime than other states in the Northeast, but there are irregularities in the spatial and temporal rainfall distribution, which results in serious problems in the development of crops, with economic and social impacts. Rice, bean, cassava and corn crops play an important role in shaping food security, generating income and occupation of the farmers, who are mostly family farmers. However, these crops are subject to variations in the availability and regularity of rainfall, precisely because they are dryland. For having a huge territory and presenting Cerrados, Caatinga and Amazon biomes, the climatic regime and the agricultural aptitude of the state must vary in different geographic spaces. The present study has the following objectives: a) To classify rainfall in Maranhão between the years 1901 to 2020 into periods: Scarce; Normal; and Rainy; b) To evaluate whether the climatic regions created for the state present differences in their respective rainfall averages, considering the series of rainfall observed between the years 1901 to 2020; c) To evaluate the instability of the annual rainfall of Maranhão between the years 1901 and 2020 with unfolding for the 10 climatic sub-regions in which the state was divided; d) Make projections of the trajectory of the aggregate per capita production, productivity and harvested area of rice, beans, cassava and corn between 1933 to 2021; e) Assess whether the aggregate per capita production of these crops was sustainable throughout the evaluation period. The research used secondary data from Produção Agrícola Municipal (PAM), Anuários estatísticos do IBGE, and climatic data from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, USA) database. The methodologies used include descriptive statistical analyses of the variables related to rice, bean, cassava and corn productions, as well as of the rainfall observed in the municipalities and in the state. In addition, factor analyses were applied to aggregate the variables that define crop yields. To study the trajectory of the per capita production of food in aggregate form, the ARIMA model was used, which was also employed to make forecasts until the year 2031 of the per capita production of food in the state, considering different population growth scenarios for this period. The research estimated the continuous geometric growth rates (GCGR), at different stages of the per capita food production trajectory. The results showed that the average rainfall for the state in these 120 years was 1,624.78 mm, with a coefficient of variation of 17.42%. The air temperature showed homogeneous distribution, without great oscillations, having a minimum of 26.03 °C, a maximum of 28.76 and an average of 27.18 °C. In relation to the rainy periods, 30 years of scarcity, 57 years of normality and 33 rainy years were identified. The average per capita production of the crops showed heterogeneous behavior, with considerable peaks and troughs, being better in the rainy periods and worse in the lean years. The work was able to answer the questions, considering that ten climatic regions that have different average rainfall. However, the agricultural productions of these regions aggregated into the productivity index, created using the factor analysis method, were not all statistically different. The TGC calculated for two periods of the trajectory of per capita production of the crops studied was positive between 1933 to 1982 and negative from 1983 onwards, with a smaller magnitude than that estimated for the previous period. Thus, the work concludes that there is a period in which the per capita production of crops was sustainable (1933 to 1982) and another in which this did not happen (1982 to 2020).

Keywords: dryland agriculture; food security; rainfall instability; rural development; family agriculture.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 –	Comportamento pluviométrico do Maranhão entre 1901 a 2020.....	46
Gráfico 2 –	Trajectoria dos valores observados (1933-2021) e previstos (1933-2031) da produção per capita do Maranhão.....	58
Gráfico 3 –	Trajectoria dos valores observados (1933-2021) e previstos (1933-2031) das produtividades agregadas das lavouras do Maranhão.....	59
Gráfico 4 –	Trajectoria dos valores observados (1933-2021) e previstos (1933-2031) das áreas agregadas das lavouras do Maranhão.....	59
Gráfico 5 –	Taxa geométrica de crescimento para a produção per capita do Maranhão entre 1933 a 2020.....	65

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Estado do Maranhão localização geográfica.....	30
Mapa 2 – Distribuição espacial das 10 regiões homogêneas de precipitação sobre o estado do Maranhão.....	32
Mapa 3 – Regiões Pluviométricas homogêneas pluviométricas no Maranhão.....	50
Mapa 4 – Regionalização dos índices de produtividade.....	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Áreas colhidas, quantidades produzidas, produtividades e número de estabelecimentos que cultivavam arroz, feijão, mandioca e milho no Maranhão em 2017.....	23
Quadro 2 – Microrregiões geográficas do estado do Maranhão.....	29
Quadro 3 – Variáveis a serem utilizadas na pesquisa.....	31
Quadro 4 – Classificação da chuva em 3 períodos distintos.....	33
Quadro 5 – Classificação do CV de acordo com sua amplitude.....	35
Quadro 6 – Limites da Estatística KMO e sua aplicação em Análise Fatorial com decomposição em componentes principais.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Estatísticas descritivas dos períodos de chuva definidos.....	44
Tabela 2 –	Resultado da comparação entre os períodos de chuva definidos para o Maranhão entre 1901 a 2020.....	45
Tabela 3 –	Resultados encontrados para o teste de diferenças das precipitações médias de e das temperaturas das regiões criadas na pesquisa no período de 1901 a 2020.....	46
Tabela 4 –	Precipitações e temperaturas mínimas, máximas, médias anuais e coeficientes de variações (CV) nas regiões maranhenses definidas na pesquisa entre os anos de 1901 e 2020.....	49
Tabela 5 –	Resultados encontrados com a análise fatorial (AF) para a estimação do IPD.....	51
Tabela 6 –	Resultados encontrados na estimação dos componentes em que foram reduzidas as variáveis originais com as respectivas comunalidades e cargas fatoriais.....	51
Tabela 7 –	Resultados para o teste de diferenças de médias dos IPD por regiões pluviométricas homogêneas.....	52
Tabela 8 –	Valores mínimos, máximos, médios e coeficientes de variação (CV) do índice de produtividades estimados para os municípios maranhenses agrupados nas dez regiões definidas na pesquisa.....	53
Tabela 9 –	Valores médios e coeficientes de variação (CV) da área colhida, produtividade e preço das quatro lavouras de sequeiro nos municípios maranhenses agrupados nas dez regiões definidas na pesquisa.....	55
Tabela 10 –	Modelos ajustados as previsões das produtividades e das áreas colhidas agregadas de arroz, feijão, mandioca e milho no Maranhão entre 1933 a 2020.....	57
Tabela 11 –	Produção percapita de alimentos no Maranhão por período pluviométrico entre 1933-2020.....	60
Tabela 12 –	Estimação dos coeficientes log-lineares e de regressão para a população do estado do Maranhão no período de 1933/2021 e	60

	2000/2021.....	
Tabela 13 –	Valores observados (2000/2021) e projeções de produtividades, áreas colhidas, população e produção agregada per capita de arroz, feijão, mandioca e milho no Maranhão no período de 2022 a 2031.....	62
Tabela 14 –	Resultados encontrados para estimar a TGC para a produção per capita do Maranhão nos períodos de 1933-1982 e 1982-2020.....	64
Tabela 15 –	Valores mínimos, máximos, médios e coeficientes de variação (CV) estimados para as áreas colhidas, de arroz, feijão, mandioca e milho para os municípios maranhenses agrupados nas dez regiões definidas na pesquisa.....	77
Tabela 16 –	Valores mínimos, máximos, médios e coeficientes de variação (CV) estimados para a produtividade de arroz, feijão, mandioca e milho para os municípios maranhenses agrupados nas dez regiões definidas na pesquisa.....	79
Tabela 17 –	Valores mínimos, máximos, médios e coeficientes de variação (CV) estimados para os preços de arroz, feijão, mandioca e milho para os municípios maranhenses agrupados nas dez regiões definidas na pesquisa.....	82
Tabela 18 –	Modelos ajustados as previsões da produtividade das culturas de sequeiro do Maranhão entre 1933 a 2020.....	84
Tabela 19 –	Modelos ajustados as previsões da produtividade per capita das culturas de sequeiro do Maranhão entre 1933 a 2020.....	86
Tabela 20 –	Modelo ajustado a previsão da renda geral das culturas de sequeiro do Maranhão entre 1933 a 2020.....	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AF	Análise Fatorial
AR	Autorregressivo
ARIMA	Média Móvel Integrada Autorregressiva
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CV	Coefficiente de Variação
DOL	Sistemas Frontais, os Distúrbios Ondulatórios de Leste
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAC	Funções de autocorrelação
FACP	Autocorrelação parcial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INP	Índice de produtividade
KMO	Teste de Kaiser-Meier-Olkin
LI	linhas de instabilidade
MA	Média móvel
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
NOAA	Administração Nacional Oceânica e Atmosférica
NUGEO	Núcleo Geoambiental
TGC	Taxa Geométrica de Crescimento
VCAS	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS.....	18
2.1	Objetivo geral.....	18
2.2	Objetivo específicos.....	18
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
3.1	Instabilidade pluviométricas no estado do Maranhão.....	19
3.2	Agricultura sustentável.....	20
3.3	Zoneamento da produção agrícola.....	21
3.4	Agricultura de sequeiro no estado do Maranhão.....	23
3.4.1	<i>Lavoura de arroz.....</i>	24
3.4.2	<i>Lavoura de feijão.....</i>	25
3.4.3	<i>Lavoura de mandioca.....</i>	26
3.4.4	<i>Lavoura de milho.....</i>	27
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4.1	Delimitação da área de estudo.....	29
4.2	Base de dados.....	30
4.3	Métodos de análises.....	32
4.3.1	<i>Metodologia utilizada para alcançar o primeiro objetivo específico.....</i>	32
4.3.2	<i>Metodologia utilizada para alcançar o segundo objetivo específico.....</i>	34
4.3.3	<i>Metodologia utilizada para alcançar o terceiro objetivo específico.....</i>	35
4.3.4	<i>Metodologia utilizada para alcançar o quarto objetivo específico.....</i>	35
4.3.5	<i>Metodologia utilizada para alcançar o quinto objetivo específico.....</i>	39
4.3.5.1	<i>Modelo adotado para fazer a projeção do crescimento da população.....</i>	41
4.3.5.2	<i>Taxa Geométrica de Crescimento (TGC).....</i>	42
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
5.1	Resultados encontrados para o primeiro objetivo.....	44
5.2	Resultados encontrados para o segundo objetivo.....	46
5.3	Resultados encontrados para o terceiro objetivo.....	47
5.4	Resultados encontrados para o quarto objetivo.....	50
5.4.1	<i>Desempenho das lavouras estudadas dentro das regiões climáticas.....</i>	54
5.5	Resultados encontrados para o quinto objetivo.....	57
5.5.1	<i>Produção per capita de alimentos nos períodos pluviométricos definidos na</i>	59

	<i>pesquisa.....</i>	
5.5.2	<i>Previsões das produtividades agregadas, áreas agregadas, populações e produções per capita anuais entre os anos de 2022 a 2031.....</i>	60
5.5.3	<i>Taxa Geométrica de Crescimento (TGC).....</i>	64
6	CONCLUSÕES.....	66
	REFERÊNCIAS.....	68
	APÊNDICE A – ESTIMATIVAS DOS VALORES PARA ÁREA COLHIDA, PRODUTIVIDADE E PREÇO DAS CULTURAS DE SEQUEIRO DO MARANHÃO.....	77
	APÊNDICE B – PREVISÕES REALIZADAS POR MEIO DA METODOLOGIA BOX JENKINS.....	84

1 INTRODUÇÃO

Diante de qualquer sistema, as atividades agrícolas tornam-se mais sensíveis às mudanças atmosféricas, tendo em vistas que dependem de fatores climáticos. O regime climático, definido como semiárido, é caracterizado por apresentar altas temperaturas, irregularidade da precipitação de chuvas tanto de um ponto de vista temporal quanto espacial, e baixa umidade relativa do ar, tendo como decorrência em clima seco, acarretando dificuldades tanto para a produção agrícola vegetal quanto para a criação de animais domésticos, tanto nas unidades agrícolas familiares quanto nas não familiares (Basso, 2020; Lemos, 2020).

O estado do Maranhão não está localizado no polígono das secas, apresentando um regime de pluviometria e de disponibilidade hídrica mais promissora do que os demais estados da região Nordeste. No entanto, exhibe irregularidades na distribuição espacial e temporal das precipitações pluviométricas, o que submete à produção agrícola local a problemas com consequências econômicas e sociais significativas. Essa irregularidade na distribuição da precipitação é decorrente de alguns aspectos como, por exemplo, posição geográfica, extensão territorial e suas feições fisiográficas (Costa, 2016; Menezes, 2009).

Com efeito, Menezes (2009), com base principalmente nas características pluviométricas e nas disposições agrícolas dos diferentes espaços geográficos do Maranhão, subdividiu o estado em dez regiões climáticas para ajudar no planejamento da exploração agrícola no estado, provendo-lhe uma lógica científica e com isso promover um melhor aproveitamento dos recursos naturais, da forma como as chuvas se distribuem e das vocações que são manifestadas na exploração agrícola em cada uma e em todas as sub-regiões.

O estado do Maranhão é constituído por 217 municípios dos quais, com a nova delimitação realizada pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste, dezesseis estão reconhecidos oficialmente como localizados no semiárido (Sudene, 2021). Em geral, prevalecem em todo o estado, assim como nos demais estados do Nordeste, as atividades agrícolas de sequeiro, definidas porque dependem exclusivamente das precipitações de chuvas em todas as etapas do seu desenvolvimento vegetativo (Lemos *et al.*, 2022).

O regime de sequeiro é um sistema de plantio que se baseia em cultivar lavouras dependendo exclusivamente da precipitação pluviais. Esse sistema não emprega irrigação e quando a pluviosidade é insuficiente para o desenvolvimento de culturas, acarreta instabilidade para a produção dessas lavouras (Salviano *et al.*, 2020; Lemos *et al.*, 2022).

As culturas de arroz, feijão, mandioca e milho constituem-se nas principais lavouras alimentares cultivadas no Maranhão, com grande relevância socioeconômica para o

estado, tanto como provedoras de segurança alimentar quanto na geração de ocupação e renda para os agricultores que as cultivam que são, majoritariamente, em unidades agrícolas familiares (UAF). (Fischer *et al.*, 2002; Rosenzweig; Hillel, 2005; Thornton *et al.*, 2008; IBGE, 2017; Pereira, 2018; Lemos *et al.*, 2020; Salviano, 2021).

A agricultura do Maranhão, no geral, tem como característica o emprego de baixo nível tecnológico, embora nos últimos anos tenham ocorrido avanços nesse quesito em uma parte específica e localizada do estado que faz parte do MATOPIBA, acrônimo que designa uma região constituída por partes dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Nessa região, estão 135 dos 217 municípios maranhenses. Contudo, majoritariamente, a agricultura maranhense é praticada com baixos padrões tecnológicos (Texeira, 2017).

Em um estudo realizado por Lemos (2006), ficou demonstrado que a produção per capita de arroz, feijão, mandioca e milho no Maranhão, a partir do ano de 1940, apresentou uma trajetória ascendente até o ano de 1982 e, a partir de tal ano, apresentou tendência de queda, com alguns poucos períodos de recuperação. Como se tratam de lavouras importantes para o fomento de segurança alimentar, da ocupação e da renda das famílias maranhenses, que majoritariamente as cultivam, e como se tratam de itens importantes na dieta alimentar dos maranhenses, as oscilações ou as instabilidades associadas às produções per capita dessas lavouras geram insegurança alimentar de renda e de ocupação dos agricultores maranhenses.

Por serem lavouras cultivadas em regime de sequeiro, as variações na pluviometria provocam insegurança na produção dessas lavouras que, associados a outros riscos e incertezas, como a ocorrência de pragas, queda de preços depois das colheitas, fazem essas atividades fomentarem riscos para os agricultores que as cultivam.

Como as pluviometrias não se manifestam de forma homogênea no estado, é provável que essas lavouras apresentem comportamentos diferenciados em aglomerados de municípios, dependendo das suas localizações. Por essa razão pode ser de relevância fazer o zoneamento climático do estado e avaliar como se comportam as lavouras de sequeiro. O teste foi realizado por Menezes (2009), utilizando informações pluviométricas anuais observadas entre 1985 a 2004, portanto de 20 anos. Atualmente, dispõe-se de informações de precipitações anuais de chuvas em nível de municípios que se estendem de 1901 a 2020. Por essa razão, acredita-se ser de relevância testar a classificação feita por Menezes (2009), se manteria com essa distribuição pluviométrica para os municípios maranhenses.

A pesquisa procurou responder aos seguintes questionamentos: 1) É possível fazer uma regionalização climática para a agricultura de sequeiro do Maranhão?; 2) As regiões em que o Maranhão foi dividido de acordo com o zoneamento climático apresentam pluviometrias

diferentes, considerando uma série maior de observações de pluviometria?; 3) Pode-se falar que a produção per capita de alimentos no Maranhão foi sustentável no período de 1933 a 2020?; 4) Pode-se afirmar que as instabilidades pluviométricas acontecidas no Estado entre 1933 a 2020 afetaram a produção per capita de alimentos no Maranhão?.

2 OBJETIVOS

Esta subseção expõe os objetivos que foram estabelecidos para abordar a pergunta formulada ao término da introdução desta pesquisa acadêmica.

2.1 Objetivo geral

Para responder a essas questões, a pesquisa tem como objetivo geral atualizar a regionalização climática dos municípios maranhenses e aferir a trajetória da produção per capita agregada de arroz, feijão, mandioca e milho no Maranhão entre os anos de 1933 a 2020.

2.2 Objetivo específicos

- a) Classificar a precipitação de chuvas no Maranhão entre os anos de 1901 a 2020 em períodos: Escassez; Normal e Chuvoso;
- b) Avaliar se as regiões climáticas criadas para o estado apresentam diferenças nas suas respectivas médias pluviométricas e temperaturas do ar, considerando a série de precipitações de chuvas e de temperatura observadas entre os anos de 1901 a 2020;
- c) Avaliar a instabilidade das precipitações pluviométricas e das temperaturas do ar anuais do Maranhão entre os anos de 1901 a 2020 com desdobramento para as 10 sub-regiões climáticas em que o estado foi dividido;
- d) Fazer projeções da trajetória da produção agregada per capita, produtividade e área colhida de arroz, feijão, mandioca e milho entre 1933 a 2021;
- e) Aferir se a produção per capita agregada dessas lavouras foi sustentável ao longo do período de avaliação.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O referencial teórico está dividido em quatro seções, as quais abordam temas que fundamentam o estudo central do presente trabalho.

3.1 Instabilidade pluviométricas no estado do Maranhão

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o Nordeste do Brasil apresenta grande diversidade quanto aos tipos de clima, os quais são caracterizados por cinco tipos: tropical, semiárido, subúmido seco, subúmido e equatorial úmido. Devido à ampla distância entre seus extremos norte/sul e leste/oeste, o estado do Maranhão é afetado por variados sistemas atmosféricos, dependendo da região e época do ano (Costa, 2016).

O Maranhão está localizado na parte mais a oeste do Nordeste brasileiro e apresenta contrastes quanto às características climáticas: uma parte está situada no complexo amazônico, com clima predominantemente equatorial, que ocorre mais a oeste do estado fazendo fronteira com o estado do Pará. A outra parte do estado está localizada no leste do estado, fazendo fronteira com o estado do Piauí e apresenta características climáticas equivalentes às aquelas observadas no semiárido, inclusive com abundância de vegetação de caatinga, um regime pluviométrico mais concentrado em alguns poucos meses no começo do ano, e com volume menor (Nascimento, Araújo, Campos, 2015).

É, em grande parte, tomado pelo clima tropical, com volumes de chuvas anuais que experimentaram uma máxima no ano de 1985, com 2.676,27 milímetros, enquanto em 1983 obteve a menor precipitação média com 1.042,81 milímetros. Esses valores gravitaram em torno de uma média de 1.624,78mm com um coeficiente de variação de 17,42% (NOAA, 2022).

De acordo com Montebeller (2007), em determinadas regiões do estado a distribuição das precipitações pluviométricas é condicionada aos aspectos estáticos-fisiográficos como a latitude, a distância do oceano e os efeitos orográficos. Além disso, as movimentações das massas de ar (fatores dinâmicos) que estão relacionadas entre si, caracterizam os índices pluviométricos de uma definida região.

Essa elevada variação no volume de chuvas é causada devido aos diversos sistemas de precipitação que atuam no Maranhão, citando-se a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), as linhas de instabilidade (LI), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), os Sistemas Frontais, os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAS) (Menezes, 2009; Nascimento; Araújo, Campos, 2015).

No Maranhão, a agricultura enfrenta um alto risco de perda de safra devido à instabilidade na distribuição das chuvas no tempo e no espaço, além da predominância de solos

de eficiência limitada para as lavouras, em razão ao elevado processo de devastação das áreas (Duque, 1980). O uso de técnicas que desconsideram as condições específicas de cada ambiente é um ponto que merece destaque, pois afeta diretamente os pequenos e médios produtores, reduzindo a produtividade das lavouras e as suas rendas.

Desse modo, conforme Cerqueira (2021), no estado do Maranhão, a escassez ou a abundância de chuvas constituem-se em problemas, visto que eventos extremos tanto para mais, quanto para menos, poderão afetar a produção agrícola.

3.2 Agricultura sustentável

A definição de sustentabilidade, na agricultura, é abordada como a aptidão de assegurar a continuidade da produtividade e da renda por hectare, preservando a qualidade ambiental e perdurando os recursos naturais (Reijntjes, 1994). Essa definição tornou-se de grande relevância quando se perceberam muitos efeitos nocivos ocasionados pelo modelo tecnológico de produtividade que foi praticamente imposto aos agricultores nas décadas de 1960/1970, o qual se fundamentava em princípios do aumento de produtividade por meio do uso de insumos químicos, mecanização intensiva e cultivos de alto rendimento (Reijntjes, 1994; Gliessman, 2015). No entanto, esse modelo implantado, quando realizado de forma inadequada, apresentou como efeito colateral uma intensa pressão sobre os recursos naturais, causando desmatamento e deterioração do solo (Almeida, 1997; Horrigan; Lawrence; Walker, 2002; Kaimowitz, 2008; Rocha *et al.*, 2022).

De acordo com Das *et al.* (2020), a sustentabilidade na agricultura é uma concepção complexa que abrange diversas dimensões, incluindo aspectos sociais (como estabelecer relações justas com os trabalhadores e manter um relacionamento mutuamente benéfico com a comunidade circundante), econômicos (assegurando a lucratividade do negócio e contribuindo para uma economia robusta) e ambientais (mitigando a poluição do ar, da água e do clima, promovendo a saúde do solo, gerenciando de forma sustentável os recursos hídricos e promovendo a biodiversidade). Para atender a esses critérios, é essencial trabalhar em harmonia com a natureza, em vez de atuar contra ela.

Swindale (1988) argumenta que a sustentabilidade implica em equilibrar as necessidades humanas com as preocupações ambientais. Uma característica comum nas definições é que os sistemas agrícolas sustentáveis devem manter sua produtividade ao longo do tempo, atendendo às demandas das gerações presentes e futuras, enquanto conservam os recursos naturais (Senanayake, 1991; Nrc, 1991). É amplamente reconhecido que a melhoria da qualidade ambiental e o uso responsável dos recursos naturais nos quais a agricultura

depende são requisitos fundamentais para alcançar a produtividade agrícola sustentável (ASA, 1989).

As práticas agrícolas determinam o nível de produção de alimentos e, em grande medida, o estado global do meio ambiente. Os impactos ambientais prejudiciais das práticas agrícolas são custos que normalmente não são medidos e muitas vezes não influenciam as escolhas dos agricultores ou da sociedade sobre os métodos de produção. Conforme a definição proposta por Tilman *et al.* (2002), a agricultura sustentável refere-se a práticas que são capazes de suprir as necessidades sociais presentes e futuras de alimentos, serviços ecossistêmicos e qualidade de vida, ao mesmo tempo em que maximizam o benefício líquido para a sociedade, levando em consideração todos os custos e benefícios das práticas envolvidas. Além disso, os conceitos amplos de agricultura sustentável englobam parâmetros ecológicos, econômicos e sociais, enquanto as definições mais restritas estão principalmente focadas em questões ambientais, como o manejo ideal de recursos e a gestão ambiental (Francis, 1990; Mccracken e Pretty, 1990).

Desse modo, procurar um equilíbrio entre as necessidades do presente e a preservação dos recursos naturais, com a finalidade de impedir futuros desprovements, é um tópico que deve ser examinado com bastante atenção. Essa divergência coloca em prova a viabilidade da agricultura intensiva em agroquímicos e maquinários, torna-se, em longo prazo, uma atividade econômica, e desse modo sustentável. Por conseguinte, conforme Fernandes (2005), retribuir costumes agrícolas que se constituem socialmente adequados, ecologicamente persistentes e que valorizem os procedimentos naturais dos ecossistemas, é provável ser a solução para alcançar uma economia agrícola sustentável.

3.3 Zoneamento da produção agrícola

A agricultura é uma das partes mais relevantes da cadeia produtiva, tornando-se dependente e vulnerável às variabilidades climáticas tendo em vista a relação entre o homem e o meio ambiente. Compreende-se que o solo e o clima controlam o desenvolvimento e crescimento das culturas e, desse modo, as circunstâncias ambientais precisam tornar-se devidamente analisadas previamente antes de efetuar uma atividade agrícola.

