

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE DE MILHO NO RIO GRANDE DO SUL: ESTUDO EXPLORATÓRIO ENTRE 2005 E 2020

SPATIAL DISTRIBUTION OF CORN PRODUCTIVITY IN RIO GRANDE DO SUL: EXPLORATORY STUDY BETWEEN 2005 AND 2020

Nairiane dos Santos Bilhalva, UFSM, nairiane@gmail.com

Clailton Ataídes de Freitas, UFSM, lcv589@gmail.com

Twanny Emmanuely Gomes de Oliveira, ESALQ/USP, twanny.oliveira@gmail.com

Grupo de Trabalho (GT): GT12 - Temas emergentes no agronegócio

Resumo

Diante da necessidade de identificar os padrões de localização espacial da cultura do milho no Rio Grande do Sul, o presente estudo tem como objetivo a identificação da disposição espacial da produtividade de milho nos municípios do Rio Grande do Sul entre 2005 e 2020. Analisou-se, através da análise exploratória de dados espaciais, a existência de aleatoriedade das observações, assim como a associação espacial entre as produtividades dos municípios gaúchos, ou seja, a formação de clusters espaciais de produtividade. Os valores de *I* de Moran Global para a produtividade de milho no período de 2005 a 2020 proporcionaram indício de existência de autocorrelação positiva entre os municípios, sendo estes valores confirmados pela dispersão das produtividades dos municípios demonstradas nos diagramas de dispersão de Moran. A observação do *I* de Moran local, por sua vez, permitiu verificar uma mudança localizada e temporária na formação dos mesmos durante os anos analisados. No período de 2005 a 2020, em que se verificou a formação de clusters do tipo baixo-baixo (BB) nas regiões Central e Sul, e de cluster tipo alto-alto (AA) na região Norte do estado. Portanto, torna-se evidente o padrão de associação espacial e de agrupamento ao longo do período de análise, com destaque para os *clusters* de alta produtividade de milho na região Norte do Rio Grande do Sul. O conhecimento da configuração espacial da produtividade de milho fornece, portanto, subsídios para possíveis atuações de governos e instituições privadas na elaboração de políticas para o desenvolvimento do agronegócio no estado.

Palavras-chave: Agronegócio. Segurança alimentar. Economia nacional.

Abstract

Faced with the need to identify the patterns of spatial location of the corn crop in Rio Grande do Sul, the present study aims to identify the spatial arrangement of corn productivity in the municipalities of Rio Grande do Sul between 2005 and 2020. , through the exploratory analysis of spatial data, the existence of randomness of the observations, as well as the spatial association between the productivity of the municipalities in Rio Grande do Sul, that is, the formation of spatial clusters of productivity. Moran Global *I* values for corn productivity in the period from 2005 to 2020 provided evidence of the existence of positive autocorrelation between municipalities, and these values are confirmed by the dispersion of productivity of municipalities shown in Moran's dispersion diagrams. The observation of the local *I* of Moran, in turn, allowed us to verify a localized and temporary change in their formation during the analyzed years. In the period from 2005 to 2020, which saw the formation of low-low (BB) clusters in the Central and Southern regions, and of high-high (AA) clusters in the northern region of the state. Therefore, the pattern of spatial association and grouping over the period of analysis becomes evident, with emphasis on the clusters of high corn productivity in the northern region of Rio Grande do Sul. Knowledge of the spatial configuration of corn productivity therefore provides subsidies for possible actions by governments and private institutions in the elaboration of policies for the development of agribusiness in the state.

Key words: Agribusiness. Food safety. National economy.



1. Introdução

A população mundial deve aumentar em dois bilhões nos próximos trinta anos, atingindo 9,7 bilhões de pessoas até o ano de 2050, com isso, crescem também os desafios socioeconômicos: garantir a segurança alimentar e a sustentabilidade dos sistemas de produção (ONU, 2022). Com elevado valor energético, o milho está entre os cereais mais utilizados para alimentação humana e animal, sendo essencial na busca pela segurança alimentar mundial. (FAO, 2022).

O agronegócio tem parcela relevante no produto interno bruto do país, de acordo com o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA e a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil - CNA (2022), o setor representou 27,4% do PIB total do país em 2021. O milho é o segundo grão mais produzido no Brasil (114,7 milhões de toneladas em 21,6 milhões de ha), sendo superado em quantidade produzida apenas pela soja (124 milhões de toneladas em 40,9 milhões de ha), evidenciando a sua importância na economia nacional.

Neste setor, que é heterogêneo em culturas ao longo do território nacional, a região Sul tem certo destaque e relevância, visto que apesar de ser a menor região do país em expansão territorial, possui uma das maiores produtividades agrícolas segundo o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - LSPA (IBGE, 2021).

Com a grande demanda futura relatada pelas estimativas da ONU e a grande responsabilidade que a região Sul tem na produção atual total de milho, o governo do Rio Grande do Sul criou o programa PRÓ-Milho RS, visando aumentar a produção no Estado. Este aumento da produção pode ocorrer de forma horizontal, através da expansão da área cultivada com milho, ou de forma vertical, pelo aumento da produtividade da cultura, o que é mais indicado sob ponto de vista socioambiental (CASSMAN et al., 2003).

Conforme dados da Safra 2021/22, divulgados pela CONAB (2022), a área de milho no Rio Grande do Sul está estimada em 824,1 mil hectares, aumento de 2,8% em relação à safra passada, enquanto a produção está estimada em 2,98 milhões de toneladas, redução de cerca de 47,9%, em relação à estimativa inicial da safra 2021/22 e redução de 32% em relação à safra passada, devido à seca que castigou todo o estado.

