



The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search
<http://ageconsearch.umn.edu>
aesearch@umn.edu

Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.

No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.

Análise fatorial e espacial da modernização agrícola no MATOPIBA

Factorial and spatial analysis of agricultural modernization in MATOPIBA

Maria Larissa Bezerra Batista¹ , Janaina da Silva Alves² , Christiane Luci Bezerra Alves³ , Diego de Maria André² 

¹Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife (PE), Brasil.
E-mail: maria.larissa25@gmail.com

²Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal (RN), Brasil. E-mails: janaina.alves@ufrn.br; diego.andre@ufrn.br

³Programa de Pós-Graduação em Economia Regional e Urbana, Universidade Regional do Cariri (URCA), Crato (CE), Brasil.
E-mail: christiane.alves@urca.br

Como citar: Batista, M. L. B., Alves, J. S., Alves, C. L. B., & André, D. M. (2023). Análise fatorial e espacial da modernização agrícola no MATOPIBA. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 61(3), e261413. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2022.261413>

Resumo: A região do MATOPIBA, formada pelos municípios fronteiriços dos estados do Maranhão (MA), Tocantins (TO), Piauí (PI) e Bahia (BA), é apontada na literatura como a última fronteira agrícola do país, resultante do avanço do agronegócio e do crescimento de um modelo de produção apoiado em alta mecanização. Nesse sentido, o objetivo deste estudo é analisar a situação da modernização agrícola dessa extensão geográfica no ano de 2017. Para isso, as metodologias empregadas consistem na aplicação da Análise Fatorial (AF), Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) e na estimativa do modelo espacial SAC, tendo como variável dependente o Produto Interno Bruto (PIB) agropecuário e como variáveis independentes os fatores obtidos pela AF. Os resultados encontrados indicaram a presença de sete fatores; e apenas o intensivo em capitalização da atividade agrícola (F1), intensivo em exploração do fator terra (F2) e intensivo em máquinas e implementos agrícolas tradicionais (F3) foram estatisticamente significantes. Portanto, é possível concluir que foi identificada a concentração de alguns fatores em determinadas áreas e que a região precisa de maiores investimentos para que possa se consolidar como uma fronteira agrícola.

Palavras-chave: modernização agrícola, MATOPIBA, efeitos espaciais.

Abstract: The MATOPIBA region, formed by the border municipalities of the states of Maranhão (MA), Tocantins (TO), Piauí (PI) and Bahia (BA), is identified in the literature as the last agricultural frontier in the country, resulting from the advance of agribusiness and of the growth of a production model supported by high mechanization. In this sense, the objective of this study is to analyze the situation of agricultural modernization of this geographic extension in the year 2017. For this, the methodologies used consist of the application of Factor Analysis (FA), Exploratory Analysis of Spatial Data (AEDE) and the estimation of the SAC spatial model, having the agricultural Gross Domestic Product (GDP) as the dependent variable and the factors as independent variables obtained by AF. The results found indicated the presence of seven factors; and only the intensive in capitalization of agricultural activity (F1), intensive in exploitation of the land factor (F2) and intensive in traditional agricultural machinery and implements (F3) were statistically significant. Therefore, it is possible to conclude that the concentration of some factors was identified in certain areas and that the region needs greater investments so that it can consolidate itself as an agricultural frontier.

Keywords: agricultural modernization, MATOPIBA, spatial effects.

1 Introdução

As principais transformações do setor agrícola brasileiro ocorreram fundamentadas em acontecimentos que surgiram em âmbitos nacional e internacional. Um fenômeno mundial que acarretou grandes mudanças no segmento foi a chamada Revolução Verde, a qual possibilitou a inserção, no Brasil, a partir dos anos de 1960, de novas técnicas produtivas, aperfeiçoamento



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

de produtos e métodos para aprimorar e elevar a produção e produtividade do campo, como a utilização de agrotóxicos e sementes geneticamente modificadas, baseado no emprego da biotecnologia. O padrão agrário dessa revolução englobou países desenvolvidos e em desenvolvimento, sendo o combate à fome um dos argumentos para o emprego das novas tecnologias do projeto, uma vez que com a ampliação da produção e da produtividade, a demanda por alimentos seria suprida (Ávila et al., 2015). Alves & Tedesco (2015) acrescentam que a Revolução Verde impulsionou a modernização agrícola nacional.

A modernização agrícola, nessa pesquisa, é entendida como a reestruturação na base técnica da categoria, fundamentada no aumento da utilização de insumos modernos, como fertilizantes, corretivos do solo, defensivos e melhoramento de sementes e intensificação da adoção de maquinários, a exemplo dos tratores, colheitadeiras, implementos e equipamentos, com a finalidade de elevar a produtividade dos fatores terra e trabalho (Gonzalez & Costa, 1998; Delgado, 2001). Esse é um processo em que ocorrem modificações técnicas na produção, sendo uma fase caracterizada pelo uso acentuado, nas unidades produtivas, de máquinas e matérias-primas modernas, além de uma maior racionalização do empreendimento e introdução de inovações tecnológicas, referindo-se à aplicação de métodos e mecanismos de preparação e cultivo do solo, de tratos culturais e práticas mais sofisticadas de colheita (Brum, 1988).

O acrônimo MATOPIBA corresponde à região constituída pelos municípios fronteiriços dos estados do Maranhão (MA), Tocantins (TO), Piauí (PI) e Bahia (BA). Ao longo das últimas décadas, sua dinâmica de ocupação do solo passou por vultosas e rápidas transformações, em virtude da expansão das atividades agropecuárias, com uma nova forma econômica de exploração desse território, a partir do cultivo de grãos, especialmente de soja (Porcionato et al., 2018). A área constitui uma fronteira agrícola de ocupação recente no Brasil, em consequência do crescimento do agronegócio e da ampliação de um modelo produtivo baseado em alta mecanização, apoiado em fatores de excelência e competitividade, bem como na adoção de tecnologias modernas, de acordo com o evidenciado pela literatura (Belchior et al., 2017).

Pereira et al. (2018b) asseguram que a agricultura desenvolvida neste espaço é altamente produtiva e faz uso acentuado de insumos modernos, sendo classificada como capital-intensiva, dado o considerável emprego de máquinas, colheitadeiras, matérias-primas e sua diversidade tecnológica. Essa região faz parte do bioma Cerrado e tem passado por uma série de mudanças econômicas e sociais, em decorrência da expansão agrícola, a exemplo da produção de grãos, com ênfase para a soja, milho e algodão, que são favorecidas por suas condições edafoclimáticas favoráveis.

No entanto, é interessante destacar que parte da literatura aponta contradições no padrão de desenvolvimento dessa extensão geográfica, ao afirmar que existe uma grande concentração de riquezas na região, tendo em vista que uma parcela considerável da população se encontra marginalizada dos benefícios provenientes do agronegócio. De outro modo, isso pode revelar que o agronegócio realizado no MATOPIBA é gerador de crescimento econômico, com menor potencial para o desenvolvimento. Além disso, gera uma crescente desigualdade econômica e heterogeneidade dos impactos socioeconômicos, refletidos no desmatamento e concentração da produção, provocando exclusão social, sendo marcado por padrões assimétricos de desenvolvimento em seus municípios. Desse modo, apesar de se constituir uma nova fronteira de oportunidades, o crescimento na região desconsideraria aspectos sociais, ambientais e culturais, levantando à preocupação com a sustentabilidade agrícola em suas diferentes dimensões (Sá et al., 2015; Lima et al., 2016; Bragança, 2018; Favareto et al., 2019; Feitosa et al., 2020; Ribeiro et al., 2020; Lopes et al., 2021).

Com base no exposto, o objetivo geral desse trabalho é analisar a situação da modernização agrícola da região do MATOPIBA no ano de 2017 e os objetivos específicos são: identificar os fatores de modernização agrícola, aplicando o método de Análise Fatorial (AF) e os dados do último Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), referentes à 2017; identificar padrões de associação espacial, através da técnica de Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE); e verificar o efeito da modernização agrícola sobre o Produto Interno Bruto (PIB) agropecuário, por meio da estimação de um modelo econométrico espacial.

Por fim, o artigo está estruturado em quatro seções, além dessa introdução, em que a primeira se trata de uma revisão empírica, que aborda os principais estudos sobre o tema presentes na literatura; a segunda se refere à metodologia, expondo questões relativas aos dados utilizados e aos métodos aplicados; a terceira corresponde aos resultados e discussão, que evidencia os resultados mais importantes encontrados por este estudo; e a quarta traz as considerações finais.

2 Fundamentação Teórica

Considerando as sensíveis transformações no espaço rural brasileiro, especialmente a partir dos anos 1970, com a emergência e posterior consolidação dos complexos agroindustriais, o entendimento dos processos que permeiam esse novo rural no Brasil passam a fazer parte de uma ampla literatura, multidisciplinar sob vários aspectos, em que é imperativo identificar os padrões e tendências da modernização agrícola em curso. É importante enfatizar, ainda, que a partir da reflexão sobre um fenômeno econômico consolidado, em uma conjuntura onde o segmento do agronegócio tem papel decisivo na dinâmica da economia doméstica e na inserção externa do país, os estudos nacionais têm explorado este assunto em âmbito estadual e regional, bem como abordado as diferentes características do processo de modernização agrícola, que ocorrem de acordo com as particularidades de cada espaço.

