

ANÁLISE ESPACIAL DA β -CONVERGÊNCIA ABSOLUTA DA PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA PARCIAL DA TERRA PARA AS MICRORREGIÕES BRASILEIRAS (1990-2020)

Luzia Aparecida Antunes¹, Alysson Luiz Stege²

Resumo: A agricultura é um setor de suma importância para a economia brasileira. Em 2020, o Brasil foi o maior produtor de soja do mundo e, com a grande diversidade de climas, de solos e o avanço da tecnologia observam-se diferenciais da produtividade da agricultura entre as microrregiões brasileiras. Nesse cenário, este estudo buscou identificar se a produtividade agrícola da terra brasileira ao longo de 30 anos (1990 a 2020) apresentou um processo de β -convergência absoluta entre as microrregiões, utilizando como metodologia modelos de econometria espacial com regimes espaciais, que buscam captar diferenças regionais. Encontraram-se evidências da existência de um processo de β -convergência da produtividade agrícola para as microrregiões do Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-Oeste, ou seja, microrregiões com baixa produtividade agrícola pertencente a estas regiões tenderam a crescer mais rapidamente que microrregiões com alta produtividade, diminuindo ao longo do tempo as diferenças entre as produtividades agrícolas.

Palavras-chave: produtividade; microrregiões; econometria espacial; regimes espaciais.

SPATIAL ANALYSIS OF THE ABSOLUTE β -CONVERGENCE OF PRODUCTIVITY OF PARTIAL AGRICULTURAL PRODUCTIVITY OF THE LAND FOR BRAZILIAN MICRO-REGIONS (1990-2020)

Abstract: Agriculture is an extremely important sector for the Brazilian economy. In 2020, Brazil was the largest producer of soybeans in the world and, with the great diversity of climates, soils, and the advancement of technology, differentials in agricultural productivity are observed among Brazilian micro-regions. In this scenario, this study sought to identify whether the Brazilian agricultural land productivity over 30 years (1990 to 2020) presented a process of β -absolute convergence among micro-regions, using as methodology spatial econometric models with spatial regimes, which seek to capture regional differences. Evidence was found of the existence of a β -convergence process of agricultural productivity for micro-regions in the Northeast, Southeast, South and Midwest, that is, micro-regions with low agricultural productivity belonging to these

1 Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Economia Aplicada da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, pesquisadora do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA/FLORESTAL).

2 Professor do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

regions tended to grow faster than micro-regions with high productivity, decreasing over time the differences between agricultural productivities.

Keywords: productivity; micro-regions; spatial econometrics; space regimes.

JEL (classificação JEL): Q10

1 INTRODUÇÃO

Entre os anos de 2019 e 2020, o setor agropecuário foi o setor com a maior taxa de crescimento em relação aos demais setores da economia brasileira. Na safra de 2020/2021, o Brasil foi o maior produtor de soja do mundo, onde o estado do Mato Grosso foi o que apresentou a maior representatividade nacionalmente. O setor agropecuário se refere às atividades de agricultura e de pecuária. A agricultura ou atividade agrícola está relacionada ao cultivo da terra, enquanto a pecuária se relaciona a criação de animais. A junção dessas atividades resulta no conceito de agropecuária. Quando se observa a transformação dos produtos agropecuários realizadas pela indústria, encontra-se o chamado agronegócio (BACHA, 2018, EMBRAPA, 2021).

O crescimento e o desenvolvimento da agropecuária brasileira nos últimos anos podem ser explicados pelo aumento da produtividade agrícola, pelo aumento da área plantada, pelo desenvolvimento de novas tecnologias e de novos e melhores manejos de solo. Segundo Navarro e Campos (2013), o desenvolvimento da agricultura é tido como um crescimento “bifronte”, pois é marcado por grandes taxas de crescimento da produção e altos níveis de produtividade.

Observando a atividade da agricultura elencam-se como fatores cooperativos de seu desenvolvimento as pesquisas promovidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e pelas universidades e institutos agronômicos; o uso do sistema de plantio direto; o aperfeiçoamento de novas e melhores técnicas de produção; o uso de tecnologias cada vez mais sofisticadas no campo; a capacitação da mão de obra que é empregada no setor e as políticas promovidas pelo governo para investimentos na propriedade rural.

Entretanto, o aumento da produtividade agrícola não ocorre de maneira homogênea em todo o território brasileiro, como mostram os estudos de Almeida, Perobelli e Ferreira (2008), Felema, Rahier e Ferreira (2013) e Rahier *et al.* (2016). O comportamento da produtividade agropecuária é influenciado por fatores muitas vezes próprios de cada região como, por exemplo, as estruturas produtivas, as condições ambientais dentre outros.

O Brasil possui grandes disparidades entre as características de cada região, o que resulta em distintas quantidades e qualidade da produção agropecuária. A Região Norte é carente de infraestrutura. A Região Norte expandiu a sua fronteira agrícola a partir de 1995, e atualmente apresenta produtividade agrícola baixa, porém, o cenário de baixo desempenho vem mudando, já que melhorias tecnológicas influenciam positivamente a localidade. A Região Nordeste apresenta grande porção de suas terras no clima semiárido, e devido a isso, apresenta problemas de adaptação para o cultivo de muitas culturas, o que implica em valores de produtividade mais discretos. O Sudeste é a região que abriga a maior parte do setor industrial do país, onde se localizam os maiores centros consumidores e as maiores produções agrícolas, sendo destaque as produções de laranja, café e cana-de-açúcar.

A Região Sul colonizada em grande parte por europeus, se caracteriza por uma estrutura fundiária familiar, com clima favorável a produção de diversas culturas e a Região Centro-Oeste se caracteriza principalmente pela presença de grandes propriedades e pelo seu clima e topografia favoráveis a produção de grãos (MOREIRA; HELFAND; FIGUEIREDO, 2007).

Um fator que influencia fortemente a produtividade agrícola são as condições edafoclimáticas de cada região, conseqüentemente, a produtividade agrícola de determinada região estará sujeita à sua localização e as suas fronteiras agrícolas, ou seja, ao espaço em que se encontra (TEIXEIRA; BERTELLA, 2015). Nos estudos sobre produtividade, as regiões não podem ser tratadas como ilhas isoladas, sendo o espaço um fator fundamental para a análise da agricultura (LOPES, 2004).

Neste contexto, o objetivo deste estudo é analisar empiricamente a existência de um processo de β -convergência absoluta da produtividade agrícola entre as microrregiões do Brasil entre os anos de 1990 a 2020, considerando o espaço e as diferenças regionais, através de um modelo econométrico espacial e com regimes espaciais. Salienta-se que, a β -convergência absoluta da produtividade será analisada apenas para as culturas temporárias e as culturas permanentes.

A β -convergência é um processo em que uma variável apresenta valores discrepantes, mas, ao longo do tempo essas diferenças acabam ou diminuem. Pode-se dividir a β -convergência em absoluta e condicional. A β -convergência absoluta observa o valor inicial e final da produtividade, neste caso, supõe-se que a taxa de crescimento da produtividade está em função apenas da produtividade inicial. Já β -convergência condicional considera que o crescimento da produtividade não é apenas em função da sua condição inicial, mas também de outras variáveis que possam explicar a produtividade (LOPES, 2004).

Desse modo, a β -convergência condicional inclui variáveis relevantes, que influenciam o crescimento agrícola, como por exemplo, o número de máquinas no campo. Neste estudo se analisou apenas a β -convergência absoluta, com o intuito de verificar se as disparidades da produtividade entre as microrregiões do Brasil apresentam diminuição ao longo do tempo, ou seja, verificar se as produções estão tendendo a crescer e ficar próximas umas das outras no período de 1990 a 2020. Escolheu-se este período, pois nesse intervalo temporal tem-se a abertura comercial, a estabilização dos preços, a apreciação e depreciação cambial, crises financeiras, crise das *commodities*, início da pandemia causada pela COVID-19 dentre outros eventos.

O estudo da produtividade agropecuária e seu processo de convergência podem ser encontrados em diversos trabalhos internacionais, tais como: Ball, Hallahan e Nehring (2004), Galanopoulos *et al.* (2006), Rahman (2007), Rezitis (2010) entre outros e trabalhos nacionais, tais como: Lopes (2004), Almeida, Perobelli e Ferreira (2008), Rahier *et al.* (2016) etc.

Entretanto, a presente pesquisa diferencia-se da literatura existente, pois se testou a hipótese da existência ou não de um processo de β -convergência absoluta da produtividade agrícola parcial da terra, utilizando a econometria espacial com regimes espaciais, a qual modela a dependência espacial e a heterogeneidade espacial em conjunto. A inclusão do

espaço torna os resultados obtidos com a pesquisa mais robustos, já que o espaço é uma variável fundamental para estudos sobre a produtividade agrícola.