Diante do exposto, torna-se necessário identificar os padrões de localização espacial da cultura do milho no Rio Grande do Sul. O fenômeno espacial é muito presente na agricultura, pois, segundo Almeida (2005), a dependência espacial é facilmente verificável nesse setor, uma vez que os produtores rurais têm facilidade em observar o que os vizinhos estão produzindo, fato que pode influenciar suas decisões. Afora isto, as culturas agrícolas dependem de recursos naturais concentrados no espaço geográfico, reforçando a ideia de que a produção ocorre na forma de agrupamentos (*clusters*) espalhados pelo espaço econômico. Dessa forma, a identificação do padrão de localização da produção de milho no Rio Grande do Sul mostra-se fundamental para a compreensão de sua estrutura espacial, subsidiando a tomada de decisões, principalmente, por parte dos formuladores de políticas de apoio ao setor naquele estado.

O presente estudo tem como objetivo a identificação da disposição espacial da produtividade de milho nos municípios do Rio Grande do Sul entre 2005 e 2020, período suficientemente longo para abranger diferentes cenários econômicos e possíveis choques que tenham afetado o setor em questão. Portanto, analisa-se, por meio da análise exploratória de dados espaciais, a existência de aleatoriedade das observações, assim como a associação espacial entre as produtividades dos municípios gaúchos, ou seja, a formação de clusters espaciais de produtividade.

Este trabalho está estruturado como segue: além desta introdução, a seção 2 traz uma breve contextualização da cultura do milho no Estado do Rio Grande do Sul. A seção seguinte



descreve a metodologia e os dados utilizados. Os resultados são apresentados e discutidos na seção 4, seguidos das considerações finais do trabalho na seção seguinte.

2. A cultura do milho no Rio Grande do Sul

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie que pertence à família *Poaceae*, com origem no teosinto, *Zea mays*, subespécie mexicana (*Zea mays* ssp. mexicana (Schrader) Iltis, há mais de 8000 anos e é um dos grãos mais cultivados no mundo devido ao seu alto potencial produtivo, composição química e valor nutricional que possibilita ser utilizado tanto no consumo humano e alimentação animal, como na produção de biocombustível.

A cultura do milho se destaca pela importância no agronegócio nacional e internacional, caracterizando-se como o segundo grão mais exportado pelo Brasil, atualmente o terceiro país no ranking dos principais produtores mundiais, com produção de 114,7 milhões de toneladas, ficando atrás apenas da China e Estados Unidos, com produção de 271 e 367,3 milhões de toneladas, respectivamente (USDA, 2022).

Segundo dados da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM), o Rio Grande do Sul é, atualmente, o sexto maior produtor de milho em grão do Brasil, superado pelos estados de Mato Grosso, Paraná, Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. Na safra 2021/2022, o Rio Grande do Sul produziu em média 4,4 milhões de toneladas de milho em 780 mil hectares de área semeada. Observando os dados para um período de 10 anos (Tabela 1), verifica-se uma redução em 30% da área plantada, porém não se observa uma redução significativa da produção.

Com base na relação quantidades produzidas - área plantada, no período considerado, pode-se observar um relativo ganho de produtividade no RS através do emprego de novas tecnologias e do manejo do solo, como por exemplo, o método de plantio direto. Vale lembrar que o cultivo do milho no Rio Grande do Sul é, em geral, consorciado com a cultura da soja, entre outras culturas, e que é possível obter o produto através de mais de uma safra anual.

Tabela 1. Evolução anual da área plantada e da quantidade produzida de milho em grão 2012-2021– Brasil e Rio Grande do Sul.

Ano	Brasil		Rio Grande do Sul	
	Área plantada (hectares)	Quantidade produzida (toneladas)	Área plantada (hectares)	Quantidade produzida (toneladas)
2012	15.065.288	71.072.810	1.119.220	3.155.061
2013	15.708.367	80.273.172	1.033.728	5.419.780
2014	15.843.121	79.881.614	925.514	5.389.520
2015	15.846.517	85.284.656	854.793	5.563.555
2016	16.051.087	64.188.314	740.510	4.729.948
2017	17.739.683	97.910.658	831.221	6.058.900
2018	16.548.228	82.366.531	706.160	5.557.251
2019	17.774.548	101.126.409	763.097	5.735.186
2020	18.351.075	103.963.620	751.573	4.211.208
2021	19.587.069	88.461.943	780.142	4.389.617

Fonte: IBGE/Pesquisa Agrícola Municipal

O milho pode ser cultivado em todo o Rio Grande do Sul. Entretanto, ocorrem variações no rendimento de grãos entre anos e entre regiões. Essas variações são causadas, principalmente, pela ocorrência de deficiência hídrica durante o desenvolvimento da cultura. A ocorrência de geadas tardias (agosto - setembro) é outro fator que, embora em menor grau, também pode influir na variação de rendimentos de grãos. De modo geral, o regime térmico do Estado atende às exigências do milho, configurando-se como principal problema a baixa

quantidade e irregularidade na distribuição de precipitações, o que limita a obtenção de altos rendimentos de grãos.

3. Metodologia

Nesta seção, será abordado a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) e os respectivos passos para sua utilização, bem como a descrição dos dados e fonte de dados.

3.1 Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE)

A análise exploratória de dados espaciais (AEDE), conforme Almeida (2012), contribui para a identificação da existência de padrões de associação espacial ou de agrupamentos (*clusters*), além da presença de observações discrepantes (*outliers*), permitindo, assim, uma descrição da distribuição espacial dos dados. O mesmo ressalta que é necessária a utilização de variáveis espacialmente densas ou intensivas, ou seja, aquelas que são expressas em termos de algum indicador de intensidade, tais como área, população, quantidade de trabalho ou de capital. Considera-se, dessa forma, possíveis efeitos de aglomeração, de vizinhança e/ou congestão, relacionados ao fenômeno analisado.

Essa abordagem permite, por meio de métodos quantitativos, a obtenção de medidas de autocorrelação espacial global e local.