Medeiros et al. (2015) construíram um Índice de Modernização Agrícola (IMA) para os municípios do estado do Paraná, com a intenção de verificar os determinantes da modernização agrícola nos anos de 1995 e 2006, com dados dos Censos Agropecuários do IBGE e aplicando dois métodos, a AF e a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE). As variáveis usadas estão divididas em três dimensões: mecânica; montante de investimentos e despesas realizadas; e físico-química. A partir da AF, tem-se a criação de seis fatores para o ano de 1995 e sete para 2006, com explicação da variância total de 88,15% e 89,43%, respectivamente. Além disso, foi feita uma classificação dos municípios por nível de modernização, sendo a maioria deles, nos anos em análise, concentrados no grau médio de modernização agrícola.

A AEDE permitiu constatar algumas questões, como o fato de que o valor calculado do I de Moran Global para o IMA, nos dois anos analisados, indicou a presença de autocorrelação positiva entre os municípios paranaenses; e baseado no I de Moran Local, o mapa de *clusters* identificou a formação de *clusters* de alto e baixo IMA, tendo em vista os dois períodos. Portanto, inferiu-se que os indicadores que apresentaram o maior peso na composição do índice proposto formam os primeiros fatores, relativos à maquinarias, adubos, defensivos e irrigação; e observaram-se padrões semelhantes de modernização agrícola no estado do Paraná, altamente relacionados com o tipo de relevo, fertilidade do solo e produtividade agrícola (Medeiros et al., 2015).

O estudo de Irmão (2016) buscou realizar uma investigação do processo de modernização agrícola dos municípios da região Norte do Brasil, com base nos dados dos Censos Agropecuários dos anos de 1995/96 e 2005/06, e utilizando a AF. Como resultado, os autores verificaram a

obtenção de seis fatores, com explicação de 70,88% da variância total dos dados originais, sendo os quatro primeiros, nessa ordem, uma medida de intensidade de exploração da terra; grau de modernização entre as relações de trabalho; grau de modernização de utilização do trabalho e aproveitamento da força de trabalho; e grau de modernização e mecanização. Foi possível concluir que: o processo de modernização agrícola do Norte é lento, demandando uma maior atenção do Estado para a sua consecução; existem condições que impedem o desenvolvimento da agricultura dessa área, como deficiência em termos logísticos, atraso da tecnologia, falta de crédito e assistência técnica; há a presença de aspectos semelhantes entre os seus estados, evidenciando uma homogeneidade, com relação à modernização; e Rondônia e Tocantins são os estados que apresentam destaque na região.

Rossoni (2018) mensuraram a evolução do grau de modernização agrícola dos municípios do Paraná pelo IMA, bem como sua distribuição espacial, através da utilização dos métodos de AF e AEDE para os anos de 1975, 1985, 1995 e 2006. Dessa maneira, notou-se a existência de seis fatores, que explicam 79,89% da variância, possuindo, respectivamente, uma relação positiva com o emprego de insumos agrícolas, a mecanização, o valor do financiamento da agricultura, a irrigação, o montante de despesas e o total de investimentos. No que concerne à AEDE, o I de Moran Global apontou uma autocorrelação espacial positiva em todos os anos. Ainda, o I de Moran Local mostrou que, em 1975, identificaram-se a presença de oito *clusters*, sendo quatro Baixo-Baixo (BB) e quatro Alto-Alto (AA); no ano de 1985, também oito *clusters* (três BB e cinco AA); em 1995 e 2006, foram detectados cinco *clusters* (três BB e dois AA). Inferiu-se, então, que a mecanização do campo e o uso de agrotóxico e adubação são os principais aspectos que definem a modernização agrícola do estado.

Santos et al. (2018) apresentaram, como finalidade da sua pesquisa, a construção de um Índice de Modernização Agropecuária (IMA) da fronteira agrícola do Oeste da Bahia, por meio da AF e com dados dos Censos Agropecuários de 1975, 1985, 1995 e 2006. Nesse sentido, os resultados indicaram a consecução de três fatores, para todos os anos, com uma explanação da variância total de 85,84%, 84,91%, 90,57% e 82,94%, em 1975, 1985, 1995 e 2006, nessa ordem. Portanto, pôde-se perceber que houve uma especialização da ocupação das áreas agrícolas e que esta por si, somente, não se caracteriza em modernização, o que ocorreria se existisse uma utilização contínua de investimentos e tecnologias. Além disso, o Oeste da Bahia pode ser segmentado em três espaços: o polo do agronegócio; Cotegipe, com um nível intermediário de modernização; e um sistema extensivo, composto pelos municípios com um grau menor de progresso.

Beckmann & Santana (2019) tem como propósito verificar o nível de modernização agrícola das microrregiões do MATOPIBA e do Sudeste do Pará, elaborando um IMA pela metodologia de Análise Fatorial. É importante enfatizar que foram selecionados apenas oito indicadores do Censo Agropecuário do IBGE, de 2006, para compor o índice, devido à pequena quantidade de observações, no caso as 38 microrregiões que fazem parte das duas áreas estudadas. Diante disso, observou-se a existência de três fatores, que explanam 85,44% da variância, chamados de fator produtivo; técnicas agrícolas tradicionais e de baixo impacto ambiental; e técnicas de agricultura moderna. Ainda, o grau de modernização das microrregiões ficou entre baixo e intermediário, o que pode ser justificado pelo fato das atividades agrícolas ainda se encontrarem em fase de progresso nessas regiões, sendo classificadas com nível médio duas microrregiões da Bahia e duas do Pará, enquanto o Maranhão, Piauí e Tocantins apresentaram níveis baixos em todas. Constatou-se que, apesar desses espaços possuírem um crescimento, em termos de território, no cultivo de produtos relevantes para o Brasil, a exemplo da soja, milho, algodão e cana-de-açúcar, e aplicar tecnologias desenvolvidas, não podem ser vistos

como áreas modernas em relação a aspectos ligados a biotecnologia, educação e formas de plantio que causem um menor impacto ao meio ambiente.

Fundamentado nos estudos que abordam o tema proposto por esse artigo, é importante salientar a relevância de atualização dessa análise, considerando o ganho de importância recente da região do MATOPIBA e da possibilidade de um painel com dados mais atualizados, extraídos do último Censo Agropecuário, de 2017. Ademais, foi identificado, na revisão de literatura, apenas um trabalho sobre a modernização do MATOPIBA, que faz uso da AF, a pesquisa de Beckmann & Santana (2019). No caso da presente pesquisa, dada a complexidade da temática e necessidade de melhor compreensão do fenômeno, inclusive em nível espacial, para além da AF, utilizaram-se novos elementos metodológicos para o tema, aplicando-se o método da AEDE, além de relacionar os fatores de modernização agrícola com o PIB agropecuário, através da Econometria Espacial.

3 Metodologia

3.1 Fonte e descrição dos dados

As variáveis que medem a modernização agrícola dos municípios da região do MATOPIBA foram obtidas do último Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), do ano de 2017, conforme apresentadas no Quadro 1.

Visto que não é o volume o fator de interesse, mas a intensidade da utilização das tecnologias modernas, os indicadores são expressos em relação à Área Explorada (AE), à mão de obra ocupada, dada por Equivalente-Homem (EH), e ao Total de Estabelecimentos (TE) (Souza & Lima, 2003). A AE se refere ao somatório das áreas de lavouras (permanentes, temporárias e para o cultivo de flores), pastagens (naturais, plantadas em boas condições e em más condições), matas ou florestas plantadas, matas naturais (matas e/ou florestas naturais e matas ou florestas naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal) e sistemas agroflorestais (área cultivada com espécies florestais também usada para lavouras e pastoreio por animais). Enquanto o TE corresponde à quantidade total de estabelecimentos agropecuários (Hoffmann, 1992; Ferreira et al., 2011; Madeira, 2012).

No que se refere ao EH, tem-se que empregar um procedimento de uniformização, uma vez que existem diferenças entre os trabalhadores no que diz respeito ao sexo, idade e ao tipo de dedicação, que implicam no volume de trabalho disponível, sendo necessária, portanto, a aplicação de pesos para cada categoria, retratadas conforme a seguir (Graziano da Silva & Kageyama, 1983; Souza et al., 2009):

- 1) Homens de 14 anos ou mais = 1,0 EH.
- 2) Mulheres de 14 anos ou mais:
 - a. Familiares = 0,5 EH;
 - b. Empregadas = 1,0 EH;
 - c. Parceiras = 0,66 EH.
- 3) Crianças com menos de 14 anos:
 - a. Familiares = 0,4 EH;
 - b. Empregados e parceiros = 0,5 EH.