Para lograr a produtividade econômica, no que se refere ao clima, sabe-se que cada cultura demanda de meios propícios no decorrer de todo o seu desenvolvimento, ou seja, requerem determinadas limitações climática em suas diversas etapas do ciclo, com uma distribuição mínima de água, tendo também um período seco nos ciclos de maturação e colheita. A sistematização das informações das variáveis climáticas é o que irá fazer com que uma certa

região seja vista como favorável para uma estabelecida cultura e isso também envolve o risco de perda de produção vegetal (Silva *et al.*, 1993; Becerra, 1999; INPE, 2016).

A delimitação de zonas agrícolas e os diversos métodos associados podem ser valiosos instrumentos na definição de políticas agrícolas e diretrizes para programas de desenvolvimento regional, estadual e nacional. Essa abordagem de planejamento permite identificar áreas propícias para o estabelecimento e cultivo de espécies específicas, levando em consideração as exigências climáticas, características do solo e disponibilidade socioeconômica de cada região (Braga *et al.*, 2015).

Na agricultura, o zoneamento é uma abordagem que abrange várias classificações, com base nos objetivos e resultados desejados. Algumas dessas classificações incluem: Zoneamento Agroclimático, que leva em consideração as características climáticas da região; Zoneamento Agrícola, que considera as características do solo; Zoneamento Agroecológico ou Zoneamento Edafoclimático, que busca uma abordagem integrada considerando tanto as características climáticas quanto as do solo; e Zoneamento de Riscos Climáticos, que avalia os riscos climáticos e sua influência na agricultura. Essas classificações são utilizadas como ferramentas para auxiliar na tomada de decisões relacionadas ao planejamento e manejo das atividades agrícolas, visando otimizar a produção e reduzir os riscos associados às condições climáticas, edáficas e de riscos climáticos (Ometto, 1981; Pereira *et al.*, 2002; MAPA, 2020, Wollmann; Galvani, 2013).

O zoneamento da produção agrícola torna-se importante visto que um dos seus objetivos essenciais é a identificação, caracterização e delimitação cartográficas das regiões ou “zonas” com aptidões de clima e solo que proporcionem o emprego ecofisiológica de uma dada cultura. Conforme Ramalho Filho e Motta (2010), o zoneamento possibilita determinar a época mais viável de semeadura para cada um dos municípios e proporciona componentes para a implantação e aumento da cultura em bases sustentáveis em que as etapas mais críticas da cultura detenham de uma probabilidade mais baixa de se chocarem com as adversidades climática como, por exemplo, a escassez de água, alta ou baixa elevação da temperatura.

Desse modo, compreende-se que a característica relevante do Zoneamento Agroecológico é o ordenamento de informações sobre os recursos naturais de uma determinada região objetivando o emprego sustentável dos recursos naturais para fins, especialmente na produção agrícola. Por fim, o guarnecimento de dados técnicos para a realização de políticas públicas para a consolidação do homem no campo, de maneira econômica e ambientalmente sustentável.

3.4 Agricultura de sequeiro no estado do Maranhão

A palavra “sequeiro” é derivada da palavra seca, que contrasta com a chamada lavoura do brejeiro, técnica realizada em solo firme. Este modelo agrícola visa alcançar eficiência em terra seca, selecionando variedades de culturas que não requerem irrigação constante e, conseqüentemente, podendo suportar períodos de seca entre uma quadra chuvosa e outra. Desse modo, as lavouras de sequeiro são culturas completamente dependentes das precipitações pluviométricas para que possam concluir o seu ciclo (CBHSF, 2015).

As alterações nas precipitações de chuvas, seja por abundância ou ausência, interferem nas demandas hídricas das culturas, resultando na redução da área colhida e na diminuição da produtividade das culturas cultivadas em condições de sequeiro. Essas culturas são fundamentais para proporcionar segurança alimentar e renda monetária aos agricultores familiares do semiárido nordestino (Fischer; Shah; Van Velthuizen, 2002; Pereira; Silva Junior, 2018; Costa Filho, 2019; Lemos *et al.*, 2022).

Como as culturas de sequeiro dependem dos eventos climáticos e os agricultores não possuem controle sobre os fatores naturais, os resultados que decorrem em termos de área colhida, produtividade, preços e renda relacionada à cultura estão associados às instabilidades climáticas, sobretudo às pluviométricas tendo em vistas que a amplitude térmica é bastante reduzida neste lado do planeta (Fischer; Shah; Van Velthuizen, 2002; Lemos *et al.*, 2022).

Quando as chuvas são insuficientes para sustentar todas as etapas do crescimento das culturas, pode levar a uma produção instável dessas lavouras de sequeiro (Salviano *et al.*, 2020). Dentre essas lavouras, as mais cultivadas no Maranhão são arroz, feijão, mandioca e milho. De acordo com o Censo Agropecuário de 2017, as áreas colhidas com essas lavouras no Maranhão somaram 795.135 hectares, com uma produção de 2.775.877 toneladas (Quadro 1), uma produtividade de 14.123,80 quilogramas/hectare e com um total de estabelecimentos de 351.820 no ano de 2017 (IBGE, 2020).

Quadro 1 – Áreas colhidas, quantidades produzidas, produtividades e número de estabelecimentos que cultivavam arroz, feijão, mandioca e milho no Maranhão, em 2017

Lavouras	Área Colhida (ha)	Quantidade produzida (t)	Produtividade (Kg/ha)	Número de estabelecimentos
Arroz	155.584	244.573	1.571,97	82.842
Feijão	74.132	43.454	586,17	73.630
Mandioca	101.385	856.770	8.450,66	83.192
Milho	464.034	1.631.080	3.515,00	112.156
Totais	795.135	2.775.877	14.123,80	351.820

Fonte: Censo Agropecuário (2017).

A produção da agricultura familiar no Maranhão está voltando a ter uma ascensão, com destaque para o cultivo de arroz que, de acordo com Santiago (2017), na safra 2016/2017 apresentou um crescimento de 49,7%, sendo maior que a safra 2011/2012. Entretanto, embora seja o 5º maior produtor de arroz do país, e o 1º do Nordeste, o Maranhão ainda não é autossuficiente nesse produto. Com relação ao feijão, o Maranhão tem uma produção menor, ocupando o quinto lugar no Nordeste, mas com potencialidade de crescimento, assim como ocorre com o arroz. Quanto à mandioca, o estado é o segundo maior produtor do Nordeste, em área plantada, sobressaindo-se por ter plantios em quase todas as comunidades rurais de seus municípios, assegurando a autossuficiência na produção de mandioca (Sagrira, 2016).

Aproximadamente, 47,2% dos estabelecimentos da agricultura familiar brasileira estão localizados no Nordeste, o que é particularmente acentuado em termos de produção de alimentos e emprego de mão de obra no meio rural (França *et al.*, 2009; Guanziroli; Di Sabbato; Vidal, 2017). Entre os produtos cultivados na região, predominam arroz (*Oryza sativa L.*), feijão caupi (*Vigna unguiculata L.*), mandioca (*Manihot esculenta*) e o milho (*Zea mays L.*), por serem culturas alimentícias, geradoras de renda monetária, vitais para a nutrição das famílias do meio rural e a permanência dos agricultores familiares (Censo Agropecuário, 2017; Lemos *et al.*, 2020).

3.4.1 Lavoura de arroz

Os açorianos incorporaram o arroz vermelho no Maranhão entre os anos de 1619 e 1649, quando foi cultivado quase unicamente até ser proibido em 1772 para coagir a produção de arroz branco. Este, por sua vez, era denominado de arroz Carolina, e seu cultivo foi incentivado para abastecer Portugal, que enfrentava escassez de grãos.

Na década de 1970, o estado tornou-se o maior produtor de arroz de sequeiro no país e o segundo maior produtor de arroz, correspondendo por 20% das terras cultiváveis e 18% da produção nacional. Na década de 1980, as áreas tradicionais de cultivo localizadas nos vales dos rios passaram a ser ocupadas por fazendas de gado, resultando em uma redução significativa da área plantada e da produção (CONAB, 2015).

O ano de 1982, de acordo com Lemos (2015), foi considerado um ano de opulência para a agricultura familiar maranhense. Colheu-se no Maranhão, naquele ano, cerca de 2,29 milhões de hectares com arroz, feijão, mandioca e milho em conjunto, tendo a produção per capita de 584 gramas/dia per capita. Na década de noventa, a área e a produção de arroz começaram a apresentar um declínio, e o Maranhão saiu do ranking dos três Estados que detinham os maiores produtores de arroz no Brasil. Este período de decréscimo da área

cultivada com arroz no estado obteve um nível inferior em 1996, no qual a área cultivada foi de somente 409.747 hectares, tendo uma produção total de 555.006 toneladas, apresentando assim um rendimento de 1354,51 quilograma por hectare.

O estado do Maranhão é o maior produtor de arroz do nordeste brasileiro, com produção altamente concentrada na região Meio-Norte. É cultivado principalmente em pequenas parcelas sob condições de sequeiro e com baixo nível de tecnologia, pois a maioria da população - principalmente nas áreas rurais - está localizada na faixa de renda mais baixa (Menezes, 2009).

Por se tratar de uma cultura de baixa tecnologia no Maranhão, o clima continua sendo o fator determinante e contribui para o nível de produtividade alcançado, bem como a variabilidade interanual e a variabilidade da produtividade (EMBRAPA, 2003). De acordo com o 8º Levantamento Safra de Grãos 2021/2022 da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), há atualizações sobre a área plantada do arroz de sequeiro ao longo do mês de abril, beneficiado principalmente no município de São Mateus do Maranhão, levando ao total de arroz do estado a área plantada aumentou para 98,3 mil ha, um aumento de 6,2% em relação à área da safra anterior (CONAB, 2022).

Assim, Santos (2010) evidencia que o Maranhão dispõe de grandes expectativas para o cultivo de arroz, já que o estado conseguiu se manter como grande produtor, tornando-se essencial a conciliação de políticas de apropriação tecnológica com desenvolvimento da cadeia produtiva.

3.4.2 *Lavoura de feijão*

De acordo com Freire Filho *et al.* (2011) o feijão-caupi (do gênero *vigna*) é uma lavoura nativa da África, que foi inserida no Brasil pelos colonizadores portugueses no estado da Bahia na segunda metade do século XVI. Em 1568, de acordo com Gandavo (2001), existia indícios de que muitos feijões já estavam presentes no Brasil. No ano de 1587, Souza (1974) menciona que uma variedade de feijão e fava era cultivada na Bahia. Embora não seja possível especificar quais grãos eram cultivados, as evidências de que o feijão-caupi é um deles é muito forte porque, conforme Barracloug (1995), desde a fundação da Bahia como capital administrativa do Brasil em 1549, o comércio do feijão-caupi cultivado com o Oeste da África, de Guiné a Angola, as relações com a África Ocidental eram muito intensas. Da Bahia, o feijão-caupi espalhou-se pelo país.

Em 1930, deu-se início à produção de feijão no Maranhão, o qual detinha uma área limitada de cultivo. Por certo, em 1933, a área cultivada com feijão no Maranhão era de apenas

1.780 hectares, com uma produção de 1.200 toneladas. Com isso, a área de cultivo e a produção sofreram vigorosamente com as oscilações durante a década de trinta e em 1940 e 1941 houve uma expressiva diminuição, no qual a área passou de 619 hectares para apenas 410 hectares e a produção de 483 toneladas para 295 toneladas, respectivamente (Lemos, 2006).

Ao longo do período de 1933 a 2004, contabilizou-se as menores áreas cultivadas com feijão. Os maiores rendimentos do feijão foram alcançados nos anos de 1938 com 800,34 quilogramas por hectare, em 1935 e 1939 com 800 quilogramas por hectare. Já nos anos de 1983, 1952 e 1995, a produção por hectare de feijão sofreu deveras variações que foram respectivamente de 190,08 quilogramas por hectare para 273,24 quilogramas por hectare e 276,28 quilogramas por hectare para 286,00 quilogramas por hectare (Lemos, 2006; IBGE, 2020).

Em 1994, a área plantada com feijão obteve a maior magnitude atingindo 121.516 hectares (6,41%). No decorrer dos anos de 1995, 1996, 1997 e 1998, as áreas cultivadas com feijão no Maranhão apresentaram diminuições perceptíveis, refletindo desse modo a falta de suporte técnico do sistema de produção agrícola do estado.

A quantidade produzida de feijão (em grão), no Maranhão, em 2020, foi de 27.260, ocupando a 17ª posição do Nordeste, tendo uma área colhida em 48.500 hectares (2,82%), a quantidade produzida em 27.260 e o valor da produção em 65.998 (0,85%) (IBGE, 2020).

Desse modo, o cultivo do feijão-caupi constitui-se numa das essenciais fontes de proteína de origem vegetal de custo reduzido para a alimentação humana, além de promover emprego e renda para a população. De acordo com Araújo *et al.* (1984), Silva *et al.* (2016) e Rocha (2018), tal cultura possui um ciclo curto, na sua fase de desenvolvimento, possui uma maior necessidade hídrica, e na sua fase de germinação, um menor volume hídrico, além de possuir características para se desenvolver em regiões em que o solo possui uma baixa fertilidade. O plantio dessa leguminosa sucede nos meses de outubro, novembro e dezembro e a colheita de janeiro a maio.

3.4.3 *Lavoura de mandioca*

O cultivo da mandioca no Maranhão é uma atividade de relevância social, uma vez que reúne grupos de trabalhadores e produtores que conservam suas tradições e relações familiares. Todavia, a produção está baseada em adversidades de ordem social, como a inexistência de uma organização associativa e a uma baixa escolaridade dos sujeitos envolvidos na sua produção, tal como acontece nos cultivos de arroz, feijão e milho nesse estado, do mesmo

modo a ordem de tecnologia, no qual são fatores que fazem com que a produtividade se torne ineficiente.

A mandioca é produzida, sobretudo, por produtores familiares com um limitado uso de tecnologias e que utilizam a prática de uma lavoura incipiente sem se preocupar com a conservação dos recursos naturais, sendo descritos como ocupantes de terras devolutas ou aforadas.

Seu cultivo abrange todo o território Maranhense e suas raízes são processadas, sobretudo para a fabricação de farinha de mesa, pois o produto detém parte de seu consumo na respectiva unidade familiar, sendo o excedente comercializado no mercado local e regional. Ainda assim, suas raízes são igualmente utilizadas para a alimentação humana, sob a forma de fécula e demais produtos culinários. Tem, desse modo, uma significativa aplicação como substituto de parte dos grãos, na alimentação de aves e suínos (Lemos, 2006; Pinheiro, 2019).

No estado do Maranhão, de acordo com Pinheiro (1992), a mandioca encontra-se propagada em toda a sua extensão territorial. No final dos anos de 1980, a cultura tinha como relevantes as zonas concentradoras da produção, as microrregiões homogêneas da Baixada Ocidental Maranhense, Pindaré, Itapecuru, Baixo Parnaíba Maranhense, Médio Mearim e Alto Muniç, que detinham a produção de mais da metade do total de raízes no estado.

Tendo uma grande manifestação social e econômica para o Maranhão, a lavoura de mandioca teve seus primeiros registros no início dos anos trinta do século passado. Nos anos trinta e quarenta ocorreram oscilações tanto na área cultivada quanto na produção, que por exemplo, em 1938 tinha uma área de 8.208 hectares e em 1944 passou a abranger 20.544 hectares. Já em relação à produção, tem-se a produção mínima em 1941 de 100.000 toneladas e uma máxima em 1949 de 420.359 toneladas.

Observou-se nos anuários estatísticos do IBGE (vários anos) que nos anos trinta a cultura da mandioca no Maranhão mostrou níveis altos de rendimento por hectare, com uma produção de 20.000 quilogramas por hectare nos anos de 1938 e 1939. As produtividades mais baixas da mandioca sucederam-se nos anos de 1996, 1997 e 1998, com respectivamente 5.764 quilogramas por hectare; 5.951 quilogramas por hectare e 6.135 quilogramas por hectare. No ano de 2020, a produtividade da mandioca no estado foi de 7.699 quilogramas por hectare.

3.4.4 Lavoura de milho

O milho é considerado uma das culturas mais importantes e antigas. Originou-se nas Américas, mas é cultivada em várias latitudes, desde a Rússia até a Argentina. Representa um produto estratégico para a segurança alimentar da população mundial, para a nutrição

humana e alimentação animal, principalmente para as aves, os suínos e os bovinos (de corte e laticínios). Além dessas finalidades, o milho também é utilizado para extrair bioetanol, fato amplamente demonstrado em plantações nos Estados Unidos. É utilizado nas indústrias química e alimentícia, das quais são obtidos mais de quinhentos derivados.

Conforme Alves e Amaral (2011), o Nordeste tem vantagens competitivas para a produção de milho, a saber: acesso à terra com menor custo para expansão das atividades (em algumas áreas, a mecanização total da lavoura é possível devido à sua topografia); disponibilidade de crédito; a atividade gera ocupações no campo; há infraestrutura para produção e distribuição e sendo fundamental o melhoramento em partes dessa estrutura, como algumas estradas que se encontram com más condições; clima favorável, que auxilia no uso de sistemas de sequeiro, principalmente em áreas de cerrados; e a existência de institutos de pesquisa voltados para o desenvolvimento como a Embrapa Milho e o Sorgo, por exemplo.

No Maranhão, a cultura do milho teve o seu início nos anos trinta e no começo dos anos quarenta com certas dificuldades. Em 1933, o estado cultivava uma área de 5.460 hectares. Contudo, nos anos que se sucederam, passou a possuir quedas expressivas tendo em 1937 apenas 4.500 hectares e constituiu-se na menor área cultivada com milho entre os anos de 1933 a 2004. Em 1941, os agricultores maranhenses cultivavam apenas 7.260 hectares e em 1995 ocorreu a maior área plantada com milho com 641.379 hectares e colheu 360.851 toneladas no estado.

Entre os anos de 1933 e 2004, o rendimento por hectare no cultivo do milho no estado sofreu oscilações significantes. Em 1968, o rendimento foi de apenas 69,54 quilogramas por hectare e chegou a atingir o seu máximo em 1945 com 1.157 quilogramas por hectare. O ano de 1998 obteve as maiores dificuldades na produção de alimentos no Maranhão, o milho sofreu uma redução na rentabilidade por unidade de área cultivada produzindo 472,88 quilogramas por hectare.

Desse modo, de acordo com o IBGE (2020), os principais produtores de milho do Nordeste brasileiro são os estados da Bahia, Piauí e Maranhão, tendo este último uma produção em 2019 de 1.803.512 toneladas e em 2020 de 2.177.432 toneladas. A área colhida com milho no Maranhão naquele ano foi de 425.885 hectares e no ano seguinte foi 455.590. A produtividade estadual dessa cultura, em 2019, foi de 4.234,74 quilogramas por hectare, e em 2020, foi de 4.779,38 quilogramas por hectare.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Na seção, é especificada a delimitação do campo de estudo, a definição e as fontes da base de dados com as variáveis empregadas, além dos métodos de análises aplicadas para o tratamento dos dados e para a obtenção dos cinco objetivos específicos propostos para a pesquisa.

4.1 Delimitação da área de estudo

O estado do Maranhão está localizado no extremo Oeste do Nordeste do Brasil, limitando-se ao Norte pelo Oceano Atlântico; a Leste e Sudeste faz divisa com o estado do Piauí; ao Sul e Sudoeste com o estado de Tocantins e a Oeste e Noroeste com o estado do Pará. Possui uma área de 329.651,496 Km², equivalente a 21,20% da área do Nordeste e tendo a segunda maior costa litorânea do país, com uma extensão de 640 quilômetros.

De acordo com o último Censo Demográfico realizado pelo IBGE (2010), possuía 6.574.789 habitantes, com densidade demográfica de 19,81 hab./km². Em 2010, o percentual da população residente no Maranhão, que se localizavam na zona urbana, foi de 63,08%, sendo de 36,92% o percentual da população que vivia na zona rural. Em termos numéricos, tinha-se em 2010 um total de 4.147.149 de pessoas residindo em áreas urbanas e 2.427.640 nas áreas rurais.

Conforme NUGEO (2002) e Menezes (2009), o estado é composto por 217 municípios e formado por 21 microrregiões geográficas, conforme o Quadro 2.

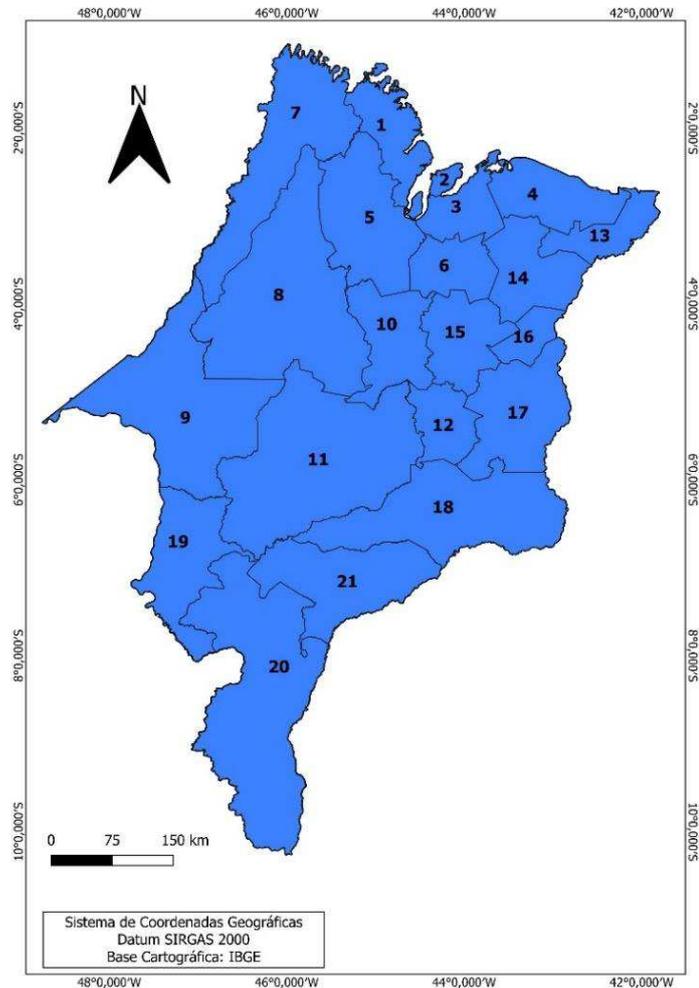
Quadro 2 – Microrregiões geográficas do estado do Maranhão

1 - Litoral Ocidental Maranhense	8 - Pindaré	15 - Codó
2 - Área Urbana de São Luís	9 - Imperatriz	16 - Coelho Neto
3 - Rosário	10 - Médio Mearim	17 - Caxias
4 - Lençóis Maranhenses	11 - Alto Mearim e Grajaú	18 - Chapada do Alto Itapecuru
5 - Baixada maranhense	12 - Presidente Dutra	19 - Porto Franco
6 - Itapecuru Mirim	13 - Baixo Parnaíba Maranhense	20 - Gerais de Balsas
7 - Gurupi	14 - Chapadinha	21 - Chapada das Mangabeiras

Fonte: IBGE (2022).

No Mapa 1, pode-se observar a localização das 21 microrregiões geográficas no estado do Maranhão.

Mapa 1 - Estado do Maranhão localização geográfica



Fonte: Elaboração própria com base nos dados.

O clima preeminente na região do estado do Maranhão é tropical e seu relevo evidencia duas regiões específicas que são: planície litorânea que é composta por baixadas alagadiças, tabuleiros e extensas praias, com destaque às grandes extensões de dunas e o litoral recortado, tendo as demais regiões compondo o planalto tabular, que compõem chapadas com escarpas, denominadas serras. E na área do Noroeste do estado, encontra-se a chamada Amazônia Maranhense, que se define pela vegetação de floresta e clima equatorial.

4.2 Base de dados

O trabalho utiliza as informações de precipitações pluviométricas e temperatura do ar divulgadas pela *National Oceanic and Atmospheric Agency* (NOAA), tendo os períodos de 1901 a 2020, bem como do banco de Dados Sidra, disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, vários anos) e nos Anuários Estatísticos do IBGE. O período de disponibilidade de dados estende-se entre os anos de 1974 a 2020 em nível municipal e em

nível estadual temos os anos de 1933 a 2020. As lavouras que compõem a série estudada são: arroz, feijão, milho e mandioca (IBGE, vários anos). Os dados empregados na presente pesquisa são de natureza secundária, todos os dados coletados para a base de análise e tomados como referência o estado do Maranhão, localizado na região Nordeste do Brasil.

Assim sendo, consideram-se três tipos de variáveis dispostas no Quadro 3 que são: endógenas, exógenas e construídas. Ademais, o Quadro 3 também expõe as variáveis que serão utilizadas.