O primeiro passo para utilização da AEDE e das técnicas da econometria espacial é a definição de uma matriz de pesos espaciais (W), a qual expressa como o fenômeno em análise está arranjado espacialmente (TEIXEIRA; BERTELLA, 2015). A literatura apresenta um grande número de matrizes, como por exemplo: matriz rainha (*queen*), torre (*rook*) e k -vizinhos, que normalmente são matrizes de contiguidade binária, isto é, se for vizinho recebe o valor um, se não for recebe zero. Além disso, há aquelas que dão pesos diferenciados para cada região, como a matriz de distância inversa, que atribui um peso menor à medida que as regiões se tornam mais distantes.

A definição da matriz é de suma importância para a AEDE e na estimação do modelo econométrico, pois os resultados são sensíveis às diferentes matrizes, razão pela qual deve-se buscar a que melhor represente o fenômeno em estudo, ou seja, aquela que capta de forma mais fiel o processo espacial (ALMEIDA, 2012).

A AEDE testa a hipótese de distribuição aleatória dos dados espaciais, ou seja, de que não existe dependência dos valores de uma variável de uma região em relação aos valores da mesma variável em outra localidade. A principal medida utilizada na literatura sobre o tema é a estatística I de Moran (1948, 1950), cuja hipótese nula é a de aleatoriedade espacial, permitindo, portanto, verificar a presença de autocorrelação espacial.

A estatística I de Moran pode ser expressa como segue (ALMEIDA, 2012) a Equação 1:

$$I = \frac{n}{\sum \sum w_{ij}} \frac{\sum \sum w_{ij}(y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

onde, n é o número de municípios do Rio Grande do Sul, y_i é a produtividade de milho e w_{ij} é o peso espacial para os municípios i e j , o qual mede o grau de interação entre tais municípios.

O I de Moran possui um valor esperado igual a $[E(I) = -1/(n-1)]$, de forma que valores calculados de I que estejam acima do valor esperado indicam a presença de autocorrelação espacial positiva, enquanto valores estimados inferiores ao valor esperado constituem indícios de autocorrelação negativa.

Um resultado apontando para autocorrelação positiva significaria, no presente estudo, uma similaridade entre os valores de produtividade de milho e da localização espacial da

mesma. Alternativamente, uma autocorrelação negativa indicaria uma dissimilaridade entre produtividade e sua localização. Portanto, tal como explicado por Almeida (2012), a identificação de autocorrelação positiva implicaria que municípios com alta (baixa) produtividade de milho tendem a ser rodeados por outros também com alta (baixa) produtividade. Um resultado apontando para autocorrelação negativa indicaria, por outro lado, que municípios com alta (baixa) produtividade de milho são circundados por outros com baixa (alta) produtividade.

Segundo Anselin (1995), a indicação de padrões locais de associação espacial pode estar em conformidade com uma indicação global. No entanto, isso não necessariamente ocorre em todos os casos. É possível que um padrão local não seja captado por um indicador global ou, ainda, que alguns padrões locais se deem em direção oposta à tendência espacial global. O autor define, então, um indicador local de associação espacial – a estatística local de Moran, para uma observação i – baseado na decomposição do I de Moran global apresentado na seção anterior, o qual pode ser definido conforme a Equação 2:

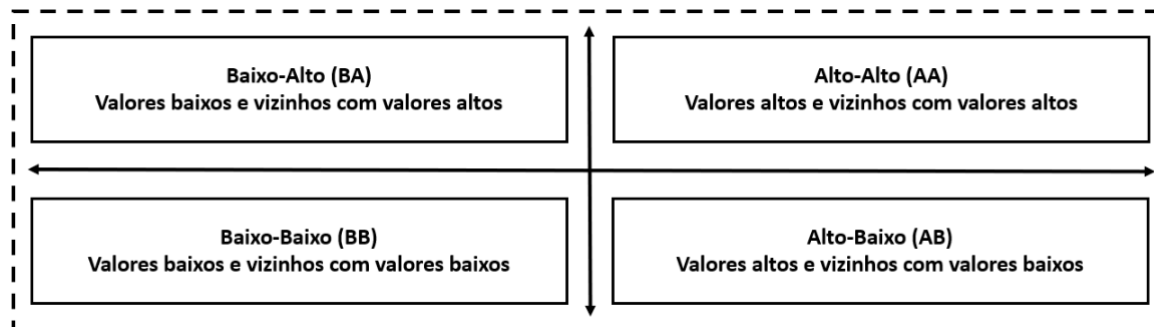
$$I_i = Z_i \sum_j w_{ij} Z_j \quad (2)$$

em que, as observações Z_i e Z_j são expressas em termos de desvios da média, o somatório em j se dá de forma que apenas valores vizinhos $j \in j_i$ são incluídos e, como anteriormente, w_{ij} é o peso espacial para os municípios i e j . O valor esperado do I de Moran local, aquele sob a hipótese nula de ausência de associação espacial, é dado por $E[I_i] = -w_i/(n-1)$, em que w_i é a soma dos elementos da linha.

Uma abordagem bastante útil para o estudo da associação espacial, e que se emprega no presente trabalho, é aquela baseada no diagrama de dispersão de Moran, o qual plota a defasagem espacial da variável de interesse (Wy , a média da mesma em localidades vizinhas) contra a própria variável de interesse (y , no eixo horizontal). Assim, a inclinação da linha de regressão de Wy contra y corresponde à estatística I de Moran, de forma que um coeficiente positivo consiste em evidência de autocorrelação espacial positiva enquanto um coeficiente negativo indica autocorrelação espacial negativa (ALMEIDA, 2012).