Quadro 1 - Variáveis que medem a modernização agrícola dos municípios da região do MATOPIBA
- 2017

Variáveis	Descrição
X01	Número de estabelecimentos que possuem tratores/AE
X02	Número de estabelecimentos que possuem tratores/EH
X03	Número de estabelecimentos que possuem máquinas do tipo semeadeiras (plantadeiras)/AE
X04	Número de estabelecimentos que possuem máquinas do tipo semeadeiras (plantadeiras)/EH
X05	Número de estabelecimentos que possuem máquinas do tipo colheitadeiras/AE
X06	Número de estabelecimentos que possuem máquinas do tipo colheitadeiras/EH
X07	Número de estabelecimentos que utilizaram agrotóxicos para controle de pragas e doenças em vegetais/AE
X08	Número de estabelecimentos que utilizaram agrotóxicos para controle de pragas e doenças em vegetais/EH
X09	Número de estabelecimentos que utilizaram agrotóxicos para controle de pragas e doenças em vegetais/TE
X10	Número de estabelecimentos que fizeram adubações química, orgânica ou química e orgânica e uso de calcário e/ou outros corretivos do pH do solo/AE
X11	Número de estabelecimentos que fizeram adubações química, orgânica ou química e orgânica e uso de calcário e/ou outros corretivos do pH do solo/EH
X12	Número de estabelecimentos que fizeram adubações química, orgânica ou química e orgânica e uso de calcário e/ou outros corretivos do pH do solo/TE
X13	Número de estabelecimentos que possuem energia elétrica/TE
X14	EH/AE
X15	Número de estabelecimentos com orientação técnica/AE
X16	Número de estabelecimentos com orientação técnica/EH
X17	Número de estabelecimentos com orientação técnica/TE
X18	Número de estabelecimentos que obtiveram financiamento/AE
X19	Número de estabelecimentos que obtiveram financiamento/EH
X20	Valor da produção (Mil Reais)/AE
X21	Valor da produção (Mil Reais)/EH
X22	Despesas com adubos, corretivos, sementes e mudas, agrotóxicos, medicamentos para animais, sal e rações (Mil Reais)/AE
X23	Despesas com adubos, corretivos, sementes e mudas, agrotóxicos, medicamentos para animais, sal e rações (Mil Reais)/EH
X24	Despesa total (Mil Reais)/AE
X25	Despesa total (Mil Reais)/EH

Fonte: Elaboração própria (2021).

Ademais, devido a não adequação ao modelo de Análise Fatorial, a variável número de estabelecimentos com associação do produtor à cooperativa e/ou à entidade de classe precisou ser excluída, tendo em vista que apresentou communalidade baixa, de 0,24, menor que 0,50. Santana (2005) afirma que variáveis com essa característica devem ser retiradas da análise, por não apresentarem explicação suficiente.

3.2 Métodos de análise

3.2.1 Análise Fatorial (AF)

A estatística multivariada é um tipo de técnica que tem como objetivo a análise de inúmeras variáveis em um único conjunto de relações, ou seja, é capaz de analisar simultaneamente

múltiplas medidas sobre uma população ou objetos de investigação. Além disso, possui várias extensões, dentre as quais está a Análise Fatorial (AF), que tem como principal finalidade identificar uma quantidade relativamente pequena de dimensões latentes comuns (fatores), que podem ser empregadas para representar relações entre um grande número de variáveis inter-relacionadas (Fávero et al., 2009; Hair et al., 2009).

No que concerne ao método de extração dos fatores, foi aplicada a Análise dos Componentes Principais (ACP), que é um modelo fatorial em que os fatores são baseados na variância total e tem como objetivo tomar p variáveis ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_p$), encontrar combinações destas para gerar índices ($Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_p$) que sejam não correlacionados no seu grau de importância e descrever a variação dos dados (Araujo & Coelho, 2009). Guedes et al. (2012) enfatizam que a ACP também tem como característica a ordem decrescente de explicação da variância total pelos fatores, com o fator um explicando mais da variância que os fatores seguintes e assim sucessivamente.

A escolha do número de fatores foi realizada através do critério da raiz latente ou critério de Kaiser, em que são extraídos apenas os fatores com autovalores maiores que um (Figueiredo Filho & Silva Júnior, 2010). Ao passo que a rotação destes foi executada por meio do método rotacional ortogonal *Varimax*, o qual tem como finalidade a maximização da soma das variâncias de cargas impostas e a rotação da matriz, de forma que cada variável esteja fortemente correlacionada com apenas um fator e, nos outros, tenha-se uma baixa correlação, o que significa que cada indicador pertencerá a somente um dos fatores (Fernandes Neto, 2011).

3.2.2 Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) e Análise Econométrica Espacial

A AEDE está fundamentada nas características espaciais do conjunto de dados, ou seja, é capaz de verificar, de forma direta, questões referentes à heterogeneidade e dependência espacial (associação espacial). A finalidade dessa técnica é apresentar a distribuição e os padrões de associação espaciais (*clusters*), além de averiguar a presença de diferentes regimes ou outras maneiras de instabilidade espacial (não-estacionariedade) e detectar observações atípicas (*outliers*) (Perobelli et al., 2007).

A partir desse método, pode ser calculada a autocorrelação espacial de uma variável em uma dada região, através da estatística I de Moran, que matricialmente assume a seguinte forma (Rodrigues et al., 2015):

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{z'Wz}{z'z} \quad (1)$$

em que: n é o número de municípios; z representa os valores da variável padronizada; w_z refere-se aos valores médios da variável padronizada na vizinhança, que são definidos por meio de uma matriz de ponderação espacial w .

No entanto, a estatística I de Moran é uma medida global, o que não permite a observação da correlação espacial em âmbito local. Desse modo, para verificar a existência de *clusters* espaciais locais de valores altos ou baixos e os municípios que contribuem para a presença de autocorrelação espacial, devem ser adotadas medidas como o Indicador Local de Associação Espacial (LISA), através do I de Moran Local (Perobelli et al., 2007).

O LISA, conforme Anselin (1995), é uma estatística que satisfaz dois requisitos, a saber: sua medida para cada observação permite a identificação de agrupamentos espaciais significativos de valores análogos ao redor desta observação e sua soma para todas as observações deve

ser igual ao indicador global de autocorrelação espacial. Além disso, mede a hipótese nula de inexistência de associação espacial local, sendo expressa como:

$$I_i = z_i \sum_j w_{ij} z_j \quad (2)$$

em que: z_i e z_j dizem respeito as variáveis padronizadas e o somatório sobre j , que incluem somente os valores vizinhos a ele e que pertençam ao conjunto J_i , incluindo os vizinhos da observação i ; w_{ij} corresponde ao elemento da matriz de ponderação espacial w . Dada a hipótese de normalidade, o valor esperado da estatística I_i é $E[I_i] = -w_i / (n-1)$ (Anselin, 1995; Galeano et al., 2019; Russo et al., 2012).

O primeiro passo de uma análise espacial é a realização de uma AEDE e o segundo passo é a estimativa de modelos espaciais. Nessa pesquisa, foi estimado o Modelo de Defasagem Espacial com Erro Autorregressivo Espacial ou modelo SAC, em virtude da presença de heterocedasticidade, sendo corrigida pelo método paramétrico.

No modelo SAC, o fenômeno a ser modelado, ocasionalmente, pode ter como requisição que a dependência espacial implícita seja mais intrincada, expressa na forma de uma defasagem da variável dependente e de erros autocorrelacionados espacialmente. Como exemplo, tem-se o caso em que existe um processo de disseminação de uma nova tecnologia agrícola, juntamente com a existência de um efeito não modelado, como uma praga que afeta as plantações, expondo um padrão espacial que se propague por todas as regiões, mas em magnitudes de contágio decrescente, dado por $|\lambda| < 1$ (Almeida, 2012). Assim, por meio das regiões vizinhas, tem-se a presença de uma interação tanto na variável de interesse (y), quanto no erro (ξ). De maneira formal, esse modelo é representado, incluindo uma defasagem espacial e um termo de erro espacialmente dependente, como (Kelejian & Prucha, 1998; Almeida, 2012):

$$y = \rho W_1 y + X\beta + \xi \quad (3)$$

$$\xi = \lambda W_2 \xi + \varepsilon \quad (4)$$

Dessa forma, o modelo estimado, considerando o PIB agropecuário como variável dependente e os sete fatores obtidos pela Análise Fatorial como variáveis explicativas, foi:

$$\ln PIB_{agro} = \beta_0 + \beta_1 F1 + \beta_2 F2 + \beta_3 F3 + \beta_4 F4 + \beta_5 F5 + \beta_6 F6 + \beta_7 F7 + \varepsilon \quad (5)$$

Ademais, espera-se um sinal positivo para todas as variáveis independentes, sendo importante justificar o porquê da utilização de um modelo espacial. Este modelo está sendo empregado em virtude da inclusão, na modelagem, dos denominados efeitos espaciais, que são a dependência espacial e a heterogeneidade espacial, como também é um recurso com o objetivo de mapear as áreas do MATOPIBA que precisam de maiores investimentos em modernização agrícola e, consequentemente, maior crescimento econômico, sendo importante para a focalização dos investimentos privados e direcionamento de políticas públicas.