O trabalho está dividido em cinco seções, incluindo esta introdução. A segunda seção apresenta uma breve revisão da literatura; a terceira seção descreve a metodologia empregada no estudo; a quarta seção apresenta os resultados da pesquisa; e, a quinta seção as considerações finais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Para observar o desempenho da agropecuária pode-se utilizar a medida de produtividade. A produtividade é conceituada como a relação entre a produção e os insumos, desta forma, quando se observa que a produção de um bem está crescendo e a quantidade de insumos utilizados para a produção deste bem diminui ou permanece constante, pode-se afirmar que ocorre crescimento da produtividade. O conceito de produtividade é utilizado para observar o desempenho da agropecuária, e existem diferentes formas para seu cálculo. Entre as mais comuns destacam-se a: produtividade parcial dos fatores (PPF), a produtividade total dos fatores (PTF) e o cálculo do valor adicionado (VA) (GASQUES *et al.*, 2004, RAIHER *et al.*, 2016, PUCRS, 2020).

No Brasil nos anos de 1991, 1997 e 2003 se observam que as maiores produtividades da terra medida pelo IPA eram verificadas nas regiões Norte, Sudeste e litoral do Nordeste. A Região Norte apresentava maior importância no início dos anos 90, porém, foi perdendo microrregiões com alta produtividade ao longo do tempo. Em relação a produtividade agropecuária medida pelo valor adicionado, pode-se observar que as maiores concentrações da produtividade são verificadas nos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Espírito Santos, Alagoas e Sergipe. Enquanto as menores produtividades são verificadas nas regiões Norte e parte do Nordeste (PEROBELLI *et al.*, 2007, FELEMA; RAIHER; FERREIRA, 2013).

Dessa forma, se observa na literatura estudos que analisaram a produtividade da agropecuária utilizando as diferentes medidas supracitadas, e pesquisas que a partir do cálculo da produtividade observaram a existência de processos de β -convergência. Os trabalhos que analisam a produtividade da agropecuária são importantes, a fim de, se observar como a agricultura e a pecuária desempenham seus papéis e como ocorrerem as suas evoluções, permitindo examinar quais os fatores que influenciam para que sejam identificadas localidades com menores ou maiores produtividades.

Já os trabalhos que analisam o processo de β -convergência são realizados com o intuito de verificar se, ao longo dos anos, as produções agrícolas e pecuárias tendem a diminuir as suas diferenças de produtividade entre as regiões, levando a uma maior homogeneidade das quantidades produzidas. A presente pesquisa tem como objetivo verificar o processo de β -convergência absoluta da produtividade agrícola parcial da terra, neste sentido, esta seção irá se concentrar na apresentação de trabalhos que estudaram este processo primeiramente apresentando trabalhos internacionais e, posteriormente, citam-se três pesquisas nacionais.

No trabalho realizado por Ball, Hallahan e Nehring (2004), os autores avaliaram a β -convergência da produtividade total dos fatores para 48 estados dos Estados Unidos,

entre os anos de 1960 a 1999. Como resultado, se obteve que a PTF da agricultura americana cresceu em média 1,71% ao ano, e que os estados que apresentavam as menores produtividades foram os que mais cresceram, comprovando a hipótese de que houve um processo de β -convergência da produtividade total dos fatores (PTF) na economia americana, resultado das difusões de informações e técnicas novas, comprovando que houve um *catch-up* tecnológico.

Galanopoulos *et al.*, (2006) analisou o processo de β -convergência da produtividade agrícola para 13 países do mediterrâneo entre os anos de 1961 a 2002. Para isso, os autores analisaram o processo de β -convergência por dois métodos. O primeiro através da β -convergência, em que não se identificou a redução das desigualdades entre as produtividades agrícolas dos países mediterrâneos no período analisado. E o segundo método foi retirado do trabalho de Nahar e Inder (2002), que se baseia em uma estimativa que permite observar cada país individualmente, ainda assim nesse processo apenas Egito, Grécia, Tunísia e Espanha apresentaram β -convergência condicional da produtividade agrícola.

Uma análise sobre β -convergência foi realizada para 16 regiões de Bangladesh entre os anos 1964 a 1992 no trabalho desenvolvido por Rahman (2007). Os resultados identificaram que a taxa média de crescimento da produtividade agrícola foi de 0,9% ao ano, e um dos principais fatores que influenciou nesse crescimento foi o progresso tecnológico, além disso, a hipótese de β -convergência da produtividade agrícola foi confirmada para as regiões de Bangladesh.

Rezitis (2010) avaliou um processo de β -convergência agrícola da Europa e dos Estados Unidos entre os anos de 1973 a 1993, fazendo o uso de um índice de Window Malmquist (WMI) para medir as mudanças da produtividade total dos fatores. Como resultado, o autor verificou que no período avaliado ocorreu um processo de β -convergência da produtividade agrícola, porém a σ -convergência não ocorreu para o período total (1973 a 1993), enquanto para as subamostras, divididas em primeiro período (1973 a 1982) observou-se presença de β -convergência, e segundo período (1983 a 1993), β -convergência da produtividade agrícola e σ -convergência da produtividade agrícola foram significativas.

Lopes (2004) testou a existência de um processo de β -convergência entre os estados brasileiros para os anos de 1960 a 2001, para 11 principais culturas do Brasil. A autora dividiu o período em três subperíodos, o primeiro de 1970 a 2001, o segundo de 1975 a 2001 e o terceiro de 1980 a 2001. Como resultado verificou-se que, a β -convergência absoluta da produtividade agrícola foi encontrada apenas em seis das 11 culturas analisadas. A σ -convergência da produtividade agrícola se apresentou significativa apenas para a cultura da soja e para a β -convergência condicional da produtividade agrícola apenas as culturas de algodão-herbáceo, batata-inglesa e feijão se apresentaram significativas.

Almeida, Perobelli e Ferreira (2008) estimaram um modelo de β -convergência absoluta para a produtividade agrícola de todas as microrregiões brasileiras, entre os anos de 1991 a 2003, controlando a dependência espacial. Em seus resultados foram encontradas evidências de um processo de β -convergência absoluta, exceto para o subperíodo de 1991 a 1994 em que o parâmetro que capta β -convergência da produtividade agrícola não se apresentou significativo.

Rahier *et al.* (2016) analisaram a evolução da produtividade agropecuária e testaram a hipótese de β -convergência da produtividade agropecuária para as microrregiões do Sul do Brasil, entre os anos de 1995 e 2006. Como metodologia os autores empregaram técnicas de econometria espacial, e chegaram a conclusão que a β -convergência absoluta e condicional da produtividade agropecuária ocorreu no período de análise para as microrregiões da Região Sul, o que significa que as disparidades da produtividade agropecuária tenderam a diminuir entre 1995 e 2006.

E apesar de existirem estudos na literatura que tratam sobre a β -convergência da produtividade agropecuária, existe uma lacuna na literatura brasileira referente ao uso dessa metodologia, empregando modelos econométricos que controlem a dependência espacial e a heterogeneidade espacial em nível nacional, neste contexto, a presente pesquisa visa suprimir esta lacuna.

3 METODOLOGIA

O objetivo da presente pesquisa foi testar a hipótese de β -convergência absoluta da produtividade agrícola entre as 558 microrregiões brasileiras no período de 1990 a 2020, modelando a dependência espacial e a heterogeneidade espacial em conjunto, através da utilização de um Índice de produtividade agrícola parcial da terra (IPA). O método que permite tal modelagem é a econometria espacial com regimes espaciais.

O desempenho da agricultura e sua contribuição para a economia pode ser medido por meio do cálculo de sua produtividade. A produtividade pode ser contabilizada através da Produtividade Total dos Fatores (PTF), que, segundo Gasques *et al.* (2010), é o cálculo da produtividade considerando a relação entre produto e insumo, podendo ser estimada a partir do Valor Bruto da Produção (VBP). Outro método que contabiliza a produtividade é através da Produtividade Parcial dos Fatores (PPF), a qual não leva em consideração os insumos utilizados na produção, tais como trabalho, terra e capital. A PPF é utilizada com mais frequência devido à dificuldade de se obter os dados para o cálculo da PTF.

Para esta pesquisa, utilizou-se um índice de produtividade agrícola parcial da terra (IPA) seguindo a metodologia utilizada por Perobelli *et al.* (2007) e Almeida, Perobelli e Ferreira (2008). Matematicamente, o IPA é dado pela Equação 1:

$$IPA_j = \frac{\sum Kg_j}{\sum A_j} \quad (1)$$

Em que, IPA_j é o índice de produtividade agrícola para j -ésima microrregião do Brasil; $\sum Kg_j$ é o somatório em toneladas de todos os produtos agrícolas (culturas temporárias e permanentes) para j -ésima microrregião; e, $\sum A_j$ é o somatório dos hectares plantados com culturas temporárias e permanentes para a j -ésima microrregião.