Quadro 3 – Variáveis a serem utilizadas na pesquisa.

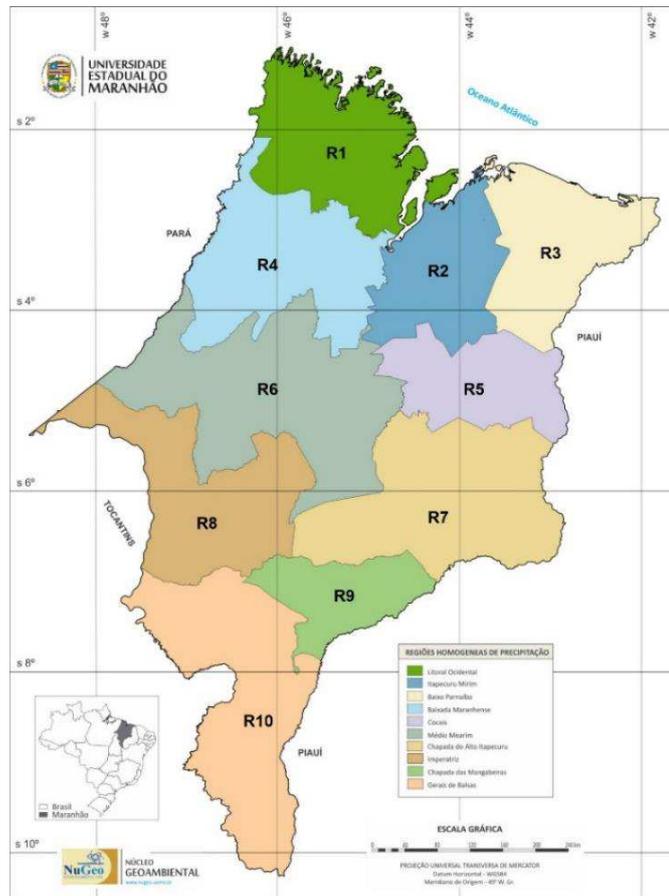
Variável	Especificação	Tipo
X_{it1}	Pluviometria anual	Exógena
X_{it2}	Área colhida (ha)– arroz	Endógena
X_{it3}	Produtividade (kg/ha) – arroz	Construída
X_{it4}	Preço (R\$/kg) – arroz	Exógena
X_{it5}	Área colhida (ha) – feijão	Endógena
X_{it6}	Produtividade (kg/ha) – feijão	Construída
X_{it7}	Preço (R\$/kg) – feijão	Exógena
X_{it8}	Área colhida (ha) – mandioca	Endógena
X_{it9}	Produtividade (kg/ha) – mandioca	Construída
X_{it10}	Preço (R\$/kg) – mandioca	Exógena
X_{it11}	Área colhida (ha) – milho	Endógena
X_{it12}	Produtividade (kg/ha) – milho	Construída
X_{it13}	Preço (R\$/kg) – milho	Exógena
X_{it14}	População	Endógena
X_{it15}	Temperatura do ar anual	Exógena

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Com as variáveis descritas acima, o processo se dará na avaliação da trajetória da produção per capita de alimentos no Maranhão com a utilização das culturas de arroz, feijão, mandioca e milho, na qual serão agregadas em cada ano, a partir de 1933 até 2020 e divididas pelas respectivas populações para obter a produção per capita em seus respectivos anos.

Como demonstrado no trabalho de Menezes (2009), têm-se a base a pluviometria predominante nos municípios que foram agrupados em dez (10) regiões. Conforme a proposta de regionalização, essas áreas são compostas por municípios com características de condições pluviométricas convergentes ou semelhantes. No Mapa 2, é apresentada a regionalização, tendo sua divisão da seguinte maneira: a região 1 é composta por um total de 42 municípios, seguida pela região 2 com 25 municípios, região 3 com 23 municípios, região 4 com 24 municípios, região 5 com 18 municípios, região 6 com 24 municípios, região 7 com 26 municípios, região 8 com 21 municípios, região 9 com 7 municípios e região 10 com 7 municípios.

Mapa 2 – Distribuição espacial das 10 regiões homogêneas de precipitação sobre o estado do Maranhão



Fonte: Menezes (2009).

4.3 Métodos de análises

A seguir, será descrito em ordem os procedimentos de acordo com os objetivos específicos da pesquisa.

4.3.1 Metodologia utilizada para alcançar o primeiro objetivo específico

Com a finalidade da criação do modelo de distribuição temporal de chuvas no Maranhão entre 1901 a 2020, realiza-se o enquadramento das precipitações pluviométricas em três períodos distintos: escassez, normal e chuvoso. De acordo com o Quadro 4, os arranjos dos anos em determinado período consistirão nas flutuações de meio desvio padrão em torno da média pluviométrica considerada no decorrer dos anos em análise.

Quadro 4 – Classificação da chuva em 3 períodos distintos

Período	Intervalo de variação
Escassez	Pluviometria < Média do período – 0,5 Desvio padrão (DP)
Normal	Pluviometria = Média do período ± 0,5 Desvio padrão (DP)
Chuvoso	Pluviometria > Média do período + 0,5 Desvio padrão (DP)

Fonte: Lemos e Bezerra (2019)

A divisão dos períodos unicamente pela classificação não assegura uma consistência integral. Conforme Lemos e Bezerra (2019), precisará ser testada com a ajuda do método de regressão, utilizando variáveis *dummy* a fim de analisar se as médias de precipitações pluviométricas estimadas para cada um dos períodos de chuva são estatisticamente diferentes.

Rebello e Valle (2002) demonstram que a utilização de variáveis *dummy* se tornam relevantes na análise econométrica. Buscando medir a associação entre uma variável dependente e outra independente, isso se torna uma técnica estatística para a análise de regressão. De acordo com Gujarati e Porter (2011), um modelo com variáveis dummies, ou binárias, pode ser apresentado da seguinte forma:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 D_1 + \beta_2 D_2 + \mu_t \quad (1)$$

Tal que,

D_1 e D_2 são variáveis binárias (*dummies*) estabelecidas da forma a seguir:

$D_1 = 0$ nos anos de escassez de chuvas e abundâncias;

$D_1 = 1$ nos anos de período de normalidade;

$D_2 = 0$ nos anos que compõem os períodos de escassez de chuvas e normalidade;

$D_2 = 1$ nos anos que contabilizados como períodos de abundâncias;

$D_1 = D_2 = 0$ nos períodos de escassez de chuvas.

Observa-se que na equação (1) a variável (Y_t) é a pluviometria anual observada no município “i” no ano t ($t = 1901, 1902, 1903, \dots, 2020$). O parâmetro (β_0), tornando-se estatisticamente diferente de zero e $D_1 = D_2 = 0$ é o coeficiente linear que irá estimar a média pluviométrica dos períodos de escassez de chuvas. Sendo parâmetro estimado (β_1) estatisticamente diferente de zero, o que expressa que a pluviometria média no período de normalidade difere das médias dos demais períodos. O coeficiente angular (β_2), sendo estatisticamente diferente de zero, indicará que a pluviometria média nos anos dos períodos de

abundância é diferente daquelas analisadas nos demais períodos.

Considera-se para o termo aleatório (μ_t) que este possua média zero, variância constante e não seja auto-correlacionado (“ruído branco”). Conforme Gujarati e Porter (2011) e Woldridge (2012) os parâmetros da equação (1) podem ser estimados utilizando-se a técnica dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).

Diante disto, com a utilização desses critérios, espera-se que a pluviometria média dos anos chuvosos seja maior, numérica e estatisticamente, do que a analisada nos anos de pluviometrias normais que, por sua vez, seja maior do que as precipitações pluviométricas nos períodos de escassez de pluviometria nos municípios do estado do Maranhão entre 1901 a 2020.

4.3.2 Metodologia utilizada para alcançar o segundo objetivo específico

A fim de atingir o segundo objetivo desenhado para esta pesquisa, que é avaliar se as regiões climáticas criadas para o estado apresentam diferenças nas suas respectivas médias pluviométricas e nas temperaturas do ar, considerando a série de precipitações de chuvas e temperaturas observadas entre os anos de 1901 a 2020, utiliza-se o modelo definido na equação (2).

$$C_{it} = \beta_0 + \beta_1 D_1 + \beta_2 D_2 + \beta_3 D_3 + \beta_4 D_4 + \beta_5 D_5 + \beta_6 D_6 + \beta_7 D_7 + \beta_8 D_8 + \beta_9 D_9 + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Neste caso C_{it} é a pluviometria dos municípios no ano j ($j = 1901, 1902, \dots, 2020$), as variáveis D_k ($k = 1, 2, \dots, 10$) são *dummies* (binárias) que assumem os seguintes valores:

$D_1 = 1 =$ Litoral Ocidental ou $D_1 = 0 =$ Demais regiões;

$D_2 = 1 =$ Itapecuru Mirim ou $D_2 = 0 =$ Demais regiões;

$D_3 = 1 =$ Baixo Parnaíba ou $D_3 = 0 =$ Demais regiões;

$D_4 = 1 =$ Baixada Maranhense ou $D_4 = 0 =$ Demais regiões;

$D_5 = 1 =$ Cocais ou $D_5 = 0 =$ Demais regiões;

$D_6 = 1 =$ Alto Mearim e Grajaú ou $D_6 = 0 =$ Demais regiões;

$D_7 = 1 =$ Chapada do Alto Itapecuru ou $D_7 = 0 =$ Demais regiões.

$D_8 = 1 =$ Imperatriz ou $D_8 = 0 =$ Demais regiões.

$D_9 = 1 =$ Chapada das Mangabeiras ou $D_9 = 0 =$ Demais regiões.

Quando $D_1 = D_2 = D_3 = D_4 = D_5 = D_6 = D_7 = D_8 = D_9 = 0$, o coeficiente linear da

equação (2) será a pluviometria média da região Gerais de Balsas. Caso os β_k ($k = 1, 2, \dots, 9$) tenderem a ser estatisticamente diferentes de zero, expressa que as pluviometrias médias das regiões são diferentes. O termo aleatório ε_{it} , por hipótese, é um ruído branco. Conforme Wooldridge (2011) e Gujarati e Porter (2011) na condição das hipóteses relacionadas aos termos aleatórios serem atestadas, os coeficientes lineares e angulares das equações (2) podem ser estimados o método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).

4.3.3 Metodologia utilizada para alcançar o terceiro objetivo específico

O terceiro objetivo da pesquisa busca avaliar a instabilidade das precipitações pluviométricas e das temperaturas do ar anuais do Maranhão entre os anos de 1901 a 2020 com desdobramento para as 10 sub-regiões climáticas em que o estado foi dividido. Para tanto, a pesquisa utiliza o coeficiente de variação (CV). O CV mede uma relação percentual entre o desvio padrão e uma variável aritmética média. Segundo Gomes (1985), pode-se escalonar CV associados a uma variável aleatória de acordo com as amplitudes da variável no Quadro 5. Quanto mais próximo de zero estiver o CV relacionado à distribuição de uma variável aleatória, mais homogênea ou estável será a distribuição dos estudos em torno da média. Apesar de não haver limite superior, para utilizar CV como medida da homogeneidade ou heterogeneidade da distribuição de uma variável aleatória, é necessário definir o seu valor crítico mínimo.

Quadro 5 – Classificação do CV de acordo com 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.

Desse modo, a escolha do uso do CV neste modelo de avaliação sobre outras medidas de variabilidade, é constante com as unidades de medidas. Assim, concede a comparação de desigualdades ou instabilidades entre variáveis medidas em distintas unidades de medida (Allison 1978; Garcia, 1989; O'reilly; Caldwell; Barnet, 1989; Wiersema, Bantel, 1993; Sorensen, 2000; Pauw, 2003; FAO, 2006, 2014).

4.3.4 Metodologia utilizada para alcançar o quarto objetivo específico

A fim de realizar a avaliação da associação entre produtividades e valores por hectare, foram selecionadas as variáveis estaduais e municipais relativas à produção agrícola.

A agregação dos dados será efetuada por meio da utilização de uma média ponderada que considera tanto os indicadores do nível estadual quanto os referentes aos municípios. A determinação dos pesos a serem aplicados na ponderação será conduzida utilizando o método de análise fatorial em conjunto com a técnica de decomposição em componentes principais.

De acordo com Fávero *et al* (2009), a análise fatorial é uma técnica interdependente que visa resumir a relação entre um conjunto de variáveis em sinergia, com o objetivo de identificar fatores comuns de um fenômeno. O objetivo principal da análise fatorial é simplificar ou reduzir um grande número "n" de variáveis observadas em um grupo "p" menor de variáveis não observadas ($p < n$), chamadas de fatores. Portanto, a interpretação e compreensão das dimensões obtidas na realização da análise fatorial caracterizam os dados em quantidades menores do que a variável única original. Em contrapartida, King (2001) e Hair Junior *et al* (2005), retratam que a redução de dados pode ser obtida por meio do cálculo dos escores fatoriais de cada dimensão latente e substituindo as variáveis originais por esses fatores que acrescentam, em menor número, as informações compreendidas nas variáveis originais.

De acordo com Lemos (2015), modelo de análise fatorial pode-se representar da seguinte maneira na equação (3):

$$X = \alpha f + \varepsilon \quad (3)$$

Em que:

$X = (X_1, X_2, \dots, X_p)^T$ constitui-se em um vetor transposto de variáveis aleatórias observáveis;
 $f = (f_1, f_2, \dots, f_r)^T$ é um vetor transposto $r < p$ de variáveis não observáveis, ou variáveis latentes, chamadas de fatores;

α é uma matriz ($p \times r$) de coeficientes fixos chamados de cargas fatoriais;

$\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p)^T$ é um vetor transposto de termos aleatórios.

Usualmente $E(\varepsilon) = E(f) = 0$; uma propriedade complementar relacionada aos fatores, é que eles são ortogonais (Dillon; Goldstein, 1984; Fávero *et al.*, 2009; Lemos, 2015).

Além disso, para verificar a possibilidade da aplicação da análise fatorial, é necessário aplicar a Medida de Adequação da Amostra Kaiser – Meyer – Olkin (KMO), índice que analisa se os dados se ajustam à análise fatorial (Quadro 6), e empregar o Teste de Esfericidade de Bartlett, que, por sua vez, verifica se as variáveis encontram-se correlacionadas.

Quadro 6 - Limites da Estatística KMO e sua aplicação em análise fatorial com decomposição em componentes principais

Valores para KMO	Adequação para Análise Fatorial
1 - 0,9	Muito boa
0,8 - 0,9	Boa
0,7 - 0,8	Média
0,6 - 0,7	Razoável
0,5 - 0,6	Má
< 0,5	Inaceitável

Fonte: FAVERO (2009).

De acordo com Mingoti (2005), o teste KMO é representado pela expressão a seguir:

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2 + \sum a_{ij}^2} \quad (4)$$

Em que:

r_{ij} = coeficiente de correlação entre as variáveis;

a_{ij} = coeficiente de correlação parcial.

A análise fatorial evidencia três pressuposições a serem validados: Normalidade, Linearidade e Correlação relevantes entre as variáveis. A análise da Normalidade pode ser realizada através do Teste de Kolmogorov–Smirnov, Teste Jarque-Bera ou Teste Shapiro-Wilks para certificar se as variáveis têm distribuição normal com média zero e variância constante. Conforme Hair Junior *et al* (2005), para a análise de correlação verifica-se o resultado do coeficiente de Pearson para cada par de variáveis, obtendo a constatação de correlação para uma relação que apresentar nível de significância de 5%. E a linearidade é uma inferência incluída nas análises multivariadas.

À medida que são estimados mais de um fator, as técnicas de análise fatorial permitem efetuar rotação ortogonal ou oblíqua dos fatores estimados. Desse modo, adota-se a geração de fatores ortogonais, em atribuição da estratégia empregue para elaborar o índice que conciliará os escores fatoriais resultantes desses fatores. Na rotação ortogonal, os fatores estimados na disposição inicial são transformados em novos fatores independentes, permanecendo-se os valores das comunalidades, a proporção da variância explicada pelo conjunto de fatores, as magnitudes dos testes KMO e de Bartlett (PAIVA, 2018). Adotando-se o método rotacional ortogonal Varimax, tem-se a busca da minimização do número de variáveis que exibem altas cargas em cada fator (Fávero *et al.*, 2009).

Os escores fatoriais resultantes do processo de estimativa das cargas fatoriais apresentam uma distribuição simétrica em torno da média zero e variância um. Portanto, os escores fatoriais exibem sinais positivos e negativos. Usualmente, os índices concebidos assumem valores positivos. Com os escores fatoriais para calcular um índice empregando os seus valores originais, pode-se dispor um índice negativo. Dessa forma, aplica-se a estratégia de transformar todos em positivos sem aferir as posições referentes de cada um dos valores gerados. Esse processo é realizado através da equação (5).

$$F_{Pj} = \frac{(Ft - Fmn)}{(Fmx - Fmn)} \quad (5)$$

De modo que:

F_{ij} = j-ésimo ($j = 1, 2, \dots, p$) escore fatorial associado ao i-ésimo município;

$F_{j\max}$ = valor máximo, que deve ser positivo, assumido pelo escore fatorial;

$F_{j\min}$ = valor mínimo, que é negativo, associado pelo escore fatorial.

Por meio desse procedimento, os valores de F_{ij} se encontrarão compreendidos no intervalo fechado entre zero (0) e um (1), sem que as distâncias relativas entre esses valores sejam modificadas, em relação ao que acontecia nos escores fatoriais originais. Por fim, para a construção do índice que captará a sinergia entre as variáveis, utiliza-se a média geométrica, em que se define o Índice de produtividade (IPD) com a utilização das médias, conforme a equação (6),

$$INDICE_t = \sqrt[x]{\prod F_{Pj}} \quad (6)$$

De modo que o IPD_t refere-se ao Índice de produtividade compostos pelas médias, associados ao estado do Maranhão no ano t ($t = 1974, 1975, \dots, 2020$). Construído dessa forma o índice ficará contido entre zero e um. Para viabilizar o entendimento, o índice é convertido em valores percentuais, gerando o maior valor igual a 100 e os demais se moldando como é apresentado na equação (7).

$$IPD_{j100} = \left(\frac{IR_j}{IR_{jMÁXIMO}} \right) \times 100 \quad (7)$$

4.3.5 Metodologia utilizada para alcançar o quinto objetivo específico

O valor previsto (Y^P) de uma variável aleatória Y_t , para o mesmo período "t", será diferente do seu valor observado devido à ocorrência de fatores aleatórios (ξ_t), que podem ser causados por fatores ou variáveis exógenas. Essa informação pode ser resumida pela Equação (8):

$$\begin{aligned} Y_t - Y^P &= \xi_t; \\ \text{ou, de forma semelhante,} & \\ Y_t &= Y^P + \xi_t \end{aligned} \tag{8}$$

Para este estudo, a variável aleatória (Y_t) deve ser estacionária e o termo de erro aleatório (ϵ_t) é calculado a partir da diferença entre os valores observados (Y_t) e os valores previstos (Y^P) para o mesmo ano "t". É para essas variáveis que as previsões serão feitas neste estudo usando o modelo de Box e Jenkins. As formulações propostas por Box, Jenkins (1976) - ARIMA (*Auto Regressive Integrated Moving Average*) - são estruturas matemáticas que visam capturar o comportamento de uma variável aleatória que possui valores distribuídos ao longo de séries temporais. Considera-se que a série temporal Y_t pode ser representada da seguinte forma:

$$Y_t = \mu + \sum \psi_k \cdot u_{t-k} = \mu + \psi(B) \cdot u_t \tag{9}$$

Em que o filtro linear ψ é definido por:

$$\psi(B) = \theta(B)/\phi(B) \tag{10}$$

Os termos na equação (11) são definidos pelos seguintes polinômios:

$$\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q \text{ and } \phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$$

Ao definir $\tilde{Y}_t = Y_t - \mu_t$, onde \tilde{Y}_t é o valor esperado de Y_t , a seguinte transformação pode ser obtida:

$$\phi(B)\tilde{Y}_t = \theta(B)u_t \tag{11}$$

Na equação (11), u_t é um ruído branco geralmente gaussiano. Para tanto, ele deve atender às seguintes condições: i) $E(u_t) = 0$; ii) $E(u_t^2) = \sigma(u_t)^2 < \infty$ e iii) $E(u_t, u_{t+k}) = 0$, para $k = \pm 1, \pm 2, \dots$ (Box, Jenkins, 1976; Cochrane, 1997; Camelo *et al.*, 2018; Wooldridge, 2015; Box *et al.*, 2015).

De acordo com Box, Jenkins (1976), a equação (11a) é chamada de ARMA (p, q) e pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\tilde{Y}_t = \theta(B)\phi^{-1}(B)u_t \quad (11a)$$

Os tipos de modelos Box e Jenkins são: i) modelos de média móvel (MA): estes são aqueles em que $\phi(B) = 1$ e são chamados de MA(q); ii) Modelos autorregressivos (AR) são aqueles em que $\theta(B) = 1$ e são chamados de AR(p). Esses modelos são chamados assim porque Y_t , no tempo t , é uma função dos valores desta variável em momentos anteriores a t ; iii) Modelos autorregressivos de média móvel (ARMA): estes são aqueles que possuem uma parte (AR) e uma parte MA e possuem a notação ARMA (p, q).

Antes de aplicar o modelo ARMA, é necessário avaliar se as séries em análise são estacionárias. Isso é feito observando o gráfico da série e analisando as funções de autocorrelação e autocorrelação parcial (Markidakis *et al.*, 1998). Outra maneira de verificar se a série é estacionária é estimar o modelo AR de primeira ordem na série original e testar se o coeficiente ϕ é menor que 1. Um processo estocástico $Y_t = \psi(B)u_t$ será estacionário se: $\psi(B) = \sum_{k=0}^{\infty} \psi_k(B)^k$ converge para $|B| < 1$.

Caso a série temporal em estudo não seja estacionária, ela deve ser transformada para se tornar estacionária. A função de autocorrelação entre os resíduos é estimada. Se a função de autocorrelação estabilizar com a primeira diferença, pode-se garantir que a série se tornou estacionária. Caso contrário, a segunda, terceira ou mais diferenças são realizadas para procurar a estacionariedade. Em geral, as séries precisam de no máximo três defasagens para se tornarem estacionárias. O modelo é chamado de modelo auto-regressivo, de média móvel integrada (ARIMA). "I" é o número de diferenças necessárias para tornar a série estacionária (Morretin, Tolo, 1987; Kwiatkowski *et al.*, 1992; Makridakis *et al.*, 1998; Li *et al.*, 2019).

Desse modo, a fim de realizar a seleção dos modelos estatisticamente apropriados, um dos critérios adotados consistiu em buscar aqueles que apresentassem maior parcimônia, com a finalidade de obter um modelo de ajuste mais eficiente mediante à minimização do número de parâmetros estimados. Diversas ferramentas foram empregadas para avaliar a

qualidade de ajuste e o desempenho de um modelo preditivo. As medidas mais relevantes utilizadas nesta pesquisa foram o coeficiente de determinação (R^2), o critério de informação bayesiano (BIC), o erro percentual absoluto médio (MAPE), o teste de Ljung-Box e o coeficiente de correlação de Pearson entre a série observada e a série prevista (Box & Jenkins, 1976; Box *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2018; Wooldridge, 2015).

4.3.5.1 Modelo adotado para fazer a projeção do crescimento da população

Para projetar os tamanhos das populações anuais que provavelmente estarão no Maranhão entre os anos de 2022 a 2031, estima-se a taxa de crescimento populacional. Segundo o Ministério da Saúde, essa taxa pode ser conceituada da seguinte forma “Percentual de incremento médio anual da população residente em determinado espaço geográfico, no período considerado” (BRASIL, 2018). Ainda no documento, essa taxa indica o ritmo de crescimento populacional e é influenciada pela dinâmica da natalidade, da mortalidade e das migrações. Uma limitação do procedimento é que a sua utilização para fazer projeções de populações distantes do último Censo Demográfico pode não captar mudanças relevantes em alterações na dinâmica da demografia.

A taxa de crescimento populacional pode ser estimada supondo que o crescimento é linear, com evolução constante ao longo do tempo, tomando um intervalo discreto entre dois pontos no tempo. Se a aferição é feita entre as populações de dois anos, sendo P_0 a população do ano inicial e P_t a população no período final. Nesse caso, a taxa de crescimento populacional é calculada da seguinte forma (Tavares; Pereira Neto, 2020).

$$P_t = P_0 + r(t - t_0) \quad (12)$$

Essa taxa de crescimento pode ser estimada pelo método geométrico, nesse caso se tem a taxa geométrica de crescimento instantânea ou TGC (Wooldridge, 2015). A equação de definição da TGC discreta para dois períodos consecutivos é dada pela equação:

$$P_t = P_0 \cdot (1 + r)^t \quad (13)$$

Quando se tem uma variável contínua, observada de forma anualizada, como é o caso da população do Maranhão para o período de 1933 a 2020, utiliza-se a equação que se define a seguir. Dada uma variável (Y_t) observada anualmente de forma continuada durante N anos, estima-se a TGC instantânea da seguinte forma:

$$\log Y_t = \beta_0 + \beta_1 T + v_t \quad (14)$$

Na equação (14), o coeficiente β_0 é o parâmetro log-linear que afere o valor de Y_t quando $T=0$. O coeficiente é taxa geométrica de crescimento instantânea (TGC) de Y_t ; o termo aleatório v_t , por hipótese, tem média zero, variância constante e não é autorregressivo ao longo da série estudada (Wooldridge, 2015).