4 Resultados e Discussão

4.1 Apresentação e nomeação dos fatores de modernização agrícola do MATOPIBA

O método de Análise Fatorial estabelece a necessidade de verificação da adequação do conjunto de variáveis ao modelo, que ocorre a partir da realização de alguns testes, como a

inspeção visual da matriz de correlações, que apontou um número expressivo de correlação maior que 0,30; a estatística KMO, que apresentou um valor de 0,639, sendo, portanto, aceitável e classificado como razoável; o teste de esfericidade de Bartlett, que indicou um valor de 10.233,907 e um nível de significância menor que 0,05%, sendo possível, assim, rejeitar a hipótese nula de que a matriz de correlação é uma matriz identidade; e, por fim, foi feita uma avaliação da matriz de correlação anti-imagem, que pressupõe que todos os valores da diagonal principal, pertinentes a MSA de cada uma das variáveis, sejam iguais ou superiores a 0,5; observou-se que todas apresentaram essa característica, exceto as indicadas de X01, X07 e X19, com valores de 0,482, 0,456 e 0,353, respectivamente. No entanto, decidiu-se por mantê-las na análise, uma vez que, segundo Fávero et al. (2009), como as mesmas possuem altos valores de communalidades e cargas fatoriais, podem permanecer no estudo, além de sua importância apontada pela literatura.

A Tabela 1 exibe, depois da rotação dos fatores pela técnica *Varimax*, a quantidade de fatores constituídos (sete fatores), tendo em vista as 25 variáveis consideradas, que explicam 81,84% da variância total dos dados originais, possuindo autovalores, na seguinte ordem, de 4,333 (F1); 3,962 (F2); 3,221 (F3); 3,213 (F4); 2,296 (F5); 1,749 (F6); e 1,688 (F7). No que se refere à porcentagem da variância explanada por cada um, tem-se que, seguindo uma ordem decrescente, 17,33% é explicado pelo Fator 1; 15,85% pelo dois; 12,88%, Fator 3; 12,85%, Fator 4; 9,19%, Fator 5; 6,99%, Fator 6; e 6,75%, Fator 7.

Tabela 1 - Valores referentes aos autovalores, variância explicada individualmente por cada fator e variância total explicada

Fatores	Autovalores	% da variância explicada por cada fator	% da variância total explicada
F1	4,333	17,33	17,33
F2	3,962	15,847	33,177
F3	3,221	12,883	46,06
F4	3,213	12,851	58,911
F5	2,296	9,186	68,097
F6	1,749	6,994	75,091
F7	1,688	6,751	81,842

No que diz respeito aos valores das cargas fatoriais de cada fator e das communalidades, expostos na Tabela 2, para todos os indicadores de modernização agrícola, tem-se que, no primeiro caso, apenas aquelas apontadas como significantes foram consideradas, sendo um dos aspectos importantes para a nomeação dos fatores. Dessa forma, verificou-se que todas detém um valor igual ou maior que 0,50, condição necessária para que sejam classificadas com significância prática, de acordo com Hair et al. (2005). Com relação às communalidades, constata-se que todas apresentaram valor superior a 0,50, dispendo, deste modo, de explicação suficiente, em conformidade com o que assegura Santana (2005).

Tabela 2 - Valores referentes as cargas fatoriais e as comunalidades para cada variável

Variáveis	Cargas Fatoriais							Comunalidades
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	
X23	0,915	-0,115	0,236	0,112	-0,079	-0,092	0,072	0,939
X25	0,9	-0,142	0,224	0,177	-0,06	-0,059	0,128	0,935
X22	0,835	0,272	0,113	-0,029	-0,083	0,087	-0,122	0,815
X21	0,823	-0,139	0,336	0,209	-0,055	-0,116	0,106	0,881
X24	0,752	0,471	-0,01	-0,028	0,017	0,256	-0,213	0,9
X18	-0,071	0,911	-0,092	-0,158	0,088	-0,11	0,122	0,903
X15	-0,021	0,843	-0,087	0,19	0,079	-0,072	-0,216	0,812
X14	0,05	0,838	-0,097	-0,13	-0,096	0,147	-0,175	0,793
X10	0,005	0,792	-0,035	-0,019	-0,118	0,101	0,134	0,671
X20	0,537	0,681	0,041	-0,019	0,105	0,128	-0,273	0,856
X06	0,333	-0,055	0,868	0,176	-0,081	-0,073	0,12	0,924
X05	0,209	-0,057	0,839	0,047	-0,008	0,17	-0,112	0,794
X04	0,242	-0,106	0,729	0,391	-0,05	0,071	0,27	0,833
X03	0,047	-0,119	0,583	0,217	0,129	0,575	0,024	0,752
X16	-0,002	-0,002	0,098	0,956	0,037	0,025	0,016	0,926
X17	0,141	-0,034	0,156	0,928	0,016	0,099	0,03	0,918
X11	0,157	-0,034	0,382	0,624	-0,089	0,313	0,291	0,751
X12	0,332	-0,051	0,409	0,528	-0,133	0,367	0,245	0,772
X02	0,113	-0,14	0,504	0,507	-0,092	0,175	0,391	0,735
X09	0,005	-0,131	-0,017	-0,019	0,918	0,201	0,074	0,906
X08	-0,114	-0,098	-0,039	0,029	0,912	0,081	0,121	0,878
X07	-0,081	0,351	-0,044	-0,062	0,678	-0,233	-0,117	0,663
X01	-0,108	0,232	0,113	0,18	0,105	0,83	-0,006	0,81
X19	-0,104	-0,03	0,078	0,055	0,143	-0,108	0,802	0,696
X13	0,152	-0,141	0,096	0,265	-0,039	0,373	0,578	0,597

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa (2021).

O último passo da Análise Fatorial se refere à nomeação dos fatores, sendo que cada um foi denominado de acordo com as variáveis que os compõem. Nessa perspectiva, o fator 1, que explica mais da variância total (17,33%) em comparação com os demais, está fortemente correlacionado com os indicadores X23 (despesas com adubos, corretivos, sementes e mudas, agrotóxicos, medicamentos para animais, sal e rações, em mil reais/EH), X25 (despesa total, em mil reais/EH), X22 (despesas com adubos, corretivos, sementes e mudas, agrotóxicos, medicamentos para animais, sal e rações, em mil reais/AE), X21 (valor da produção, em mil reais/EH) e X24 (despesa total, em mil reais/AE), seguindo uma ordem decrescente do valor da carga fatorial. Com base nisso, denomina-se esse fator de intensivo em capitalização da atividade agrícola.

O fator 2 é composto pelas variáveis X18 (número de estabelecimentos que obtiveram financiamento/AE), X15 (número de estabelecimentos com orientação técnica/AE), X14 (EH/AE), X10 (número de estabelecimentos que fizeram adubações química, orgânica ou química e orgânica e uso de calcário e/ou outros corretivos do pH do solo/AE) e X20 (valor da produção, em mil reais/AE), podendo ser intitulado de intensivo em exploração do fator terra. Enquanto o fator 3 é formado pelos indicadores X06 (número de estabelecimentos que possuem máquinas do tipo colheitadeiras/EH), X05 (número de estabelecimentos que possuem máquinas do tipo colheitadeiras/AE), X04 (número de estabelecimentos que possuem máquinas do tipo semeadeiras - plantadeiras/EH) e X03 (número de estabelecimentos que possuem máquinas

do tipo semeadeiras - plantadeiras/AE), sendo, portanto, nomeado de intensivo em máquinas e implementos agrícolas tradicionais.

Os fatores 4 e 5, por sua vez, estão fortemente correlacionados com as variáveis, no primeiro caso, X16 (número de estabelecimentos com orientação técnica/EH), X17 (número de estabelecimentos com orientação técnica/TE), X11 (número de estabelecimentos que fizeram adubações química, orgânica ou química e orgânica e uso de calcário e/ou outros corretivos do pH do solo/EH), X12 (número de estabelecimentos que fizeram adubações química, orgânica ou química e orgânica e uso de calcário e/ou outros corretivos do pH do solo/TE) e X02 (número de estabelecimentos que possuem tratores/EH), podendo ser chamado de intensivo em relação capital-trabalho e práticas extensionistas. Ao passo que o segundo é constituído dos indicadores X09 (número de estabelecimentos que utilizaram agrotóxicos para controle de pragas e doenças em vegetais/TE), X08 (número de estabelecimentos que utilizaram agrotóxicos para controle de pragas e doenças em vegetais/EH) e X07 (número de estabelecimentos que utilizaram agrotóxicos para controle de pragas e doenças em vegetais/AE), denominado, dessa forma, de intensivo em utilização de agrotóxicos na atividade agrícola.

Para finalizar, o fator 6 é composto por somente uma variável, a X01 (número de estabelecimentos que possuem tratores/AE), intitulado de intensivo em tecnologia por terra explorada. Em contrapartida, o fator 7 é formado pelos indicadores X19 (número de estabelecimentos que obtiveram financiamento/EH) e X13 (número de estabelecimentos que possuem energia elétrica/TE), nomeado de intensivo em capitalização em relação à mão de obra e aspecto de infraestrutura.

4.2 Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE)

Com a finalidade de verificar a existência de autocorrelação espacial nas variáveis de interesse, foi calculado o I de Moran global para o PIB agropecuário e os sete fatores extraídos pela Análise Fatorial. Para isso, a matriz de ponderação espacial utilizada foi a matriz Rainha normalizada, em que, segundo Almeida (2012), a concepção de vizinhança, nesse caso, tem como base a ideia de contiguidade, onde dois municípios são vizinhos se partilharem de uma fronteira física comum, tendo em vista que dois municípios contíguos apresentam uma interação espacial maior.