Os dados utilizados nesta pesquisa foram coletados da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), através da plataforma Sidra. Uma ressalva deve ser realizada com respeito aos dados para os anos de 1990 a 2000. Nestes anos, a PAM divulgou a produção das culturas permanentes em mil

cachos ou mil frutos sendo necessário, a conversão de tais produções em toneladas, para isso, utilizou-se os valores de conversão disponíveis no trabalho de Perobelli *et al.*, (2007).

Ao considerar a dependência espacial na análise do processo de β -convergência da produtividade agrícola, é necessário primeiramente verificar a existência ou não de uma dependência espacial da produtividade agrícola, utilizando as técnicas da Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE). A AEDE é um conjunto de técnicas que descreve e constata como ocorre a distribuição espacial, verificando se determinadas regiões possuem dependências espaciais (ALMEIDA, 2012).

Para a estimação da AEDE, são utilizados testes de autocorrelação global e local. A autocorrelação espacial global é medida através do I de Moran Global, que mede o grau de correlação espacial, ou seja, qual o nível de dependência de determinada região para com seus vizinhos, dada uma variável de análise (ALMEIDA, 2012). O I de Moran Global é expresso pela Equação 2.

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_i \sum_j \sum w_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (2)$$

sendo n o número de microrregiões analisadas; \sum_i o somatório das microrregiões i e \sum_j o somatório para as microrregiões j ; w_{ij} elemento da matriz de ponderação W ; IPA para a microrregião i e j padronizados; e, S_0 é igual ao duplo somatório: $\sum \sum w_{ij}$, que indica que todos os elementos da matriz de pesos espaciais devem ser somados e resultarão em n que é o número de microrregiões que compõe a pesquisa.

O I de Moran Global tem como valor esperado $E(I)=[-1/n-1]$, esse valor ocorre quando não há autocorrelação espacial nos dados, porém, quando o valor encontrado no cálculo do I de Moran está abaixo (acima) do valor esperado indica-se que existe autocorrelação espacial negativa (positiva). Quanto mais próximo de um está o valor encontrado para o I de Moran, mais concentrados estão os dados e quanto mais próximos de zero mais dispersos eles se encontram (ALMEIDA, 2012).

O teste de autocorrelação local, denominado I de Moran Local, calcula um I de Moran individual para cada microrregião. De acordo com Miller (2004), este teste mede a contribuição individual de cada observação na estatística I de Moran Global, capturando simultaneamente as associações e heterogeneidades espaciais, sendo expresso pela Equação 3.

$$I_i = IPA_i \sum_{j=1}^j w_{ij} IPA_j \quad (3)$$

Em que, IPA_i é o valor padronizado da i -ésima microrregião; IPA_j é o valor padronizado da j -ésima microrregião; e, $w_{ij} IPA_j$ são os valores médios da variável de interesse padronizada nos vizinhos, seguindo uma determinada matriz de ponderação.

Neste trabalho, é calculado um I de Moran Local para cada microrregião, estes valores são apresentados no mapa de *clusters LISA*, o qual apresenta as microrregiões estatisticamente significativas do I de Moran Local, dividindo os resultados em quatro tipos de *clusters* espaciais: Alto-Alto (AA), Baixo-Baixo (BB), Alto-Baixo (AB) e Baixo-Alto (BA). O *cluster* espacial do tipo AA (ou BB) representa que uma microrregião com uma elevada produtividade agrícola (ou baixa produtividade) está rodeada por microrregiões com

produtividades agrícolas também elevadas (ou produtividades também baixas); já um *cluster* espacial do tipo AB (ou BA) indica que uma microrregião com uma elevada produtividade (ou baixa produtividade) está rodeada por microrregiões com baixa produtividade (ou elevada produtividade) (ALMEIDA, 2012).

Para testar a hipótese de β -convergência absoluta da produtividade agrícola, entre as microrregiões brasileiras, utilizou-se o modelo proposto por Baumol (1986) alterando a variável renda pela variável produtividade agrícola, de acordo com a Equação 4.

$$\ln\left(\frac{IPA_{2020}}{IPA_{1990}}\right) = \alpha + \beta \ln IPA_{1990} + \varepsilon \quad (4)$$

Em que $\ln\left(\frac{IPA_{2020}}{IPA_{1990}}\right)$ é o logaritmo natural da razão entre a produtividade média entre dois anos em análise, isto é a produtividade em 2020 e a produtividade em 1990; $\ln IPA_{1990}$ é o logaritmo natural da produtividade em 1990; ε , ε é o termo de erro.

De acordo com este modelo, se existir β -convergência absoluta, o parâmetro β será negativo e estatisticamente significativo, assim, microrregiões com elevada produtividade apresentarão menores taxas de crescimento, e ao longo do tempo as produtividades das microrregiões estariam convergindo para um valor em comum. Desta forma, microrregiões com baixa produtividade estariam apresentando taxas maiores de crescimento se igualando as taxas de crescimento maiores.

O modelo estimado empregou a econometria espacial com regimes espaciais seguindo a metodologia de estimação proposta por Anselin (1988) e Almeida (2012). A ideia principal da econometria espacial com regimes espaciais é a existência de distintas respostas dependendo dos subconjuntos da amostra, sendo que “... cada regime espacial representa uma parte do conjunto de dados que exibe uma determinada resposta ao fenômeno” (ALMEIDA, 2012, p. 319), em que a heterogeneidade espacial é encontrada em diferentes interceptos e inclinações da regressão.

Ao estimar o modelo apresentado em (4) utilizando regimes espaciais é necessário reescrevê-lo para acomodar os regimes, neste caso, o conjunto de observações é dividido em cinco subamostras ou regimes, utilizando uma variável indicadora discreta. Cada subamostra corresponde a uma Grande Região brasileira, isto é, Norte (N), Nordeste (NE), Sudeste (SE), Sul (S) e Centro-Oeste (CO). O uso de um modelo econométrico com regimes espaciais, tem a finalidade de controlar a heterogeneidade espacial. Reescrevendo o modelo apresentado em (4) empregando os regimes espaciais, tem-se a Equação 5:

$$\begin{pmatrix} \ln \left(\frac{IPA_{2020N}}{IPA_{1990N}} \right) \\ \ln \left(\frac{IPA_{2020NE}}{IPA_{1990NE}} \right) \\ \ln \left(\frac{IPA_{2020SE}}{IPA_{1990SE}} \right) \\ \ln \left(\frac{IPA_{2020S}}{IPA_{1990S}} \right) \\ \ln \left(\frac{IPA_{2020CO}}{IPA_{1990CO}} \right) \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_N \\ \alpha_{NE} \\ \alpha_{SE} \\ \alpha_S \\ \alpha_{CO} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \ln IPA_{1990N} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \ln IPA_{1990NE} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ln IPA_{1990SE} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ln IPA_{1990S} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \ln IPA_{1990CO} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_N \\ \beta_{NE} \\ \beta_{SE} \\ \beta_S \\ \beta_{CO} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_N \\ \varepsilon_{NE} \\ \varepsilon_{SE} \\ \varepsilon_S \\ \varepsilon_{CO} \end{bmatrix} \quad (5)$$

onde: $\ln \left(\frac{IPA_{t+n,h}}{IPA_{n,h}} \right)$ é o logaritmo natural da razão entre a produtividade do período final e a produtividade do período inicial para cada Grande Região; $\ln IPA_{n,h}$ é o logaritmo natural da produtividade no período inicial para cada grande região; α_h é um vetor de constantes para cada grande região; β_h é um vetor dos coeficientes que serão estimados para cada grande região; e, ε_h é um vetor de erros para cada grande região.

