

EVOLUÇÃO ESPAÇO TEMPORAL DA PRODUÇÃO DE MILHO E SOJA NA REGIÃO SUL BRASILEIRA NO PERÍODO DE 2005 A 2018

*TEMPORAL EVOLUTION OF CORN AND SOYBEAN PRODUCTION IN THE SOUTHERN BRAZILIAN
REGION IN THE PERIOD FROM 2005 TO 2018*

Rodrigo Monteiro da Silva
Doutorando em Teoria Econômica – Universidade Estadual de Maringá
rodrygomsylva@gmail.com

Leonardo Mateus de Morais Auriglietti
Mestre em Teoria Econômica – Universidade Estadual de Maringá
leonardo_auriglietti@hotmail.com

Luciana Aparecida Bastos
Doutora em História Econômica - Universidade de São Paulo. Professora Associada da Universidade
Estadual do Paraná-Campus de Campo Mourão
singerlu@gmail.com

Amarildo de Paula Junior
Doutorando em Teoria Econômica – Universidade Estadual de Maringá
amarildojunior.eco@gmail.com

Aprovado em 05/2022

Resumo

A partir da expressiva importância da exportação das commodities no mercado internacional, e dado a grande representatividade da soja e do milho nessas exportações, principalmente ao se analisar o histórico de suas produções em território nacional, especificamente para a região Sul, a presente pesquisa teve por objetivo verificar qual o comportamento temporal e espacial dessas duas culturas na região sul brasileira. Para se alcançar o propósito, foi adotado a metodologia de Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) empregada para os anos de 2005, 2010, 2015 e 2018. Os principais resultados mostram a presença de três grande clusters Alto-Alto de milho e soja no estado do Paraná, mas que ao longo dos períodos foi se dissipando em direção a um único, mais ao centro da região, e o Rio Grande do Sul, possuindo esse um grande cluster Baixo-Baixo para milho, mas sem a presença de aglomeração espacial para a soja.

Palavras Chave: Produtividade. Soja. Milho. AEDE.

Abstract

Based on the significant importance of the export of commodities to the international market, and given the great representativeness of soy and corn in these exports, especially when analyzing the history of their production in national territory, specifically for the South region, this research aimed to objective to verify the temporal and spatial behavior of these two cultures in the southern region of Brazil. To achieve the purpose, the Exploratory Spatial Data Analysis (AEDE) methodology used for the years 2005, 2010, 2015 and 2018 was adopted. The main results show the presence of three large clusters of the Alto-Alto type of corn and soybean in the state of Paraná, but over the period it has dissipated towards a single one more towards the center of the region, and Rio Grande do Sul has a large Low-Low cluster for corn, but without the presence of spatial agglomeration for soy.

Keywords: Productivity. Soy Bean. Maize. AEDE.

INTRODUÇÃO

A produção e a exportação de commodities agrícolas são constantemente tratadas como grandes potenciais da economia brasileira. Tais característica se devem ao cultivo em larga escala do milho e da soja. No ano de 2019, o Brasil alcançou a marca de terceiro maior produtor de milho do mundo com 101 milhões de toneladas produzidas, ficando atrás apenas de EUA e China (FAO, 2021). Por sua vez, no mesmo ano a produtividade da soja brasileira bateu recorde, atingindo a marca de 114 milhões de toneladas, mantendo o país em primeiro lugar na produção de soja mundial (FAO, 2021).

Diante dos resultados expressivos atingidos no cenário internacional, cabe ressaltar duas regiões que apresentam participação relevante no montante total produzido em ambas as culturas.

Visto que há grande relação entre a cultura de soja e de milho, a região Centro-Oeste se consolidou como a maior produtora das duas commodities. No ano de 2019, tal região apresentou produção de aproximadamente 54 milhões de toneladas de milho (53% da produção nacional), enquanto a produção de soja foi de aproximadamente 52 milhões de toneladas (46% da produção nacional) (IBGE, 2021).

Por sua vez, a região Sul ocupa a segunda posição na produção de milho e soja. Para tanto, no ano de 2019 foi responsável pela produção de 25 milhões de toneladas de milho (25% da produção nacional), sendo que, em contrapartida apresentou uma produção de 37 milhões de toneladas de soja (32% da produção nacional) (IBGE, 2021).

Diante dos dados apresentados, é notável a contribuição relevante da região Sul na produção de commodities agrícolas. Dessa forma, o presente estudo busca averiguar a evolução espacial e temporal da produtividade da soja e do milho na região Sul, verificando a possibilidade da região formas agrupamentos produtivos dessas duas culturas. Para realizar essa análise, será aplicado o método de análise exploratória de dados espaciais (AEDE), bem como será apresentada uma fundamentação teórica pautada em trabalhos que fornecerão a base necessária para o desenvolvimento da temática abordada.

Dado o impacto da produção de milho e soja na região Sul, principalmente no tocante as exportações brasileiras, o trabalho irá questionar se ao longo dos anos de estudo a produtividade do milho e da soja apresentou algum comportamento inerente a concentração ou dispersão em determinadas áreas. Portanto, a contribuição acadêmica almejada com esse artigo, fica acerca da aplicação do método AEDE especificamente na produção de milho e soja da região Sul, propiciando então, uma base teórica

específica aplicada ao tema. O recorte temporal utilizado, refere-se aos períodos de sobreposição da região Sul pela região Centro-Oeste na produção de milho, e ainda apresenta uma constante disputa das regiões supracitadas pela liderança nacional na produção de soja.

A partir dos fatos apresentados, assume-se, como primeira hipótese que a produção do milho e da soja apresentam correlação entre as áreas produtivas dessas culturas. A segunda hipótese aponta para a expansão do território de plantio de ambas as culturas, com ênfase a locais com terrenos planos, isso pois, tais produtos exigem larga escala produtiva e alto grau de mecanização.

O presente artigo possui, fora essa introdução, mais quatro seções. Na seção seguinte é apresentado o referencial teórico acerca das culturas e sua relação com a região Sul do Brasil. A seção posterior aborda a metodologia aplicada para se alcançar os objetivos da pesquisa, seguida da seção destinada a análise dos resultados. Por fim, na última seção constam as considerações finais.

REFERENCIAL TEÓRICO

As culturas de soja e milho, apesar de serem produzidas em consórcio, possuem características históricas diferentes. O milho (*Zea mays* L.) teve origem nas Américas, datado de aproximadamente 7.300 anos atrás e seu cultivo em território brasileiro era realizado antes mesmo da chegada dos europeus. Todavia, a partir do descobrimento do Brasil houve um aumento na demanda por milho (APROSOJA, 2021).