O PIB agropecuário apresentou um I de Moran de 0,253, o que significa que há evidências da presença de autocorrelação espacial positiva, ou seja, que municípios com alto PIB agropecuário são vizinhos de municípios com alto PIB agropecuário e municípios com baixo PIB agropecuário são vizinhos de municípios com baixo PIB agropecuário. Os sete fatores também apontaram a existência de autocorrelação espacial positiva, podendo ser interpretados de forma análoga ao PIB e possuindo valores, respectivamente, de 0,274; 0,466; 0,368; 0,309; 0,490; 0,348; 0,383. Isso revela, por exemplo, no caso do F1, que municípios com alto intensivos em capitalização da atividade agrícola são vizinhos de municípios alto intensivos em capitalização da atividade agrícola. Da mesma forma, municípios baixo intensivos em capitalização da atividade agrícola são vizinhos de municípios baixo intensivos em capitalização da atividade agrícola.

A Figura 1 mostra o mapa de *clusters* LISA univariado para o PIB agropecuário, em que se tem a existência de apenas *clusters* Alto-Alto (municípios com alto PIB agropecuário vizinhos de municípios com alto PIB agropecuário), majoritariamente na Bahia e Maranhão. O PIB agropecuário da Bahia é impulsionado pelo crescimento do agronegócio na região, que apresentou uma participação de 20,7% no PIB do estado no ano de 2019. Esse bom desempenho ocorreu em virtude da elevação da produção de produtos agrícolas, como o milho, a soja e

o sorgo (Bahia, 2020). Por outro lado, tem-se que no Maranhão o setor agropecuário foi o principal segmento que contribuiu para o aumento de 5,3% no PIB do estado no ano de 2017, com cultivo de produtos como o milho, algodão e soja (Emir, 2019).

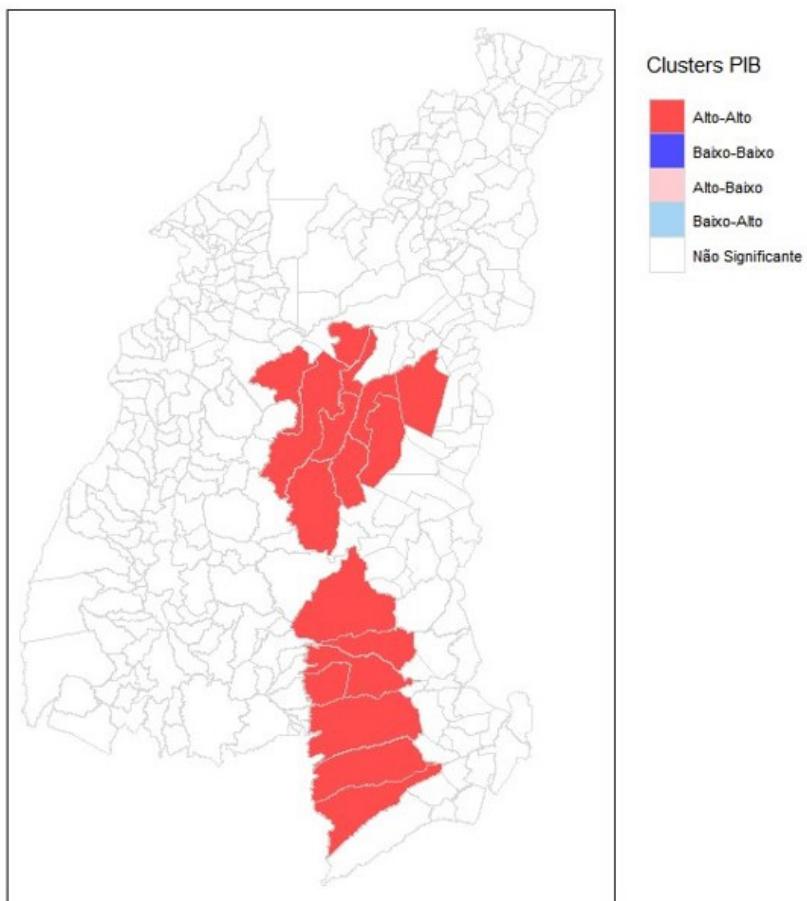


Figura 1 - Mapa de Clusters do PIB agropecuário do MATOPIBA. Fonte: Elaboração própria no software R (2021).

Os mapas de *clusters* dos fatores extraídos pela técnica de Análise Fatorial estão expostos na Figura 2, onde é possível observar que, considerando o F1, identifica-se a presença de *clusters* Alto-Alto principalmente na Bahia, Maranhão e Piauí (Luís Eduardo Magalhães – BA, Barreiras – BA, Sambaíba – MA, Balsas – MA, Santa Filomena – PI, Uruçuí – PI etc.), devido aos altos valores observados para as variáveis que compõe esse fator, com praticamente todas apresentando valores superiores à média da região, como é o caso da produção/EH; despesa total/EH; e despesas com adubos, corretivos, sementes e mudas, agrotóxicos, medicamentos para animais, sal e rações, em mil reais/AE e também por EH.

Tendo em vista o F2, percebem-se *clusters* Alto-Alto somente no Maranhão, mais especificamente nos municípios de Araioses, Água Doce do Maranhão, Tutóia, Paulino Neves e entre outros, que se referem aos municípios alto intensivos em exploração do fator terra rodeados de municípios com essa mesma característica. É importante fazer algumas considerações sobre esse resultado, uma vez que ele pode ter ocorrido em virtude de se tratarem de municípios com valores próximos das variáveis que formam esse fator, sendo a maioria delas maior que a média regional (EH/AE, orientação técnica/AE, financiamento/AE e produção/AE).

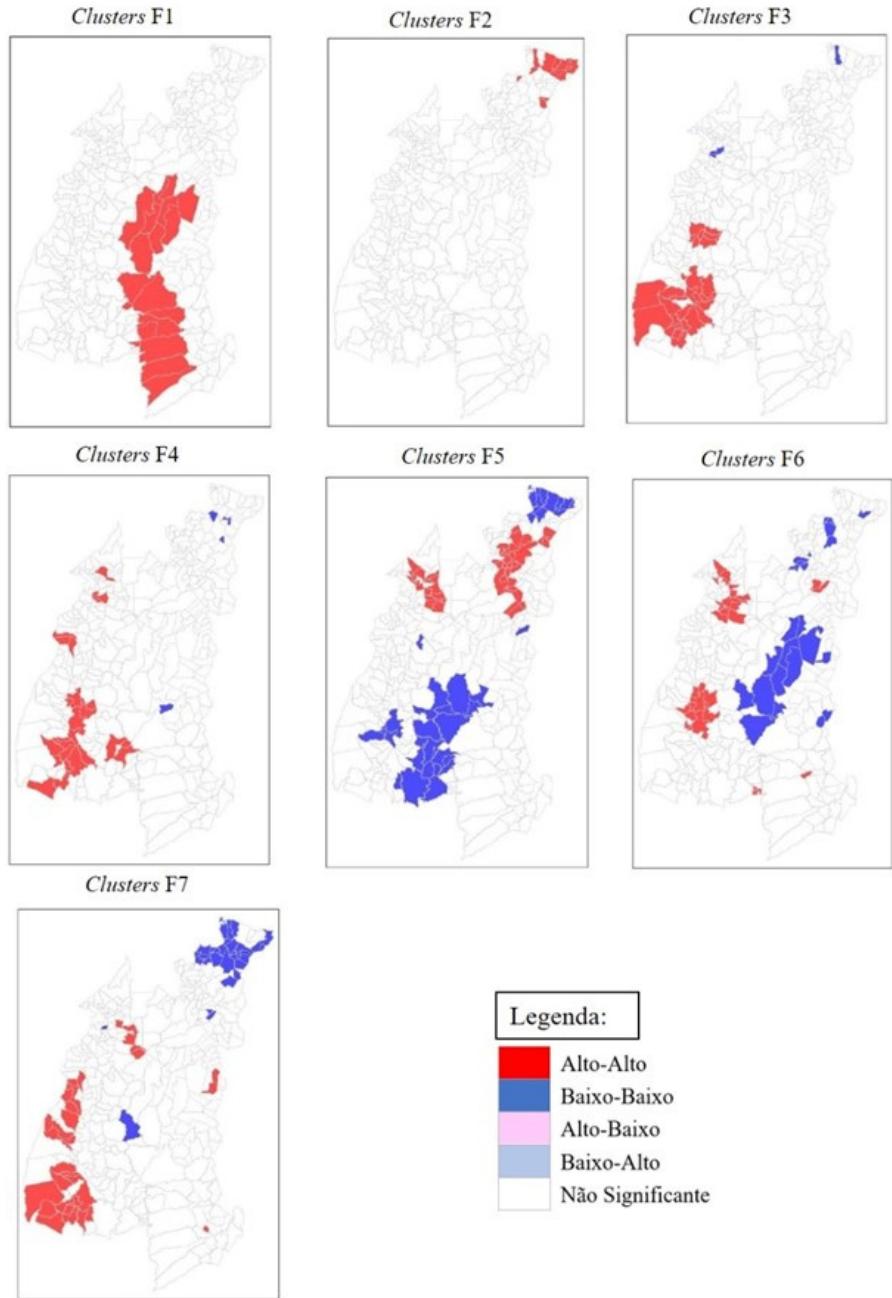


Figura 2 - Mapa de *Clusters* dos fatores da Análise Fatorial. Fonte: Elaboração própria no *software R* (2021).