O diagrama de dispersão permite identificar agrupamentos (*clusters*) de acordo com os seus quatro quadrantes (Figura 1), os quais correspondem a quatro padrões de associação espacial. Unidades espaciais (municípios, no caso deste estudo) encontradas no primeiro quadrante do diagrama pertencem a um agrupamento do tipo alto-alto (AA), ou seja, são localidades que apresentam altos valores da variável de interesse que são circundadas por outras localidades também com altos valores para essa mesma variável. De maneira similar, observações localizadas no terceiro quadrante correspondem a agrupamentos do tipo baixo-baixo (BB) onde, intuitivamente, tem-se localidades com baixos valores para a variável de interesse rodeadas por outras também com baixos valores.

Figura 1. Diagrama de dispersão da estatística *I* de Moran.



Fonte: Capucho e Parré (2010).

Alternativamente, observações encontradas no segundo quadrante pertencem a um agrupamento do tipo baixo-alto (BA), em que localidades com baixos valores são circundadas por outras com altos valores. E, por fim, no quarto quadrante encontram-se agrupamentos do tipo alto-baixo (AB), onde se tem localidades que apresentam altos valores para a variável em questão, mas cujos vizinhos possuem baixos valores para a mesma variável.

A classificação acima permite, portanto, inferir que os agrupamentos de municípios que ocorrem nos quadrantes correspondentes aos tipos AA e BB apontam para autocorrelação espacial positiva, enquanto aqueles presentes nos quadrantes dos tipos BA e AB estão associados a uma autocorrelação espacial negativa.

Uma última ferramenta utilizada é a representação dos resultados do diagrama de dispersão de Moran na forma de mapas de *clusters*. Mais especificamente, os resultados de *I* de Moran local são apresentados por meio de mapas políticos, o que permite restringir-se apenas aos clusters (agrupamentos) estatisticamente significativos

3.2 Descrição das variáveis e fonte de dados

Como forma de analisar o padrão de associação espacial dos municípios gaúchos em termos da produção de milho, definiu-se um indicador de produtividade média, correspondente ao resultado da divisão entre a quantidade produzida (toneladas) e a área plantada (hectares), visando atender ao critério de se empregar uma variável espacialmente intensiva, a qual também foi normalizada, tendo, portanto, média zero e variância igual a unidade.

Os dados de quantidade produzida e área plantada de milho de todos os municípios do Estado do Rio Grande do Sul referentes ao período de 2005 a 2020 têm como fonte a pesquisa de Produção Agrícola Municipal do IBGE.

4. Resultados e discussão

A análise exploratória de dados espaciais teve início com a verificação da distribuição da produtividade média do milho nos municípios do Rio Grande do Sul. Essa distribuição, de acordo com a Figura 2, mostrou-se não homogênea ao longo do período da análise. Em 2005, os municípios com maior produtividade encontravam-se espalhados pelo estado, sendo alguns deles: Colorado, Rio Pardo, Boa Vista do Incra, Cruz Alta, Selbach, Tapera e Victor Graeff.

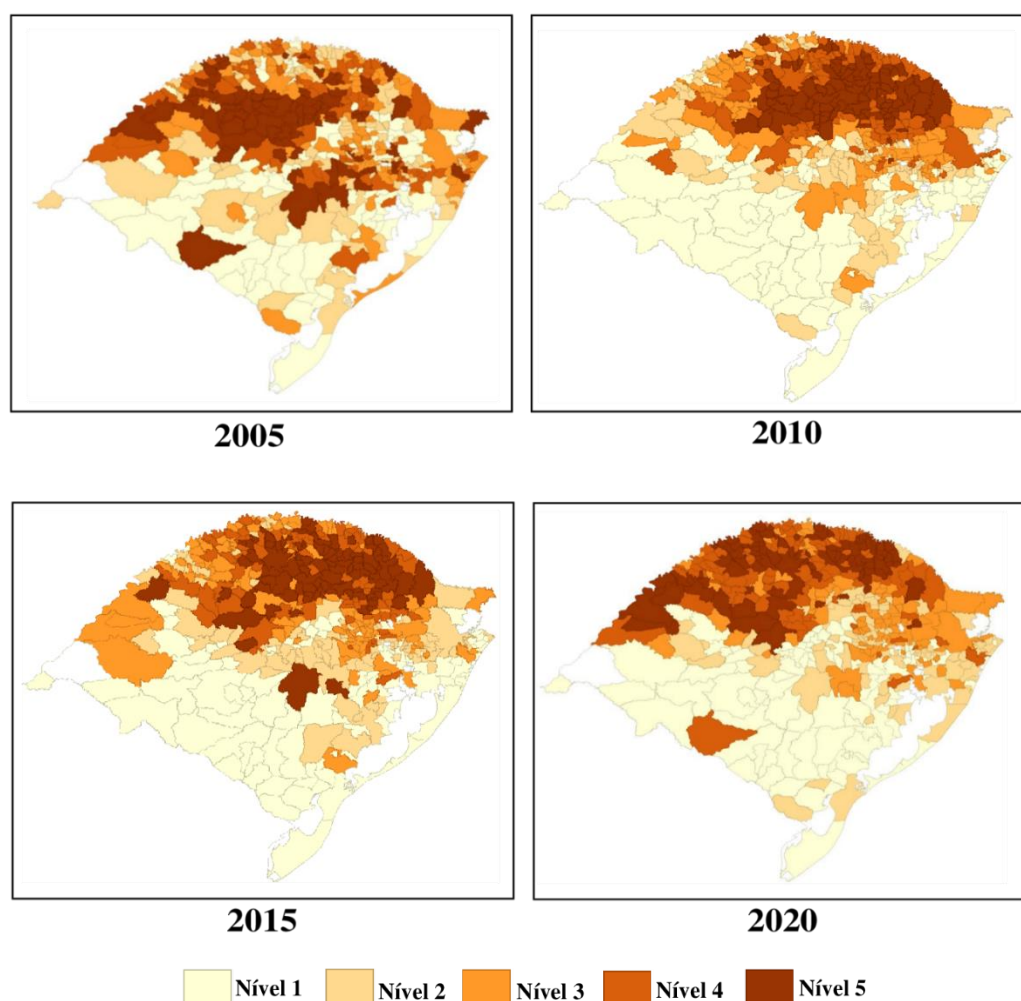
Em 2005, as médias de produtividade foram baixas devido aos problemas com as condições do tempo, devido ao excesso de chuvas ou pela estiagem prolongada. Entre 2010 e 2015 a média de produtividade ficou em torno de 5.000 kg/ha. A partir de 2015, devido a um novo salto de rendimento, a produtividade média ultrapassou os 7.000 kg/ha, exceto na safra

atual de 2020, quando novamente o estado foi acometido por estiagem prolongada durante todo o ciclo. Em geral, esses saltos evolutivos na produtividade contribuíram para a diminuição da área, entretanto, o volume total de produção foi mantido.