Por outro lado, no tocante a origem da soja (*Glycine max*), seus primeiros registros são datados de 2.838 A.C. no leste da Ásia. Os

primeiros experimentos realizados no Brasil ocorreram em 1882, porém foi na década de 1970 que houve a maior expansão na produção do grão, motivado em grande parte pela alta dos preços no mercado internacional (EMBRAPA, 1987).

Por sua vez, a inserção da soja na Região Sul, permeou diferentes períodos em cada um dos três estados. O início da produção em escala comercial ocorreu no estado do Rio Grande do Sul, na região de Missões, com o objetivo de fornecer forragem e ração para suínos. Contudo, até o início da década de 1970, tal cultura era considerada secundária, em relação ao trigo. A partir dos problemas observados na triticultura, e do elevado retorno proporcionado pela soja ao longo da década de 1970, essa tornou-se relevante para a agricultura gaúcha. Tais ocorridos conduziram a pesquisa à busca por novas tecnologias e cultivares que melhor se adequassem as necessidades produtivas do ciclo trigo-soja (EMBRAPA, 1987).

Por sua vez, a inserção da soja no estado de Santa Catarina ocorreu por meio dos agricultores gaúchos, que iniciaram a produção no oeste catarinense e na região do vale do Rio do Peixe com o objetivo de fornecer ração para suínos. Para tanto, em 1944 houve um aumento da produção da soja com destinação para a produção de cola utilizada na indústria madeireira. Ao longo dos anos as lavouras de soja se desenvolveram, sendo essas realizadas em consórcio com a produção de milho (EMBRAPA, 1987).

No estado do Paraná, o primeiro registro de soja é datado de 1936, com a chegada de agricultores gaúchos e catarinenses que se instalaram na região sudeste e oeste paranaense. Em 1941 foram produzidas sementes de soja sob coordenação do Ministério da Agricultura, que foram distribuídas em 1942 com o intuito de

instigar a produção do grão no estado. No entanto, a expansão da soja no estado ocorreu a partir do início da década de 1950. Em decorrência de algumas geadas ocorridas em 1953, a produção de café, principalmente no norte do Paraná, foi afetada, de modo que a soja se tornou uma alternativa de cultura intercalar com a finalidade de renovar os cafezais. A produção teve desenvolvimento mais consistente a partir da década de 1970, quando o estado assumiu as posições de segundo maior produtor de soja do país e de maior produtividade média nacional.

A produtividade de grãos passa por diversos e importantes fatores relacionados às pesquisas agrícolas, dentre esses fatores, destacam-se quatro: o clima, o espaço, a tecnologia e a cadeia produtiva. Dentre os estados da Região Sul, o Paraná se destaca como o maior produtor de milho, de acordo com Ferreira (2005), por outro lado, o maior cultivo de soja ocorre no Rio Grande do Sul. Os resultados desta pesquisa vão de encontro a dois fatores supracitados, visto que a elevação da produtividade do milho e da soja ocorreu devido ao emprego de novas técnicas de previsibilidade climática no campo. O estudo que analisou a correlação da precipitação em diferentes trimestres do ano com a produtividade dos grãos teve como relevante resultado a precipitação que ocorre no período de dezembro, janeiro e fevereiro tem efeito positivo sobre a produtividade de milho nos três estados, enquanto a precipitação deste mesmo trimestre apresenta coeficientes negativos sobre a produtividade de soja no Paraná e no Rio Grande do Sul.

A observação de fatores climáticos tem sido essencial para elevar a produção de soja na região Sul. No estudo de Arsego et al. (2018) foi analisado a relação entre o El Niño e a produtividade do grão de soja no estado do Rio

Grande do Sul. Os resultados apontaram para a elevação da produtividade da cultura em épocas mais quentes do fenômeno.

Na questão espacial do uso da terra, a expansão da área destinada à agricultura está relacionada com a produção de soja. Freitas e Mendonça (2016) analisaram a expansão da área agrícola no intervalo entre 1994 e 2013. Os autores encontraram resultados em que a área em (hectares) voltada para a colheita de produtos agrícolas no Brasil elevou, em média, 1,76% ao ano. Na análise específica para a colheita de soja, no mesmo período a elevação fora de 5,06%, o que mostra a apropriação da área agrícola por parte desta cultura.

Castro et al. (2015) analisaram a produtividade média da terra na produção de Soja, sob a hipótese que de houve convergência espacial na cultura das regiões Centro-Oeste e Sul entre 1994 e 2013. Os resultados comprovaram que com o passar do tempo, a disparidade regional na produção de soja reduziu. Isto foi causado por aspectos como a elevação do número de municípios produtores do grão no período analisado.

Em relação às características da agricultura na região Sul, com ênfase a convergência espacial, Raiher et al. (2016) procuraram analisar a convergência da produtividade do setor agropecuário na região Sul. Os resultados apontaram que as microrregiões com características semelhantes estão propensas a convergirem para o mesmo nível de produtividade. Outro resultado a se destacar deste estudo é a questão da dependência espacial, em que algumas microrregiões com baixa produtividade são cercadas de microrregiões com baixa produtividade, com exceção do Sul do Rio Grande do Sul, em que este efeito é inverso.

No âmbito tecnológico, algumas técnicas são utilizadas para potencialização da produção de milho, tais como: o melhoramento genético dos cultivares, precisão de semeadura, manejo de potássio e nitrogênio. Essas técnicas fortalecem a competitividade do milho com o grão de soja (COELHO et al., 2004).

Com exceção do milho, a produção de milho para se manter no lugar da produção de soja deve ter maior remuneração do capital para cobrir os custos e o responsável pela terra conforme Alves et al. (1999). Caso contrário, a produção de milho tende a ser desprezada em relação ao plantio de soja. Outro aspecto que tem ganhado destaque na cadeia produtiva da agropecuária brasileira é o cooperativismo. No estudo de Neves et al. (2019) foi verificado que os agricultores das regiões Sudeste, Centro-Oeste e Sul estarem vinculados com alguma cooperativa traz retornos positivos à sua produção.