Por sua vez, a partir do F3, constata-se a existência de *clusters* Alto-Alto apenas em Tocantins, englobando municípios, quando comparados aos demais, com valores próximos e altos nas variáveis deste fator, além de contarem com valores iguais ou superiores à média do MATOPIBA em todos os indicadores (semeadeiras - plantadeiras/AE, semeadeiras - plantadeiras/EH, colheitadeiras/AE e colheitadeiras/EH); e *clusters* Baixo-Baixo em Tocantins (Cachoeirinha, Luzinópolis e Maurilândia do Tocantins) e no Maranhão (Primeira Cruz), onde fazem parte aqueles com valores baixos e iguais ou menores que à média, com alguns não possuindo nenhum dos equipamentos, como é o caso de Luzinópolis (TO) e Primeira Cruz (MA).

Levando em conta o F4, notam-se *clusters* Alto-Alto no Tocantins e Maranhão (Imperatriz e Davinópolis), em que estão municípios com valores superiores à média em quase todas as variáveis deste fator (número de estabelecimentos que fizeram adubações química, orgânica ou química e orgânica e uso de calcário e/ou outros corretivos do pH do solo/EH e também por TE; orientação técnica/EH e por TE); e Baixo-Baixo no Piauí (São Gonçalo do Gurguéia) e Maranhão (Afonso Cunha, Anapurus e São Benedito do Rio Preto), estando aqueles com valores baixos e menores que a média regional.

No caso do F5, tem-se que é verificada a presença de *clusters* Alto-Alto no Maranhão e Tocantins (Itaguatins e Sítio Novo do Tocantins), que são aqueles municípios com alto intensivo em utilização de agrotóxicos na atividade agrícola cercados de municípios com esse mesmo aspecto e que apresentam, ainda, valores iguais ou maiores que a média da região nos indicadores de agrotóxicos para controle de pragas e doenças em vegetais/AE, por EH e também TE, com destaque para Sítio Novo do Tocantins (TO) e Paraibano (MA); e *clusters* Baixo-Baixo em Tocantins, Piauí e no Maranhão, que estão relacionados aqueles com valores baixos e menores que à média.

No que diz respeito ao F6, observam-se *clusters* Alto-Alto na Bahia, Tocantins e Maranhão, englobando municípios com valores acima da média na variável de tratores/AE, que compõe o fator 6, tendo como destaque Combinado (TO) e Jatobá (MA); e Baixo-Baixo no Piauí, Tocantins e Maranhão, onde fazem parte municípios com baixos valores de tratores/AE e alguns que não possuem esse tipo de equipamento, como Nina Rodrigues (MA) e Santana do Maranhão (MA).

Por fim, o F7 apresenta *clusters* Alto-Alto em todos os estados, onde estão municípios com valores acima da média para as variáveis de energia elétrica/TE e financiamento/EH, evidenciando Talismã (TO), Caseara (TO) e Divinópolis do Tocantins (TO), que possuem mais de 98% dos estabelecimentos agropecuários com energia elétrica; e Baixo-Baixo sobretudo no Maranhão, com municípios com valores abaixo da média no indicador de financiamento/EH.

De modo geral, considerando o PIB agropecuário e o conjunto de fatores, a maioria dos *clusters* Alto-Alto se concentram nos estados do Maranhão (PIB agropecuário, fator 1, fator 2, fator 4, fator 5, fator 6 e fator 7) e Tocantins (fator 3, fator 4, fator 5, fator 6 e fator 7); e os Baixo-Baixo aparecem com mais frequência no Piauí (fator 4, fator 5 e fator 6). É relevante colocar que a modernização agrícola no MATOPIBA maranhense é altamente refletida na cultura da soja, que é destaque nessa região desde o início dos anos 1990, com a ocupação de áreas produzidas inicialmente nos cerrados do sul do estado, e depois se espalhando para a região do Baixo Parnaíba, no leste maranhense (Lemos, 2015). Isso é corroborado pelo que afirmam Botelho & Silva (2020), ao assegurar que além da elevação da área plantada, evidencia-se, ainda, a alta produtividade, como consequência de uma acentuada especialização produtiva, informatização, mecanização, correção do solo e acompanhamento técnico. Esse fato também pode ser encontrado no Tocantins, uma vez que o estado é considerado o maior produtor de grãos da região Norte do país.

Em contrapartida, o Piauí apontou ser a área com menor crescimento no intensivo em relação capital-trabalho e práticas extensionistas; utilização de agrotóxicos na atividade agrícola; e tecnologia por terra explorada. Os fatores nos quais o estado se destaca com concentração de *clusters* Alto-Alto, fator 1 e fator 7, apontam para o nível de capitalização da atividade agrícola e para a presença de infraestrutura, o que pode sugerir maior presença do Estado para a dinamização da atividade, papel que deve ser reforçado para amenização de assimetrias municipais não apenas relativas ao fenômeno estudado, mas nos padrões de desenvolvimento dos municípios.

4.3 Análise Econométrica Espacial

A literatura recomenda que antes da estimação do modelo espacial, seja feita a estimação pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Dessa forma, foi considerado o PIB agropecuário como variável dependente e os fatores obtidos pela Análise Fatorial como variáveis independentes, a saber: Fator 1 (intensivo em capitalização da atividade agrícola), Fator 2 (intensivo em exploração do fator terra), Fator 3 (intensivo em máquinas e implementos agrícolas tradicionais), Fator 4 (intensivo em relação capital-trabalho e práticas extensionistas), Fator 5 (intensivo em utilização de agrotóxicos na atividade agrícola), Fator 6 (intensivo em tecnologia por terra explorada) e Fator 7 (intensivo em capitalização em relação a mão de obra e aspecto de infraestrutura).

Na Tabela 3, são apresentados os resultados da estimação do modelo por MQO, em que se verifica que apenas três variáveis (F1, F2 e F3), além do intercepto, foram estatisticamente significantes; pelo teste de Breusch-Pagan foi detectada a presença de heterocedasticidade; pelo teste de Jarque-Bera há evidências de que os resíduos não são normalmente distribuídos; não há evidências de multicolinearidade, uma vez que as variáveis explicativas foram obtidas através da técnica de AF; e o teste I de Moran Global se mostrou significante, indicando a existência de dependência espacial nos resíduos.

Tabela 3 - Estimação do modelo por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO)

Coeficientes	Estimativas
Intercepto	9,998*** (0,050)
F1	0,616*** (0,050)
F2	-0,127** (0,050)
F3	0,285*** (0,050)
F4	-0,036 (0,050)
F5	-0,049 (0,050)
F6	-0,059 (0,050)
F7	0,037 (0,050)
I de Moran Global	0,140**
Jarque-Bera	886,560**
Breusch-Pagan	49,611**
R ²	0,3747
R ² ajustado	0,3614
Número de observações	337

*, ** e *** equivalem a significância de 10%, 5% e 1%, nessa ordem. Os valores entre parênteses são referentes ao desvio padrão.

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa (2021).

Os valores do teste de Multiplicador de Lagrange para a escolha do modelo espacial mais adequado (SAR, SEM ou SAC) estão expostos na Tabela 4, em que se pode observar que somente os testes clássicos (LMerr e LMlag) e o SARMA foram significantes. No entanto, com relação a esse último, é verificada a existência de alguns problemas, como a possibilidade de não identificação do modelo correto caso a hipótese nula ($\rho = \lambda = 0$) seja rejeitada. Com base nisso, o modelo mais apropriado seria o SAR, uma vez que apresenta o maior valor da estatística, mas devido a presença da heterocedasticidade foi estimado o SAC, com correção da heterocedasticidade pelo método paramétrico.

Tabela 4 - Valores do Teste de Multiplicador de Lagrange para escolha do modelo espacial

Modelo	Estatísticas	Graus de Liberdade	Probabilidade
LMerr (SEM)	16,558	1	0
LMLag (SAR)	18,136	1	0
RLMerr (SAR ou SEM)	0,481	1	0,488
RLMLag (SEM ou SAR)	2,059	1	0,151
SARMA (SAC)	18,617	2	0

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa (2021).

Nesse sentido, a Tabela 5 mostra os resultados da estimação do modelo SAC, onde é possível constatar que somente o fator intensivo em capitalização da atividade agrícola (F1), intensivo em exploração do fator terra (F2) e intensivo em máquinas e implementos agrícolas tradicionais (F3) foram estatisticamente significantes, sendo o F1 e F3 a 1%, e o F2 a 5%. Contudo, o sinal do Fator 2 não saiu de acordo com o esperado, tendo em vista que se esperava um sinal positivo.