Uma vez que o objetivo da presente pesquisa é testar a hipótese de β -convergência absoluta da produtividade agrícola das microrregiões brasileiras controlando tanto a heterogeneidade espacial quanto a dependência espacial, foram estimados os modelos econométricos espaciais do tipo defasagem espacial e erro espacial, ambos com regimes espaciais, os quais são apresentados pelas Equações (6) e (7), respectivamente:

$$\begin{pmatrix} \ln \left(\frac{IPA_{2020N}}{IPA_{1990N}} \right) \\ \ln \left(\frac{IPA_{2020NE}}{IPA_{1990NE}} \right) \\ \ln \left(\frac{IPA_{2020SE}}{IPA_{1990SE}} \right) \\ \ln \left(\frac{IPA_{2020S}}{IPA_{1990S}} \right) \\ \ln \left(\frac{IPA_{2020CO}}{IPA_{1990CO}} \right) \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_N \\ \alpha_{NE} \\ \alpha_{SE} \\ \alpha_S \\ \alpha_{CO} \end{bmatrix} + \rho W \begin{pmatrix} \ln \left(\frac{IPA_{2020N}}{IPA_{1990N}} \right) \\ \ln \left(\frac{IPA_{2020NE}}{IPA_{1990NE}} \right) \\ \ln \left(\frac{IPA_{2020SE}}{IPA_{1990SE}} \right) \\ \ln \left(\frac{IPA_{2020S}}{IPA_{1990S}} \right) \\ \ln \left(\frac{IPA_{2020CO}}{IPA_{1990CO}} \right) \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} \beta_N \\ \beta_{NE} \\ \beta_{SE} \\ \beta_S \\ \beta_{CO} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ln IPA_{1990N} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \ln IPA_{1990NE} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ln IPA_{1990SE} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ln IPA_{1990S} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \ln IPA_{1990CO} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_N \\ \varepsilon_{NE} \\ \varepsilon_{SE} \\ \varepsilon_S \\ \varepsilon_{CO} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{pmatrix} \ln \left(\frac{IPA_{2020N}}{IPA_{1990N}} \right) \\ \ln \left(\frac{IPA_{2020NE}}{IPA_{1990NE}} \right) \\ \ln \left(\frac{IPA_{2020SE}}{IPA_{1990SE}} \right) \\ \ln \left(\frac{IPA_{2020S}}{IPA_{1990S}} \right) \\ \ln \left(\frac{IPA_{2020CO}}{IPA_{1990CO}} \right) \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_N \\ \alpha_{NE} \\ \alpha_{SE} \\ \alpha_S \\ \alpha_{CO} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta_N \\ \beta_{NE} \\ \beta_{SE} \\ \beta_S \\ \beta_{CO} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ln IPA_{1990N} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \ln IPA_{1990NE} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ln IPA_{1990SE} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ln IPA_{1990S} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \ln IPA_{1990CO} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_N \\ \varepsilon_{NE} \\ \varepsilon_{SE} \\ \varepsilon_S \\ \varepsilon_{CO} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_N \\ \varepsilon_{NE} \\ \varepsilon_{SE} \\ \varepsilon_S \\ \varepsilon_{CO} \end{bmatrix} = \lambda W \begin{bmatrix} \varepsilon_N \\ \varepsilon_{NE} \\ \varepsilon_{SE} \\ \varepsilon_S \\ \varepsilon_{CO} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_N \\ \varepsilon_{NE} \\ \varepsilon_{SE} \\ \varepsilon_S \\ \varepsilon_{CO} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Em que ρ é um escalar do coeficiente autorregressivo, $\mathbf{W} \left(\frac{IPA_{t+n,h}}{IPA_{h,h}} \right)$ é um vetor de defasagens espaciais para a variável dependente; λ é um escalar do parâmetro do erro autorregressivo espacial; e , $\mathbf{W}\zeta_h$ são os erros defasados espacialmente.

O uso dos modelos de defasagem e de erro espacial nesse estudo está relacionado com os possíveis impactos que a produtividade de uma região pode exercer em outra região, e nas variáveis fora da análise que podem impactar as regiões vizinhas, visto que, para a formulação da β -convergência absoluta, utiliza-se apenas o valor da produção inicial de cada região. A escolha entre o modelo de defasagem espacial e erro espacial segue o procedimento proposto por Florax, Flomer e Rey (2003).

O uso ou não dos regimes espaciais é verificado pelo teste de *Chow* Espacial. Esse teste é baseado na comparação da soma dos quadrados dos resíduos de uma regressão, usando todo o conjunto de dados, com a soma dos quadrados dos resíduos obtidos quando todo o conjunto de dados é dividido em subamostras (ALMEIDA, 2012). O teste de *Chow* Espacial é dado pela Equação 9:

$$Ch = \left\{ \frac{(e'_R e_R - e'_{IR} e_{IR}) / k}{n - 2k} \right\} \quad (9)$$

em que e_R é o resíduo por MQO do modelo restrito na subamostra, e e_{IR} é o resíduo por MQO do modelo irrestrito com toda a amostra. A ideia do teste de *Chow* Espacial é que se ele for estatisticamente significativo, rejeita-se a hipótese de uma regressão com todos os dados conjuntamente a favor de uma regressão com distintos regimes espaciais.

Por fim, realizou-se o cálculo da velocidade de convergência obtida através da Equação 10:

$$\theta = \frac{\ln(\beta+1)}{-T} \quad (10)$$

Sendo T é o período analisado;

E o cálculo da meia vida é obtido por meio da Equação 11:

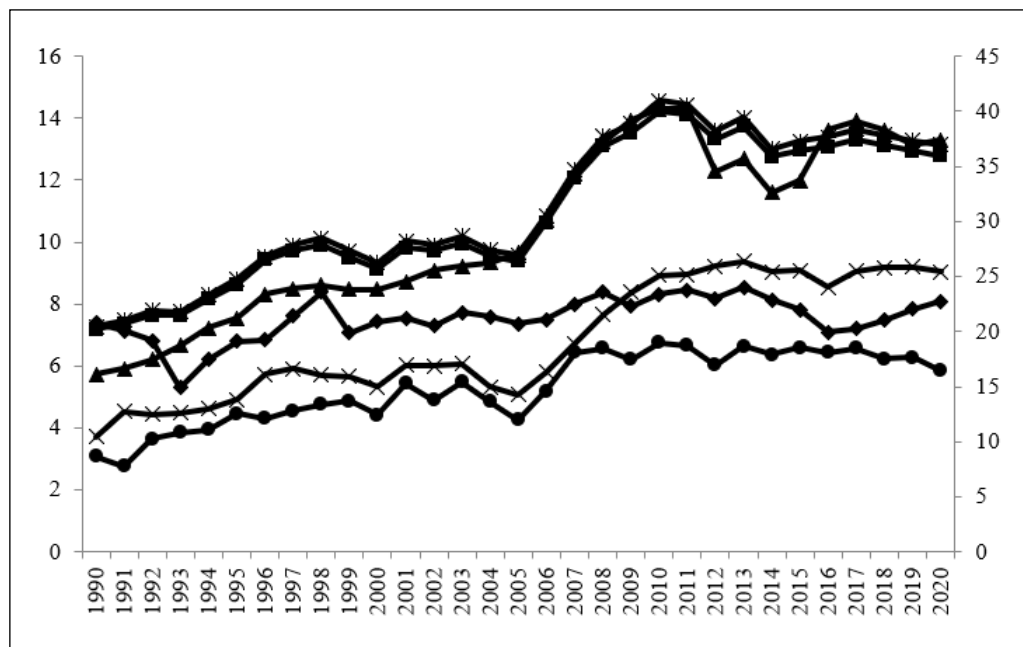
$$MV = \frac{\ln(2)}{\theta} \quad (11)$$

Para maiores detalhes, ver Rey e Montury (1999).

4 RESULTADOS

O Crescimento da produtividade agrícola é um fenômeno esperado, quando se aborda assuntos relacionados a tal tema. Com a evolução e o desenvolvimento das sociedades, torna-se comum a queda da participação do setor agrícola na composição do PIB, porém, a importância do setor é evidenciada no abastecimento de alimentos, na composição da balança comercial, formulação de renda dos agricultores etc., (BACHA, 2017). No Brasil, o crescimento da produtividade agrícola é evidenciado no período de estudo (1990-2020). A Figura 1 apresenta a Evolução da produtividade agrícola para o Brasil e as Grandes Regiões, em que se corrobora o que foi supracitado.

Figura 1: Evolução da produtividade agrícola da terra- IPA (toneladas por hectare) entre os anos de 1990 a 2020 para as Grandes Regiões brasileiras



Fonte: Elaborado pelos autores com dados da PAM (2021)

Nota: Valores em toneladas por hectares

Nota: a Região Sudeste é apresentada no eixo secundário (lado direito)

O crescimento da produtividade agrícola nas Grandes Regiões e no Brasil (Figura 1) é comprovado pela variação percentual e pela taxa geométrica de crescimento, ambos positivos e apresentados pela Tabela 1.