Por fim, mas ainda no âmbito da cadeia produtiva, a produtividade de soja é afetada por custos logísticos de distribuição. A correção de gargalos deste aspecto elevaria a produtividade nacional do grão em cerca de 20% (ROSSETO; PEÑA, 2018). Os gargalos presentes na cadeia produtiva do grão de soja brasileiro são formados por fatores como armazenamento, transporte ferroviário, rodoviário e hidroviário (PONTES et al., 2009). A correção destes gargalos na região Sul ocorreria em alguns pontos como a transformação do sistema ferroviário, a construção de redes de silos em locais estratégicos e reestruturação portuária.

METODOLOGIA

Dado o objetivo da pesquisa, que foi analisar o comportamento da produtividade das culturas de milho e soja na região Sul do Brasil, a metodologia

empregada foi a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE).

Para Anselin (1993) a análise exploratória de dados espaciais analisa as características espaciais dos dados com o propósito de verificar algum grau de dependência e também heterogeneidade espacial, de forma que as ferramentas empregadas devem indicar como é sua distribuição espacial, possíveis padrões nessas distribuições, os chamados clusters, algum tipo de instabilidade espacial, ausência de dados estacionários, ou observações com características não usuais, chamado de outliers.

Anselin (1998) aponta que há quatro tipos de técnicas de análise exploratória de dados espaciais a saber: i) o estudo da visualização das distribuições espaciais; ii) análise das associações espaciais; iii) indicadores de associação espacial local, e; iv) indicadores multivariados de associação espacial. A partir desse conjunto é possível analisar as relações espaciais globalmente e localmente, utilizando o índice de Moran e o índice de Moran local, respectivamente. A utilização do I de Moran local recebe o nome de indicadores locais de associação espacial, do inglês Local Indicators of Spatial Association (LISA).

Nos estudos globais se considera a dependência espacial dos dados de uma determinada localidade em sua totalidade, gerando resultados que indicaram a autocorrelação espacial da região em relação à média de uma determinada vizinhança, muito empregada em pesquisas econômicas regionais. A estatística empregada para esse tipo de análise é o Índice I de Moran, que revela o quão associados estão os dados espaciais de uma região.

No entanto, deve se ter em mente qual o grau de vizinhança que será considerado a análise da dependência espacial, para dessa forma se

escolher qual tipo de matriz de pesos espaciais adotar. Tais matrizes são construídas em critério como contiguidade, distância ou mesmo uma combinação de ambas. Ao adotar o conceito de contiguidade e atribui valor 1 para regiões vizinhas e zero caso contrário, de forma que:

$$w_{ij} = \{1 \text{ se } i \text{ e } j \text{ forem contíguas; e caso contrário}\} \quad (1)$$

Para o caso de $w_{ii}=0$, pois uma região não é considerada, teoricamente, vizinha de si mesma, de modo que na matriz de contiguidade tem sua diagonal principal completa de zeros. Os tipos de matrizes de contiguidade mais empregadas, de acordo com Almeida (2012) são a do tipo Rainha e Torre.

Outra categoria na construção de matrizes espaciais é a de distância geográfica, que tem se embasa no conceito teórico de que quanto maior a proximidade geográfica entre regiões maior será a interação espacial. Esse tipo de matriz é definida como matriz de k vizinhos, de forma que:

$$w_{ij}(k) = \{1 \text{ se } d_{ij} \leq d_i(k); 0 \text{ se } d_{ij} > d_i(k)\} \quad (2)$$

Onde $d_i(k)$ representa a distância de corte entre um território i para que i possua um determinado k de vizinhos. Dessa forma, $d_i(k)$ define a menor distância para região i possuir especificamente k vizinhos. A questão do pesquisador que trabalha com dados espaciais é definir qual a melhor matriz para descrever a dependência espacial, sendo nesse sentido útil a empregar algum teste de autocorrelação espacial, o I de Moran. A matriz que gerar o maior valor nesse teste deve ser a empregada na pesquisa.

O teste de I de Moran usa como medida de autocorrelação espacial a autocovariância na forma de produto cruzado, sendo famoso por ser considerado o primeiro coeficiente de autocorrelação espacial conhecido. A equação que represente o teste é definido pela equação (3):

$$I = \frac{Z'WZ}{Z'Z} \quad (3)$$

Em que Z representa os valores da variável dependente padronizada, Wz a média dos valores padronizados nos vizinhos, obtidos a partir da matriz de ponderação espacial W . O valor médio esperado de W é dado por $E(I)=[-1/(N-1)]$ com n representando o número de regiões. O índice I de Moran varia entre -1 e 1 , de forma que valores próximos a 1 , -1 ou 0 indicam correlação espacial positiva, negativa ou inexistente, respectivamente (ALMEIDA, 2012). Dessa forma, para o primeiro caso, uma região com um alto valor para determinada variável é vizinha de regiões que também possuem elevado valor para a mesma variável. No segundo caso, uma região com alto valor é cercada por vizinhos com baixo valor, e para um I de Moran próximo de zero, os dados não se correlacionam espacialmente (SABATER; TUR; AZORÍN, 2011).

Como já mencionado, a análise global realiza uma média a partir da consideração de todo território em estudo, o que pode distorcer a real dependência em uma determinada região. Para corrigir tal problema, pode se empregar o Indicador Local de Associação Espacial (LISA), por ser uma ferramenta capaz de analisar a autocorrelação espacial local (SABATER; TUR; AZORÍN, 2011). Indicadores Lisa necessitam

cumprir os critérios de que em cada unidade verificar clusters espaciais que sejam significativos e valores similares ao redor da observação e o somatório dos indicadores locais precisam ser proporcionais ao indicador global (ANSELIN, 1995).

O coeficiente de I de Moran decompõe o global para construção da contribuição local de cada unidade geográfica, dividindo em 4 categorias, que são alto-alto (AA), baixo-baixo (BB), alto-baixo (AB) e baixo-alto (BA), e é representado pela equação abaixo:

$$I_i = Z_i \sum_{j=1}^J W_{ij} Z_j \quad (4)$$

O cálculo de I_i admite apenas os vizinhos da observação i , obtidos a partir da matriz de pesos espaciais empregadas. Como já mencionado, para que seja válido, a soma dos indicadores locais deve ser igual ao do indicador global (ANSELIN, 1995).