Desse modo, devido às possíveis mudanças na dinâmica do crescimento populacional ao longo de um período de 88 anos (1933 a 2021), causadas por fatores como migrações, mudanças nas taxas de natalidade e de mortalidade, foram realizadas duas simulações para o crescimento da população do estado, uma abrangendo todo o período e outra estimando a taxa de crescimento para os anos após o Censo Demográfico de 2000. Portanto, entre 2000 e 2021, aconteceram dois períodos censitários e as populações disponibilizadas pelo IBGE levam em consideração esses dois períodos.

4.3.5.2 Taxa Geométrica de Crescimento (TGC)

A verificação de como as precipitações pluviométricas afetam as projeções de produção de alimentos per capita no Maranhão no período de 1933 a 2020, será analisada através da Taxa Geométrica de Crescimento (TGC). Conforme Gujarati e Poter (2011), denota-se uma variável aleatória Y_t analisada numa série anual contínua e constante no período t .

$$\log (Y_t) = \beta_0 + \beta_1 T + \varepsilon_t \quad (15)$$

Em que,

Y_t é a variável para a qual se estimará a TGC;

β_0 é o coeficiente log-linear;

β_1 , caso seja estatisticamente diferente de zero e multiplicado por 100, consistirá na TGC instantânea;

T , ($T= 1,2, 3, \dots, n$) é o tempo, medido em anos;

ε_t , consiste no ruído branco que por hipótese tem distribuição normal, média zero e desvio padrão 1, é não autorregressivo e tem variância constante.

Conforme Wooldridge (2015), caso os pressupostos sejam acatados, β_0 e β_1 podem ser estimados por meio do método de Mínimo Quadrados Ordinários (MQO). Na condição da série em análise, apresentar uma alta variabilidade ao longo dos anos, compreende-se que a

divisão em períodos mais homogêneos com a utilização de variáveis *dummy* tem potencial de se tornar mais rigorosa quanto o resultado real da TGC anual. Esse método é demonstrado na equação (16) a seguir:

$$\begin{aligned}
 Y &= \beta_0 \cdot T^{\beta_1} \\
 \beta_1 &= T(\alpha_0 + \sum \alpha_i D_i) \\
 Y &= \beta_0 \cdot e^{T(\alpha_0 + \sum \alpha_i D_i)} \\
 \text{Log}(Y_t) &= \log(\beta_0) + T(\alpha_0 + \sum \alpha_i D_i) \\
 \text{Log}(Y_t) &= \log(\beta_0) + T\alpha_0 + \sum \alpha_i D_i
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

Em que

α_0 , consiste na taxa geométrica de crescimento tendo em conta o período T;

α_i , é a taxa geométrica de crescimento tendo em conta as variáveis dummy definidas;

D_i , consiste nas variáveis dummy a serem definidas.

Dessa forma, cada período evidenciará uma respectiva TGC, que poderá ser positiva ou negativa. O somatório das taxas geométricas de crescimento de cada período compreenderá na TGC para toda a série estudada. Valores da taxa geométrica de crescimento estatisticamente diferente de zero e positivos implicam que a produção per capita no Maranhão é sustentável ao longo dos anos. Valores estatisticamente diferentes de zero e negativos indicam que não é sustentável ao longo dos anos. Valores de TGC estatisticamente iguais a zero (não significantes) implicam produtividade estável ao longo do período analisado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seção está dividida em sub-seções para apresentar de forma organizada os resultados, de acordo com os objetivos propostos pelo estudo, os quais servem de base para analisar a evolução da produção per capita de lavouras alimentares de sequeiro no Maranhão, a partir do conjunto de informações analisadas ao longo do trabalho.

5.1 Resultados encontrados para o primeiro objetivo

Dispondo de uma série histórica que compreende 120 anos, de 1901 até 2020, de investigação das precipitações pluviométricas, é possível observar uma média anual de 1.624,78 mm (Tabela 1). No entanto, é importante destacar que houve variações significativas ao longo desse período, com registros de chuva mínima de 1.042,81 mm no ano de 1983 e chuva máxima de 2.676,27 mm no ano de 1985. Com a definição dos períodos de escassez, normal e chuvoso por meio da análise de meio desvio padrão em torno da média pluviométrica estudada no período, tendo seus resultados dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas dos períodos de chuva definidos

Período	Intervalo de variação (mm)	Nº de anos	Média	CV (%)
Total	-	120	1.624,78	17,42
Escassez	Chuva < 1.436,26	30	1.282,09	8,75
Normal	1.436,26 < Chuva < 1.756,89	57	1.606,72	4,93
Chuvoso	Chuva > 1.773,71	33	1.967,50	10,63

Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

Dessa forma, define-se o período de escassez sendo o que evidencia um volume de chuva inferior a 1.436,26 mm, constituído por 30 anos, dispondo de uma chuva média de 1.282,09 mm e apresentando o coeficiente de variação de 17,42% com uma classificação como médio. O período chuvoso demonstra um volume de chuva superior a 1.773,71 mm, formado por 33 anos, tendo como chuva média 1.967,50 mm e coeficiente de variação de 10,63%, também tendo uma classificação como médio. O período normal concentra-se entre os dois descritos anteriormente, constituindo-se de 57 anos, obtendo uma média de 1.606,72 mm e coeficiente de variação de 4,93%, com uma classificação baixa (Tabela 1).

Na Tabela 2, a seguir, tem-se os resultados adquiridos na comparação dos períodos das precipitações pluviométricas determinados anteriormente. Com base na realização da regressão simples com a ajuda de variáveis dummy, verifica-se que todos os períodos são

estatisticamente diferentes a pelo menos 1% de significância, além de apresentar R^2 ajustado de 0,778, indicando uma adequação apropriada do modelo empregado.

Tabela 2 – Resultado da comparação entre os períodos de chuva definidos para o Maranhão entre 1901 a 2020

Variável	Coefficientes	Estatística T	sign.	R^2 ajustado
Constante	1.282,097	52,226	0,000*	
D1	324,628	10,704	0,000*	0,778
D2	685,413	20,207	0,000*	

Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

*Significante até 1% de significância.

Com base nos coeficientes atingidos na Tabela 2, estabelece-se a equação a seguir:

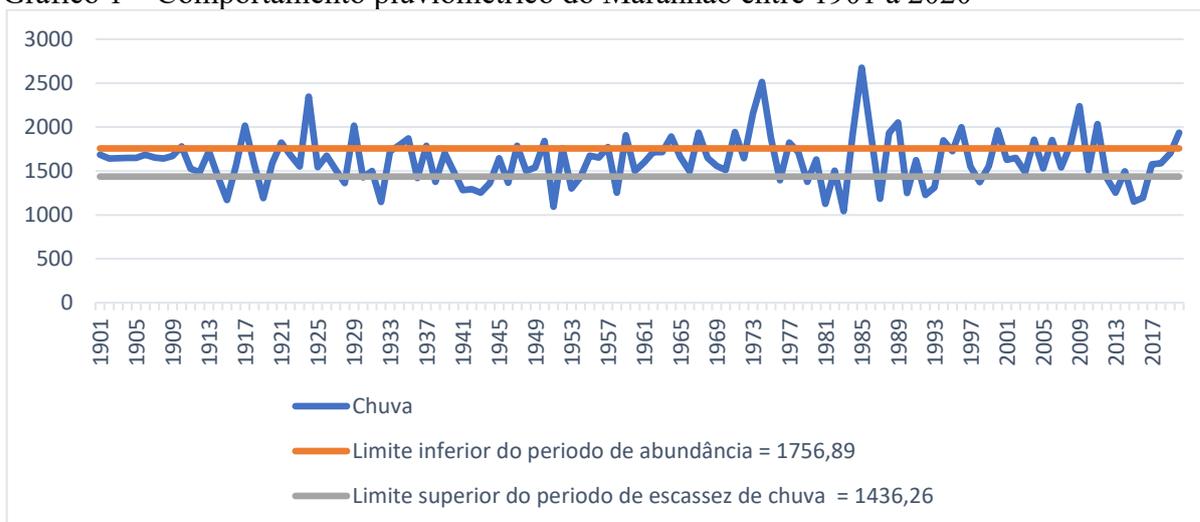
$$\text{Chuva} = 1.282,097 + 324,628D_1 + 685,413D_2 \quad (17)$$

Diante da equação (17), quando os valores das variáveis dummies $D_1 = D_2 = 0$, tem-se a média de chuva do período de escassez (1.282,09 mm); quando $D_1 = 1$ e $D_2 = 0$, tem-se a média de chuvas o período normal (1.606,72 mm), e quando $D_1 = 0$ e $D_2 = 1$, tem-se a média pluviométrica do período chuvoso (1.967,50 mm). Desse modo, confirma-se a hipótese do qual a pluviometria no estado do maranhão entre 1901 a 2020 pode ser hierarquizada da seguinte forma: $MÉDIA_{CHUVOSO} > MÉDIA_{NORMAL} > MÉDIA_{ESCASSEZ}$.

No Gráfico 1, é apresentado o comportamento das precipitações pluviométricas no estado do Maranhão no decorrer dos 120 anos. É perceptível que a chuva não expressa comportamento homogêneo, sucedendo alternâncias entre os anos de escassez de chuva e abundância (Silva *et al.*, 2006; Nascimento, 2014).

Conforme Costa Filho (2019), Lemos *et al.* (2022) e Cerqueira (2021), a variabilidade nas precipitações pluviométricas, sejam elas para mais ou para menos, geram impactos que podem afetar a produção agrícola de sequeiro.

Gráfico 1 – Comportamento pluviométrico do Maranhão entre 1901 a 2020



Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

5.2 Resultados encontrados para o segundo objetivo

Para analisar as regiões climáticas criadas na pesquisa, com base num período pluviométrico mais longo, para o estado do Maranhão, há de se considerar as diferenças nas suas respectivas médias pluviométricas, pois os testes foram realizados para avaliar a existência de diferenças estatísticas entre as precipitações pluviométricas nas dez regiões observadas nos anos de 1901 a 2020, aplicando o modelo de análise de regressão linear anunciado na equação (2).

A regressão utilizando variáveis *dummies* foi realizada com os 217 municípios distribuídos pelas regiões originalmente criadas por Menezes (2009), tendo os 120 anos de observações de chuvas. Na Tabela 3, estão os resultados encontrados para testar as diferenças entre as médias de precipitações e temperaturas do ar estimadas para as dez regiões maranhenses entre os anos de 1901 a 2020.

Das evidências na Tabela 3, depreende-se que a hipótese de que existem 10 regiões pluviométricas no Maranhão é confirmada. O mesmo já não se pode afirmar em relação às temperaturas médias, em que se classifica o estado em dez regiões.

Tabela 3 – Resultados encontrados para o teste de diferenças das precipitações médias de e das temperaturas das regiões criadas na pesquisa no período de 1901 a 2020

(Continua)

Pluviometria anual		Temperatura anual		Regiões			
R² Ajustado	0,391	0,020		Médias			
Variáveis	Est.	Sign.	Est.	Sign.	Regiões	Pluv. (mm)	Temp (°C)

Tabela 3 – Resultados encontrados para o teste de diferenças das precipitações médias de e das temperaturas das regiões criadas na pesquisa no período de 1901 a 2020

(Conclusão)

Variáveis	Est.	Sign.	Est.	Sign.	Regiões	Pluv. (mm)	Temp (°C)
D1	679,14	0,000	-0,078	<0,001	R1	2.075,00 ^A	27,08 ^E
D2	347,97	<0,001	-0,061	0,012	R2	1.743,83 ^C	27,10 ^C
D3	193,85	<0,001	-0,262	<0,001	R3	1.589,71 ^D	26,90 ^I
D4	392,23	<0,001	-0,160	<0,001	R4	1.788,09 ^B	27,00 ^G
D5	47,90	<0,001	-0,054	0,032	R5	1.443,76 ^G	27,10 ^E
D6	55,53	<0,001	0,021	0,390	R6	1.451,39 ^F	27,18 ^B
D7	-185,43	<0,001	-0,090	<0,001	R7	1.210,43 ^I	27,07 ^F
D8	122,28	<0,001	-0,199	<0,001	R8	1.518,14 ^E	26,96 ^H
D9	-194,55	<0,001	0,091	0,003	R9	1.201,31 ^J	27,2 ^A
Constante	1.395,86	0,000	27,157	0,000	R10	1.395,86 ^H	27,16 ^B

Fontes dos dados originais: NOAA, 2022.

Observação, os super-índices colocados nas medias estimadas de pluviometrias e temperaturas denotam a seguinte hierarquia: A > B > C > D > E > F > G > H > I > J.

Com base nas evidências mostradas na Tabela 3, pode-se construir a seguinte hierarquia em ordem decrescente das médias pluviometrias dez (10) regiões que foram criadas na pesquisa:

$$\text{Pluv}^{\text{R1}} > \text{Pluv}^{\text{R4}} > \text{Pluv}^{\text{R2}} > \text{Pluv}^{\text{R3}} > \text{Pluv}^{\text{R8}} > \text{Pluv}^{\text{R6}} > \text{Pluv}^{\text{R5}} > \text{Pluv}^{\text{R10}} > \text{Pluv}^{\text{R7}} > \text{Pluv}^{\text{R9}}.$$

No que se refere às médias de temperaturas estimadas para as regiões a hierarquia encontrada é a seguinte:

$$\text{Temp}^{\text{R9}} > \text{Temp}^{\text{R6}} = \text{Temp}^{\text{R10}} > \text{Temp}^{\text{R5}} > \text{Temp}^{\text{R2}} > \text{Temp}^{\text{R1}} > \text{Temp}^{\text{R7}} > \text{Temp}^{\text{R4}} > \text{Temp}^{\text{R8}} > \text{Temp}^{\text{R3}}.$$

5.3 Resultados encontrados para o terceiro objetivo

Esta subseção trata dos resultados da avaliação da forma de distribuição das precipitações pluviométricas anuais no estado do Maranhão entre os anos de 1901 a 2020, tendo como desdobramento as dez (10) sub-regiões climáticas em que o estado foi dividido de acordo com pesquisa de Menezes (2009). De forma adicional, também foram avaliadas as temperaturas nestas regiões.

A Tabela 4 apresenta os resultados da análise descritiva das variáveis chuva e temperatura destacando os valores mínimos, máximos, médios e coeficientes de variação (CV) das Regiões Homogêneas. Ao analisar os resultados encontrados para as pluviometrias médias

das regiões observa-se que o município de Turilândia situado na Região R1, apresentou o maior valor máximo de pluviometria (3.916,37 mm) registrado em 1974.

Já a Região R9, que abrange o município de Fortaleza dos Nogueiras, teve o menor valor máximo (2.065,90 mm) em 1924. Em termos de pluviometria média, a Região R1 também se destacou, com uma média de 2.075,00 mm. Por outro lado, a Região R9 registrou a menor média de pluviometria (1.201,30 mm). No que diz respeito ao coeficiente de variação (CV), a Região R10 apresentou o menor valor (16,72%), indicando uma maior estabilidade em relação à pluviometria, enquanto a Região R3 apresentou o maior coeficiente de variação (26,22%), sugerindo uma maior heterogeneidade em relação à pluviometria.

Por fim, em relação à temperatura, observa-se que a Região R1, representada pelo município de Paço do Lumiar, registrou o valor máximo mais elevado (29,57°C) em 2016. Já a Região R10, que abrange o município de Alto Parnaíba, apresentou o menor valor máximo (28,97°C) no mesmo ano. A Região R9 se destacou pela temperatura média mais alta (27,25°C), enquanto a Região R3, representada pelo município de barreirinhas, registrou a menor temperatura média (26,90°C). Em termos de coeficiente de variação (CV), a Região R6 apresentou o valor mais baixo (1,94%), indicando uma menor variação nos valores de temperatura, enquanto a Região R8 registrou o coeficiente de variação mais alto (2,53%), sugerindo uma maior flutuação nos valores de temperatura.

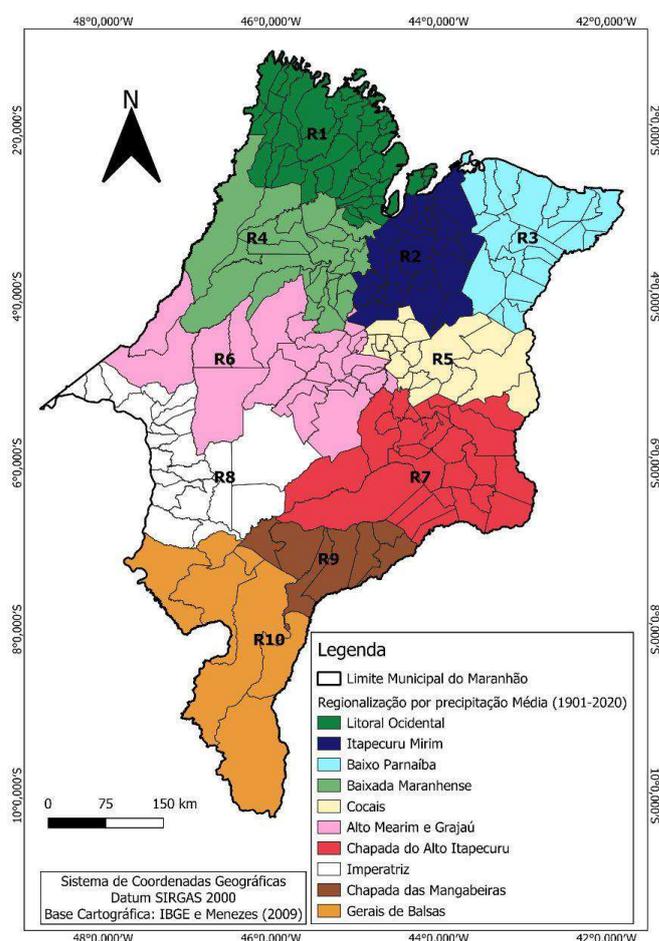
Tabela 4 - Precipitações e temperaturas mínimas, máximas, médias anuais e coeficientes de variações (CV) nas regiões maranhenses definidas na pesquisa entre os anos de 1901 e 2020

PLUVIOMETRIA (mm)								
Região	Mínimo	Ano	Município	Pluviometria média	Máximo	Ano	Município	CV (%)
R1	899,73	1983	Turilândia	2.075,00	3.916,37	1974	Turilândia	19,58
R2	585,58	1915	Lago Verde	1.743,83	3.446,25	1985	Icatu	23,66
R3	518,88	1919	Araioses	1.589,71	3.354,50	1985	Mata Roma	26,22
R4	906,50	1983	Bela Vista do Maranhão	1.788,09	3.291,63	1985	Bela Vista do Maranhão	18,57
R5	670,15	1958	Timon	1.443,76	3.014,50	1974	Alto Alegre do Maranhão	22,17
R6	671,00	2015	Jenipapo dos Vieiras	1.451,40	2.711,75	1985	Poção de Pedras	21,46
R7	484,00	1990	Nova Iorque	1.210,43	2.686,40	1985	Lagoa do Mato	23,39
R8	658,21	1915	Grajaú	1.518,14	2.985,23	1924	São Pedro da Água Branca	19,83
R9	587,55	2018	Sambaíba	1.201,30	2.065,90	1924	Fortaleza dos Nogueiras	19,81
R10	773,05	2015	Feira Nova do Maranhão	1.395,86	2.472,67	1924	Carolina	16,72
TEMPERATURA (°C)								
Região	Mínimo	Ano	Município	Temperatura média	Máximo	Ano	Município	CV (%)
R1	24,61	1971	Cândido Mendes	27,08	29,57	2016	Paço do Lumiar	2,44
R2	24,98	1975	Conceição do Lago-Açu	27,10	29,20	2016	Presidente Juscelino	2,14
R3	24,44	1975	Barreirinhas	26,90	29,11	2016	Brejo	2,54
R4	24,81	1975	Pindaré-Mirim	27,00	29,21	2016	Pedro do Rosário	2,18
R5	24,53	1975	Lima Campos	27,10	29,25	2016	Aldeias Altas	2,29
R6	24,93	1975	Lago dos Rodrigues	27,18	29,24	2016	Açailândia	1,94
R7	24,73	1975	Sucupira do Riachão	27,07	29,53	2016	São João dos Patos	2,28
R8	24,34	1975	Grajaú	26,96	29,18	2016	Senador La Rocque	2,53
R9	25,58	1974	Sambaíba	27,25	29,34	2016	Benedito Leite	2,02
R10	25,36	1975	Feira Nova do Maranhão	27,16	28,97	2016	Alto Parnaíba	1,94

Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

No Mapa 3, ilustra-se a representação espacial da distribuição das precipitações pluviométricas em cada região ao longo de um período de 120 anos. Observa-se que as cores que representam as melhores médias são: verde escuro (R1), azul escuro (R2), azul claro (R3) e o verde claro (R4), tendo as demais cores representando a menor média.

Mapa 3 – Regiões Pluviométricas homogêneas pluviométricas no Maranhão



Fonte: Mapa baseado nas informações contidas na Tabela 4

5.4 Resultados encontrados para o quarto objetivo

Para responder a esse objetivo e criar o Índice de produtividade (IPD), fez-se necessário verificar a aplicação da análise fatorial (AF) utilizou-se o teste KMO de medida de adequação da amostra. O resultado expresso neste teste (0,711) demonstra um grau de ajuste médio para aplicação da técnica multivariada análise fatorial com uma variância acumulada de 73,98%, sendo ratificado pelo teste Bartlett revela que a matriz de correlação entre as variáveis não é do tipo identidade, possibilitando o prosseguimento da análise. (Tabela 5).

Tabela 5 – Resultados encontrados com a análise fatorial (AF) para a estimação do IPD

		Resultados
Teste de Bartlett		
Qui – quadrado aproximado		4923,467
Graus de liberdade		78
Significância		0,000
Teste KMO		0,711
Variância acumulada explicada (%)		73,98

Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

Na Tabela 6, são apresentadas as 13 variáveis analisadas que se constituem em 4 cargas fatoriais e são demonstrados os valores das respectivas comunalidades para cada variável obtidas através da estimação dos componentes. Conforme Mingote (2005), considerou-se cargas fatoriais com valores iguais ou maiores que 0,50. Os valores descobertos para as comunalidades expõem que aproximadamente todas as variáveis possuem sua variabilidade concebida e caracterizada por quatro fatores.

Tabela 6 – Resultados encontrados na estimação dos componentes em que foram reduzidas as variáveis originais com as respectivas comunalidades e cargas fatoriais

Variáveis	Comunalidade	Cargas fatoriais			
		F1	F2	F3	F4
Área Colhida de Arroz	0,884	0,026	0,939	0,041	-0,006
Produtividade Arroz	0,602	-0,251	0,096	0,716	-0,132
Preço de Arroz	0,847	0,884	0,144	-0,097	-0,190
Área Colhida de Feijão	0,736	-0,020	0,857	0,019	-0,020
Produtividade feijão	0,759	0,419	-0,182	0,636	0,382
Preço de Feijão	0,839	0,838	0,156	-0,049	-0,332
Área Colhida de Mandioca	0,663	0,451	0,556	-0,256	0,292
Produtividades Mandioca	0,550	0,090	0,124	0,715	0,125
Preço de Mandioca	0,705	0,767	-0,216	0,076	0,255
Área Colhida de Milho	0,859	0,030	0,911	0,151	-0,072
Produtividades Milho	0,692	-0,250	-0,041	0,722	-0,326
Preço de Milho	0,890	0,926	0,064	-0,128	-0,109
Chuva	0,591	-0,288	0,012	-0,063	0,709

Fontes dos dados originais: IBGE/PAM (vários anos) e NOAA (2022).

Os resultados apresentaram que o Fator 1 atende as variáveis: Preço de Arroz (0,884), Preço Feijão (0,838), Preço Mandioca (0,767) e Preço Milho (0,926). O Fator 2 abrange as variáveis Área Colhida de Arroz (0,939), Área Colhida de Feijão (0,857), Área Colhida de Mandioca (0,556) e Área Colhida de Milho (0,911). O Fator 3 contém as variáveis Produtividade Arroz (0,716), Produtividade Feijão (0,636), Produtividade Mandioca (0,715) e Produtividade Milho (0,722). Por fim, o Fator 4 contempla a Chuva (0,709). O índice INP foi

obtido a partir destas cargas fatoriais, as quais foram trazidas para o primeiro quadrante do plano cartesiano.