Tabela 5 - Resultados da estimação do modelo SAC

Coeficientes	Estimativa	Desvio Padrão	P-valor
Intercepto	6,144	1,376	0,000***
F1	0,531	0,13	0,000***
F2	-0,099	0,048	0,038**
F3	0,233	0,07	0,001***
F4	-0,032	0,052	0,531
F5	-0,012	0,042	0,779
F6	-0,037	0,044	0,394
F7	0,005	0,045	0,905
Lambda (λ)	0,38	0,135	0,005***
Rho (ρ)	-0,101	0,178	0,568
I de Moran Global	-0,041	-	0,873
Jarque-Bera	1069,2	-	0
Número de observações	337	-	-

*, ** e *** equivalem a significância de 10%, 5% e 1%, nessa ordem.

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa (2021).

Com relação aos coeficientes espaciais, λ e ρ , tem-se que no caso do primeiro este é estatisticamente significante a 1%, o que significa que existe dependência espacial no termo de erro, ou seja, há a presença de efeitos não modelados que impactam a variável dependente, o PIB agropecuário. No caso do segundo, pode-se perceber que não possui significância estatística, indicando que não é significante a influência dos vizinhos na variável dependente, isto é, não há impacto do PIB agropecuário dos municípios vizinhos no PIB agropecuário do município em questão.

A Tabela 6 expõe os valores dos efeitos diretos, indiretos e totais das variáveis explicativas, em que se podem considerar somente aquelas que foram significativas e que apresentaram o sinal esperado, que nessa situação foram apenas os Fatores 1 e 3. No que se refere aos efeitos diretos, constata-se que o efeito direto do intensivo em capitalização da atividade agrícola de um município sobre o PIB agropecuário do mesmo é de 54,80% e o efeito direto do intensivo em máquinas e implementos agrícolas tradicionais de um município sobre o PIB agropecuário do mesmo é de 24,10%. Em relação aos efeitos indiretos, somente o F1 foi significativo, o que significa que o efeito indireto do fator intensivo em capitalização da atividade agrícola de um

município sobre o PIB agropecuário dos municípios vizinhos é de 30,9%. Por fim, considerando os efeitos totais, é possível observar que o impacto total do fator intensivo em capitalização da atividade agrícola e do fator intensivo em máquinas e implementos agrícolas tradicionais de um município sobre o PIB agropecuário deste e dos seus vizinhos é de 85,70% e 37,60%, respectivamente.

Tabela 6 - Valores dos efeitos diretos, indiretos e totais das variáveis independentes

Variáveis	Efeito Direto	Efeito Indireto	Efeito Total
F1	0,548***	0,309*	0,857***
F2	-0,102**	-0,057	-0,159*
F3	0,241***	0,136	0,376***
F4	-0,033	-0,019	-0,052
F5	-0,012	-0,007	-0,019
F6	-0,038	-0,022	-0,060
F7	0,006	0,003	0,008

*, ** e *** equivalem a significância de 10%, 5% e 1%, nessa ordem.

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa (2021).

Apesar de apenas dois fatores de modernização agrícola apresentarem importância na explicação do PIB agropecuário, é possível evidenciar que, no MATOPIBA, a agricultura tem um papel considerável no crescimento da região, devido, principalmente, ao desenvolvimento do agronegócio, que é forte nos seus estados, e se esta for modernizada, a partir da introdução de insumos e equipamentos modernos, contribuirá ainda mais para o seu avanço, uma vez que isso favorece o aumento da produção e produtividade no campo. Pereira et al. (2018a) concordam com essa afirmação e evidenciam que a agricultura tem preponderância nesta extensão geográfica em relação à participação no PIB, que em 2017 foi de 17,32%. A soja é a principal cultura, com uma produção de 9,8 milhões de toneladas em 2016, o que representa um crescimento de 314% em relação ao ano de 2000.

Ademais, é oportuno refletir sobre os dois fatores significativos neste estudo (fator 1 e fator 3), demonstrando sua relevância para o ambiente rural. O primeiro engloba, em sua maioria, as despesas realizadas na agricultura para que se fortaleça a produção, visando evitar perda total ou parcial das plantações. Isso reforça o argumento do quanto é importante a participação do Estado com políticas públicas de financiamento e suporte para o processo de modernização da região. Enquanto o segundo se refere às máquinas do tipo colheitadeiras e semeadeiras, que, embora, sejam equipamentos tradicionais, permitem a elevação da produtividade agrícola e a redução do desperdício nas etapas do processo produtivo.

5 Conclusões

O MATOPIBA é uma fronteira agrícola de ocupação recente no Brasil, começando a ganhar essa importância nas últimas décadas. Sua delimitação territorial aconteceu com a finalidade da demarcação de uma área com grande capacidade de crescimento do setor agrícola. Essa região possui um dinamismo próspero e perspectiva de desenvolvimento relacionado à utilização e posse de terras, por meio da substituição de pastagens em extensas faixas e cerrados por uma agricultura mecanizada. O seu progresso possibilitou a atração de muitos investimentos, tanto internos quanto externos, permitindo melhorias na infraestrutura, que facilitou o escoamento das safras. Além disso, está presente nessa extensão geográfica a expansão do agronegócio, que gera emprego e renda. No entanto, a literatura existente sobre o tema tem apontado para

contradições no padrão de desenvolvimento da região, expondo aspectos das desigualdades intrarregionais, como as fortes assimetrias municipais, os níveis de concentração de renda, entre outros, o que gera o questionamento sobre os limites do crescimento econômico em curso para contribuir, especialmente, para o desenvolvimento rural sustentável.

A modernização agrícola é compreendida como a incorporação de instrumentos tecnológicos e matérias-primas modernas no espaço rural, a exemplo do maior uso de tratores, semeadeiras, colheitadeiras, fertilizantes e adubações, que proporciona a ocorrência de modificações técnicas na produção.

A partir da aplicação da Análise Fatorial, foi possível perceber que foram criados sete fatores, que, conjuntamente, explicam 81,8% da variância total dos dados originais. Estes foram nomeados de intensivo em capitalização da atividade agrícola, intensivo em exploração do fator terra, intensivo em máquinas e implementos agrícolas tradicionais, intensivo em relação capital-trabalho e práticas extensionistas, intensivo em utilização de agrotóxicos na atividade agrícola, intensivo em tecnologia por terra explorada, e intensivo em capitalização em relação a mão de obra e aspecto de infraestrutura.

A partir da Análise Exploratória de Dados Espaciais, nota-se que existe uma concentração de alguns fatores em determinadas áreas, em que predominam os *clusters* Alto-Alto, como é o caso do estado do Maranhão e Tocantins, o que pode ser explicado pelo maior desenvolvimento da agricultura nesses locais e, consequentemente, maior modernização agrícola. Essa problemática, portanto, também aponta para fortes assimetrias municipais na modernização agrícola e padrões estaduais heterogêneos que impõem desafios para que sejam pensadas políticas de desenvolvimento rural na perspectiva territorial, além de um esforço em prol de uma governança territorial sustentável que atue em pontos de estrangulamento que se opõem ao desenvolvimento inclusivo, equilibrado em suas diferentes dimensões, além da estritamente econômica. Com relação aos modelos espaciais, através do modelo SAC foi verificado que apenas três fatores foram estatisticamente significantes (intensivo em capitalização da atividade agrícola, intensivo em exploração do fator terra e intensivo em máquinas e implementos agrícolas tradicionais), com o segundo apresentando um sinal contrário ao esperado, evidenciando uma maior relevância dos níveis de capitalização da atividade agrícola e de máquinas e equipamentos tradicionais, na explicação do PIB agropecuário.

Sendo assim, este trabalho contribui com a literatura, tendo em vista que se trata de um estudo para uma região criada recentemente e que é apontada como a última fronteira agrícola do país. Como também, faz o emprego de uma metodologia (modelos espaciais) não empregada em pesquisas que abordam esse tema. Para os trabalhos futuros, recomenda-se que esses possam considerar variáveis ambientais e sociais dentro desse processo, incluindo indicadores que captem também efeitos e impactos sobre a natureza e sociedade, visando identificar melhor os gargalos que ocasionam uma série de desigualdade, concentração e exclusão socioeconômica nos municípios que fazem parte desta área. Ainda, recomenda-se a adoção de políticas públicas que possam não só promover a modernização do segmento na região, mas identificar áreas de maior vulnerabilidade e que demandem a presença do Estado de forma a minimizar assimetrias regionais e potencializar possibilidades de desenvolvimento do MATOPIBA.

Referências

- Almeida, E. (2012). *Econometria espacial aplicada*. (1. ed.). Campinas: Alínea.