Ainda ao se empregar AEDE existe a possibilidade de se empregar um coeficiente de correlação espacial bivariado, ou seja, associar o valor de determinada variável de uma região i com o de outra variável das regiões vizinhas a i . A partir de duas variáveis quaisquer Z_1 e Z_2 :

$$I^{Z_1 Z_2} = Z_{1i} W Z_{2i} \quad (5)$$

Onde Z_{1i} representa uma determinada variável e W_{ij} a defasagem espacial de outra variável. Dessa forma, apenas vizinhos de i , obtidos a partir da matriz de peso escolhida.

A partir da utilização da AEDE será possível verificar qual tem sido o comportamento da produção da soja e do milho na região Sul do Brasil, constatar possíveis padrões espaciais da

destruição dessas culturas nos três estados que compõem essa região, analisar se existe alguma dependência espacial cruzada entre a soja e milho como também obter a dinâmica temporal nos anos de 2005, 2010, 2015 e 2018.

RESULTADOS

A presente seção é destinada a análise dos principais resultados. No Gráfico 1 abaixo é apresentada a evolução da produção de milho no Brasil, a partir do ano de 2005 até 2018, comparando por grande região. Pode-se verificar que a produção de milho nacional apresentou contínuo crescimento no período, sendo que a região que mais contribuiu para esse aumento foi a região centro-oeste, seguido da região sul e sudeste.

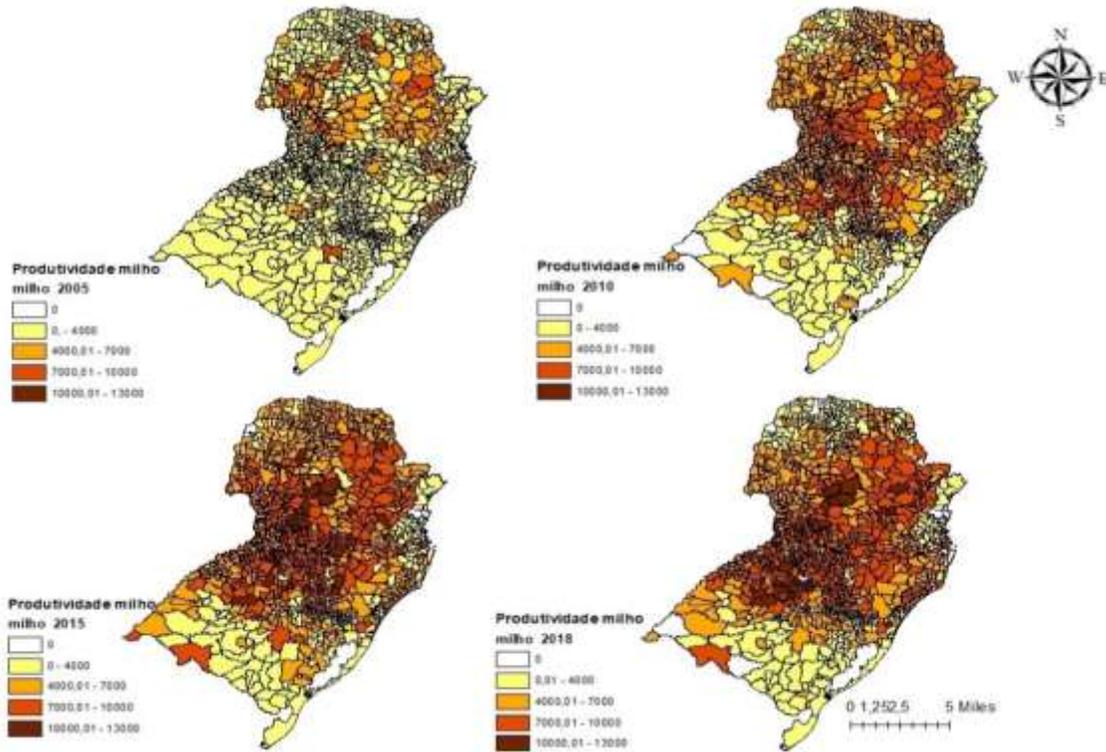
No ano de 2016 a produção de milho no Brasil apresentou uma acentuada queda, impactada pelos produtores da região centro-oeste, o que segundo a Embrapa (2020) foi provocada por motivos de insegurança em relação aos preços internos, plantios tardios e pela seca que assolou o país no período.

Por sua vez, no Gráfico 2 é apresentada a evolução da produção de soja no Brasil e em suas regiões, entre os anos de 2005 e 2018. Fica evidenciada, que diferentemente do milho, a produção de soja foi crescente em todo o período, com pequenas quedas nos anos de 2012 e 2016. Pode-se verificar que a região centro-oeste, em comparação com as demais regiões, apresentou maior uniformidade no crescimento da produção da commodity. Essa crescente da produção de soja, de acordo com CONAB (2019) se deve em função do estímulo a produção dessa cultura em detrimento do arroz.

Ainda de acordo com CONAB (2019), o fenômeno no El Niño influenciou diretamente a produção,

fazendo o estado do Rio Grande do Sul, o principal produtor na safra 2015/2016, ser o mais impactado por esse fenômeno, em função do excesso de chuvas que afetou diretamente a produção do estado, e conseqüentemente a produtividade nacional. A redução foi estimada em 1,4 milhões de toneladas em média, em comparação com a última década.

FIGURA 1 – Produtividade do milho nos anos de 2005, 2010, 2015 e 2018



Fonte: Os autores (IBGE, 2010).