Nos anos de 2010 e 2015 tem-se uma concentração maior dos municípios mais produtivos na região do planalto Norte e Noroeste do estado, sendo Água Santa, Boa Vista das Missões e São José do Ouro alguns dos municípios com maior produtividade em ambos os anos. Em 2020, devido à redução causada pela estiagem prolongada que assolou todas as regiões do RS, as perdas ocasionadas foram de aproximadamente 26% (EMATER, 2020).

Embora a variável tempo seja imprevisível, técnicas podem ser adotadas para a mitigação dos efeitos, como por exemplo, a adoção de irrigação para os períodos de estiagem, como foi adotado pelos municípios de Itaqui, São Borja, Alegrete e Maçambará, o que permitiu alcançar produtividade média de 7800kg/ha, enquanto a previsão do Estado é 5196kg/ha. A diminuição de produtividade na região de Bagé, em áreas que não dispõem de irrigação e acesso da estiagem, chegaram ao rendimento médio de 2.300 quilos por hectare. Em geral, a evolução da produtividade no RS tem ficado abaixo dos rendimentos obtidos nos estados que lideram o ranking nacional como Mato Grosso e Paraná que já chegam a produtividade de nove mil quilos por hectare, o que requer revisão nas estratégias de cultivo de milho no Rio Grande do Sul.

Figura 2. Mapas de distribuição da produtividade média de milho no Rio Grande do Sul – 2005 a 2020.



Fonte: Elaboração própria. Nota: O nível 5 da escala refere-se aos municípios de maior produtividade e, em ordem decrescente, no nível 1 estão os de menor produtividade.

Independente do ano, as maiores produtividades, geralmente, ocorreram no planalto Norte e Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Essas áreas compreendem as regiões do Planalto Médio e das Missões, onde o padrão de clima, solo e topografia é mais homogêneo do que em outros municípios e microrregiões, o que reduz a variabilidade dos rendimentos e, portanto, aumenta a precisão da estimativa dos rendimentos das culturas em escala municipal ou regional. Além disso, no Planalto Médio e Missões, as fazendas e lavouras de milho são de médio a grande porte e altamente mecanizadas, permitindo uma produção elevada e uniforme. Em contrapartida, nos demais municípios e microrregiões, em especial nas regiões Sul e Sudeste, as condições de solo e clima tendem a apresentar alta variabilidade, devido ao relevo irregular. As fazendas e campos de milho são em sua maioria de pequeno porte e o nível tecnológico é menor do que na região do planalto (BERGAMASCHI, et al. 2007)

A associação espacial entre eventos pode ser examinada por meio da estatística *I* de Moran, mostrando o grau de associação espacial global, conforme já salientado, os valores dessa estatística, que excedem o *I* de Moran calculado, indicam a presença de autocorrelação espacial positiva, enquanto que valores abaixo do valor esperado apontam autocorrelação negativa (PIMENTEL, ALMEIDA, & SABBADINI, 2005).

No presente trabalho, a ocorrência de autocorrelação positiva significa que os municípios que apresentam alta (baixa) produtividade de milho são circundados por outros municípios que também possuem valores altos (baixos) para essa mesma variável. Por outro lado, quando o *I* de Moran detecta autocorrelação negativa, significa que os municípios com alta (baixa) produtividade média são vizinhos de municípios com baixo (alto) valor para este indicador.

O valor crítico da estatística do *I* de Moran foi de -0,002. O resultado obtido deve ser comparado com os coeficientes calculados a seguir, determinando a tendência geral de agrupamento existente entre as produtividades de milho nos municípios gaúchos.

A Tabela 2 mostra que a estatística *I* de Moran, calculada a partir de diferentes matrizes de peso, leva ao mesmo resultado em relação ao sinal e à significância da autocorrelação espacial. Entretanto, a matriz com 5 vizinhos foi a que proporcionou, em geral, o maior *I* de Moran, logo, as análises subsequentes se baseiam nessa matriz de peso espacial.

Tabela 2. Coeficiente de *I* de Moran para a produtividade média de milho no Rio Grande do Sul, a partir de diferentes matrizes de pesos espaciais – 2000 a 2020.

Ano	5 vizinhos	10 vizinhos	15 vizinhos	Rainha	Torre
2005	0.5287	0.4739	0.4323	0.4996	0.4990
2010	0.7883	0.7536	0.7288	0.7862	0.7861
2015	0.7288	0.6842	0.6680	0.7223	0.7219
2020	0.7274	0.6999	0.6900	0.7384	0.7381

Fonte: Elaborada pela autora. Nota: pseudo-significância empírica baseada em 999 permutações aleatórias; significativos ao nível de 1%.

Os resultados do *I* de Moran, com base na matriz com 5 vizinhos, estão apresentados na Tabela 3, assim como estão o desvio-padrão e o *z-value*, com o intuito de testar a significância estatística. Como pode ser verificado, tem-se indício de existência de autocorrelação positiva entre os municípios ao nível de significância estatística de 1%, uma vez que o valor da estatística *I* para todos os anos encontra-se acima do valor do *I* de Moran esperado.