A seguir, são apresentados os resultados dos testes realizados para verificar se as médias dos IPD são estatisticamente diferentes, conforme demonstrado na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados para o teste de diferenças de médias dos IPD por regiões pluviométricas homogêneas

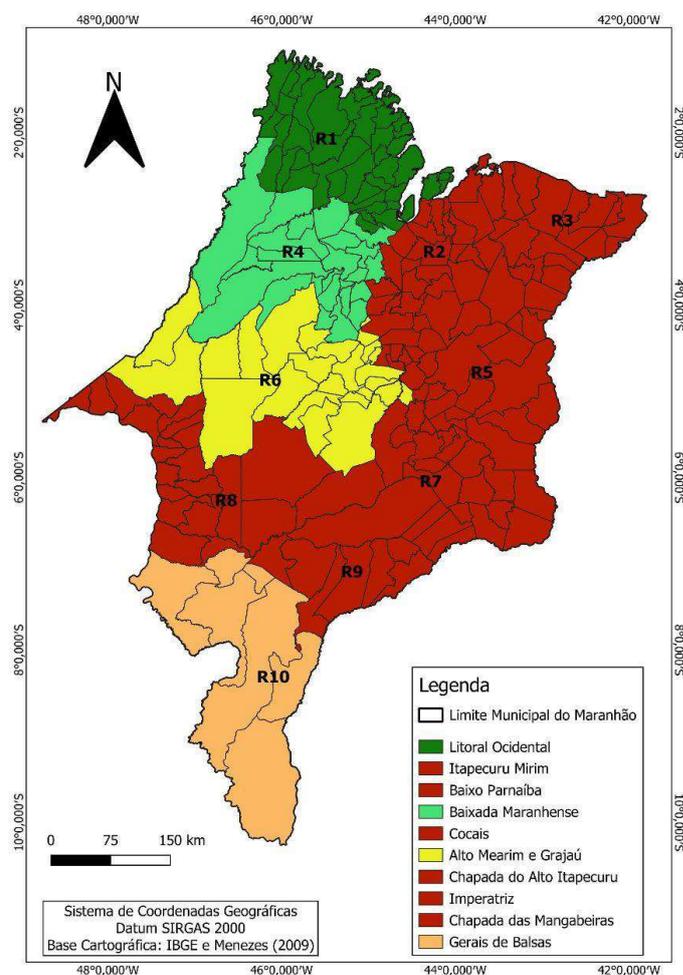
	R² Ajustado	0,181		
Variáveis	Estimativa	Significância	Regiões	INP médio
D1	0,109	<0,001	R1	0,527^A
D2	0,018	0,390	R2	0,436 ^E
D3	0,028	0,182	R3	0,446 ^E
D4	0,079	<0,001	R4	0,496^B
D5	-0,001	0,979	R5	0,418 ^E
D6	0,071	<0,001	R6	0,489^C
D7	0,010	0,629	R7	0,428 ^E
D8	0,026	0,209	R8	0,444 ^E
D9	-0,042	0,112	R9	0,376 ^E
Constante	0,418	<0,001	R10	0,418^D

Fontes dos dados originais: IBGE/PAM (vários anos)

Observação, os super-índices colocados nas médias estimadas de pluviometrias e temperaturas denotam a seguinte hierarquia: A > B > C > D

De acordo com as evidências mostradas na Tabela 7, depreende-se que as dez (10) regiões que são diferentes de um ponto de vista de pluviometria média se reduzem a apenas quatro, em termos do índice de produtividade. Ainda de acordo com esses resultados, as dez regiões podem ser hierarquizadas da seguinte forma, levando em consideração as médias dos IPD estimados para cada uma delas: R1 > R4 > R6 > R10 > R2 = R3 = R5 = R7 = R8 = R9. O Mapa 4 ilustra a distribuição das regiões de acordo com os valores médios dos INP.

Mapa 4 – Regionalização dos índices de produtividade



Fonte: Mapa baseado nas informações contidas na Tabela 7.

Com base nos resultados encontrados, foi possível estimar os valores médios dos INP em cada região. Esses resultados foram registrados na Tabela 8, que também apresenta os valores extremos (mínimos e máximos) dos IPD em cada região, juntamente com os municípios correspondentes a esses valores extremos. Além disso, os coeficientes de variação (CV) dos índices em cada região também são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores mínimos, máximos, médios e coeficientes de variação (CV) do índice de produtividades estimados para os municípios maranhenses agrupados nas dez regiões definidas na pesquisa

Região	Mínimo	Município	Índice médio	Máximo	Município	(Continua)
						CV (%) Índice
R1	0,362	Serrano do Maranhão	0,527 ^A	0,878	Turiaçu	17,48
R2	0,132	Lago Verde	0,436 ^E	0,623	Bacabal	15,14

Tabela 8 – Valores mínimos, máximos, médios e coeficientes de variação (CV) do índice de produtividades estimados para os municípios maranhenses agrupados nas dez regiões definidas na pesquisa

Região	Mínimo	Município	Índice médio	Máximo	Município	(Conclusão)
						CV (%) Índice
R3	0,311	Afonso Cunha	0,446 ^E	0,553	Chapadinha	14,45
R4	0,375	Bela Vista do Maranhão	0,496 ^B	0,703	Monção	13,51
R5	0,274	Peritoró	0,418 ^E	0,569	Codó	15,76
R6	0,347	São Raimundo do Doca Bezerra	0,489 ^C	1,000	Santa Luzia	23,56
R7	0,192	Barão de Grajaú	0,428 ^E	0,587	São Domingos do Maranhão	19,39
R8	0,311	São Pedro dos Crentes	0,444 ^E	0,736	Imperatriz	16,68
R9	0,200	São Feliz de Balsas	0,376 ^E	0,492	Loreto	25,90
R10	0,237	Alto Parnaíba	0,418 ^D	0,616	Balsas	25,14

Fonte: Resultados da pesquisa (2023). Obs. As letras em super índice indicam a hierarquia das magnitudes dos INP estimados: A>B>C>D

5.4.1 Desempenho das lavouras estudadas dentro das regiões climáticas

A Tabela 9 apresenta os valores médios e coeficientes de variação (CV) da área colhida, produtividade e preço das quatro lavouras de sequeiro nos municípios maranhenses, agrupados em dez regiões definidas na pesquisa. As lavouras estudadas são: arroz, feijão, mandioca e milho. Os dados são expressos em hectares (há) para a área colhida, em quilogramas por hectare (kg. ha⁻¹) para a produtividade e em reais (R\$2020) para o preço.

Para a cultura do arroz, a região R6 apresentou a maior média de área colhida (5.956,45 hectares) com coeficiente de variação (114,66%), indicando uma heterogeneidade nos dados. Já a região R1 apresentou a menor média de área colhida (1.243,05 hectares) e o maior coeficiente de variação (197,04%). Em relação à produtividade do arroz, a região R8 apresentou a maior média (1.597,85 kg/ha) e também o menor coeficiente de variação (13,05%), indicando uma menor variação nos dados. Por outro lado, a região R1 apresentou a menor média de produtividade (986,20 kg/ha) e a maior variação nos dados (22,69%). No que se refere ao preço do arroz, a região R1 apresentou a maior média (1,86 R\$/kg) com um coeficiente de variação (38,90%). Por outro lado, a região R10 apresentou a menor média de preço (1,23 R\$/kg) com um coeficiente de variação (52,06%).

Para a cultura do feijão, a região R6 apresentou a maior média de área colhida (748,75 hectares) com coeficiente de variação (128,68%). Já a região R1 apresentou a menor

média de área colhida (146,67 hectares) com coeficiente de variação (86,76%). Em relação à produtividade do feijão, a região R1 apresentou a maior média (550,24 kg/ha) com coeficiente de variação (18,67%). Por outro lado, a região R3 apresentou a menor média de produtividade (390,19 kg/ha) com um coeficiente de variação nos dados (17,25%). No que se refere ao preço do feijão, a região R2 apresentou a maior média (5,09 R\$/kg) com coeficiente de variação (29,75%). Por outro lado, a região R10 apresentou a menor média de preço (3,53 R\$/kg) e o maior coeficiente de variação (53,84%).

Tabela 9 - Valores médios e coeficientes de variação (CV) da área colhida, produtividade e preço das quatro lavouras de sequeiro nos municípios maranhenses agrupados nas dez regiões definidas na pesquisa

(Continua)

Arroz						
Regiões	Area Colhida (há)		Produtividade (kg. ha⁻¹)		Preço (R\$2020)	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)
R1	1.243,05	197,04	986,20	22,69	1,86	38,90
R2	2.397,43	98,08	1.006,32	37,51	1,68	26,44
R3	1.659,82	93,22	1.122,01	36,07	1,77	20,37
R4	3.392,92	96,02	1.270,74	28,38	1,48	28,90
R5	3.909,13	102,89	1.180,33	17,84	1,52	25,81
R6	5.956,45	114,66	1.386,83	15,16	1,39	26,86
R7	4.166,06	69,96	1.229,08	18,53	1,45	44,49
R8	2.868,43	166,07	1.597,85	13,05	1,27	23,27
R9	2.795,10	25,59	1.220,03	15,85	1,29	57,92
R10	5.065,12	79,66	1.526,39	29,82	1,23	52,06
Feijão						
R1	146,67	86,76	550,24	18,67	4,97	37,64
R2	354,38	109,51	393,28	19,15	5,09	29,75
R3	697,92	86,77	390,19	17,25	4,89	26,39
R4	374,13	78,16	455,02	11,49	4,72	27,53
R5	439,35	83,71	390,97	21,48	4,45	27,73
R6	748,75	128,68	466,50	9,74	3,96	29,71
R7	682,37	87,31	397,97	22,59	4,07	46,39
R8	416,65	222,43	467,68	11,05	4,60	20,09
R9	250,37	55,33	392,17	21,82	4,01	56,69
R10	457,58	100,87	457,38	27,27	3,53	53,84
Mandioca						
R1	1.880,82	98,70	7.632,20	15,46	0,69	21,98
R2	1.345,24	62,76	6.940,27	16,03	0,51	19,85
R3	1.997,20	64,44	6.723,86	11,74	0,46	19,22
R4	1.492,78	76,96	8.665,99	11,70	0,57	24,06
R5	630,95	163,18	7.482,74	14,84	0,37	22,87
R6	859,31	183,02	8.771,07	10,44	0,41	23,32
R7	823,38	108,83	8.339,75	11,74	0,31	41,22

Tabela 9 - Valores médios e coeficientes de variação (CV) da área colhida, produtividade e preço das quatro lavouras de sequeiro nos municípios maranhenses agrupados nas dez regiões definidas na pesquisa

Regiões	Média	CV (%)	Média	CV (%)	(Conclusão)	
					Média	CV (%)
Mandioca						
R8	320,74	200,43	8.519,46	8,27	0,40	20,20
R9	383,30	28,50	7.417,64	9,17	0,30	57,69
R10	365,17	56,53	6.940,80	15,22	0,35	55,80
Milho						
R1	1.079,89	139,06	602,02	19,03	1,42	34,50
R2	1.493,05	95,32	563,37	30,50	1,27	23,01
R3	1.333,98	56,60	555,33	26,70	1,41	21,46
R4	1.963,73	78,61	658,70	19,38	1,15	28,86
R5	2.655,59	102,59	737,74	32,68	1,07	18,81
R6	4.606,88	95,20	1.318,77	60,36	0,97	24,38
R7	3.080,97	76,65	991,53	57,97	0,94	43,17
R8	2.045,92	151,71	1.884,81	37,88	0,94	20,85
R9	1.901,48	87,36	1.510,82	73,07	0,94	56,41
R10	4.337,24	108,66	2.813,97	61,17	0,86	53,57

Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

Para a cultura da mandioca, a região R3 apresentou a maior média de área colhida (1.997,20 hectares) com coeficiente de variação (64,44%). Já a região R8 apresentou a menor média de área colhida (320,74 hectares) com coeficiente de variação (200,43%). Em relação à produtividade da mandioca, a região R6 apresentou a maior média (8.771,07 kg/ha) com coeficiente de variação (10,44%). Por outro lado, a região R3 apresentou a menor média de produtividade (6.723,86 kg/ha) com variação nos dados (11,74%). No que se refere ao preço da mandioca, a região R1 apresentou a maior média (0,69 R\$/kg) com coeficiente de variação (21,98%). Por outro lado, a região R9 apresentou a menor média de preço (0,30 R\$/kg) e o maior coeficiente de variação (55,80%).

Por fim, para a cultura do milho, a região R6 apresentou a maior média de área colhida (4.606,88 hectares) com coeficiente de variação (95,20%). Já a região R1 apresentou a menor média de área colhida (1.079,89 hectares) com coeficiente de variação (139,06%). Em relação à produtividade do milho, a região R10 apresentou a maior média (2.813,97 kg/há) com coeficiente de variação (61,17%). Por outro lado, a região R3 apresentou a menor média de produtividade (555,33 kg/ha) com variação nos dados (26,70%). No que se refere ao preço do milho, a região R1 apresentou a maior média (1,42 R\$/kg) com coeficiente de variação (34,50%). Por outro lado, a região R10 apresentou a menor média de preço (0,86 R\$/kg) com coeficiente de variação (53,57%).

5.5 Resultados encontrados para o quinto objetivo

Em seguida, mostram-se os resultados encontrados na estimação dos modelos ARIMA que alcançaram os melhores ajustamentos para fazer as previsões das produções per capita, das produtividades e das áreas agregadas das lavouras estudadas entre os anos de 1933 a 2021.

Observou-se que as séries não eram estacionárias. Mas se reverteu essa situação, tornando-as estacionárias mediante a uma diferenciação ($d=1$) nas séries de produção per capita e de produtividade e duas ($d=2$) na série das áreas agregada. Na Tabela 10, há os resultados obtidos na estimação dos parâmetros e dos testes associados às duas séries estudadas. Esses resultados mostram que os ajustamentos obtidos são parcimoniosos e robustos, de um ponto de vista estatístico. Nos melhores ajustamentos encontrados, observa-se que os coeficientes de correlação linear de Pearson, que aferem as relações entre as séries observadas e os valores previstos, foram de 0,980, 0,983 e 0,948, respectivamente para a previsão da produção per capita, produtividade agregada e área colhida.

Tabela 10 – Modelos ajustados as previsões das produtividades e das áreas colhidas agregadas de arroz, feijão, mandioca e milho no Maranhão entre 1933 a 2020

	Produção per capita ARIMA (1,1,0)	Produtividades Agregadas ARIMA (1,1,0)	Área agregadas ARIMA (0,2,1)
Modelo (p, d, q) estimado	1, 1, 0	1, 1, 0	0, 2, 1
AR (1)	-0,340*	-0,303***	-
MA (1)	-	-	0,941****
Diferenciação	1	1	2
R^2	0,763	0,648	0,888
Ljung Box	18,511 ^{NS}	20,415 ^{NS}	6,368 ^{NS}
MAPE	17,849	10,618	12,140
BIC	9,864	12,526	21,617
R Pearson	0,980**	0,983**	0,948**

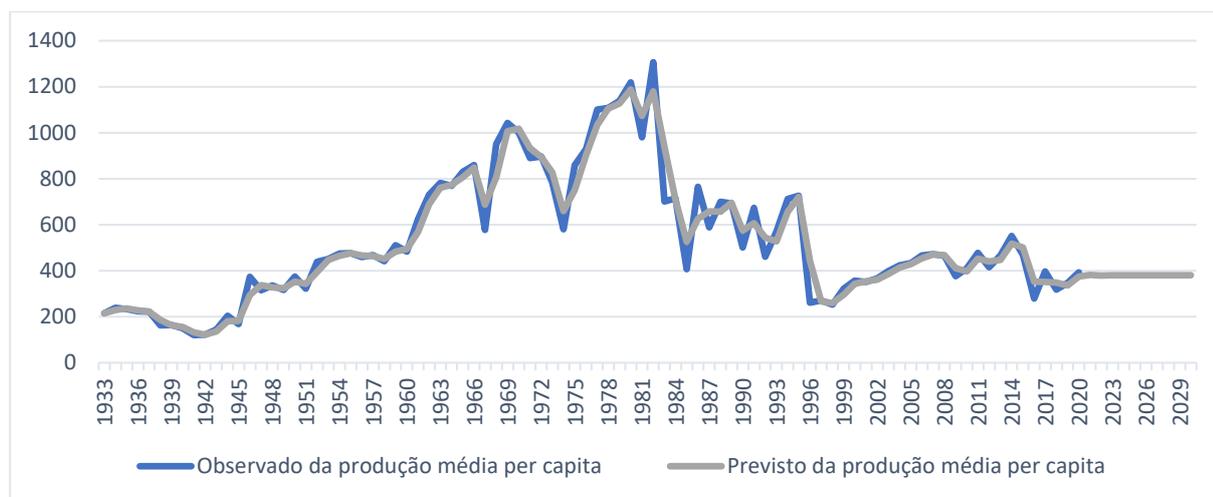
Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

*AR é significativo no nível de 0,001%; **A correlação é significativa no nível de 0,01 (2 extremidades);

AR é significativo no nível de 0,004%; *MA é significativo no nível de 0,000%. NS não significativo ao menos a 20% de erro.

No Gráfico 2, ilustra-se a trajetória da produção per capita observada entre os anos de 1933 a 2021 e prevista entre 1933 a 2031:

Gráfico 2 – Trajetória dos valores observados (1933-2021) e previstos (1933-2031) da produção per capita do Maranhão.



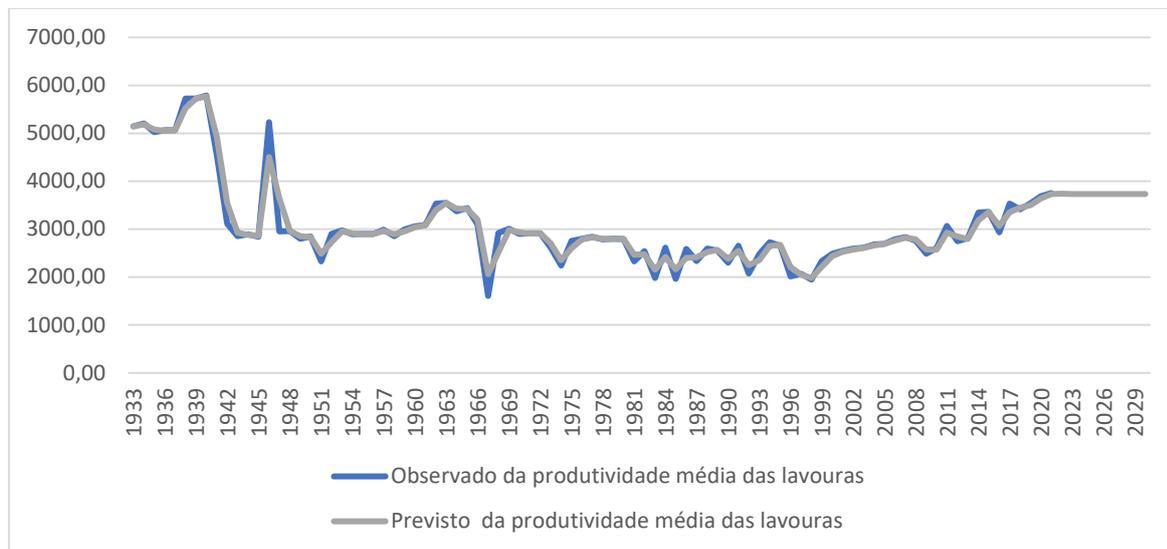
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Constata-se, no Gráfico 2, que a produção per capita das lavouras dispõe de um comportamento heterogêneo, com alguns anos com picos de produção per capita, e outros com retenções consideráveis. O maior pico de produção per capita é constatada em 1982, em que se obteve uma produção anual de 1.306,59 (kg/habitante) de arroz, feijão, mandioca e milho. Nesse ano, houve uma chuva de 1.504,17 (mm), volume este enquadrado no período de normalidade pluviométrica. Nesse caso, o fato de não haver a falta e nem excesso de água favoreceu o pleno desenvolvimento das quatro culturas deste estudo.

Ademais, a maior cava na série aconteceu em 1941, em que se logrou uma produção de 120,17 (kg/habitante) de arroz, feijão, mandioca e milho e tempo uma chuva de 1.280,98 (mm) volume este enquadrado no período de Escassez de Chuva (Gráfico 2).

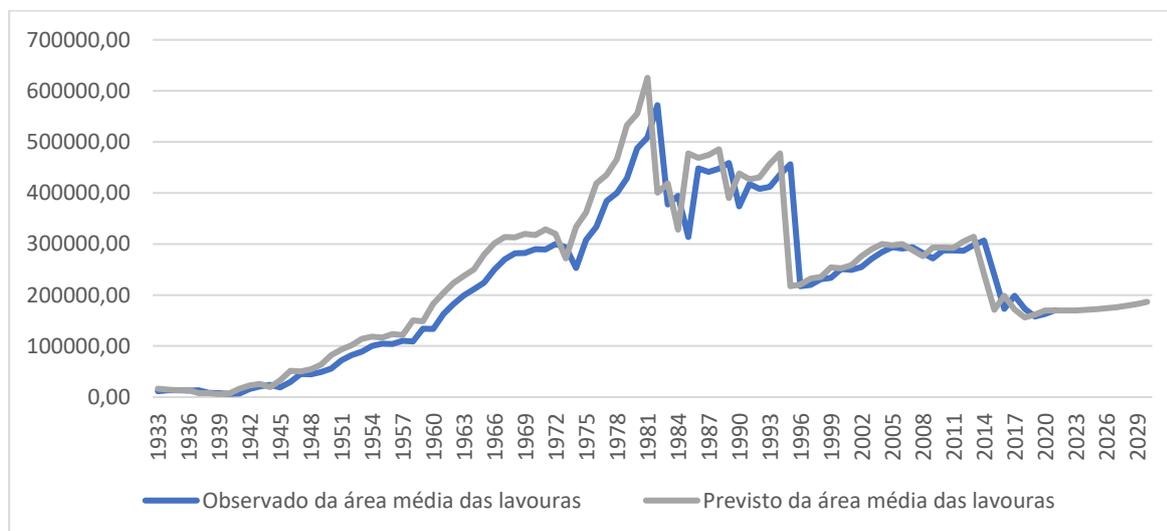
Nos Gráficos 3 e 4, respectivamente, ilustram-se as trajetórias da série das produtividades e das áreas colhidas anuais agregadas de arroz, feijão, mandioca e milho observadas (trajetória em azul) e previstas através dos modelos ajustados (trajetórias cinzas) no período de 1933 a 2021.

Gráfico 3 – Trajetória dos valores observados (1933-2021) e previstos (1933-2031) das produtividades agregadas das lavouras do Maranhão.



Fonte: Dados originais do IBGE (vários anos)

Gráfico 4 – Trajetória dos valores observados (1933-2021) e previstos (1933-2031) das áreas agregadas das lavouras do Maranhão.



Fonte: Dados originais do IBGE (vários anos)

5.5.1 Produção per capita de alimentos nos períodos pluviométricos definidos na pesquisa.

A Tabela 11 apresenta a produção per capita de alimentos no Maranhão, dividida em três períodos pluviométricos: escassez, normal e chuvoso ao longo do período de 1933 a 2020.

A menor produção per capita de alimentos (25,98 kg/pessoa) aconteceu em

1941. Um ano de escassez pluviométrica, a maior produção per capita (349,54 kg/pessoa) foi registrada em 1982. As médias das produções per capita nos três períodos foram, respectivamente, 134,32 kg/pessoa nos anos de escassez; 169,20 kg/pessoa nos anos de precipitações normais; e 164,44 kg por pessoa nos anos chuvosos. Observa-se também que a maior instabilidade (CV=60,03%) nas produções per capita dos alimentos aconteceu nos anos situados no período de escassez (Tabela 11).

Tabela 11 – Produção percapita de alimentos no Maranhão por período pluviométrico entre 1933-2020

Períodos	Mínimo		Máximo		Média	CV (%)
	Produção percapita	Ano	Produção percapita	Ano		
Escassez	25,98	1941	309,16	1979	134,32	60,03
Normalidade	29,10	1940	349,54	1982	169,20	54,77
Abundância	56,56	1937	297,86	1977	164,44	46,44

Fonte: NOAA (2022); IBGE (2019).

Esses resultados confirmam as variações na produção per capita de alimentos no Maranhão ao longo dos períodos pluviométricos analisados. Essas informações são relevantes para compreender as flutuações na disponibilidade de alimentos na região em diferentes condições climáticas e podem auxiliar em estudos e planejamentos relacionados à segurança alimentar e desenvolvimento agrícola.

5.5.2 Previsões das produtividades agregadas, áreas agregadas, populações e produções per capita anuais entre os anos de 2022 a 2031.