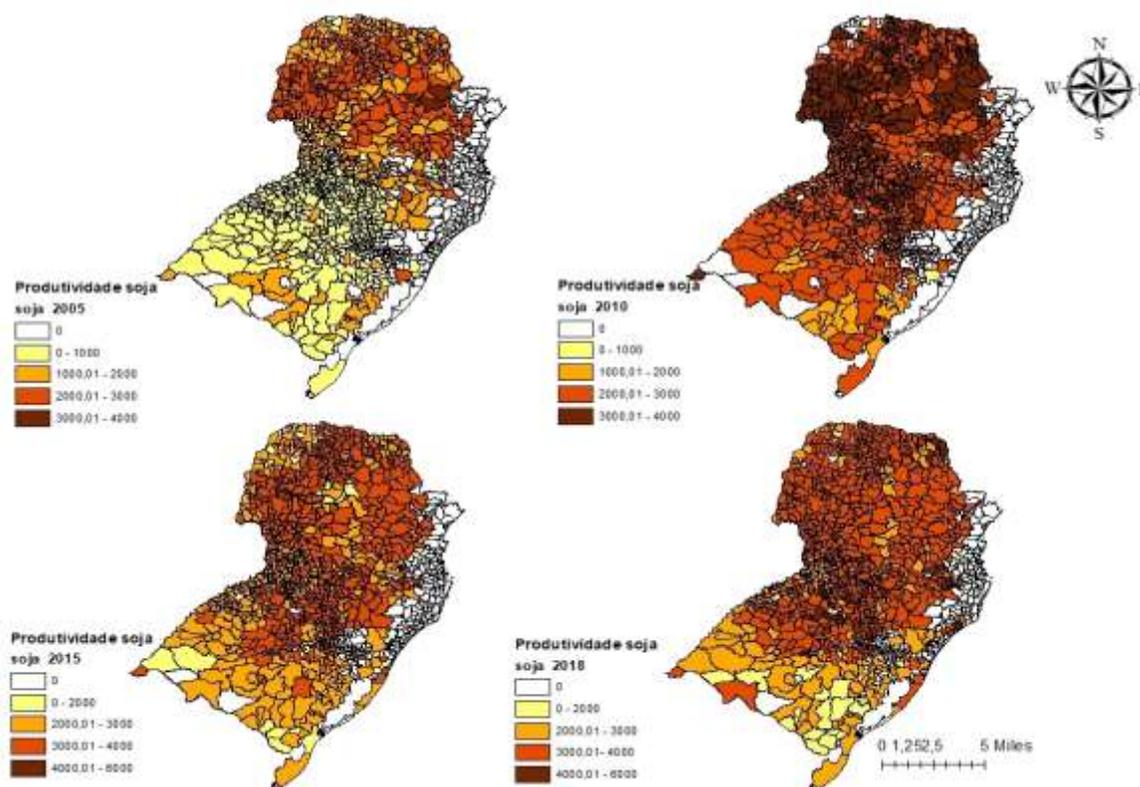
— Brasil — Norte — Nordeste — Sudeste — Sul — Centro-Oeste

Fonte: Os autores (IBGE, 2020).

Dado o objetivo da pesquisa que é verificar a distribuição espacial da produtividade da soja e do milho na região sul do Brasil, foi utilizada a Análise Exploratória de Dados Espaciais, doravante AEDE. De acordo com Almeida (2012) essa metodologia possibilita a análise espacial de determinadas variáveis em uma região, permitindo assim inferir se existe uma relação de transbordamento entre essas, seja pela formação de clusters, regiões com características semelhantes, ou qualquer outro tipo de relação espacial entre as variáveis.

A AEDE inicia-se por meio de uma análise descritiva da distribuição da variável no espaço, o que é realizado na Figura 1, onde inicialmente são apresentados os mapas da produtividade do milho nos municípios da região sul do país. Nos mapas, quanto mais forte o tom de marrom, maior é a produtividade. O que se pode verificar foi que em 2005 alguns poucos municípios, principalmente no estado do Paraná, apresentaram elevada produtividade. Nos anos seguintes, o que se verifica é um aumento no número de municípios com elevada

FIGURA 2 – Produtividade da soja nos anos de 2005, 2010, 2015 e 2018



Fonte: Os autores (IBGE, 2020).

produtividade, sendo que essa elevação é acompanhada de maior proximidade espacial, indicando que no período ocorreu um processo de adensamento regional na produção da cultura, com destaque para a alocação da produtividade na parte central da região sul, principalmente nos municípios de Santa Catarina.

Esse adensamento na produtividade da soja no Paraná, segundo CONAB (2017) ocorre em função do grande potencial produtivo derivado de uma das maiores áreas destinadas a produção da cultura, em detrimento do próprio milho. Outra fator que contribui para a concentração da da soja no Paraná, são as ações realizadas por órgãos como a Agência de Defesa Agropecuária do Paraná (ADAPAR), que está diretamente relacionada com a Secretaria da Agricultura e do

Abastecimento do Paraná (SEAB), relativas a proibição da plantação da soja safrinha a partir de 2016 com propósito de aumentar a de segurança fitopatológico das lavouras do estado.

No período de 2018, último ano analisado, percebe-se que houve uma maior homogeneização da produtividade, principalmente nos municípios do centro-oeste e oeste paranaense e nos municípios da região norte e central de Santa Catarina. Por sua vez, no Rio Grande do Sul também se observa que a produção da soja apresentou elevação na região norte do estado.

TABELA 1 - Coeficiente de I de Moran para a produtividade média do milho e da soja entre anos de 2005, 2010, 2015 e 2018.