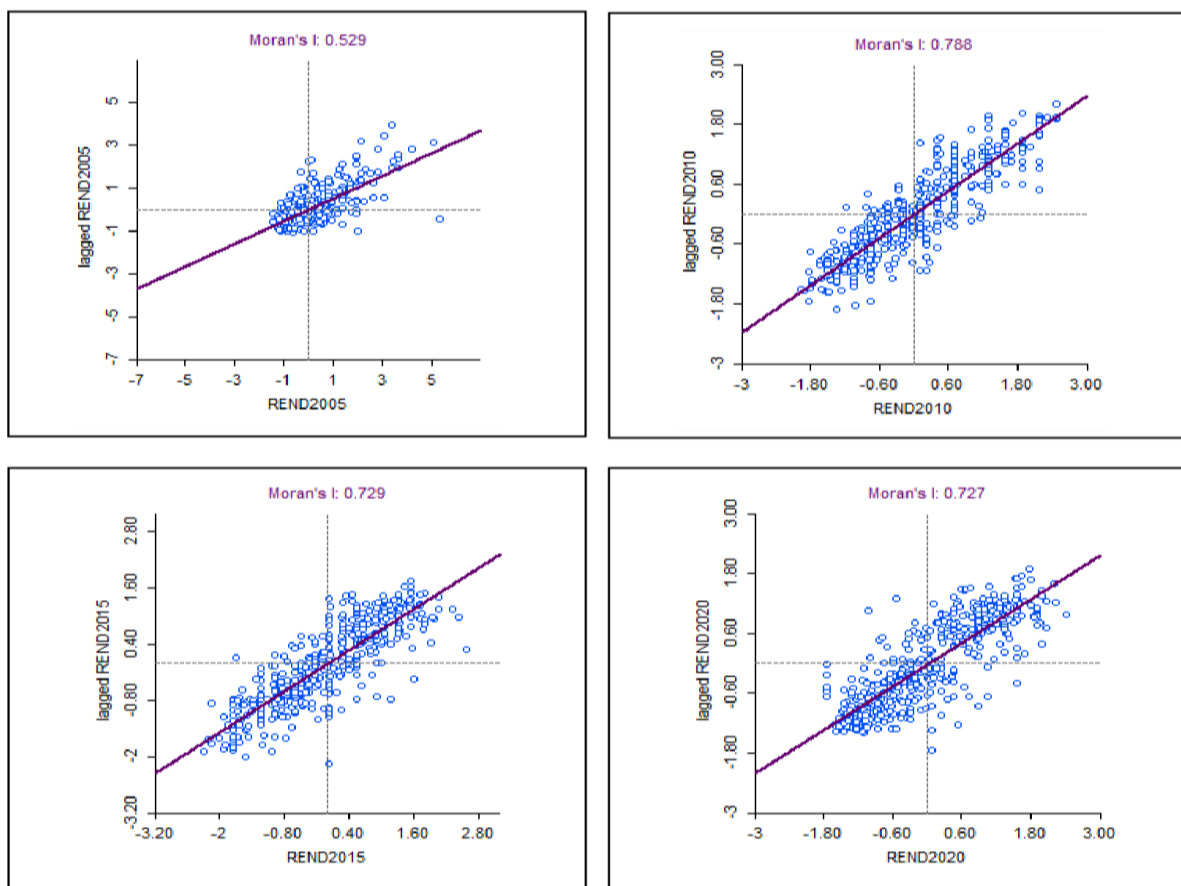
Tabela 3. Coeficiente de I de Moran para a produtividade média de milho no Rio Grande do Sul, com base na matriz com 5 vizinhos – 2000 a 2020.

Ano	I de Moran	Média	Desvio Padrão	z -value
2005	0.5287	-0.0021	0.0273	19.4701
2010	0.7883	-0.0015	0.0265	29.7989
2015	0.7288	-0.0023	0.0264	27.6556
2020	0.7274	-0.0028	0.027	27.0136

Fonte: Elaboração da autora. Nota: pseudo-significância empírica baseada em 999 permutações aleatórias; valores significativos ao nível de 1%.

Um passo complementar à análise do I de Moran refere-se ao diagrama de dispersão de Moran, o qual revela, de fato, padrões locais de associação espacial, alocando as observações em quadrantes, conforme a distribuição da produtividade entre os municípios. A Figura 3 apresenta os diagramas de dispersão de Moran trazendo, no eixo horizontal, a produtividade média para cada um dos anos da análise e, no eixo vertical, a defasagem espacial (lag) da variável de interesse (produtividade média) para esses anos.

Figura 3. Diagramas de dispersão de Moran para a produtividade de milho no Estado do Rio Grande do Sul – 2005 a 2020.



Fonte: Elaboração própria.

Os valores de I de Moran (Tabela 3), que apontam a existência de autocorrelação positiva, são confirmados pela dispersão das produtividades dos municípios demonstradas nos



diagramas. A maior parte dos municípios pode ser localizada nos quadrantes (alto-alto) e (baixo-baixo) dos diagramas, confirmando, assim, a existência de autocorrelação espacial positiva. Além disso, esses resultados atendem à necessidade de a inclinação da curva contida no diagrama ser positiva, de modo a se ter autocorrelação espacial (PEROBELLI et al., 2007). A continuidade da AEDE deve-se dar com o cálculo do índice *I* de Moran local, pois, conforme destacado anteriormente, o coeficiente de autocorrelação espacial global pode ocultar padrões locais de autocorrelação espacial. A maneira mais evidente de especificação da estatística se dá por meio do mapa de *clusters*, que combina informações do mapa de dispersão de Moran e do mapa de significância das medidas de associação local.