Na Tabela 12, apresentam-se os resultados encontrados para as estimativas das TGC para da população período completo (1933 a 2021) bem como para o período mais recente de 2000 a 2021, para que se possa fazer as simulações apresentadas na Tabela 12. Os resultados apresentados mostram bons ajustamentos de um ponto de vista estatístico para os dois períodos utilizados para as simulações das populações que farão parte no cômputo da Produção anual per capita agregada de arroz, feijão, mandioca e milho.

Tabela 12 – Estimativa dos coeficientes log-lineares e de regressão para a população do estado do Maranhão no período de 1933/2021 e 2000/2021

Período	R ² Ajustado	Constante		Coef. de Regressão	
		Magnitude	Sign.	Magnitude	Sign.
1933 – 2021	0,972	13,988	0,000	0,023	0,000
2000 – 2021	0,970	14,772	0,000	0,012	0,000

Fonte: Dados originais do IBGE (vários anos)

Os resultados da Tabela 12 indicam que a taxa de crescimento médio estimada para um período mais longo (2,3% ao ano) é superior àquela estimada entre os anos de 2000 a 2021 (1,2% ao ano). Com base nessas taxas, foi possível estimar as previsões da produção per capita das lavouras estudadas para o período de 2022 a 2031, levando em consideração as simulações feitas para ambas as TGC. A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos por meio dessa análise.

Os resultados encontrados na pesquisa mostram que a produção média per capita, ao longo dos 88 anos estudados foi de 157,5 kg/pessoa, com coeficiente de variação de 53,9%, com uma instabilidade muito alta segundo a classificação de Gomes (1985). Em torno dessa média, os valores variaram de 26 kg/pessoa em 1941 (1.280,98mm um ano de escassez) a 349,5 kg/pessoa em 1982. A precipitação pluviométrica nesse ano foi de 1.504,17mm classificada como normal nesta pesquisa. Observou-se que em 54 anos (61,4%) dos anos observados, a produção per capita ficou abaixo da média (Tabela 13).

Tabela 13 - Valores observados (2000/2021) e projeções de produtividades, áreas colhidas, população e produção agregada per capita de arroz, feijão, mandioca e milho no Maranhão no período de 2022 a 2031

(Continua)

Ano	Produtividades Agregadas (Kg.ha ⁻¹)	Áreas colhidas agregadas (ha)	Produções agregadas (t)	População com base na TGC 1933/21 (pessoas)	População com base na TGC 2000/21 (pessoas)	Produção per capita anual com base na TGC 1933/2021 (Kg. pessoa ⁻¹)	Produção per capita anual com base na TGC 2000/2021 (Kg. pessoa ⁻¹)
Valores observados da produção per capita de alimentos							
2000 ¹	2.485,90	250.872,50	623.643,95	5.651.475	5.651.475	110,35	110,35
2001 ¹	2.544,19	249.369,75	634.444,02	5.730.432	5.730.432	110,71	110,71
2002 ¹	2.590,35	255.028,00	660.611,78	5.803.283	5.803.283	113,83	113,83
2003 ¹	2.614,61	271.284,75	709303,82	5.873.646	5.873.646	120,76	120,76
2004 ¹	2.682,29	284.153,25	762.181,42	5.943.807	5.943.807	128,23	128,23
2005 ¹	2.695,08	293.275,75	790.401,61	6.103.338	6.103.338	129,50	129,50
2006 ¹	2.787,89	291.226,25	811.906,75	6.184.543	6.184.543	131,28	131,28
2007 ¹	2.835,59	293.355,50	831.835,92	6.265.102	6.265.102	132,77	132,77
2008 ¹	2.762,38	282.221,25	779.602,34	6.305.539	6.305.539	123,64	123,64
2009 ¹	2.488,31	271.666,50	675.990,47	6.367.111	6.367.111	106,17	106,17
2010 ¹	2.607,56	287.256,25	749.037,91	6.574.789	6.574.789	113,93	113,93
2011 ¹	3.063,90	287.155,25	879.814,97	6.645.761	6.645.761	132,39	132,39
2012 ¹	2.750,01	286.473,75	787.805,68	6.714.314	6.714.314	117,33	117,33
2013 ¹	2.812,62	298.246,50	838.854,07	6.794.301	6.794.301	123,46	123,46
2014 ¹	3.345,96	306.739,00	1.026.336,42	6.850.884	6.850.884	149,81	149,81
2015 ¹	3.358,04	239.074,00	802.820,05	6.904.241	6.904.241	116,28	116,28
2016 ¹	2936,61	173037,50	508143,65	6.954.036	6.954.036	73,07	73,07
2017 ¹	3530,95	198783,75	701895,48	7.000.229	7.000.229	100,27	100,27
2018 ¹	3412,04	172852,25	589778,79	7.035.055	7.035.055	83,83	83,83
2019 ¹	3537,71	158046,00	559120,91	7.075.181	7.075.181	79,03	79,03
2020 ¹	3685,70	162870,25	600290,88	7.114.598	7.114.598	84,37	84,37
2021 ¹	3750,67	170446,25	639287,64	7.153.262	7.153.262	89,37	89,37

Tabela 13 - Valores observados (2000/2021) e projeções de produtividades, áreas colhidas, população e produção agregada per capita de arroz, feijão, mandioca e milho no Maranhão no período de 2022 a 2031

(Conclusão)

Ano	Produtividades Agregadas (Kg.ha ⁻¹)	Áreas colhidas agregadas (ha)	Produções agregadas (t)	População com base na TGC 1933/21 (pessoas)	População com base na TGC 2000/21 (pessoas)	Produção per capita anual com base na TGC 1933/2021 (Kg. pessoa ⁻¹)	Produção per capita anual com base na TGC 2000/2021 (Kg. pessoa ⁻¹)
Valores projetados da produção per capita de alimentos							
2022	3.736,95	169.442,83	633.199,40	7.346.400 ²	7.239.101 ³	86,19 ²	87,47 ³
2023	3.735,14	169.874,44	634.504,80	7.544.753 ²	7.325.970 ³	84,10 ²	86,61 ³
2024	3.735,69	170.726,17	637.780,00	7.748.461 ²	7.413.882 ³	82,31 ²	86,03 ³
2025	3.735,52	172.025,08	642.603,10	7.957.670 ²	7.502.849 ³	80,75 ²	85,65 ³
2026	3.735,57	173.802,30	649.250,70	8.172.527 ²	7.592.883 ³	79,44 ²	85,51 ³
2027	3.735,56	176.093,68	657.808,50	8.393.185 ²	7.683.997 ³	78,37 ²	85,61 ³
2028	3.735,56	178.940,63	668.443,50	8.619.801 ²	7.776.205 ³	77,55 ²	85,96 ³
2029	3.735,56	182.391,05	681.332,70	8.852.536 ²	7.869.520 ³	76,96 ²	86,58 ³
2030	3.735,56	186.500,46	696.683,70	9.091.554 ²	7.963.954 ³	76,63 ²	87,48 ³
2031	3.735,56	191.333,29	714.737,00	9.337.026 ²	8.059.521 ³	76,55 ²	88,68 ³

Fonte dos dados: IBGE (vários anos).* 1 – Dados observados; 2 – População prevista (1933/2021 ; IGGR = 2,3% aa) ; 3 – População prevista (2000/2021 ; IGGR = 1,2% a.a.).

Observa-se que durante o período compreendido entre os anos de 2000 a 2021, a média de produção per capita no estado do Maranhão foi de 109,2 kg/pessoa, o que equivale a 69,3% da média registrada nos 88 anos analisados, apresentando um coeficiente de variação (CV) de 20,4%, portanto, uma alta instabilidade para essa variável no período em questão. É importante destacar que a maior produção per capita ocorreu no ano de 2014, atingindo 149,81 kg/pessoa, enquanto a menor produção foi registrada no ano de 2016 com 73,07 kg/pessoa. Ademais, a produção per capita de arroz, feijão, mandioca e milho no estado apresentou uma tendência de queda a partir de 2014, alcançando o valor de 89,37 kg/pessoa em 2021.

Com base nos modelos ajustados para áreas colhidas, para rendimentos e para populações (em dois cenários) são projetados os valores apresentados na Tabela 13. As evidências apresentadas nesta tabela sugerem que em um cenário de crescimento populacional anual (2,3% ao ano) a produção per capita desses alimentos variará de 86,2 kg/pessoa para 76,6 kg/pessoa entre 2022 e 2031. Por outro lado, em um cenário de crescimento populacional mais conservador (1,2% ao ano), a produção per capita de alimentos variará de 87,5 kg/pessoa em 2022 para 88,7 kg/pessoa em 2031 (Tabela 13).

5.5.3 Taxa Geométrica de Crescimento (TGC)

A Tabela 14 apresenta os resultados obtidos através da regressão para a estimativa da Taxa Geométrica de Crescimento (TGC) da produção per capita do Maranhão, considerando dois períodos: 1933-1982 e 1982-2020.

Tabela 14 – Resultados encontrados para estimar a TGC para a produção per capita do Maranhão nos períodos de 1933-1982 e 1982-2020

Variáveis	Constante	Coeficiente de regressão	R ² ajustado
LNPP (1933-1982)	5,053 (<0,001)	0,044 (<0,001)	0,864
LNPP (1982-2020)	6,464 (<0,001)	-0,017 (0,001)	0,292

Fonte: resultados da pesquisa (2023).

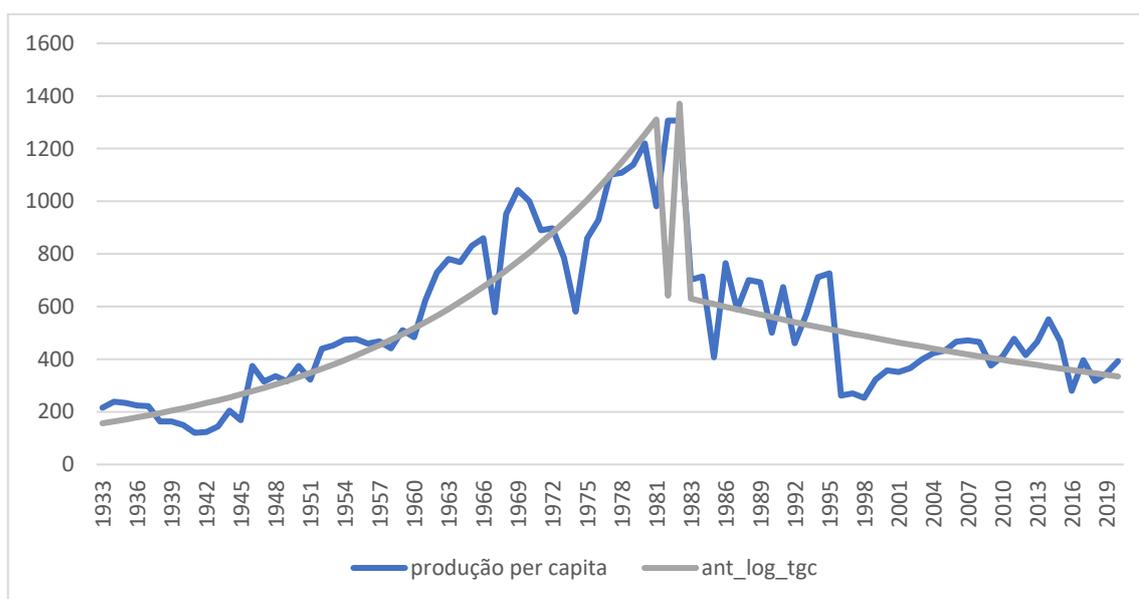
OBS: Os valores entre parênteses indicam o nível de significância do coeficiente.

Pelas evidências mostradas na Tabela 14, depreende-se que a TGC estimada para o período de 1933/1982 foi de 4,4% ao ano, ao passo que, para o período seguinte, de 1982 a 2020, a produção per capita desacelerou a um ritmo médio anual de 1,7%. Assim, ao longo da trajetória de 1933 a 2020, o saldo das TGC foi de 2,7% ao ano. Esse resultado sugere que ao longo de toda a trajetória estudada a produção per capita de alimentos teria sido sustentável, tendo em vistas esse saldo positivo. Contudo, a projeção que se faz, com base no modelo

ajustado, é de que há uma tendência de queda dessa produção per capita por duas razões: a população continuará crescendo a uma taxa mais acelerada (qualquer que seja o cenário de crescimento da população) e observa-se uma queda acentuada da área colhida com essas lavouras a partir de 2015, sem uma consequente elevação da produtividade agregada. Essa tendência de queda de área com essas lavouras pode estar acontecendo devido à substituição dessas áreas nos municípios maranhenses que fazem parte do MATOPIBA, pelo cultivo de soja, como está demonstrado na pesquisa de Lemos (2015).

No Gráfico 5, está ilustrado o desempenho da produção média per capita. Constatase uma grande inclinação positiva nos anos de 1933 a 1982, sendo este último o ano com a maior produção obtida. Nos anos seguintes, há um pequeno decréscimo, apesar de também apresentar alguns anos com elevações de produção média per capita.

Gráfico 5 – Taxa geométrica de crescimento para a produção per capita do Maranhão entre 1933 a 2020



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Desse modo, meados dos anos 1970 ao início dos anos 1980, o Maranhão experimentou um crescimento significativo, tanto em áreas cultivadas com arroz, feijão, mandioca e milho, quanto em produção, renda e produção per capita. De fato, em 1980, 1981 e 1982, o Maranhão obteve as maiores áreas cultivadas com essas quatro culturas desde o início do século passado. Também nesses três anos foi constatada a maior produção média por habitante da série (Lemos, 2006).

6 CONCLUSÕES

O presente estudo conseguiu dividir a pluviometria do Maranhão, com base em 120 anos de observações de precipitações de chuvas. em três períodos conforme era buscado no primeiro objetivo. Foram demarcados 30 anos de escassez, 57 anos com chuvas no período normal e 33 anos no período chuvoso. Destaca-se que o estado do Maranhão possuiu um coeficiente variação de 17,4%, considerado médio.

As evidencias encontradas na pesquisa permitiram confirmar a existência de dez regiões distintas no Estado do Maranhão, do ponto de vista ponto de vista da precipitação pluviométrica. Para chegar a esse resultado, foi utilizada uma série pluviométrica que abrange o período de 1901 a 2020. As regiões apresentam médias pluviométricas estatisticamente diferentes, mas todas com instabilidades médias ou altas.

Essas dez regiões não se confirmam no que diz respeito às temperaturas médias anuais. Neste caso, apenas nove regiões mostraram ter temperaturas médias diferentes. As distribuições destas temperaturas são muito homogênea ao longo dos 120 anos observados.

A pesquisa também mostrou que o índice de produtividade (criado no estudo) avaliado pela média ponderada das áreas colhidas, produtividades da terra e preços das principais culturas alimentares cultivadas no estado (arroz, feijão, mandioca e milho), tem médias divergentes em apenas cinco das dez regiões em que o estado foi dividido nesta pesquisa.

Observou-se também que as regiões com os maiores índices de produtividade (IP) estão localizadas na fronteira do Maranhão com a Amazônia, onde a pluviosidade média é maior. Por outro lado, os menores índices de produtividade estão localizados, em sua maioria, no lado leste do estado, onde se encontram os municípios com características de semiárido inclusive em termos de parte da cobertura vegetal com caatinga.

A pesquisa gerou modelos ARIMA parcimoniosos que permitiram estimar as produtividades, áreas agregadas de arroz, feijão, mandioca e milho. Esses resultados propiciaram a possibilidade de calcular as produções per capita dessas cultuas no horizonte de tempo que compreendeu os anos de 1933 a 2022.

Através de cenários para previsão do crescimento da população no período de 2022 a 2031, e com as projeções das produtividades e das áreas colhidas para esse mesmo período, a pesquisa conseguiu atingir o seu outro objetivo, que era fazer a previsão dessa produção naquele período. Uma conclusão relevante é que ficou demonstrado que a maior produção per capita de alimentos aconteceu no ano de 1982, o qual teve chuvas classificadas como no período de

normalidade pela pesquisa. A menor produção per capita aconteceu no ano de 1941, que foi um ano de escassez pluviométrica, de acordo com a classificação feita no estudo

A trajetória da produção per capita desses alimentos foi dividida em duas etapas: de 1933 até 1982, que mostrou taxa de aceleração de 4,4% a.a., e a partir de 1982 até 2020 quando a produção per capita desacelerou a um ritmo médio anual de 1,7% ao ano. O saldo da avaliação da trajetória da produção per capita dessas lavouras ao longo de todo o ciclo foi positivo (2,7% a.a.), considerado sustentável. No entanto, a pesquisa mostra que, a partir de 2015, há uma queda das áreas colhidas e as produtividades se mantêm praticamente estáveis e em níveis muito baixos. Como a população continuou crescendo, observa-se uma nítida tendência de queda da produção per capita de alimentos no Maranhão a partir desse ano e se projetando até o ano de 2031, que é o ano para o qual se projeta essa variável.

A pesquisa mostrou que os níveis de precipitação de chuvas do Maranhão são bastante elevados se comparados ao que se observa nos demais estados do Nordeste. A instabilidade temporal da distribuição dessa pluviometria observada numa série de 120 anos foi considerada média. Assim, pode-se concluir que os problemas das lavouras de sequeiro estudadas estão mais relacionados aos baixos níveis tecnológicos em que são praticadas, além da substituição de forma bastante significativa das áreas que antes eram cultivadas com essas lavouras, principalmente por soja que é uma cultura mais intensiva em capital e tecnologia, nos municípios que ficam mais ao sul do estado na Região 10 (Gerais de Balsas).

Assim, agricultores e agentes promotores de pesquisas voltadas para os serviços de assistência técnica e extensão rural passam a contar com um levantamento que mostra em quais regiões do estado as culturas são mais indicadas. Os resultados encontrados também servem também para rever o planejamento das culturas, em busca de entender por que em cinco das dez regiões estudadas os resultados foram mais promissores. Isso levanta a necessidade de promover pesquisas que busquem selecionar cultivares que se adaptem às condições das outras cinco regiões do Estado onde os índices de produtividade foram menores.

REFERÊNCIAS

- ALLISON, P. D. Measures of Inequality. **American Sociological Review**, New York, v. 43, n.6, p. 865-880, dec. 1978.
- ALMEIDA, J. Da ideologia do progresso à ideia de desenvolvimento (rural) sustentável. *In*: ALMEIDA, J.; NAVARRO, Z. **Reconstruindo a agricultura: Ideias e ideais na perspectiva do desenvolvimento rural sustentável**. Porto Alegre, RS: UFRGS, 1997. p. 33-55.
- ALVES, H. C. R.; AMARAL, R. F. do. **Produção, área colhida e produtividade do milho no Nordeste**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano v, n.16, set. 2011.
- ARAÚJO, J. P. P. de.; RIOS, G. P.; WATT, E. E.; NEVES, B. P. de.; FAGERIA, N. K.; OLIVIERA, I. P. de.; GUIMARÃES, C. M.; SILVEIRA FILHO, A. A cultura do caupi, *Vigna unguiculata (L.) Walp.*: **Descrição e recomendações técnicas de cultivo**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1984. (Circular Técnico v. 18.)
- AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY. (ASA). Decision reached on sustainable agriculture. **Agronomy News**, Madison, Wisconsin, USA, 1989. p. 15.
- BASSO, M. W. Como evitar perdas na agricultura com a mudança do clima. **Destaque Rural**. Rio Grande do Sul, ano 6, n.26, dez. 2020 e jan. 2021.
- BECERRA, J. A. B. **Zoneamento ecológico visando pastejo de comunidades vegetais das montanhas andinas do Parque Nacional del Manu – Peru**. 1999, 58 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- BRAGA, H.J.; RICCE, W. do S.; PANDOLFO, C.; GARBOSSA, L.H.P.; MASSIGNAM, A.M.; BLAINSKI, E.; VIEIRA, H.J. **Agrometeorologia Catarinense: estações convencionais**. Florianópolis : Epagri, 2015. 86p. (Epagri. Documentos, 250).
- BOX, G. ; JENKINS, G. M. **Time series analysis**. San Francisco : Holden-Day, 1976.
- BOX, G. *et al.* **Time series analysis : forecasting and control**. New Jersey : John Wiley & Sons, 2015.
- BUENO, R. de L. da S. **Econometria de séries temporais**. São Paulo: Cenage Learning, 2011.
- CERQUEIRA, H. **Avaliação mensal de chuva: janeiro de 2021**. São Luís/MA. 2021. Disponível em <https://www.nugeo.uema.br/?p=29042>. Acesso em: 29 jul. 2022.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. (CBHSF). **A agricultura de sequeiro**. Minas Gerais. 2015. Disponível em: https://cbhsaofrancisco.org.br/noticias/cultura_blog/a-agricultura-de-sequeiro-3/. Acesso em: 10 ago. 2022.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, Brasília-DF, v. 2 – Safra 2019/20. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_11_10_42_03_boletim

graosabril2020.pdf. Acesso em: 20 abr. 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **A cultura do arroz** / Aroldo Antonio de Oliveira Neto. (Org.) – Brasília: Conab, 2015. 180p. Disponível em: https://biblioteca.conab.gov.br/phl82/pdf/2015_Cultura_do_arroz.pdf. Acesso em: 20 abr. 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Produção do arroz no Maranhão**, São Luís-MA, 2020. Disponível em: <https://maranhahoje.com/producao-de-arroz-no-maranhao-caiu-685-de-2014-para-2020-segundo-dados-da-conab/>. Acesso em: 18 jan. 2023.

CORMEN, T. H. **Introduction to algorithms**. Cambridge, USA: MIT press, 2009.

COSTA, A. de S. **Modulação regional das chuvas no Estado do Maranhão**. 2016. 85 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2016.

COSTA FILHO, J. da. **Efeitos da instabilidade pluviométrica sobre a previsão da produção de lavouras de sequeiro em áreas sujeitas à desertificação (ASD) no semiárido do estado do Ceará: casos de Irauçuba e Tauá**. 2019. 100 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

DAS, S. *et al.* Sustainable agriculture: a path towards better future. **Food and Scientific Reports**. Raiganj. v. 1, Issue: 9. 2020.

DILLON, W.; GOLDSTEIN, M. **Multivariate analysis: methods and applications**. New York: Mc Graw Hill, 1984. 435p.

DUQUE, J. G. **Solo e água no polígono das secas**. 5 ed. Mossoró: Fundação Guimarães Duque, 1980.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Policy Impacts on Inequality Simple Inequality Measures**. 2006. Disponível em: http://www.fao.org/docs/up/easypol/448/simple_inequality_mesures_080en.pdf. Acesso em: 28 maio 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Refinements to the FAO methodology to reestimation the prevalence of under nourishment indicator. **Working Paper**, Rome, Italie, n. 14, 5, 2014. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i4046e.pdf>. Acesso em: 28 maio 2022.

FÁVERO, L. P.; BELFIONE, P.; SILVA, F.L.; CHAN, B.L. **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões**. 2 ed. Rio de Janeiro. Elsevier Editora Ltda, 2009. 641p.

FISCHER, G.; SHAH, M. M.; VAN VELTHUIZEN, H. T. **Climate change and agricultural vulnerability**. Laxenburg, Austria: IIASA, 2002.