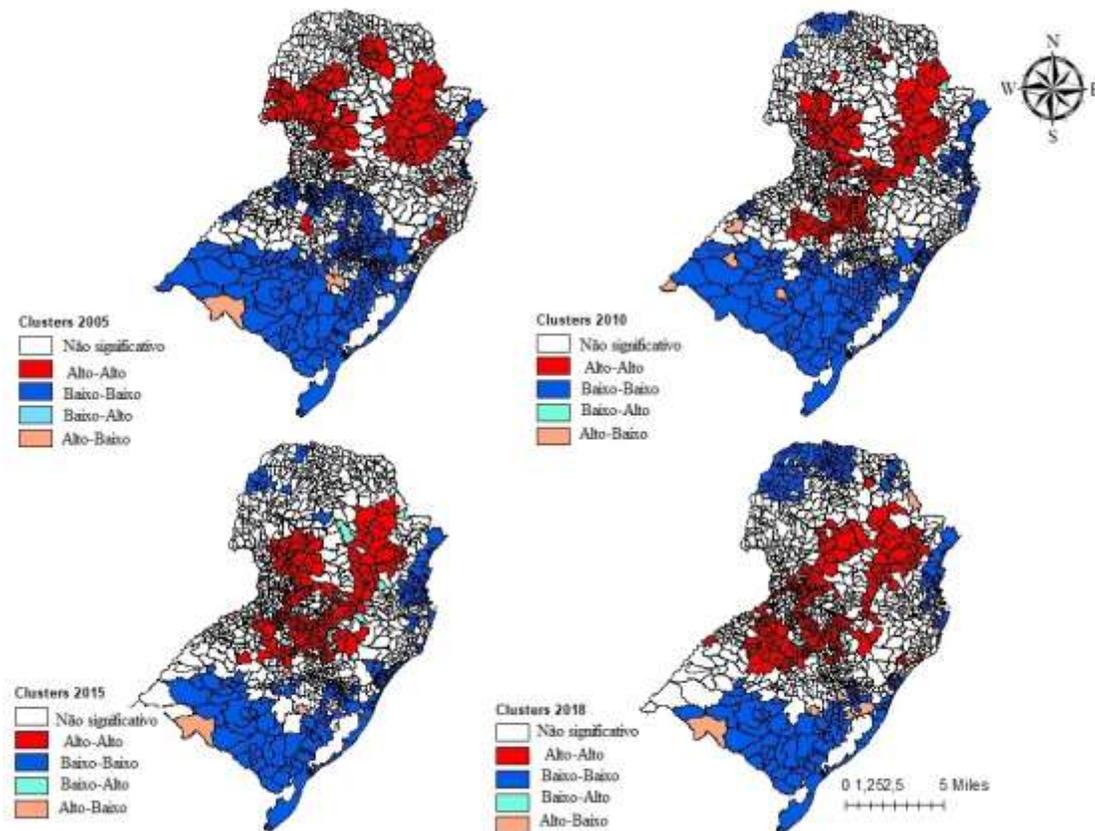
| Matriz | 2005 | | 2010 | | 2015 | | 2018 | |
|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Milho | Soja | Milho | Soja | Milho | Soja | Milho | Soja |
| Rainha | 0.6918*** | 0.7798*** | 0.6903*** | 0.7624*** | 0.6559*** | 0.7250*** | 0.6684*** | 0.6940*** |
| Torre | 0.6916*** | 0.7793*** | 0.6920*** | 0.7630*** | 0.6572*** | 0.7243*** | 0.6711*** | 0.6938*** |
| 5 vizinhos | 0.6945*** | 0.7785*** | 0.7027*** | 0.7543*** | 0.6716*** | 0.7348*** | 0.6688*** | 0.6672*** |
| 7 vizinhos | 0.6798*** | 0.7738*** | 0.6499*** | 0.7441*** | 0.6434*** | 0.7262*** | 0.6475*** | 0.6617*** |
| 10 vizinhos | 0.6497*** | 0.7595*** | 0.6498*** | 0.7313*** | 0.6135*** | 0.7189*** | 0.6265*** | 0.6594*** |

Fonte: Elaboração dos autores.

Nota: pseudossignificância empírica baseada em 999 permutações aleatórias;

***1%, **5% e *10% de significância.

FIGURA 3 – Cluster dos municípios produtores de milho nos anos de 2005, 2010, 2015 e 2018

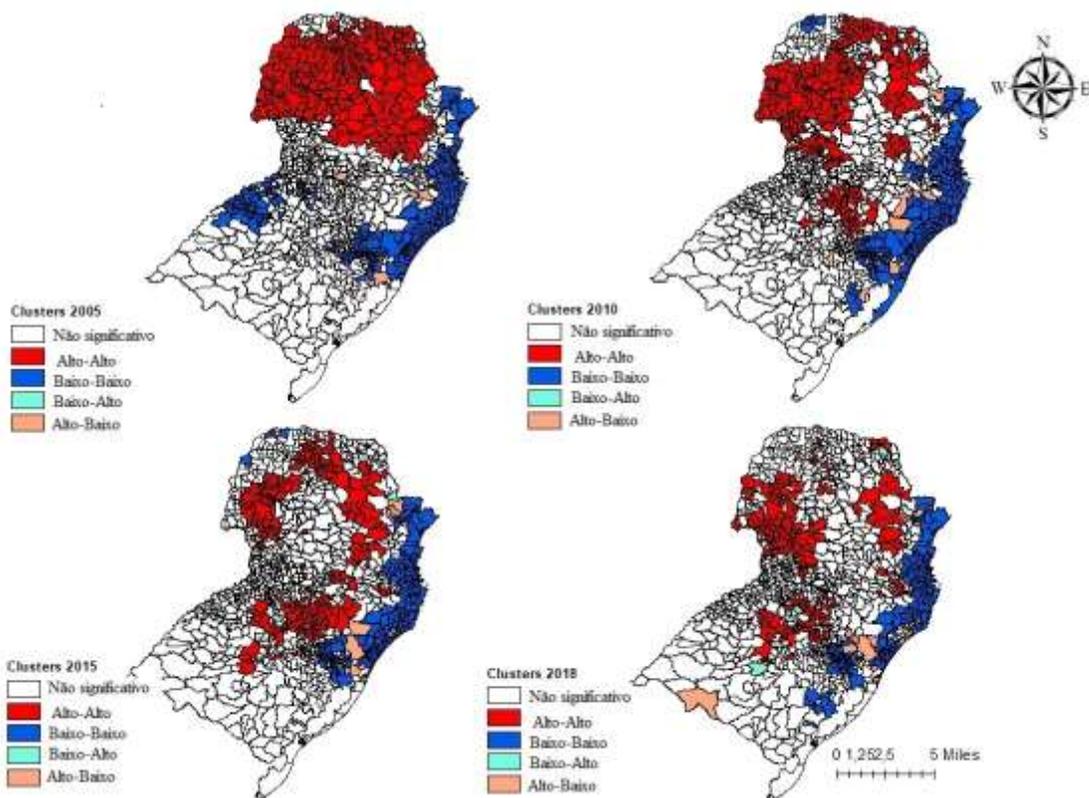


Fonte: Os autores (IBGE, 2020).

Nas análises anteriores se verificou o comportamento da produtividade do milho e da

soja, no entanto, nas Figuras 3 e 4 têm-se as análises dos clusters espaciais de milho e soja

FIGURA 4 – Cluster dos municípios produtores de soja entre os anos de 2005, 2010, 2015 e 2018



Fonte: Os autores (IBGE, 2020).

para os anos de 2005, 2010, 2015 e 2018. No entanto, para se observar a presença dessas dependências espaciais, como visto na metodologia, na Tabela 1 é apresentado o teste de dependência espacial, obtido pelo I de Moran, para diferentes especificações de matrizes, rainha, torre, 5, 7 e 10 vizinhos. No caso dos testes serem estatisticamente significativos, rejeita-se a hipótese nula de não dependência espacial, ou seja, existe uma autocorrelação espacial da produtividade do milho e da produtividade da soja na região.