A formação dos *clusters* de produtividade demonstra que, em 2005, 51 dos municípios estava distribuída entre aqueles do tipo alto-alto (AA) e 59 dos municípios em baixo-baixo (BB), enquanto 374 municípios relevaram-se não significante. Até o ano 2010, houve aumento no número de municípios nesses dois *clusters* e redução daqueles que não faziam parte de nenhum agrupamento. Em 2015, observou-se pequeno aumento de municípios no *cluster* AA e diminuição no *cluster* BB em relação a 2010. No ano de 2020, houve aumento significativo dos municípios no *cluster* BB, e o reaparecimento de 4 municípios no *cluster* BA. No entanto, não houve ao longo do período de análise alteração significativa na tendência de crescimento do número de municípios aos *clusters* dos tipos AA e BB, como retratado na Tabela 3.

Tabela 3. Distribuição dos municípios entre os *clusters* da produtividade média de milho no Estado do Rio Grande do Sul – 2005 a 2020.

<i>Cluster</i>	2005	2010	2015	2020
AA	51	117	121	119
BB	59	109	104	125
BA	7	0	0	4
AB	8	4	7	7
Não significante	374	269	267	244
Total	499	499	499	499

Fonte: Elaboração própria.

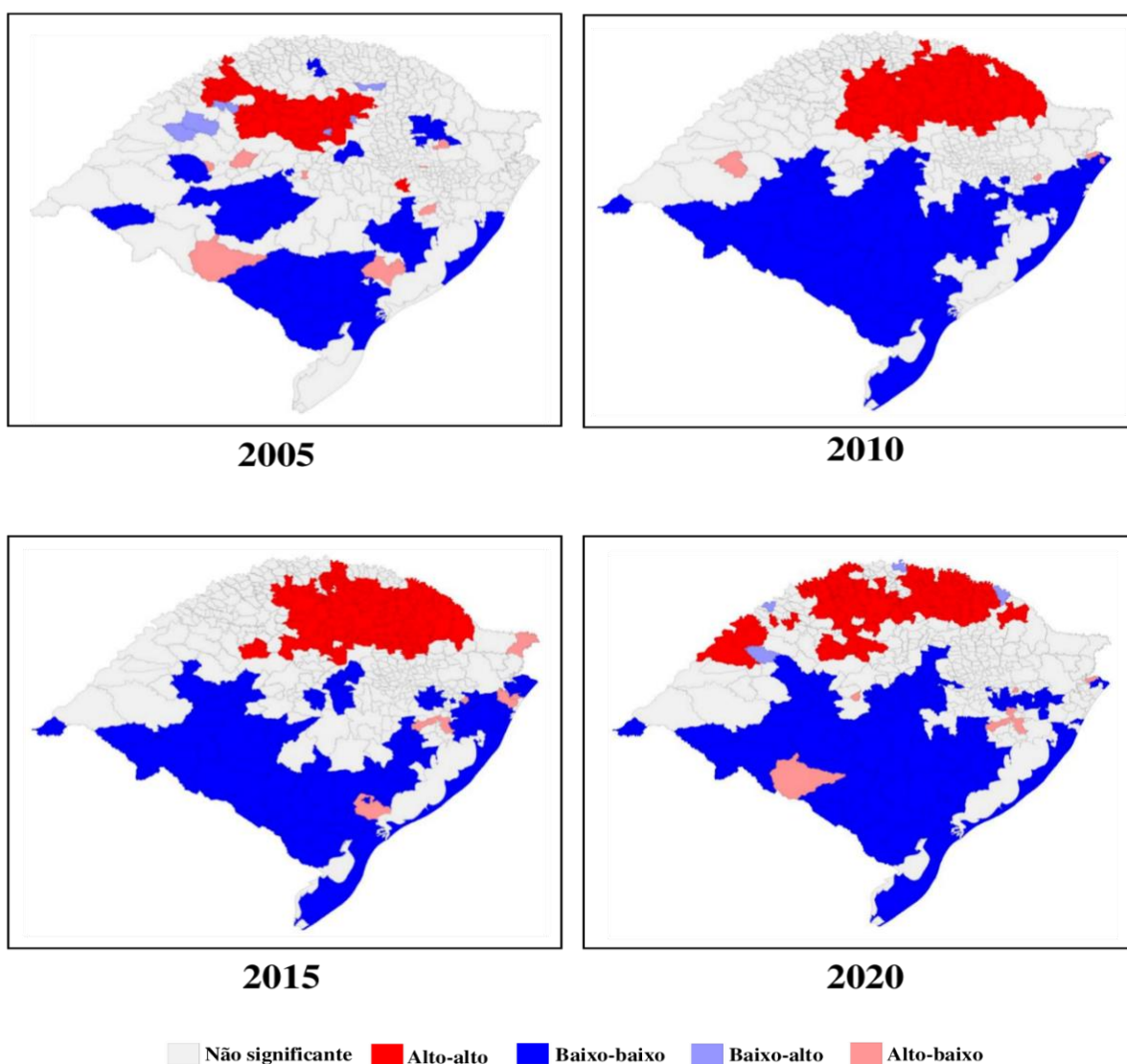
Os *clusters* que possuem significância estatística para o *I* de Moran local, considerando a produtividade de milho nos municípios do Rio Grande do Sul, são apresentados na Figura 4.

Por meio da Figura 4 é possível verificar uma mudança na formação de *clusters* durante os anos analisados. No ano de 2005, verifica-se a formação de vários *clusters* BB e um do tipo AA, situado na parte Norte do estado. De acordo com a IBGE, 95,6% dos estabelecimentos que cultivaram milho na safra 2005/2006 possuíam menos de 100 hectares. Esses estabelecimentos foram responsáveis por 76,3% da área total cultivada e por 71,4% da produção (IBGE, 2006).