- FRAITURE, C. de; KARLBERG, L.; ROCKSTRÖM, J. Can rainfed agriculture feed the world? Na assessment of potentials and risk. Rainfed agriculture: unlocking the potential. **CAB International**, Wallingford, UK, p. 124-132, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/266232273_7_Can_Rainfed_Agriculture_Feed_the_World_An_Assessment_of_Potentials_and_Risk. Acesso em: 28 maio 2022.
- FRANÇA. C. G. de; GROSSI, E. D.; MARQUES, V. P. M. de A. **O censo agropecuário 2006 e a agricultura familiar no Brasil** – Brasília: MDA, 2009.
- FRANCIS, C. A. Sustainable agriculture : myths and realities. **Journal of Sustainable Agriculture**, London, v. 1, n. 1, p. 97-106, 1990.
- FREIRE FILHO, F. R. *et al.* **Feijão-caupi no Brasil**: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 84p.
- GARCIA, C. H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. Piracicaba: Ipef, 1989. p.12. (Circular técnica, 171).
- GLIESSMAN, S. R. **Agroecology: The ecology of food systems**. Boca Roton, Florida, USA. CRC press. 2015.
- GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. São Paulo: ESALQ/USP, p. 467. 1985.
- GUANZIROLI, C. E.; DI SABBATO, A.; VIDAL, M. F. Evolução da agricultura familiar nordestina: uma análise comparativa entre os dois censos agropecuários. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, Ceará, v. 45, n. 5, p. 93-106, 2017.
- GUJARATI, D. N., PORTER. D. C., **Econometria Básica**. 5. ed, Porto Alegre: AMGH, 2011.
- HAIR JUNIOR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- HAMILTON, J. **Time series analysis**. Nova Jersey : Princeton University Press, 1994.
- HORRIGAN, L. ; LAWRENCE, R. S. ; WALKER, P. How sustainable agriculture can address the environmental and human health harms of industrial agriculture. **Environmental Health Perspectives**, Durham, v. 110, n. 5, p. 445. 2002.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1946**. Rio de Janeiro: IBGE, 1947.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1947**. Rio de Janeiro: IBGE, 1948.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1948**. Rio de Janeiro: IBGE, 1949.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário**

Estatístico do Brasil de 1949. Rio de Janeiro: IBGE, 1950.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1950.** Rio de Janeiro: IBGE, 1951.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1951.** Rio de Janeiro: IBGE, 1952.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1952.** Rio de Janeiro: IBGE, 1953.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1953.** Rio de Janeiro: IBGE, 1954.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1954.** Rio de Janeiro: IBGE, 1955.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1955.** Rio de Janeiro: IBGE, 1956.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1956.** Rio de Janeiro: IBGE, 1957.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1957.** Rio de Janeiro: IBGE, 1958.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1958.** Rio de Janeiro: IBGE, 1959.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1959.** Rio de Janeiro: IBGE, 1960.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1960.** Rio de Janeiro: IBGE, 1961.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1961.** Rio de Janeiro: IBGE, 1962.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1962.** Rio de Janeiro: IBGE, 1963.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1963.** Rio de Janeiro: IBGE, 1964.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1964.** Rio de Janeiro: IBGE, 1965.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1965.** Rio de Janeiro: IBGE, 1966.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1966**. Rio de Janeiro: IBGE, 1967.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1967**. Rio de Janeiro: IBGE, 1968.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1968**. Rio de Janeiro: IBGE, 1969.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1969**. Rio de Janeiro: IBGE, 1970.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1970**. Rio de Janeiro: IBGE, 1971.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil de 1973**. Rio de Janeiro: IBGE, 1974.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico do Brasil de 2010**. Rio de Janeiro, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 5 maio 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico do Brasil de 2010**. Rio de Janeiro, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Microrregiões do Estado do Maranhão**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção agrícola municipal**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 12 maio 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Importância do zoneamento agrícola e épocas de plantio de cada município**. 2016. Disponível em: <http://agricultura.cptec.inpe.br/monitoramento-agricola/pt>. Acesso em: 20 ago 2022.

KAIMOWITZ, D. The prospects for reduced emissions from deforestation and degradation (REDD) in Mesoamerica. **International Forestry Review**, UK, v. 10, n. 3, p. 485-495, 2008.

KING, G. How not to lie with statistics: Avoiding common mistakes in quantitative political science. **American Journal of Political Science**, New York, n. 30, p. 666-687, 2001.

LEMOS, J. J. S. Efeitos da expansão da soja na resiliência da agricultura familiar no Maranhão. **Revista de Política Agrícola**. Brasília-DF, v. 24, n. 2, p. 26-37, 2015.

LEMOS, J. J. S. **Pobreza e vulnerabilidades induzidas no Nordeste e no semiárido brasileiros**. Fortaleza, Ceará. 2015. (Tese para Concurso de Professor Titular).

LEMOS, J. J. S. *et al.* Rainfed crops forecasting in the semi-arid region under scenarios of rainfall instability in Ceará, Brazil. **Journal of Agricultural Science and Technology**. Gernay, v. 12, n. 2, mar.-apr. 2022.

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**, São José dos Pinhais – PR, v. 5, n. 9, p. 15632-15652, 2019.

LEMOS, J. J. S.; BEZERRA, F. N. R.; COSTA FILHO, J.; 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.

MCCRACKEN, J. A.; PRETTY, J. N. Glossary of selected terms in sustainable agriculture. Gatekeeper series no. SA6. **International Institute for Environment and Development**, London, UK, 1990.

MENEZES, R. H. N. **Caracterização agroclimática e análise do rendimento agrícola do Estado do Maranhão, Brasil**. 2009. 188f. (Tese de Doutorado em Meteorologia), Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande – Paraíba – Brasil, 2009.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Zoneamento Agrícola**. 2020. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuario/zoneamento-agricola>. Acesso em: 10 fev. 2023.

MONTEBELLER, C. A. *et al.* Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no Estado do Rio de Janeiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal – SP, v. 27, n. 2, p. 426-435, maio, 2007.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC AGENCY (NOAA, EUA). **Global Historical-Monthly Climatology Network (GHCN-M)**. Washington, DC, 2022. Disponível em: <https://www.globalclimatemonitor.org/#>. Acesso em: 10 fev. 2022.

NASCIMENTO, F. C. A. **Padrões climáticos associados à periodicidade de eventos extremos de precipitação no estado do Maranhão**. 2014. 92f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

NASCIMENTO, F. C. A.; ARAÚJO, F. R. C. D.; CAMPOS, C. Análise dos padrões espaciais e temporais da precipitação no Estado do Maranhão-Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco - PE, v. 8, n. 2, p. 422-430, 2015.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NCR). **Toward sustainability: A plan for**

collaborative research on agriculture and natural resource management. Washington, DC: National Academies Press, 1991.

NÚCLEO DE GEOPROCESSAMENTO/ LABORATÓRIO DE GEOPROCESSAMENTO (NUGEO/LABGEO). **Atlas do Maranhão.** São Luís - MA. UEMA, 2002.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440 p.

O'REILLY, C. A. ; CALDWELL, D. F. ; BARNETT W. P. Work group demography, social integration, and turn-over. **Administrative Science Quarterly**, New York, v. 34, p. 21-37, 1989.

PAIVA, E. C. **Simulações metodológicas para detectar formação de expectativas e tornar a produção de leite sustentável no Semiárido Cearense.** 2018. 99 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

PALIT, A. K., POPOVIC, D., **Computational intelligence in time series forecasting.** Londres : Springer-Verlag, 2005. 372p.

PAUW, K. Measures of poverty and inequality: A reference paper. **Provide technical paper**, 4, South Africa, 2003. Disponível em: <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/15623/1/tp030004.pdf>. Acesso em: 25 maio 2022.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia - fundamentos e aplicações práticas.** Porto Alegre: Agropecuária, 2002.

PEREIRA, G. R.; SILVA JUNIOR, M. M. Correlação entre as secas e as perdas na Agricultura de Sequeiro no Semiárido Nordeste. *In*: I Congresso Nacional da Diversidade do Semiárido (CONADIS), 1., 2018, Natal, RN. **Anais [...]**. Campina Grande, 2018.

PEREIRA FILHO, I. A. *et al.* Cultivo do milho. **Embrapa Milho e Sorgo.** Sete Lagoas, MG, Zona Rural, 2010.

PINHEIRO, J. C. D. **Principais problemas no cultivo e produção da mandioca no Maranhão.** São Luís, EMAPA, 1992. 12p. (EMAPA. Documentos, 14).

PINHEIRO, J. C. D. **A realidade da mandioca no Maranhão.** São Luís: Editora Pascal, 2019. v. 75.

RAMALHO FILHO, A.; MOTTA, P. E. F. **Contexto e objetivos do zoneamento agroecológico para a cultura da palma de óleo nas áreas desmatadas da Amazônia legal.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.

REBELO, E; VALLE, P. O. O uso de regressores dummy na especificação de modelos com parâmetros variáveis. **Revista de Estatística**, São Paulo, v. 3, 3º Quadrimestre, 2002.

REIJNTJES, C. **Agricultura para o futuro: uma introdução à agricultura sustentável e debaixo uso de baixo uso de insumos externos.** Rio de Janeiro: AS-TA, 1994. 324p.

- ROCHA, S. F. **Simulações de sustentabilidade e de formação de expectativas na produção de alimentos na agricultura familiar do Maranhão**. 2018. 114 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- ROCHA, S. F.; LEMOS, J. J. S.; CAMPOS, R. T. Is it possible to be sustainable in the agricultural production for Maranhão state in Brazil?. **Journal of Applied Biotechnology and Bioengineering**, Budapeste, v. 9, n. 3, p. 86-87, 2022. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/67870>. Acesso em: 26 ago. 2022.
- ROSENZWEIG, C., HILLEL, D. Climate change, agriculture and sustainability. In: Lal, R.; UPHOFF, N.; STEWART, B. A.; HANSEN, D.O., (Eds.) **Climate change and global food security**. [S.L.], Taylor & Francis, p. 243-268. 2005.
- SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (SAGRIMA). **Maranhão se mantém como terceiro maior produtor de arroz**, São Luís – MA, 2013. Disponível em: <http://senar-ma.org.br/>. Acesso em 1 jan. 2023.
- SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (SAGRIMA). **Perfil da agricultura maranhense**. São Luís - MA, dez./2016.
- SALVIANO, J. I. A. **Relações entre instabilidades das chuvas e indicadores de produção de lavouras de sequeiro no semiárido cearense, Brasil**. 2021. 131 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.
- SALVIANO, J. I. A.; PRAXEDES, A. L. F.; LEMOS, J. J. S. Sinergias entre as instabilidades pluviométricas e a produção de lavouras de sequeiro no semiárido cearense. **Revista Cerrados**, Brasília, v. 18, n. 2, p. 371-394, nov. 2020.
- SANTIAGO, C. M. Maranhão: o despertar de um gigante. **Embrapa Cocais-Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E)**, Brasília – DF, 2017.
- SANTOS, G. R. Agricultura e políticas públicas: uma interpretação das diferenças regionais no cultivo do arroz. **Radar: tecnologia, produção e comércio exterior**. Brasília – DF, n. 7, abr. 2010.
- SENANAYAKE, R. Sustainable agriculture : definitions and parameters for measurement. **Journal of Sustainable Agriculture**, Austrália, v. 1, n. 4, p. 7-28, 1991.
- SILVA, A. B. **O método simplex e o método gráfico na resolução de problemas de otimização**. 2016. 86 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional) – Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2016.
- SILVA, V. P. R. *et al.* Consumo hídrico e viabilidade econômica da cultura do feijão caupi cultivado em clima semiárido. **IRRIGA**, Botucatu-SP, v. 21, n. 4, p. 662-672, 2016.
- SILVA, V. P. R. *et al.* Teleconnections between sea-surface temperature anomalies and air temperature in northeast Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, Canada, v. 68, n. 7, p. 781-792, 2006.

SILVA, F. B. R. ; RICHÉ, G. R.; TONNEAU, J. P.; SOUZA NETO, N. C.; BRITO, L. T.L.; CORREIA, R. C.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, F. H. B. B. ; SILVA, A. B. ; ARAÚJO FILHO, J. C. ; LEITE, A. P. **Zoneamento agroecológico do Nordeste, diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico.** Petrolina, PE: EMBRAPACPATSA/ Recife, PE: EMBRAPA -CNPS. Coordenadoria Regional Nordeste, 1993. v2.

SORENSEN, A. T. Equilibrium Price Dispersion in Retail Markets for Prescription Drugs. **Journal of Political Economy**, Chicago, v. 108, n. 4, p. 833-850, 2000.

SOUZA, G. Em que se apontam os legumes que se dão na Bahia. *In:* SOUZA, G. de. Notícias do Brasil. São Paulo: **Revista dos Tribunais**, [s.l.], p. 94-95. 1974.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE (SUDENE). **Nova delimitação do Semiárido.** Brasília – DF, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolução-condel/sudene-n-150-de-13-de-dezembro-de-2021-370970623>. Acesso em: 1 jan. 2022.

SWINDALE, L. D. **The impact of agricultural development on the environment:** an IARC point of view. [s.l.], West Berlin, 1988.

TEIXEIRA, J. M. **Perfil dos produtores de arroz (*Oriza sativa L.*) na comunidade barroca da vaca, município de Chapadinha – MA.** 2017. 52 f. Monografia (Graduação em Agronomia) –Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2017.

THORNTON, P. K. *et al.* Climate change and poverty in Africa: Mapping hotspots of vulnerability. **African Journal of Agricultural and Resource Economics**, [s.l.], v. 2, n. 311-2016-5524, p. 24-44, 2008.

WANG, Q. *et al.* Forecasting US shale gas monthly production using a hybrid ARIMA and metabolic nonlinear grey model. **Energy**, Nairobi - Kenya, v. 160, p. 378-387, 2018.

WALKER, O. L. **Game theory applications in agricultural decisions.** 1959. 184 f. Dissertation (Doctor of Philosophy) - Iowa State University, Ames, Iowa, 1959.

WIERSEMA, M. ; BANTEL, K. Top management team turnover as na adaptation mechanism: the role of the environment. **Strategic Management Journal**, New York, v. 14, n 7, p. 485-504. 1993.

WINSTON, W. L. Introduction to linear programming. **Operations research: Applications and algorithms**, Belmont - CA, p. 49-126, 2004.

WOLLMANN, C. A.; GALVANI, E. Zoneamento agroclimático: linhas de pesquisa e caracterização teórica-conceitual/Agro-climatic zoning: Research lines and characterization theoretical and conceptual. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia - MG, v. 25, n. 1, 4 jun. 2013.

WOOLDRIDGE, J. M. **Introductory econometrics: A modern approach.** Toebben Drive Independence - KY: South Western Educational, 2012. 881 p.

APÊNDICE A – ESTIMATIVAS DOS VALORES PARA ÁREA COLHIDA, PRODUTIVIDADE E PREÇO DAS CULTURAS DE SEQUEIRO DO MARANHÃO

Tabela 15 – Valores mínimos, máximos, médios e coeficientes de variação (CV) estimados para as áreas colhidas, de arroz, feijão, mandioca e milho para os municípios maranhenses agrupados nas dez regiões definidas na pesquisa

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
	ARROZ									
Área Média (há)	1243,05	2397,43	1659,82	3392,92	3909,13	5956,45	4166,06	2868,43	2795,10	5065,12
Área Mínima	12,67	23,50	7,10	96,50	496,00	438,00	567,00	20,00	1623,57	102,00
Município com menor área	Bacuri	Cachoeira Grande	Santo Amaro do Maranhão	Tufilândia	Trizidela do Vale	Itinga do Maranhão	Nova Iorque	Vila Nova dos Martírios	São Félix de Balsas	Nova Colinas
Área máxima	19980,00	10591,59	6193,94	16844,75	15705,55	37898,78	15300,00	23187,00	4228,47	15960,00
Município Maior área	Turiaçu	Coroatá	Chapadinha	Monção	Codó	Santa Luzia	Colinas	Imperatriz	São Raimundo das Mangabeiras	Balsas
CV (%)	197,04	98,08	93,22	96,02	102,89	114,66	69,96	166,07	25,59	79,66
	FEIJÃO									
Área Média (há)	146,67	354,38	697,92	374,13	439,35	748,75	682,37	416,65	250,37	457,58
Área Mínima	5,00	16,24	29,10	6,00	101,80	77,67	135,50	18,71	60,00	126,57
Município com menor área	Cajapió	Axixá	Santo Amaro do Maranhão	Pedro do Rosário	Trizidela do Vale	Itinga do Maranhão	Nova Iorque	Lajeado Novo	São Félix de Balsas	Nova Colinas

Tabela 15 – Valores mínimos, máximos, médios e coeficientes de variação (CV) estimados para as áreas colhidas, de arroz, feijão, mandioca e milho para os municípios maranhenses agrupados nas dez regiões definidas na pesquisa.

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
(Continua)										
FEIJÃO										
Área máxima	704,00	1772,14	2471,48	1104,13	1635,43	4419,00	4000,00	5395,00	454,33	1780,17
Município Maior área	Santa Luzia do Paruá	Bacabal	Araioses	Bom Jardim	Caxias	Barra do Corda	Colinas	Grajaú	Sambaíba	Balsas
CV (%)	86,76	109,51	86,77	78,16	83,71	128,68	87,31	222,43	55,33	100,87
MANDIOCA										
Área Média (há)	1880,82	1345,24	1997,2	1492,78	630,95	859,31	823,38	320,74	383,30	365,17
Área Mínima	280,50	160,00	173,17	150,25	27,50	31,00	27,00	14,50	210,00	100,00
Município com menor área	Bacurituba	Lago Verde	Duque Bacelar	Bela Vista do Maranhão	Trizidela do Vale	São Raimundo do Doca Bezerra	Nova Iorque	Governador Edison Lobão	Fortaleza dos Nogueiras	Alto Parnaíba
Área máxima	12632,00	3573,27	5941,08	4919,89	4726,27	8740,07	3500,00	3104,79	598,26	900,54
Município Maior área	Turiaçu	Vargem Grande	Urbano Santos	Alto Alegre do Pindaré	Codó	Santa Luzia	Colinas	Imperatriz	São Raimundo das Mangabeiras	Carolina
CV (%)	98,7	62,76	64,44	76,96	163,18	183,02	108,83	200,43	28,50	56,53
MILHO										
Área Média (há)	1079,89	1493,05	1333,98	1963,73	2655,59	4606,88	3080,97	2045,92	1901,48	4337,24
Área	27,05	70,33	127,30	44,50	389,17	89,00	337,00	114,00	421,25	300,00

Mínima

Tabela 15 – Valores mínimos, máximos, médios e coeficientes de variação (CV) estimados para as áreas colhidas, de arroz, feijão, mandioca e milho para os municípios maranhenses agrupados nas dez regiões definidas na pesquisa.

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
	MILHO									
Município com menor área	Bacurituba	Presidente Juscelino	Santo Amaro do Maranhão	Tufilândia	Trizidela do Vale	São Roberto	Barão de Grajaú	São Pedro da Água Branca	Benedito Leite	Tasso Fragoso
Área máxima	10939,50	6824,29	3354,53	5133,46	11223,73	21718,56	11800,00	16580,07	5245,00	18255,69
Município Maior área	Turiaçu	Coroatá	Chapadinha	Bom Jardim	Codó	Santa Luzia	Colinas	Imperatriz	São Raimundo das Mangabeiras	Balsas
	139,06	95,32	56,6	78,61	102,59	95,2	76,65	151,71	118,26	87,36

Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

Tabela 16 – Valores mínimos, máximos, médios e coeficientes de variação (CV) estimados para a produtividade de arroz, feijão, mandioca e milho para os municípios maranhenses agrupados nas dez regiões definidas na pesquisa

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
	ARROZ									
Produtividade Média	986,2	1006,32	1122,01	1270,74	1180,33	1386,83	1229,08	1597,85	1220,03	1526,39
Produtividade Mínima	493,56	528,61	449,42	724,66	759,86	879,80	830,54	1050,12	909,70	821,20
Município com menor Produtividade	Cururupu	Miranda do Norte	Santana do Maranhão	Pedro do Rosário	Aldeias Altas	Arame	Barão de Grajaú	Grajaú	São Félix de Balsas	Carolina
Produtividade	1582,41	2620,14	2202,77	2668,82	1977,23	1812,98	1822,38	2109,87	1598,55	2715,69

máxima

Tabela 16 – Valores mínimos, máximos, médios e coeficientes de variação (CV) estimados para a produtividade de arroz, feijão, mandioca e milho para os municípios maranhenses agrupados nas dez regiões definidas na pesquisa

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
ARROZ										
Município Maior Produtividade	Presidente Sarney	Arari	Magalhães de Almeida	Tufilândia	Bernardo do Mearim	Itaipava do Grajaú	Mirador	São Pedro dos Crentes	Fortaleza dos Nogueiras	Nova Colinas
CV (%)	22,69	37,51	36,07	28,38	17,84	15,16	18,53	13,05	18,85	29,82
FEIJÃO										
Produtividade Média	550,24	393,28	390,19	455,02	390,97	466,5	397,97	467,68	392,17	457,38
Produtividade Mínima	317,81	258,56	281,71	339,33	199,39	352,53	205,66	354,89	250,00	345,64
Município com menor Produtividade	Serrano do Maranhão	Lago Verde	Afonso Cunha	Zé Doca	Timon	São Raimundo do Doca Bezerra	Pastos Bons	São Pedro dos Crentes	São Félix de Balsas	Feira Nova do Maranhão
Produtividade máxima	842,55	615,74	544,11	722,14	538,74	562,59	665,31	619,81	517,68	757,35
Município Maior Produtividade	Cedral	Bacabal	Milagres do Maranhão	Nova Olinda do Maranhão	Trizidela do Vale	Açailândia	Paraibano	João Lisboa	São Félix de Balsas	Nova Colinas
CV (%)	18,67	19,15	17,25	11,49	21,48	9,74	22,59	11,05	21,82	27,27
MANDIOCA										
Produtividade Média	7632,2	6940,27	6723,86	8665,99	7482,74	8771,07	8339,75	8519,46	7417,64	6940,80
Produtividade Mínima	5451,99	1600,00	4623,00	6891,58	5415,39	7000,00	6133,33	6650,00	6400,00	4000,00

(continua)

Tabela 16 – Valores mínimos, máximos, médios e coeficientes de variação (CV) estimados para a produtividade de arroz, feijão, mandioca e milho para os municípios maranhenses agrupados nas dez regiões definidas na pesquisa

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
MANDIOCA										
Município com menor Produtividade	Central do Maranhão	Lago Verde	Belágua	Governador Newton Bello	Peritoró	São José dos Basílios	Presidente Dutra	Sítio Novo	Fortaleza dos Nogueiras	Balsas
Produtividade máxima	10764,51	10177,56	8334,43	11010,00	9390,19	11566,67	10694,12	10666,67	8600,00	9150,00
Município Maior Produtividade	Luís Domingues	Bacabal	Humberto de Campos	São João do Carú	Pedreiras	Marajá do Sena	Senador Alexandre Costa	São Pedro da Água Branca	Benedito Leite	Nova Colinas
CV (%)	15,46	16,03	11,74	11,7	14,84	10,44	11,74	8,27	9,17	15,22
MILHO										
Produtividade Média	602,02	563,37	555,33	658,7	737,74	1318,77	991,53	1884,81	1510,82	2813,97
Produtividade Mínima	357,92	150,00	232,10	423,35	288,53	626,48	249,26	329,76	299,18	75,57
Município com menor Produtividade	Santa Helena	Lago Verde	Chapadinha	Pindaré-Mirim	Timon	Lago do Junco	Barão de Grajaú	Sítio Novo	São Félix de Balsas	Balsas
Produtividade máxima	862,68	1196,47	963,30	1066,96	1399,94	5117,56	3262,34	4760,20	3814,00	8400,00
Município Maior Produtividade	Maranhãozinho	Conceição do Lago-Açu	Brejo	Satubinha	Trizidela do Vale	Itinga do Maranhão	Nova Iorque	São Pedro dos Crentes	São Raimundo das Mangabeiras	Nova Colinas
CV (%)	19,03	30,5	26,7	19,38	32,68	60,36	57,97	37,88	73,07	61,17

Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

Tabela 17 – Valores mínimos, máximos, médios e coeficientes de variação (CV) estimados para os preços de arroz, feijão, mandioca e milho para os municípios maranhenses agrupados nas dez regiões definidas na pesquisa

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
	ARROZ									
Preços Médio	1,86	1,68	1,77	1,48	1,52	1,39	1,45	1,27	1,29	1,23
Preços Mínimo	0,75	0,00	0,91	0,92	0,72	0,78	0,00	0,88	0,00	0,00
Município com menor Preços	Santa Luzia do Paruá	Lago Verde	Paulino Neves	Nova Olinda do Maranhão	São João do Soter	São Roberto	Colinas	Estreito	São Félix de Balsas	Alto Parnaíba
Preços máximo	4,39	2,50	2,59	2,33	2,10	2,34	2,54	2,32	1,97	2,25
Município Maior Preços	Turiação	Morros	Araioses	Penalva	Codó	Lago da Pedra	Matões	Imperatriz	São Félix de Balsas	Riachão
CV (%)	38,9	26,44	20,37	28,9	25,81	26,86	44,49	23,27	57,92	52,06
	FEIJÃO									
Preços Médio	4,97	5,09	4,89	4,72	4,45	3,96	4,07	4,6	4,01	3,53
Preços Mínimo	2,13	0,01	2,05	2,90	1,99	1,69	0,01	2,56	0,01	0,02
Município com menor Preços	Porto Rico do Maranhão	Lago Verde	Santo Amaro do Maranhão	Pedro do Rosário	Capinzal do Norte	São José dos Basílios	Paraibano	São Pedro dos Crentes	Loreto	Tasso Fragoso
Preços máximo	11,82	8,58	8,45	7,63	6,92	6,79	7,28	7,82	6,47	7,04
Município Maior Preços	Turiação	Rosário	Anapurus	Olho d'Água das Cunhãs	Codó	Açailândia	São João dos Patos	Imperatriz	São Félix de Balsas	Carolina
CV (%)	37,64	29,75	26,39	27,53	27,73	29,71	46,39	20,09	56,69	53,84
	MANDIOCA									
Preços Médio	0,69	0,51	0,46	0,57	0,37	0,41	0,31	0,4	0,30	0,35

Tabela 17 – Valores mínimos, máximos, médios e coeficientes de variação (CV) estimados para os preços de arroz, feijão, mandioca e milho para os municípios maranhenses agrupados nas dez regiões definidas na pesquisa