Como pode ser visto, para todos os períodos a estatística do I de Moran foi significativa a 1%, e também positiva, indicando a existência de uma dependência espacial dessas variáveis. A partir

dessa constatação pode se iniciar análises espaciais da produção da soja e do milho na região Sul do Brasil, e verificar qual tem sido seu comportamento nos anos de 2005, 2010, 2015 e 2018. A escolha da matriz a ser utilizada na análise, como aponta Almeida (2012) é aquela que apresentar maior valor, em módulo, para o maior número de períodos, de forma que para o milho foi utilizada a matriz de 5 vizinhos, enquanto que para a soja foi adotada a matriz rainha.

Na Figura 3 pode se observar que, municípios destacados em vermelho são aqueles que possuem uma elevada produtividade e quando são vizinhos de municípios que também possuem elevada produtividade, são chamados de clusters

Alto-Alto, enquanto que os nos tons azul são aqueles com baixa produtividade que possuíam vizinhos com baixa produtividade, ou Baixo-Baixo. No ano de 2005 a maior parte dos clusters espaciais do tipo Alto-Alto estavam localizados nos municípios do Paraná, principalmente nas porções leste e oeste do estado, com um pequeno grupo na região norte central. Já o Rio Grande do Sul apresentava um elevado número de clusters do tipo Baixo-Baixo.

No ano de 2010 se percebe uma dispersão dos clusters Alto-Alto no Paraná, principalmente aqueles localizados no centro norte e oeste, enquanto que em Santa Catarina o número de municípios com alta produtividade rodeado por vizinhos com elevada produtividade aumentou, sendo que o Rio Grande do Sul manteve a mesma característica. Em 2015 e 2018 há uma maior concentração de clusters Alto-Alto em Santa Catarina, em detrimento dos clusters desse tipo antes presentes no Paraná. Por sua vez, com o surgimento desses mesmos agrupamentos nas regiões ao norte do Rio Grande do Sul, houve uma redução no número de clusters Baixo-Baixo. Além disso pode se observar o surgimento de clusters Baixo-Baixo no norte ocidental do Paraná.

Na Figura 4 tem-se os clusters de produtividade da soja para a região Sul. Da mesma forma que os clusters do milho, no período inicial ocorre um aumento do número de municípios no estado do Paraná com elevada produtividade que tinham vizinhos com essa mesma característica, formando os agrupamentos do tipo Alto-Alto. No entanto, para a soja, não se verificou em 2005 uma quantidade substancial de clusters Baixo-Baixo ao se comparar com o milho.

No decorrer dos anos o que se verifica é uma diminuição no número de clusters Alto-Alto em todos os estados da região sul, principalmente no Paraná, de modo que houve uma dispersão dos

municípios que apresentavam a mesma característica produtiva para a cultura. Ao longo de toda a costa da região se percebe um grupo de municípios presentes nos três estados que mantiveram a mesma relação espacial nos clusters Baixo-Baixo. De todos os estados da região, Santa Catarina foi aquele que apresentou menor proporção de clusters formados para a produtividade da soja.

Dado a relação produtiva existente entre a cultura da soja e do milho, conforme aponta CONAB (2017), no Brasil ocorreu um processo de plantio de milho de forma sucessiva a soja, ou seja, no mesmo ano é possível colher duas safras utilizando a mesma área, prática essa que ganhou o cenário a partir dos anos de 1980. De acordo com CONAB (2017, p. 17) "...na safra 1991/92, a área de milho segunda safra já correspondia a 10% da área de soja. Este percentual ultrapassou os 20% na safra 1998/99 e nas últimas cinco safras (2011/12 a 2015/16) permaneceu acima dos 30% da área cultivada com soja".

Dessa forma, além de analisar a distribuição espacial da produtividade da soja e do milho no período, foi observado também o comportamento espacial e temporal desse intercâmbio produtivo das commodities. Para isso, de forma similar ao apresentando na Tabela 1, deve se verificar, ainda por meio da estatística de I de Moran, a análise bivariada das variáveis, no qual se observa o comportamento da produtividade do milho em comparação com a soja entre os municípios. Tal resultado é apresentado na Tabela 2.

Pode-se verificar que, para todo os períodos e todas as convenções adotadas, houve sim uma dependência espacial na produtividade dessas duas culturas nos estados da região Sul. Dado que em 2015 e 2018 a matriz de cinco vizinhos foi a escolhida para a análise espacial, pois foi a que

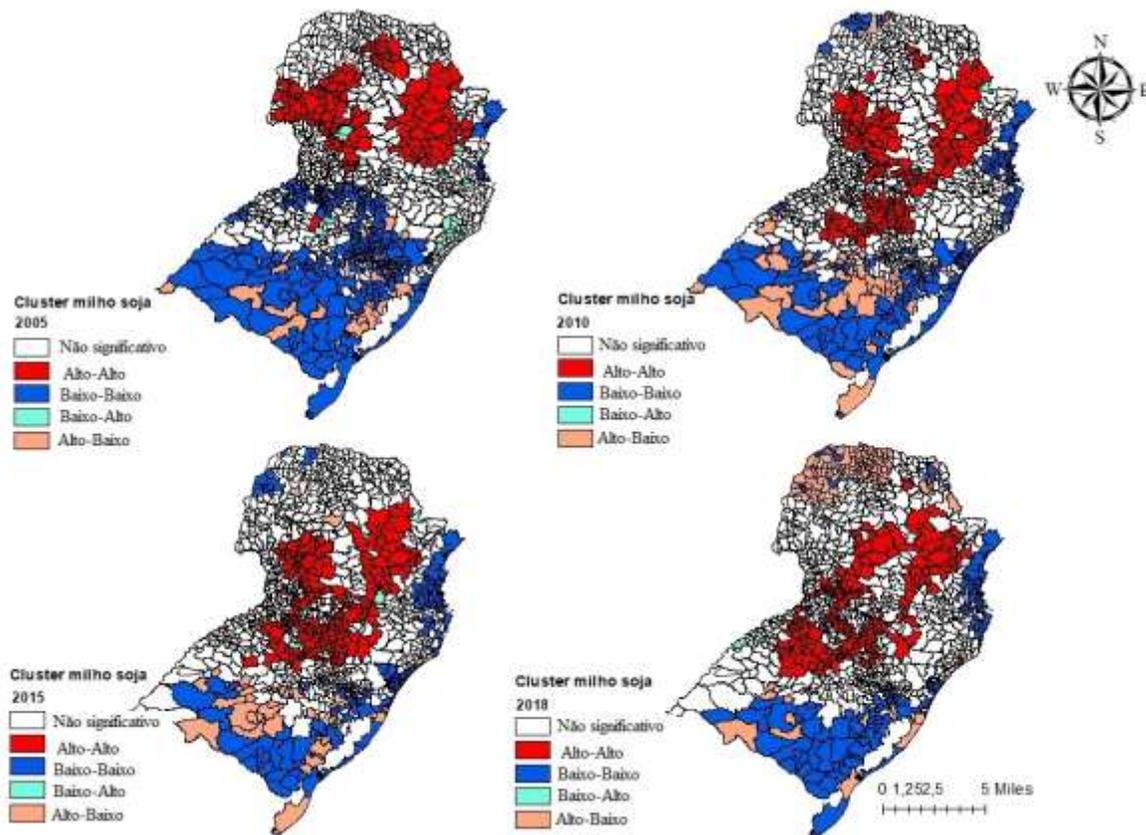
TABELA 2 - Coeficiente de I de Moran bivariado da produtividade média do milho e soja entre anos de 2005, 2010, 2015 e 2018.