Tabela 1: Variação percentual e taxa geométrica de crescimento anual da produtividade agrícola parcial da terra- IPA entre os anos de 1990 a 2020

Regiões	Variação	Taxa Geométrica de Crescimento Anual
Centro-Oeste	144,04%	3,02%
Nordeste	9,60%	0,31%
Norte	78,07%	1,94%
Sudeste	132,19%	2,85%
Sul	90,05%	2,16%
Brasil	80,79%	1,99%

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da PAM (2021)

Nota: A Região nordeste tinha uma produtividade de 7,38 toneladas por hectares em 1990 e passou a ter 8,08 toneladas por hectares em 2020, o que explica a pequena variação de 9,60% no período

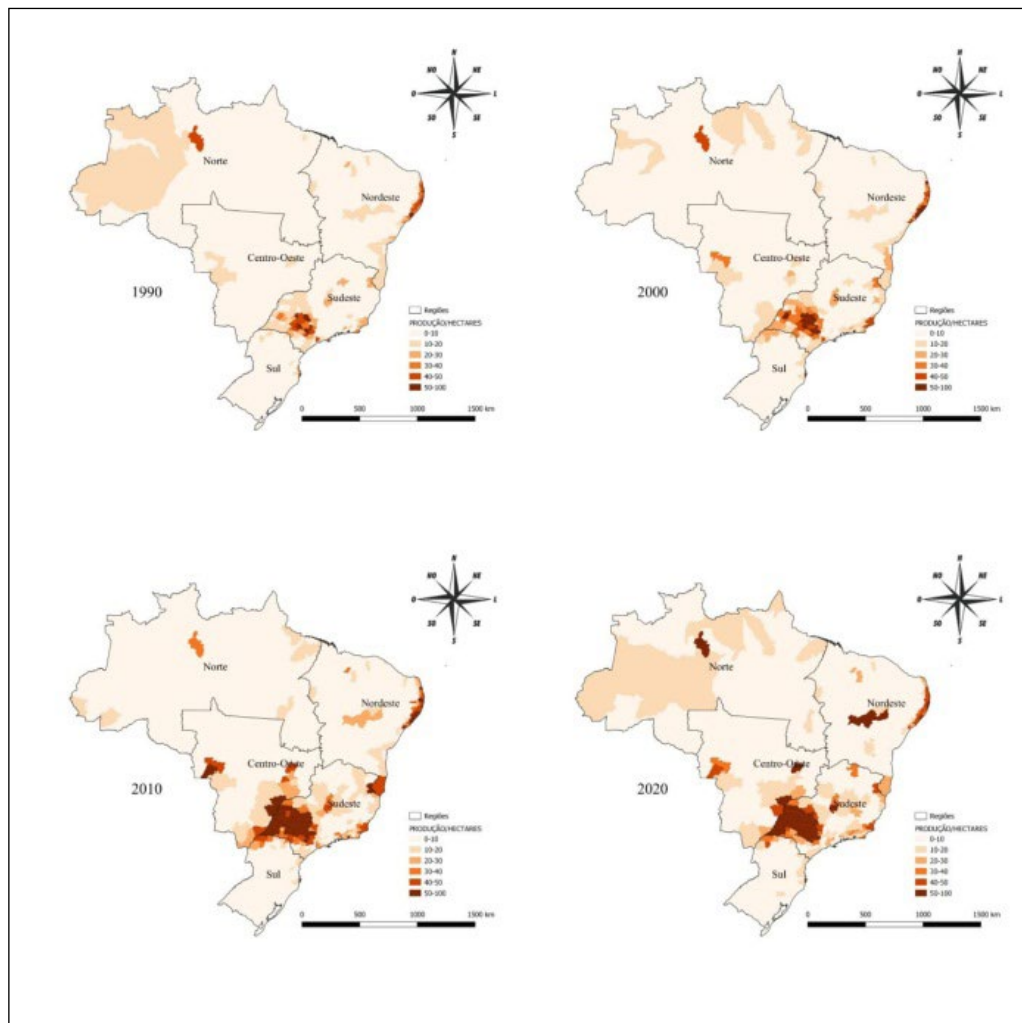
A Região Centro-Oeste apresentou o maior crescimento do IPA, seguida pelas regiões Sudeste e Sul. O crescimento da Região Centro-Oeste pode ser atribuído à adoção de alta tecnologia referente à motomecanização agrícola, permitida pela topografia encontrada nesta região (HELFAND; REZENDE, 2000). O Centro-Oeste apresenta destaque na agricultura por se caracterizar como uma região que possui baixos custos para produção de bens primários, dentro da região observa-se o estado de Goiás com destaque no crescimento da produção de grãos, principalmente da soja, apresentando na safra 2020/2021 uma produtividade da soja de cerca de 3.714 kg/ha (BEZERRA; CLEPS JR., 2004, EMBRAPA, 2021).

Já o maior produtor de soja nessa mesma safra 2020/2021 foi o estado do Mato Grosso com uma produção de aproximadamente 35 milhões de toneladas de soja, resultando em uma produtividade de 3.492 kg/ha. O menor crescimento se evidenciou na Região Nordeste, e uma possível explicação para este resultado é a escassez de chuvas, uma vez que diversas culturas não são resistentes às estiagens que esta região sofre com frequência (BEZERRA; CLEPS JR.: 2004). Essas longas estiagens ocorrem na região conhecida como Semiárido, que abrange cerca de 57% do total das áreas do Nordeste. Além disso, as crises de investimento e as dificuldades de intensificação dos sistemas produtivos para esta região também implicam em empecilhos para a agricultura. Apesar disso, a agricultura é importante para o desenvolvimento regional do Nordeste, pois, essa região é formada por uma grande parcela de agricultores familiares, que dependem de suas produções para obterem renda (CASTRO, 2012).

Em geral, o crescimento da produtividade agrícola no país, entre os anos de 1990 a 2020, pode ser atribuído principalmente às inovações tecnológicas, sendo essas, fruto de pesquisas direcionadas ao campo, o que acarretam em melhores sementes, fertilizantes, agrotóxicos e novos e melhores manejos de solo (LOPES; GUILHERME, 2007; GASQUES *et al.*, 2010; CAMPOS; NAVARRO, 2013; EMBRAPA, 2021; FELEMA; RAHIER; FERREIRA, 2013; FORNAZIER; VIEIRA FILHO, 2013).

A Figura 2 apresenta a distribuição espacial da produtividade agrícola representada pelo IPA para as microrregiões brasileiras para os anos de: 1990, 2000, 2010 e 2020.

Figura 2: Distribuição espacial da produtividade agrícola parcial da terra- IPA (1990, 2000, 2010 e 2020)



Fonte: Elaborado pelos autores com dados da PAM (2021)

Verifica-se que as microrregiões com maior produtividade estão localizadas nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, já as microrregiões com menor produtividade localizavam-se em 1990 nas regiões Nordeste e Sul, porém, em 2020, nota-se que ambas as regiões apresentaram maiores números de microrregiões com maiores produtividades. A concentração das microrregiões com elevada produtividade na Região Sudeste pode ser explicada pela presença das cadeias produtivas da cana-de-açúcar, laranja e café (IPEA, 2014). Por sua vez, a concentração de microrregiões com elevada produtividade na Região Centro-Oeste pode ser explicada pela expansão do cultivo de soja, segundo Brandão, Rezende e Marquês (2005).

A Região Nordeste apesar de ter apresentado baixos valores de crescimento de sua produtividade, possui uma concentração de microrregiões com elevada produtividade agrícola em seu litoral e nos estados da Bahia, Piauí e Pernambuco e uma concentração de microrregiões com produtividades mais elevadas na região conhecida como MATOPIBA - região composta por Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. A região do litoral nordestino possui características climáticas mais propícias aos cultivos agrícolas, como, por exemplo, o maior nível de chuva, se comparado com as demais terras da região, esse cenário confere a região uma alta produção de cana-de-açúcar, onde os maiores produtores são os estados de Alagoas e Pernambuco (WALDHEIM *et al.*, 2006). Já a concentração que engloba o norte da Bahia, oeste de Pernambuco e sul do Piauí pode ser atribuído a grande produção de grãos e de algodão dessas regiões. O estado da Bahia em 2020, contribuiu com cerca de 5,8% na produção da agricultura brasileira. Nesse estado, podem-se destacar as produções de soja, milho e algodão (BAHIA, 2021).

O estado do Piauí apresenta crescimento da sua produção ao longo dos anos, os destaques são as produções de grãos, tal como soja, e essa região apresenta grandes avanços na quantidade de áreas cultivadas devido à regularização fundiária iniciada no estado em 2019. Já Pernambuco possui produções representativas de cana-de-açúcar, manga, banana, mandioca e uva (PERNAMBUCO, 2021, PIAUÍ, 2021). Por fim, a região conhecida como MATOPIBA é a região da atual fronteira agrícola brasileira e tem apresentado um rápido crescimento com elevada produtividade na produção de grãos, decorrentes de uma topografia plana e de grande proporção de terras férteis (BRASIL, 2021).

Pode-se verificar que as microrregiões com elevada produtividade agrícola parcial da terra (IPA) estão próximas de microrregiões com produtividade também elevadas, sugerindo que a produtividade agrícola de uma microrregião possa influenciar a produtividade das microrregiões vizinhas. Desta forma, calculou-se o *I* de Moran Global para o valor do IPA, a fim de, identificar a validade desta hipótese. Para o cálculo do *I* de Moran Global foram utilizadas as matrizes de peso espacial do tipo 4 vizinhos, 7 vizinhos, 10 vizinhos, 15 vizinhos, rainha e torre para os anos de 1990, 2000, 2010 e 2020 (ver Tabela 2).