- Alves, C. T., & Tedesco, J. C. (2015). A Revolução Verde e a modernização agrícola na mesorregião Noroeste do Rio Grande do Sul – 1960/1970. *Revista Teoria e Evidência Econômica*, 21(45), 257-281.
- Anselin, L. (1995). Local Indicators of Spatial Association - LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 93-115.
- Araujo, W. O., & Coelho, C. J. (2009). *Análise de Componentes Principais (PCA)*. Anápolis: Centro Universitário de Anápolis.
- Ávila, D. F., Griebeler, M. P. D., & Brum, A. L. (2015). Inovação: a modernização da agricultura no Planalto Gaúcho (Brasil). *Revista de Ciências Jurídicas*, 16(2), 156-164.
- Bahia. Secretaria da Agricultura, Pecuária, Irrigação, Pesca e Aquicultura. (2020). *Agronegócio cresce participação no PIB baiano do primeiro semestre/2020*. Recuperado em 23 de fevereiro de 2022, de <http://www.seagri.ba.gov.br/noticias/2020>.
- Beckmann, E., & Santana, A. C. (2019). Modernização da agricultura na nova fronteira agrícola do Brasil: MAPITOBÁ e Sudeste do Pará. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 12(1), 81-102.
- Belchior, E. B., Alcântara, P. H. R., Belchior, E. B. (2017). *Perspectivas e desafios para a região do MATOPIBA*. (16. ed.). Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura.
- Botelho, A. C., & Silva, J. M. P. (2020). Modernização agrícola no MATOPIBA maranhense: circuito espacial produtivo e especialização produtiva em Balsas. *Revista Ciência Geográfica*, 24(3), 1052-1063.
- Bragança, A. (2018). The economic consequences of the agricultural expansion in MATOPIBA. *Revista Brasileira de Economia*, 72(2), 161-185.
- Brum, A. J. (1988). *Modernização da agricultura: trigo e soja*. Petropolis: Vozes.
- Delgado, G. C. (2001). Expansão e modernização do setor agropecuário no pós-guerra: um estudo da reflexão agrária. *Estudos Avançados*, 15(43), 157-172.
- Emir, A. (2019). *Agropecuária foi o setor que mais influenciou no crescimento do PIB maranhense*. Revista Maranhão Hoje. Recuperado em 23 de fevereiro de 2022, de <https://maranhaojohoe.com/agronegocio/agropecuaria-foi-o-setor-que-mais-influenciou-no-crescimento-do-pib-maranhense/>.
- Favareto, A., Nakagawa, L., Kleeb, S., Seifer, P., & Pó, M. (2019). Há mais pobreza e desigualdade do que bem estar e riqueza nos municípios do MATOPIBA. *Revista NERA*, 22(47), 348-381.
- Fávero, L. P., Belfiore, P., Silva, F. D., & Chan, B. L. (2009). *Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões*. (1. ed.). Rio de Janeiro: Elsevier.
- Feitosa, M. M., Lemos, J. D. J. S., & Campos, K. C. (2020). Simulações para produzir soja de forma sustentável na região do MATOPIBA. *Revista Desenvolvimento Regional em Debate*, 10, 196-221.
- Fernandes Neto, A. P. (2011). Uma análise comparativa para o gerenciamento da rotatividade do cliente de telefonia banda larga utilizando técnicas multivariadas dependentes versus independentes. In *Anais do 6º Simpósio de Engenharia de Produção da Região Nordeste*. Campina Grande: ABEPRO.
- Ferreira, P. A. B., Barbosa, D. A., & Sousa, E. P. (2011). Índice de modernização agrícola nos agropolos cearenses. *Revista Ciências Administrativas*, 17(2), 427-446.
- Figueiredo Filho, D. B., & Silva Júnior, J. A. (2010). Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial. *Revista Opinião Pública*, 16(1), 160-185.

- Galeano, E. A. V., Ferrão, R. G., Souza, R. C., & Tanques, R. C. (2019). Mudança na distribuição espacial da produtividade da cafeicultura no Espírito Santo nos anos 2011-2016. *Revista Multi-Science Research*, 2(1), 88-112.
- Gonzalez, B. C. R., & Costa, S. M. A. L. (1998). Agricultura brasileira: modernização e desempenho. *Revista Teoria e Evidência Econômica*, 5(10), 7-35.
- Graziano da Silva, J., & Kageyama, A. A. (1983). Emprego e relações de trabalho na agricultura brasileira: uma análise dos dados censitários de 1960, 1970 e 1975. *Revista Pesquisa e Planejamento Econômico*, 13(1), 235-266.
- Guedes, H. A. S., Silva, D. D., Elesbon, A. A. A., Ribeiro, C. B. M., Matos, A. T., & Soares, J. H. P. (2012). Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(5), 558-563.
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Black, W. C. (2005). *Análise multivariada de dados* (5. ed.). Porto Alegre: Bookman Companhia Editorial.
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Black, W. C. (2009). *Análise multivariada de dados*. (6. ed.). Porto Alegre: Bookman Companhia Editorial.
- Hoffmann, R. (1992). A dinâmica da modernização da agricultura em 157 microrregiões homogêneas do Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 30(4), 271-290.
- Irmão, L. C. (2016). Modernização agrícola na região Norte: comparativo dos censos de 1995 e 2005. *Revista de Economia Agrícola*, 63(1), 57-74.
- Kelejian, H. H., & Prucha, I. R. (1998). A generalized spatial two-stage least squares procedure for estimating a spatial autoregressive model with autoregressive disturbances. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 17(1), 99-121.
- Lemos, J. J. S. (2015). Efeitos da expansão da soja na resiliência da agricultura familiar no Maranhão. *Revista de Política Agrícola*, 24(2), 26-37.
- Lima, D. A. E., Nóbrega, M. L. C., & Alves, V. (2016). Perspectivas do Plano de Desenvolvimento Agropecuário do MATOPIBA, avanço do cultivo da soja e ajuste espacial. In *Anais do Simpósio sobre Reforma Agrária e Questões Rurais*. Araraquara: UNIARA.
- Lopes, G. R., Lima, M. G. B., & Reis, T. N. (2021). Maldevelopment revisited: inclusiveness and social impacts of soy expansion over Brazil's Cerrado in MATOPIBA. *World Development*, 139(C), 1-17.
- Madeira, S. A. (2012). *Análise da modernização agrícola cearense no período de 1996 e 2006* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará.
- Medeiros, E. R., Camara, M. R. G., Caldarelli, C. E., & Sereia, V. J. (2015). Fatores da modernização agrícola no Paraná para os anos de 1995 e 2006. *Revista do Desenvolvimento Regional*, 20(2), 400-425.
- Pereira, C. N., Castro, C. N., & Porcionato, G. L. (2018a). Expansão da agricultura no MATOPIBA e impactos na infraestrutura regional. *Revista de Economia Agrícola*, 65(1), 15-33.
- Pereira, C. N., Porcionato, G. L., & Castro, C. N. D. (2018b). Aspectos socioeconômicos da região do MATOPIBA. *Boletim Regional. Urbano e Ambiental, Brasília*, 18, 47-59.
- Perobelli, F. S., Almeida, E. S., Alvim, M. I. S. A., & Ferreira, P. G. C. (2007). Produtividade do setor agrícola brasileiro (1991-2003): uma análise espacial. *Revista Nova Economia*, 17(1), 65-91.
- Porcionato, G. L., Castro, C. N. D., & Pereira, C. N. (2018). *Aspectos sociais do MATOPIBA: análise sobre o desenvolvimento humano e a vulnerabilidade social* (Texto para Discussão). Brasília, DF: IPEA.

- Ribeiro, L. C., Lôbo, A. S., Silva, L. D., & Andrade, N. F. S. (2020). Padrões de crescimento econômico dos municípios do MATOPIBA. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 58(3), 1-17.
- Rodrigues, K. C. T. T., Brambilla, M. A., Camara, M. R. G., & Venson, A. H. (2015). Uma análise espacial da imigração no Brasil. *Revista Economia e Desenvolvimento*, 27(1), 164-182.
- Rossoni, R. A. (2018). A modernização da agricultura do Paraná. *Revista da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia*, 14(25), 71-102.
- Russo, L. X., Santos, W. O., & Parré, J. L. (2012). Uma análise da convergência espacial do PIB per capita para os municípios da região Sul do Brasil (1999-2008). In Anais do 15º Encontro de Economia da Região Sul. Porto Alegre: ANPEC Sul.
- Sá, H. A., Morais, L., & Campos, C. S. (2015). Que desenvolvimento é esse? Análise da expansão do agronegócio da soja na área do MATOPIBA a partir de uma perspectiva furtadiana. In *Anais do 21º Congresso Brasileiro de Economia*. Curitiba: Corecon.
- Santana, A. C. (2005). *Elementos de economia, agronegócio e desenvolvimento local*. Belém: UFRA.
- Santos, C. D., Sano, E., & Santos, P. (2018). Formação do índice de modernização da fronteira agrícola-oeste da Bahia. *Revista Geo UERJ*, 32, 1-17.
- Souza, P. M., & Lima, J. E. (2003). Intensidade e dinâmica da modernização agrícola no Brasil e nas Unidades da Federação. *Revista Brasileira de Economia*, 57(4), 795-824.
- Souza, P. M., Ponciano, N. J., Mata, H. T. C., Brito, M. N., & Golinski, J. (2009). Padrão de desenvolvimento tecnológico dos municípios das regiões Norte e Noroeste do Rio de Janeiro. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 47(4), 945-969.

Recebido: Fevereiro 23, 2022.

Aceito: Agosto 21, 2022.

JEL Classification: C01, C10, Q10.