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
	MANDIOCA									
Preços Mínimo	0,22	0,00	0,27	0,27	0,13	0,20	0,00	0,28	0,00	0,00
Município com menor Preços	Santa Luzia do Paruá	Lago Verde	Duque Bacelar	Satubinha	São João do Soter	Lagoa Grande do Maranhão	Paraibano	Ribamar Fiquene	Benedito Leite	Tasso Fragoso
Preços máximo	1,06	0,71	0,65	0,88	0,55	0,76	0,45	0,66	0,47	0,75
Município Maior Preços	Bacuri	Miranda do Norte	Primeira Cruz	Nova Olinda do Maranhão	Santo Antônio dos Lopes	Buriticupu	Nova Iorque	Porto Franco	São Félix de Balsas	Carolina
CV (%)	21,98	19,85	19,22	24,06	22,87	23,32	41,22	20,2	57,69	55,80
	MILHO									
Preços Médio	1,42	1,27	1,41	1,15	1,07	0,97	0,94	0,94	0,94	0,86
Preços Mínimo	0,48	0,00	0,87	0,63	0,71	0,64	0,00	0,57	0,00	0,00
Município com menor Preços	Santa Luzia do Paruá	Lago Verde	Belágua	Araguanã	Bernardo do Mearim	Itaipava do Grajaú	Paraibano	Estreito	Benedito Leite	Tasso Fragoso
Preços máximo	2,67	1,82	2,10	1,85	1,41	1,56	1,67	1,62	1,52	1,61
Município Maior Preços	Carutapera	Rosário	Anapurus	Olho d'Água das Cunhãs	São Luís Gonzaga do Maranhão	Santa Luzia	Buriti Bravo	Imperatriz	Fortaleza dos Nogueiras	Riachão
CV (%)	34,5	23,01	21,46	28,86	18,81	24,38	43,17	20,85	56,41	53,57

Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

APÊNDECE B – PREVISÕES REALIZADAS POR MEIO DA METODOLOGIA BOX JENKINS

PRODUTIVIDADE

Tabela 18 – Modelos ajustados as previsões da produtividade das culturas de sequeiro do Maranhão entre 1933 a 2020

	Produtividade de arroz	Produtividade de feijão	Produtividade de mandioca	Produtividade de milho
Modelo (p, d, q) estimado	1, 1, 1	1, 1, 0	0, 1, 1	1, 1, 0
AR (1)	-0,373*	0,999****	-	-0,578****
MA (1)	0,504**	0,477**	0,544**	-
Diferenciação	1	-	1	1
R^2	0,055	0,351	0,746	0,907
Ljung Box	12,124	18,201	17,629	12,436
MAPE	17,367	10,753	18,375	19,661
BIC	11,086	9,215	15,430	11,312
R Pearson	0,505***	0,969***	0,964***	0,982***

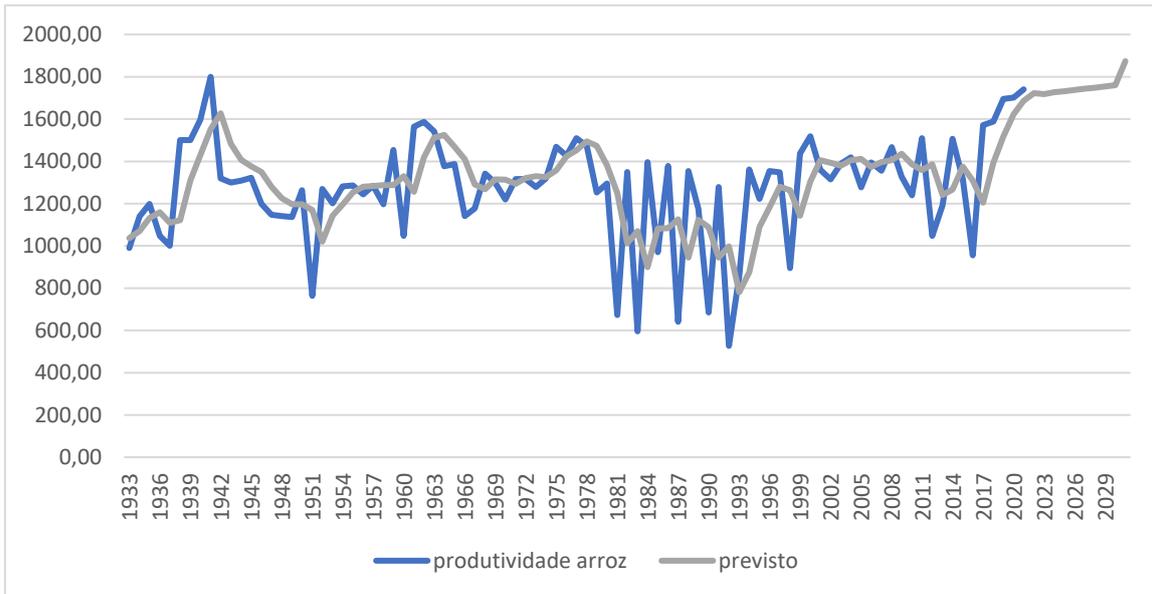
Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

*AR é significativo no nível de 0,007%;

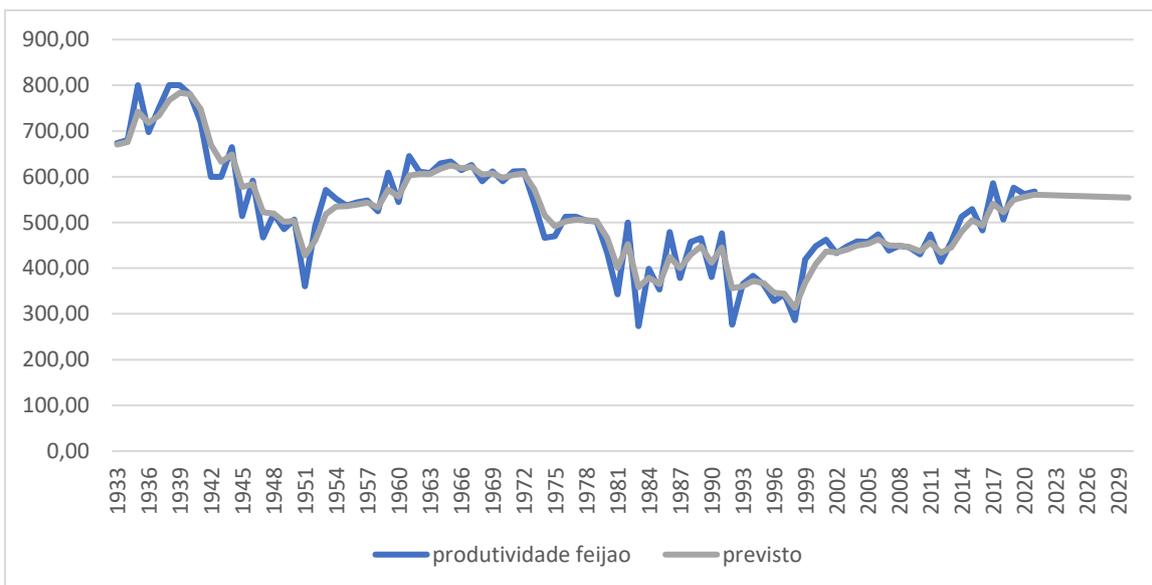
** MA é significativo no nível de 0,000%;

***A correlação é significativa no nível de 0,01 (2 extremidades);

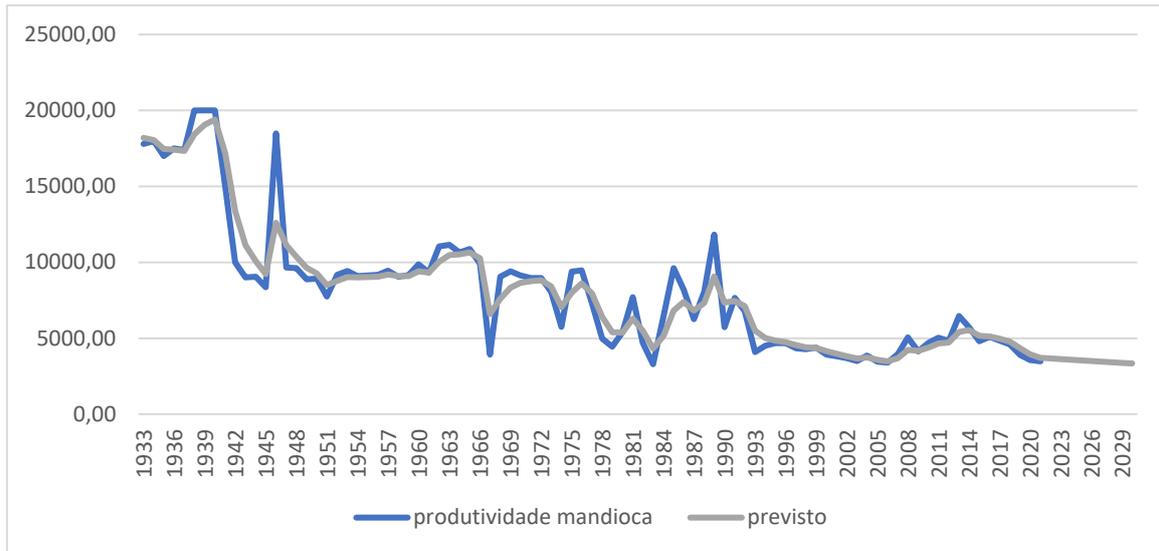
****AR é significativo no nível de 0,000%



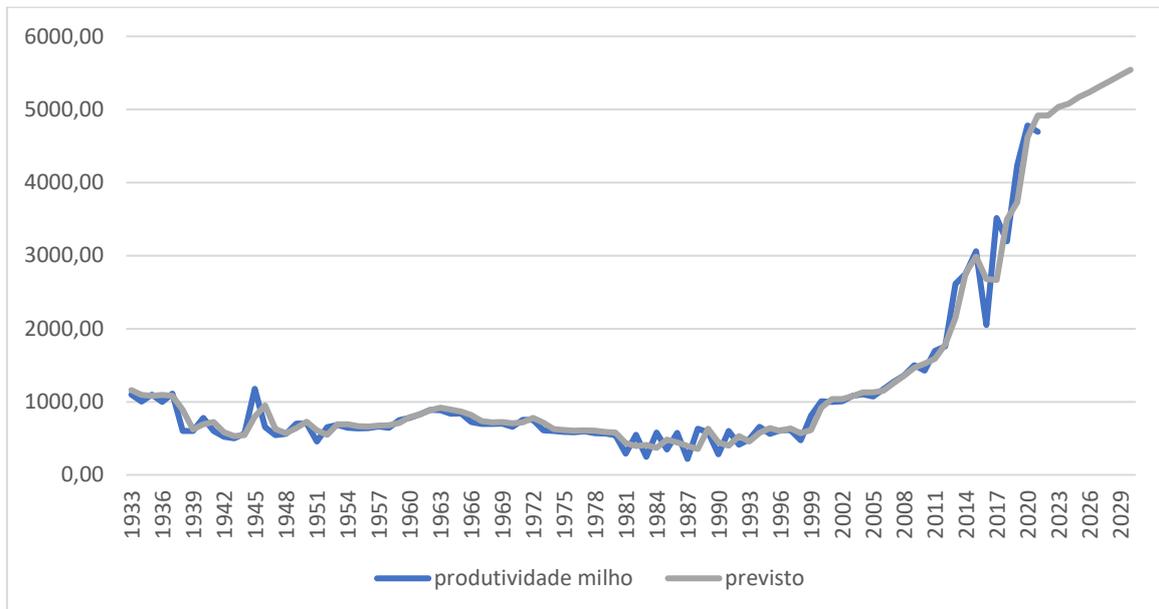
Fonte: Elaborado pela autora (2023).



Fonte: Elaborado pela autora (2023).



Fonte: Elaborado pela autora (2023).



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

PRODUVIDADE PERCAPITA

Tabela 19 – Modelos ajustados as previsões da produtividade per capita das culturas de sequeiro do Maranhão entre 1933 a 2020

	Produtividade per capita de arroz	Produtividade per capita de feijão	Produtividade per capita de mandioca	Produtividade per capita de milho
Modelo (p, d, q) estimado	1, 1, 0	2, 1, 2	1, 0, 1	1, 1, 0
Constante	-	-	5,380*****	-

(continua)

Tabela 20 – Modelos ajustados as previsões da produtividade per capita das culturas de sequeiro do Maranhão entre 1933 a 2020

	Produtividade per capita de arroz	Produtividade per capita de feijão	Produtividade per capita de mandioca	Produtividade per capita de milho
AR (1)	-0,526*	-0,381****	0,932*	-0,401*
AR (2)	-	-0,628*	-	-
MA (1)	-	-0,273*****	0,108*****	-
MA (2)	-	-0,897**	-	-
Diferenciação	1	1	-	1
R^2	0,739	0,748	0,781	0,830
Ljung Box	9,202	11,768	11,671	9,649
MAPE	28,411	22,936	21,586	24,579
BIC	7,681	1,587	9,171	6,545
R Pearson	0,932***	0,977***	0,884***	0,985***

Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

*AR é significante no nível de 0,000%;

** MA é significante no nível de 0,000%;

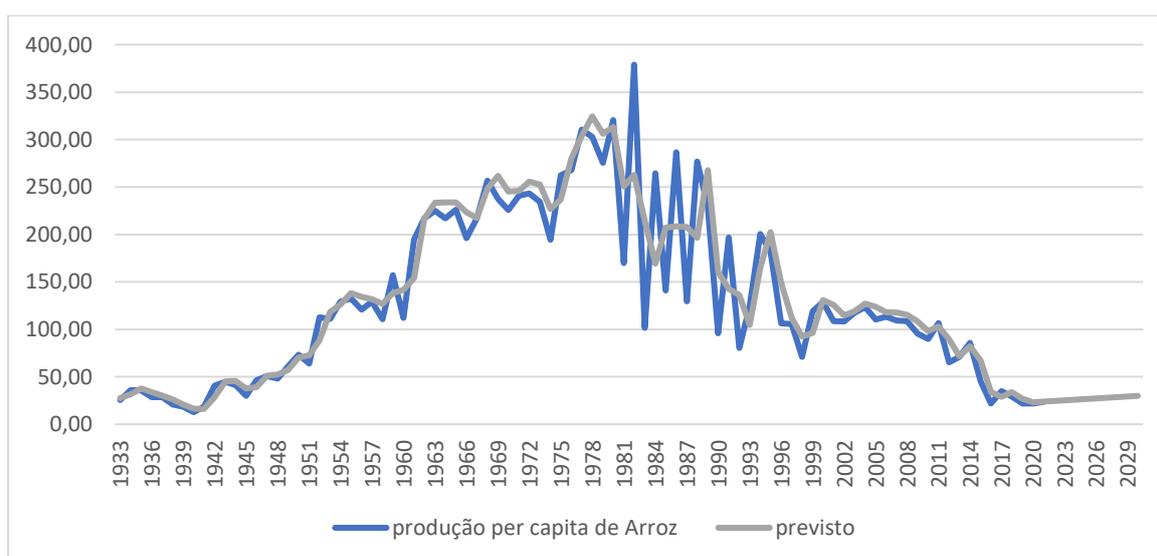
***A correlação é significativa no nível de 0,01 (2 extremidades);

****AR é significante no nível de 0,009%

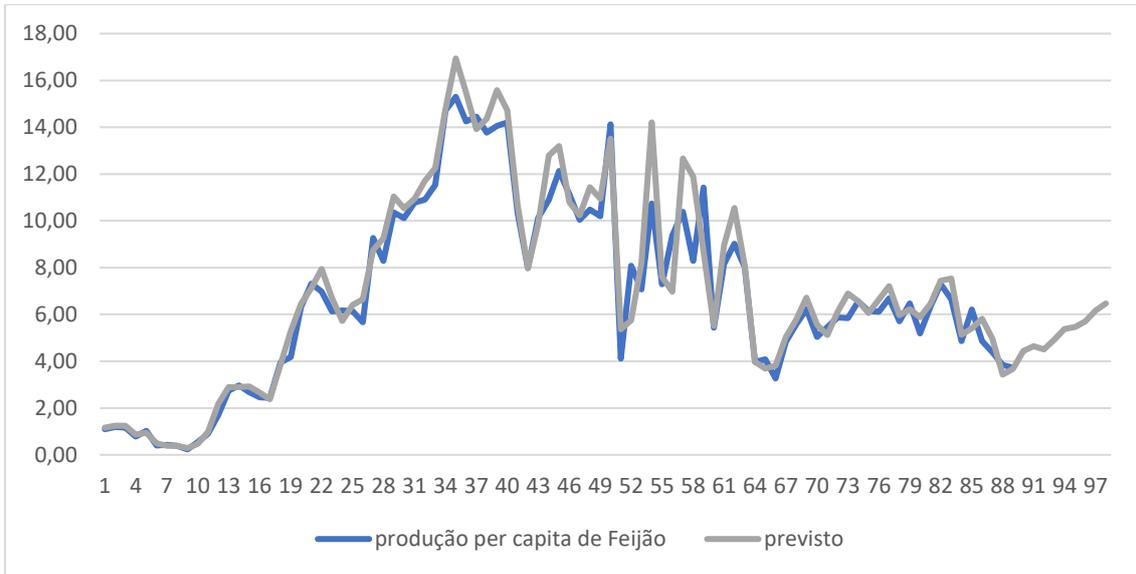
***** MA é significante no nível de 0,003%

***** MA não possui significância (0,378%)

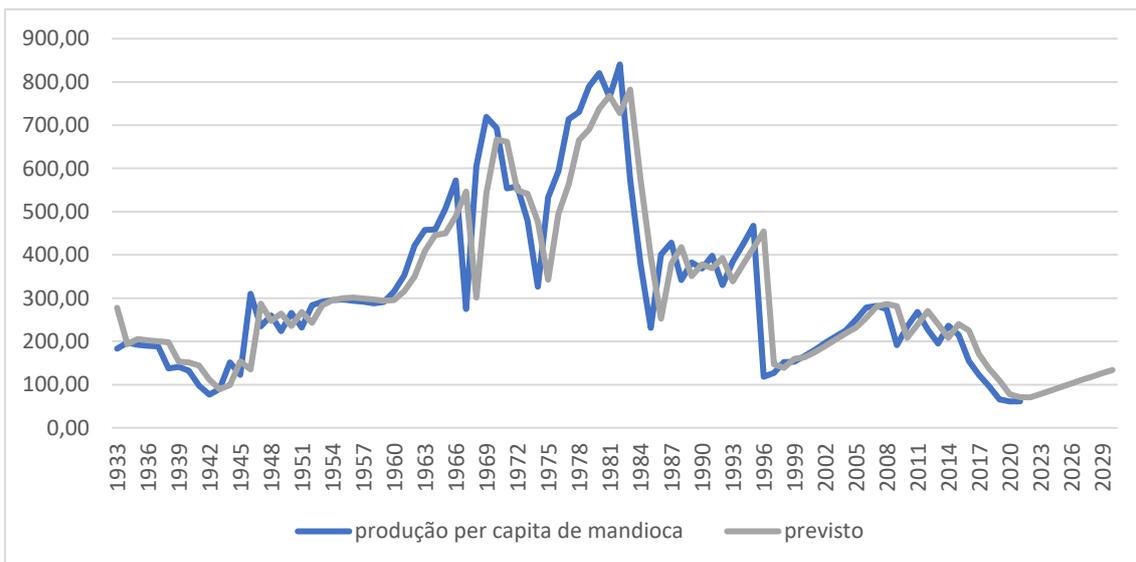
***** Constante é significante no nível de 0,000%.



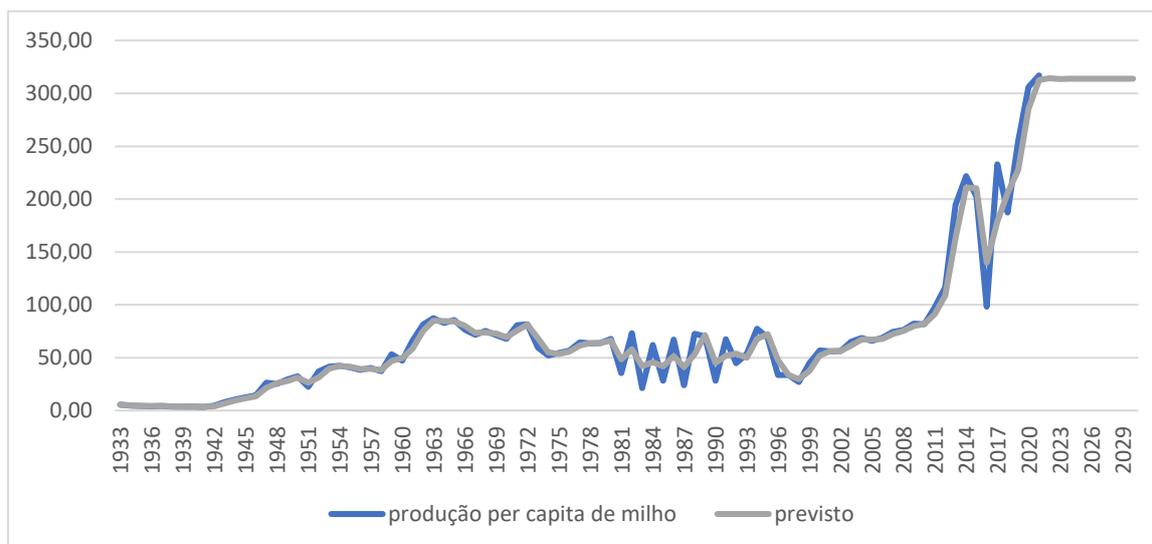
Fonte: Elaborado pela autora (2023).



Fonte: Elaborado pela autora (2023).



Fonte: Elaborado pela autora (2023).



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

RENDA

Tabela 21 – Modelo ajustado a previsão da renda geral das culturas de sequeiro do Maranhão entre 1933 a 2020

(continua)

	Renda geral
Modelo (p, d, q) estimado	0, 1, 1
MA (1)	0,483

Tabela 22 – Modelo ajustado a previsão da renda geral das culturas de sequeiro do Maranhão entre 1933 a 2020

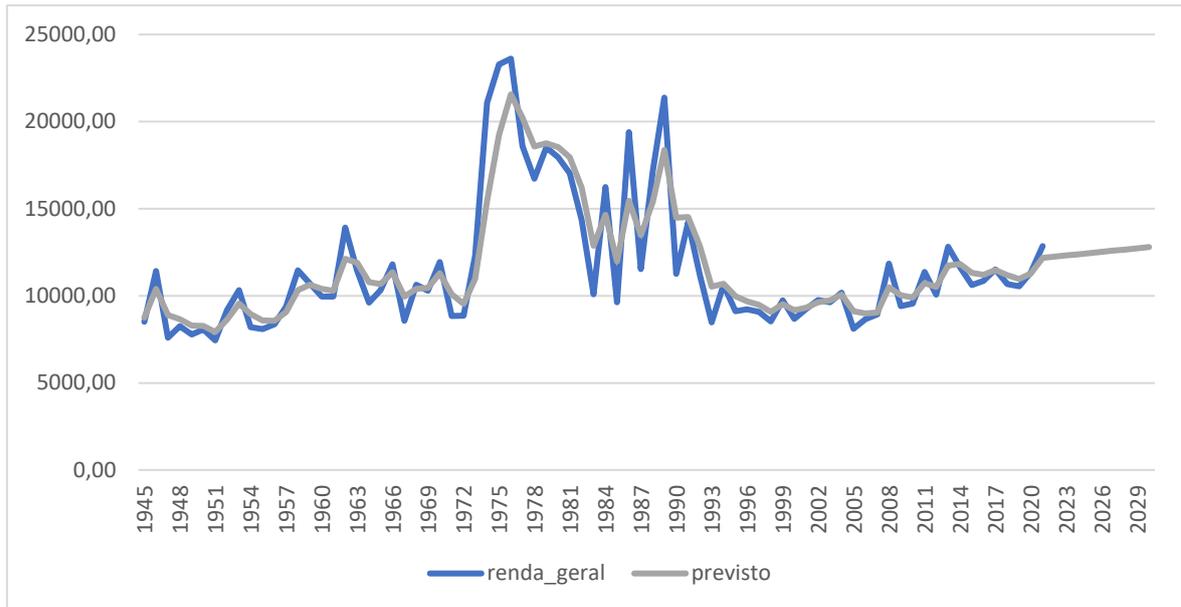
(conclusão)

	Renda geral
Diferenciação	1
R^2	0,434
Ljung Box	15,451
MAPE	15,637
BIC	15,959
R Pearson	0,930***

Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

MA é significativa no nível de 0,000%.

A correlação é significativa no nível de 0,01 (2 extremidades);



Fonte: Elaborado pela autora (2023).