Tabela 2: *I* de Moran Global da produtividade Agrícola parcial da terra (IPA) para os anos 1990 a 2020

Ano	Matrizes de peso espacial					
	Rainha	Torre	4 viz.	7 viz.	10 viz.	15 viz.
1990	0,625***	0,625***	0,603***	0,570***	0,521***	0,478***
2000	0,659***	0,659***	0,629***	0,593***	0,548***	0,507***
2010	0,747***	0,748***	0,748***	0,721***	0,692***	0,646***
2020	0,735***	0,735***	0,742***	0,709***	0,662***	0,623***

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da PAM (2021)

Nota: (***) valores significativos a 1% após 999 permutações

O valor do *I* de Moran Global foi positivo e estatisticamente significativo em todas as matrizes de pesos espaciais, indicando que a produtividade agrícola parcial da terra medida pelo IPA sofre a influência do espaço. Um valor positivo do *I* de Moran significa

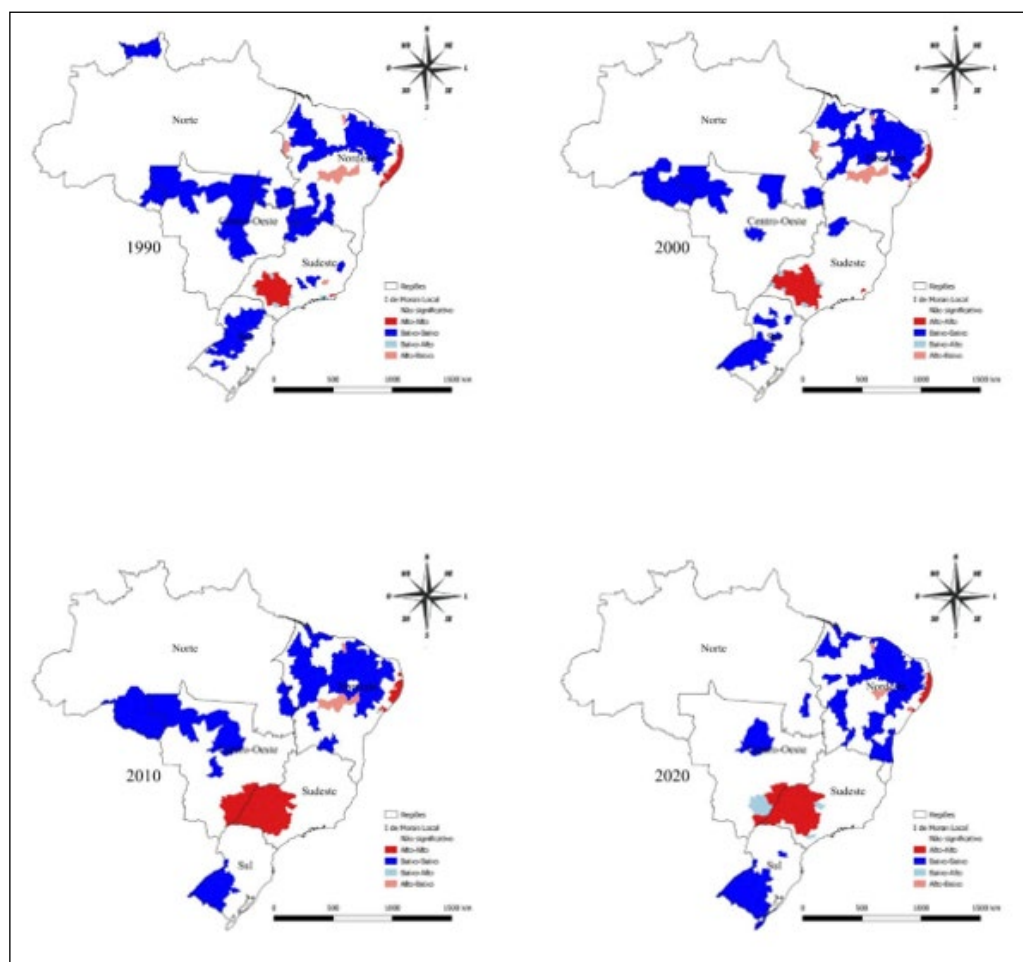
que microrregiões com altos (baixos) valores do IPA são adjacentes de outras microrregiões que também possuem altos (baixos) valores do IPA. Uma autocorrelação espacial positiva do IPA também foi encontrada no trabalho de Perobelli *et al.* (2007).

Após o cálculo do *I* de Moran Global, calculou-se o *I* de Moran Local e se construiu o mapa *clusters LISA*, o qual é apresentado pela Figura 3. Verifica-se a existência de uma forte aglomeração do tipo AA em todos os anos analisados na região Sudeste, que ao longo dos anos demonstrou crescimento. Em 1990 o cluster AA da Região Sudeste era formado por 28 microrregiões, já no ano de 2000 o cluster em questão passou a ser formado por 40 microrregiões, em 2010 47, e por fim, em 2020 o cluster AA da Região Sudeste era composto por 45 microrregiões, em que a concentração se deu especificamente no estado de São Paulo. O Centro-Oeste passa a possuir um *cluster* AA a partir de 2010, sendo formado por quatro microrregiões em 2010, e em 2020 por três microrregiões. Em 2010 o cluster AA da Região Centro-Oeste se concentrou nas microrregiões de Quirinópolis, Nova Andradina, Três Lagos e Paranaíba, já em 2020 a microrregião de Três Lagoas deixou de compor o *cluster* AA da Região Centro-oeste. Além disso, a Região Nordeste também apresentou um *cluster* AA que se tornou menor ao longo do período analisado, sendo composto em 1990 por 21 microrregiões, em 2000 por 18 microrregiões, em 2010 por 17 microrregiões e em 2020, por 15 microrregiões.

Já as aglomerações do tipo BB estão concentradas em maiores proporções na Região Nordeste. Além disso, o mapa de *clusters Lisa* foi elaborado utilizando a matriz rainha, porque a mesma apresentou os maiores valores de *I* de Moran calculados para os resíduos das regressões, seguindo o procedimento exposto em Almeida (2012) adaptado de Baumol (2004).

Em 1990, observa-se a existência de um *cluster* BB no estado de Roraima, mas que acabou se disseminando ao longo do tempo. No ano de 2020, pode-se observar a existência de um *cluster* BB mais acentuado na Região Sul, principalmente no estado do Rio Grande do Sul, que pode ser explicado pelos períodos de estiagens ocorridos no estado na safra de 2019/2020 (CARDOSO *et al.*, 2020).

Figura 3: Mapa de *clusters lisa* do IPA (1990, 2000, 2010 e 2020)



Fonte: Elaborado pelos autores com dados da PAM (2021)

Nota: os valores se apresentaram significativos a 1% após 999 permutações

Com base na Tabela 1 e nas Figuras 1, 2 e 3, verifica-se que todas as regiões brasileiras apresentaram melhorias em suas produtividades e que a produtividade está distribuída de forma não homogênea. A melhoria nas produtividades pode levar a um processo de β -convergência, e desse modo, as diferenças tenderão a diminuir, e isso gera um processo de homogeneização ao longo do tempo da produtividade entre regiões brasileiras.

Conforme apresentada na introdução desta pesquisa, testou-se empiricamente a existência ou não de um processo de β -convergência da produtividade agrícola da terra nas microrregiões controlando tanto a dependência espacial quanto a heterogeneidade espacial. Para isto, primeiramente estimou-se um único modelo de β -convergência absoluta para o Brasil como um todo sem controlar a dependência espacial e heterogeneidade espacial, através da Equação (4), cujos resultados encontram-se na Tabela 6.

Tabela 3: Resultados do modelo econométrico não espacial

Variáveis/Testes	Brasil
α	1,27*** (0,033)
β	-0,1621*** (0,0178)
AIC	782,855
SC	791.504
Teste Jarque-Bera	274,136 [0,000]
Teste de Breusch-Pagan	16,366 [0,000]
Teste de Koenker-Basset	6,879 [0,008]

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da PAM (2021)

Nota: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão e valores em colchetes correspondem ao valor da probabilidade do teste

A Equação (4) foi estimada utilizando o método dos mínimos quadrados ordinários (MQO). Considerando um único modelo para o Brasil, verificou-se que há no país um processo de β -convergência da produtividade agrícola, observado pelo valor negativo e estatisticamente significativo do parâmetro β , isto é, a produtividade agrícola para as 558 microrregiões brasileiras apresenta um processo de β -convergência absoluta, resultado semelhante ao trabalho de Almeida, Perobelli e Ferreira (2008).