Informações do Censo Agropecuário apontam que, em 2005, em torno de 35,6% da produção não foi comercializada. Esse percentual significa que mais de 1,8 milhão de toneladas foram transformados dentro da propriedade em carne, ovos e leite. A elevada retenção dentro da propriedade e os problemas causados pelo excesso de chuvas ou pela estiagem prolongada relatadas nesse período explicam a formação dos *clusters* BB cuja propriedade é de municípios com baixa produtividade para o milho circundados por municípios com esta mesma característica. O *cluster* AA também é composto por municípios de pequena extensão territorial, porém de elevada produtividade média para o cultivo de milho. Como característica desse tipo de *cluster*, esses municípios são circundados por outros que também possuem elevada produtividade.

No ano de 2010, observou-se a formação de dois *clusters*, um do tipo AA, nas mesorregiões Nordeste/Noroeste do estado, e outro grande do tipo BB, nas mesorregiões de Sudoeste/Sudeste/Metropolitana/Central. Em 2015 a tendência permaneceu a mesma, exceto pela região Central que deixou de participar do *cluster* do tipo BB. Em 2020, a região Central voltou a participar do *cluster* do tipo BB observado. Ainda, dois *clusters* do tipo AA foram verificados na região Nordeste do estado. Vale destacar que em 2005 o município de Dom Pedrito apresentou *cluster* do tipo AB e depois de dois anos no *cluster* BB, voltou a aparecer em 2020 como AB.

Figura 4. Mapas de clusters da produtividade média de milho no Estado do Rio Grande do Sul – 2005 a 2020.



Fonte: Elaboração da autora.

Conclusão

Considerando o objetivo do presente trabalho, que consistiu em analisar a disposição espacial da produtividade de milho nos municípios do Rio Grande do Sul no período entre 2005 e 2020, por meio da análise exploratória de dados espaciais, observou-se que a distribuição da produtividade média de milho nos municípios do Rio Grande do Sul não foi homogênea ao longo do período da análise.

Os valores de *I* de Moran Global para a produtividade de milho no período de 2005 a 2020 proporcionaram indício de existência de autocorrelação positiva entre os municípios. Tais valores foram confirmados pela dispersão das produtividades dos municípios demonstradas nos diagramas de dispersão de Moran.

A observação do *I* de Moran local, apresentado por meio do mapa de *clusters*, permitiu verificar uma mudança localizada e temporária na formação dos mesmos durante os anos analisados. No período de 2005 a 2020, verificou-se a formação de *clusters* do tipo baixo-baixo (BB) nas regiões Central e Sul, e de *cluster* tipo alto-alto (AA) na região Norte do estado.

Diante do exposto, torna-se evidente o padrão de associação espacial e de agrupamento ao longo do período de análise, com destaque para os *clusters* de alta produtividade de milho na região Norte do Rio Grande do Sul. O conhecimento da configuração espacial da produtividade de milho fornece, portanto, subsídios para possíveis atuações de governos e instituições privadas na elaboração de políticas para o desenvolvimento do agronegócio no estado.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. S. (2005). Função de Produção Agropecuária Espacial. In: Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, 41, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural (SOBER), CD-ROM, 2005.
- ALMEIDA, E. S. **Econometria espacial aplicada**. Campinas, SP, Editora Alínea, 2012.
- ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association – LISA. **Geographical Analysis**, v. 27, n. 2, p. 93-115, 1995. DOI: 10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x
- BERGAMASCHI, H. *et al.* Maize yield and rainfall on different spatial and temporal scales in Southern Brazil. *Agrometeorology*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n.5, 2007. DOI: 10.1590/S0100-204X2007000500001
- CAPUCHO, T. O.; PARRÉ, J. L. Produção leiteira no Paraná: um estudo considerando os efeitos espaciais. In: VIII Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos, 8., 2010, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: Aber, 2010.
- CASSMAN, K. G. *et al.* Meeting Cereal Demand While Protecting Natural Resources and Improving Environmental Quality. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 28, n. 1, p. 315–358, 2003. DOI: 10.1146/annurev.energy.28.040202.122858
- CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA) e Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA). **PIB do agronegócio cresceu abaixo das projeções, 2022**. Disponível em: <



<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/releases/pib-agro-cepea-pib-do-agro-cresce-8-36-em-2021-participacao-no-pib-brasileiro-chega-a-27-4.aspx>). Acesso em: 11 de jul. 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB) Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Brasília, v. 9 - Safra 2021/2022 (10º levantamento), p.1-88, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Levantamento sistemático da produção agrícola (LSPA), 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>. Acesso em: 12 jul. 2022.

MORAN, P. A. P. Notes on continuous stochastic phenomena. **Biometrika**, v. 37, n.1/2, p. 17-23, 1950. DOI: 10.2307/2332142

MORAN, P. A. P. The interpretation of statistical maps. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 10, n. 2, p. 243-251, 1948. DOI: 10.1111/j.2517-6161.1948.tb00012.x

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Perspectivas da população mundial. Disponível em: <<https://population.un.org/wpp/>>. Acesso em: 10 de jul. de 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA (FAO). FAOSTAT Database – Produção Agrícola (FAO). Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#home>>. Acesso em: 5 jul 2022.

PEROBELLI, F. S. *et al.* Análise espacial da produtividade do setor agrícola brasileiro: 1991-2003. **Nova Economia**, 17 (1), 65-91, 2007. DOI: 10.1590/S0103-63512007000100003

PIMENTEL, E. A.; ALMEIDA, L. O.; SABBADINI, R. Comportamento recente das exportações agrícolas no Brasil: uma análise espacial no âmbito dos estados. In **Anais do XLI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural** (p. 1-24). Ribeirão Preto, SP, 2005.

TEIXEIRA, R. F. A. P.; BERTELLA, M. A. Distribuição espaço-temporal da produtividade média do café em Minas Gerais: 1997-2006. **Análise Econômica**, v. 33, n. 63, p. 275–299, 2015. DOI: 10.22456/2176-5456.25814