Como o Brasil é um país de proporções continentais, em que predominam diversas características que são próprias de cada região, como fatores edafoclimáticos, tecnologia, dentre outros, deve-se estimar um modelo econométrico que leve em consideração as diferenças regionais, para isto, estimou-se o modelo apresentado na Equação (5) controlando apenas a heterogeneidade espacial, cujos resultados encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados do modelo econométrico com regimes espaciais

Variáveis	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste
α	0.943*** (0.139)	1.182*** (0.039)	1.646*** (0.078)	1.159*** (0.010)	1.473*** (0.130)
β	-0.078 (0.077)	-0.226*** (0.021)	-0.212*** (0.035)	-0.155*** (0.072)	-0.157 (0.100)
Testes					
AIC				684.064	
SC				727.308	
Teste Jarque Bera				278,494	
				[0,000]	
Teste Breusch-Pagan				63,613	
				[0,000]	
Teste de Koenker-Basset				25,927	
				[0,000]	

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da PAM (2021)

Nota: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão e valores em colchetes correspondem ao valor da probabilidade do teste

Este modelo foi estimado utilizando o método dos mínimos quadrados ordinários (MQO), o qual permite obter o parâmetro de β -convergência para cada uma das cinco grandes regiões brasileiras e controlando a heterogeneidade espacial. Analisando o coeficiente de convergência (β), constata-se que ele foi negativo e estatisticamente significativo a 1%, com exceção do coeficiente para as regiões do Norte e do Centro-Oeste. Portanto, pode-se concluir que a produtividade agrícola das Grandes Regiões, com exceção do Norte e Centro-Oeste, apresenta um processo de β -convergência absoluta.

A Tabela 4 também apresenta os testes que verificam as suposições de normalidade e homocedasticidade do método de MQO para os regimes espaciais. Pelo Teste Jarque-Bera, pode-se identificar que, este foi estatisticamente significativo, indicando que os resíduos possuem uma distribuição não normal. Já os Testes de Breusch-Pagan e de Koenker-Basset se apresentaram significativos, indicando presença de variância heterocedástica.

Como foi demonstrado pelo I de Moran Global e Local, a produtividade agrícola da terra sofre influência do espaço, desta forma, é necessário modelar a dependência espacial utilizando os modelos econométricos espaciais do tipo defasagem espacial ou de erro espacial, ambos com regimes espaciais, apresentados nas equações (6) e (7), respectivamente. A escolha entre estes modelos foi baseada nos procedimentos propostos por Florax, Flomer e Rey (2003), os quais são fundamentados nos testes de multiplicadores de Lagrange no contexto espacial. A Tabela 5 apresenta o resultado destes testes

Tabela 5: Testes de dependência espacial do modelo econométrico não espacial e com regimes espaciais.

Testes	Valor	Probabilidade
Multiplicador de Lagrange – Defasagem	59,332	0,000
Multiplicador de Lagrange Robusto – Defasagem	32,050	0,000
Multiplicador de Lagrange – Erro	117,190	0,000
Multiplicador de Lagrange Robusto – Erro	89,908	0,000

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da PAM (2021)

Seguindo o procedimento exposto em Florax, Flomer e Rey (2003), o modelo mais adequado para controlar a dependência espacial e o modelo de erro autorregressivo espacial (7) para a estimação da β -convergência absoluta estimada por regimes, pois o valor apresentado para o teste robusto foi maior. Como foram encontrados erros não normais na estimação da Equação (5), a Equação (7) foi estimada utilizando o método generalizado dos momentos (GMM), proposto por Kelejian e Prucha (1999), pois prescinde da hipótese da normalidade do erro. A Tabela 6 apresenta os resultados econométricos do modelo de erro espacial com regimes corrigidos para os problemas de não normalidade e heterocedasticidade através do procedimento de Kalejian e Prucha (2007).

Tabela 6: Resultados econométricos do modelo de erro espacial com regimes

Variáveis	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste
α	0,914*** (0,160)	1,234*** (0,067)	1,873*** (0,097)	1,248*** (0,133)	1,620*** (0,147)
β	-0,090 (0,081)	-0,293*** (0,026)	-0,320*** (0,038)	-0,218*** (0,080)	-0,304*** (0,093)
Parâmetro autorregressivo do erro					
	λ	0,557*** (0,038)			

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da PAM (2021)

Nota: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão

Analisando a estimativa do parâmetro β , verifica-se a existência de um processo de β -convergência absoluta em relação à produtividade agrícola da terra brasileira para todas as Grandes Regiões exceto para o Norte, dado que os coeficientes apresentaram um sinal negativo e altamente significativos. A β -convergência não verificada na Região Norte não pode ser inferida como definitiva, considerando demais análises, dado que a pesquisa avaliou inicialmente apenas a β -convergência absoluta da produtividade agrícola. Já o parâmetro que capta a relação espacial (λ) é representado através do seu valor global, o qual se mostrou altamente significativo e positivo (λ de 0,557), significando que um choque aleatório não observado ocorrido em uma microrregião presente em determinada região se espalha nas

microrregiões vizinhas imediatas (da mesma região) e nas demais microrregiões brasileiras (contidas nas demais regiões), corroborado os resultados de Almeida, Perobelli e Ferreira (2008).

Para verificação da validade dos resultados encontrados na Tabela 6, calculou-se o Teste de *Chow* Espacial para a confirmação ou não da hipótese de instabilidade estrutural espacial, como conclusão da robustez do modelo estimado através da Equação (7). Os resultados deste teste encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7: Teste de *Chow* Espacial

Teste de <i>Chow</i> Espacial		
Variáveis	Valor	Probabilidade
α	35,346	0,000
β	6,788	0,148
Teste Global	118,032	0,000

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da PAM (2021)

A estatística de *Chow* Espacial se mostrou altamente significativa no teste global, rejeitando a hipótese nula de que os coeficientes são iguais para as Grandes Regiões brasileiras, evidenciando a existência de uma instabilidade estrutural nos parâmetros estimados. Portanto, existem indícios de instabilidade estrutural, isto é, os coeficientes variam, significativamente, entre as grandes regiões, sugerindo a existência de cinco regimes espaciais e validando os resultados encontrados na Tabela 6.

Como a hipótese de β -convergência foi verificada para quatro Grandes Regiões, calculou-se velocidade de β -convergência e a meia-vida para cada região do Brasil que apresentou β -convergência. A meia-vida é o tempo aproximado que as regiões levarão para reduzir suas diferenças de produtividade alcançando o valor médio. Seus resultados podem ser verificados na Tabela 8:

Tabela 8 : Resultados da velocidade e meia-vida para cada região brasileira

Regiões	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste
Velocidade de Convergência	0,0115	0,0128	0,0081	0,0120
Meia-vida	59,97	53,91	84,56	57,37

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da PAM (2021)

Como o melhor modelo é o de erro espacial, não é necessário realizar nenhum cálculo ou interpretação adicional nos conceitos de Velocidade de Convergência e de Meia-Vida, pois toda a dependência espacial concentra-se no termo de erro. Deste modo, pode-se verificar que as microrregiões da Região Centro-Oeste levarão aproximadamente 58 anos para alcançar a média da região, diminuindo as diferenças na produtividade. A Região Sudeste foi à região que apresentou o menor valor para a meia-vida, sendo de

aproximadamente 54 anos. Como já supracitado, as diferenças nas produtividades tendem a diminuir por fatores como avanços tecnológicos, especialização de mão de obra, pesquisas que trazem melhorias ao produtor rural e dentre outros fatores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do período analisado, o Brasil apresentou taxas de crescimento de produtividade da terra positivas em todas as suas regiões, sendo que as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul apresentaram as maiores taxas de crescimento. Apesar de todas as regiões apresentarem crescimento em sua produtividade, ela não ocorre de forma homogênea. Por exemplo, a Região Nordeste apresentou a menor taxa de crescimento, mas, dentro de seu território, encontraram-se microrregiões com elevados valores de IPA como as verificadas nos estados de Pernambuco, Bahia e Piauí.

Devido a este diferencial de produtividade entre as regiões, o objetivo da pesquisa foi testar a hipótese da existência ou não de um processo de β -convergência absoluta da produtividade agrícola levando em consideração as diferentes regiões e o espaço. Os resultados confirmaram a existência de um processo de β -convergência da produtividade agrícola da terra entre as regiões brasileiras, exceto para a Região Norte, ou seja, o diferencial de produtividade agrícola das regiões Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-Oeste, estão diminuindo, concluindo que as microrregiões dessas localidades com baixa produtividade agrícola da terra tendem a crescer mais rapidamente que regiões com alta produtividade.

Desse modo, as diferenças de produtividade de cada região estão diminuindo, como foi corroborado pela estimação da β -convergência absoluta, porém, através do cálculo da meia-vida, pode-se verificar que o tempo para diminuir essas disparidades é diferente para cada região, sendo que a Região Sudeste apresentou um valor de meia-vida de 54 anos aproximadamente, o que significa que as microrregiões da Região Sudeste levaram aproximadamente 54 anos para estarem mais próximas da média da região. A região que apresentou a maior meia-vida foi o Nordeste com aproximadamente 60 anos.

Com estes resultados, é possível identificar quais regiões possuem as menores produtividades e, através de políticas públicas (tais como: políticas de capacitação dos agricultores, políticas que aumentem o crédito agrícola) promover o incremento desta produtividade agrícola da terra.

Os resultados desta pesquisa não acabam com os debates sobre o tema. Como sugestão para futuros estudos, pode se testar a hipótese de β -convergência condicional da produtividade com o intuito de também verificar se as microrregiões com características estruturais semelhantes tenderiam a um mesmo nível de produtividade agrícola.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. **Econometria espacial**. Campinas–SP. Alínea. (2012).

ALMEIDA, E. S.; PEROBELLI, F. S.; FERREIRA, P. G., C. Existe convergência espacial da produtividade agrícola no Brasil? **Revista de Economia e Sociologia Rural**, vol. 46, nº 01, jan/mar. p. 031-052. 2008.

ANSELIN, L. **Spatial econometrics: methods and models**. Boston: Kluwer Academic. p. 304. 1988.

BACHA, C. J. C. **Economia e política agrícola**. Campinas: Alínea, 2018.

BAHIA. **Agricultura gerou R\$ 27,5 bilhões para a Bahia em 2020, melhor resultado em 26 anos**. 2021. Disponível em: <http://www.bahia.ba.gov.br/2021/09/noticias/agricultura/agricultura-gerou-r-275-bilhoes-para-a-bahia-em-2020-melhor-resultado-em-26-anos/>. Acesso em: 27 out. 2021.

BALL, V. E.; HALLAHAN, C.; NEHRING, R. Convergence of productivity: an analysis of the catch-up hypothesis within a panel of states. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 86, n. 5, p. 1315-1321, 2004.

BAUMOL, W. J. Productivity growth, convergence, and welfare: what the long-run data show. **The American Economic Review**, 1072-1085. 1986.

BRANDÃO, A. S.; REZENDE, GC de.; MARQUES, R. W. Crescimento agrícola no período 1999-2004. **Explosão da Área Plantada com Soja e Meio Ambiente no Brasil**, 2005.

BRASIL. Ministério da Educação. Panorama Setorial – Força do Matopiba. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/fundaj/pt-br/destaques/observa-fundaj-itens/observa-fundaj/tecnologias-de-convivencias-com-as-secas/panorama-setorial-forca-do-matopiba>. Acesso em: 15 fev. 2020.

BEZERRA, L. M. C.; CLEPS Jr, J. O desenvolvimento agrícola da região Centro-Oeste e as transformações no espaço agrário do Estado de Goiás. **Caminhos de geografia**, 5(12). 2004.

CAMPOS, S. K.; NAVARRO, Z. **A pequena produção rural e as tendências do desenvolvimento agrário brasileiro: ganhar tempo é possível**. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2013.

CARDOSO, L. S.; JUNGES, A. H.; TAZZO, I. F.; VERONE, F.; TAROUÇO, A. K.; OLIVEIRA, A. M. R.; BREMM, C. **Análise da estiagem na safra 2019/2020 e impactos na agropecuária do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SEAPDR/DDPA, 6, 8-57. 2020.

CASTRO, C. N. D. A agricultura no nordeste brasileiro: Oportunidades e limitações ao Desenvolvimento (No. 1786). **Texto para Discussão IPEA**, 2012.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Soja em números (2020/21)**. 2021. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

FELEMA, J.; RAHIER, A, P.; FERREIRA, C, R. Agropecuária brasileira: desempenho regional e determinantes de produtividade. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. V.51, n. 3, p.555-573. 2013.

FLORAX, R. J. G. M.; FOLMER, H.; REY, S. J.; Specification searches in spatial econometrics: the relevance of hendry's methodology. **Regional science and urban economics**, Amsterdam, v.33, n.5, p. 557-579. 2003.

FORNAZIER, A.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Heterogeneidade estrutural na produção agropecuária: uma comparação da produtividade total dos fatores no Brasil e nos Estados Unidos (No. 1819). **Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**. 2013.

GALANOPOULOS, K.; LINDBERG, E.; SURRY, Y, R.; MATTAS, K. **Agricultural productivity growth in the Mediterranean and tests of convergence among countries** (No. 736-2016-50790). 2006.

GASQUES, J, G.; BASTOS, E, T.; BACCHI, M, R, P.; CONCEIÇÃO, J. C. P. R. Condicionantes da produtividade da agropecuária brasileira. **Texto para discussão- IPEA**. 2004.

GASQUES, J, G.; BASTOS, E, T.; BACCHI, M, R, P.; VALDES, C. Produtividade total dos fatores e transformações da agricultura brasileira: análise dos dados dos censos agropecuários. **A agricultura brasileira: desempenho, desafios e perspectivas**. Brasília: IPEA. p.19-44. 2010.

HELFAND, S. M.; REZENDE, G. C. D. **Padrões regionais de crescimento da produção de grãos no Brasil e o papel da região Centro-Oeste**. Ministério do planejamento, orçamento e gestão- IPEA. 2000.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2014. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_1952.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2018.

KELEJIAN, H. H.; PRUCHA, I. R. A generalized moments estimator for the autoregressive parameter in a spatial model. **International Economic Review**, Hoboken v.40, n.2, Maio, p.509-533. 1999.

LOPES, A, S.; GUILHERME, L, R, G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. **Fontes, RLF**, p. 1-64. 2007.

LOPES, J. L. **Avaliação do processo de convergência da produtividade da terra na agricultura brasileira no período de 1960 a 2001.** (Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo), 2004.

MILLER, H. J. Tobler's first law and spatial analysis. **Annals of the Association of American Geographers**, Washington, DC, v. 94, n. 2, p. 284–289. 2004.

MOREIRA, A. R.; HELFAND, S. M.; FIGUEIREDO, A. M. **Explicando as diferenças na produtividade agrícola no Brasil.** Repositório IPEA. 2007.

NAHAR, S.; INDER, B. Testing convergence in economic growth for OECD countries. **Applied Economics**, 34(16): 2011-2022. 2002.

NAVARRO, Z.; CAMPOS, S. K. A “pequena produção rural” no Brasil. **A pequena produção rural e as tendências do desenvolvimento agrário brasileiro: ganhar tempo é possível**, p. 13-27, 2013.

PERNAMBUCO. **Produção agrícola das lavouras permanentes e temporárias, Pernambuco.** 2021. Disponível em: <https://www.pi.gov.br/noticias/producao-agricola-do-piaui-tem-o-segundo-maior-crescimento-do-pais-em-2021-segundo-ibge/#:~:text=O%20IBGE%20divulgou%20os%20n%C3%BAmeros,2%2C5%25%20este%20ano..> Acesso em: 25 out. 2021.

PEROBELLI, F. S.; ALMEIDA, E. S. D.; ALVIM, M. I. D. S. A.; FERREIRA, P. G. C. Produtividade do setor agrícola brasileiro (1991-2003): uma análise espacial. **Nova economia**, 17(1), p. 65-91. 2007.

PAM. Pesquisa Agrícola Municipal. 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 20 jan. 2021.

PIAUÍ. **Produção agrícola do Piauí tem o segundo maior crescimento do país em 2021, segundo IBGE.** 2021. Acesso em: <https://www.pi.gov.br/noticias/producao-agricola-do-piaui-tem-o-segundo-maior-crescimento-do-pais-em-2021-segundo-ibge/#:~:text=O%20IBGE%20divulgou%20os%20n%C3%BAmeros,2%2C5%25%20este%20ano..> Acesso em: 20 out. 2021.

PUCONLINE. Produtividade: o que e como aplicar na sua carreira. 2020. Disponível em: <https://online.pucrs.br/blog/public/importancia-da-produtividade>. Acesso em: 20 out. 2021.

RAHIER, A. P.; OLIVEIRA, R. A. D.; CARMO, A. S. S. D.; STEGE, A. L. Convergência da Produtividade Agropecuária do Sul do Brasil: uma análise espacial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 54, n.3, p. 517-536, 2016.

RAHMAN, S. Regional productivity and convergence in Bangladesh agriculture. **The Journal of Developing Areas**, 41(1): 221-236. 2007.

REZITIS, A. N. Agricultural productivity and convergence: Europe and the United States. **Applied Economics**, 42(8):1029-1044, 2010.

REY, S. J.; MONTOURI, B. D. US regional income convergence: a spatial econometric perspective. *Regional studies*, 33(2), 143-156. 1999.

TEIXEIRA, R. F. A. P.; BERTELLA, M. A. Distribuição Espaço-Temporal da Produtividade Média do Café em Minas Gerais: 1997-2006. **Análise Econômica**, 33(63), 2015.

WALDHEIM, P. V.; CARVALHO, V. S. B.; CORREA, E.; DE ALMEIDA FRANÇA, J. R. Zoneamento climático da cana-de-açúcar, da laranja e do algodão herbáceo para a região Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, 29(2), 30-43. 2006.