| Matriz | 2005 | 2010 | 2015 | 2018 |
|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Rainha | 0.4626*** | 0.4865*** | 0.4755*** | 0.3661*** |
| Torre | 0.4622*** | 0.4869*** | 0.4753*** | 0.3648*** |
| 5 vizinhos | 0.4613*** | 0.4769*** | 0.4861*** | 0.3741*** |
| 7 vizinhos | 0.4533*** | 0.4690*** | 0.4764*** | 0.3673*** |
| 10 vizinhos | 0.4429*** | 0.4580*** | 0.4677*** | 0.3610*** |

Fonte: Elaboração dos autores.

Nota: pseudossignificância empírica baseada em 999 permutações aleatórias; ***1%, **5% e *10% de significância.

FIGURA 5 – Cluster entre milho e soja entre os anos de 2005, 2010, 2015 e 2018



Fonte: Os autores (IBGE, 2020).

apresentou o maior valor da estatística de I de Moran para dois dos quatro anos do período.

Da Figura 5 o que se pode observar é a presença de uma grande quantidade de clusters do tipo

Alto-Alto, ou seja, municípios com elevada produtividade de milho que tinham vizinhos com essa mesma característica, porém relativa à produção da soja. Esse tipo de cluster está

registrado com maior frequência no estado do Paraná, todavia municípios com alta produtividade, vizinhos de municípios com baixa produtividade, localizam-se em sua maioria no Rio Grande do Sul.

O resultado supracitado esperado era esperado, uma vez que em 2005 o Paraná possuía clusters Alto-Alto em grande parte do estado tanto para milho como para soja. Por sua vez, o que se percebe são dois grandes clusters Alto-Alto nas porções leste e oeste, e um menor na porção norte central. Da mesma forma o Rio Grande do Sul possuía um grande cluster quase totalmente localizado na porção sul do estado em que municípios que apresentavam baixa produtividade de soja, tinham vizinhos com baixa produtividade de milho.

Ao longo dos anos, principalmente em 2015 os clusters Alto-Alto começaram a se concentrar na porção central da região Sul, formando um único bloco de municípios com elevada produtividade de milho com vizinhos com essa mesma característica para a soja. Para essa relação bivariada entre as culturas se percebe uma maior presença dos clusters do tipo Alto-Baixo, ou seja, municípios com alta produtividade de uma das culturas mas que possuíam vizinhos com baixa produtividade na outra, representado no mapa pelos municípios em tom rosa claro. Pode se observar a formação de um grande cluster Alto-Baixo na região norte ocidental do Paraná.

De forma geral, analisando a distribuição espacial bivariada do milho e da soja na região, houve uma redução no número de agrupamentos espaciais, os clusters, em toda a região, a presença desses clusters, principalmente os do tipo Alto-Alto mais presentes no Paraná se deslocaram para a porção mais central do estado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do presente artigo foi analisar qual foi a evolução temporal e espacial da produtividade do milho e da soja na região sul brasileira. Dado a elevada participação da região Sul tanto na produção de soja, quanto de milho para o país, e levando em consideração a dinâmica que as duas culturas apresentam, a análise do comportamento espacial ao longo dos últimos 15 anos é importante para observar se houve no período algum movimento de adensando espacial, ou seja, criação de clusters espaciais.

A partir da proposta metodológica, a Análise Exploratória de Dados Espaciais, ou AEDE, é possível obter para um determinada variável em uma localidade quais são suas características em termos de distribuição espacial. Essa relação espacial entre variáveis pode mostrar, como aponta Almeida (2012), regiões com as mesmas características, agrupamentos ou mesmo algum comportamento incomum à amostra.

A partir do objetivo e do método aplicado, alguns resultados foram inferidos, mostrando as características da produtividade da soja e do milho na região. Como a produção dessas culturas ocorrem de modo conjunto, era esperado que suas produtividades tivessem alguma dependência espacial nos municípios produtores, seja uma dependência univariada, ou seja, analisando uma única commodity, bem como bivariada, ou seja, analisando as duas conjuntamente.

Ao se analisar a produção de forma geral, tanto para o milho como para soja, observa-se que ao longo dos anos, os municípios com maior produtividade foram se deslocando do norte do Paraná e Sul do Rio Grande do Sul para a porção mais central da região. No entanto, mesmo com essa variação no comportamento espacial, o estado do Paraná ainda possuía o maior número

de municípios com maior produtividade das culturas.

Ao se analisar o comportamento dos clusters para o milho foi verificada a presença de três grandes clusters do tipo Alto-Alto no Paraná e um único grande cluster Baixo-Baixo no Rio Grande do Sul, mas que ao longo do período esses clusters foram sendo diluídos de modo que em 2018 haviam três grandes clusters em toda região, abrangendo todos os estados. No caso da soja foi evidenciado um grande clusters Alto-Alto para o Paraná que também passou por um processo de reconfiguração, possuindo em 2018 três clusters Alto-Alto, dois localizados no Paraná, com uma pequena porção em Santa Catarina, e um no Rio Grande do Sul. Por fim, ao se analisar a relação bivariada pode se constatar as mesmas características univariadas, mas com destaque para o surgimento de um grande cluster do tipo Alto-Baixo, ou seja, municípios com elevada produtividade de milho com vizinhos com baixa produtividade da soja.

A contribuição da pesquisa se deve ao fato de realizar uma análise descritiva espacial da produção de milho e soja na região Sul do Brasil, servindo de base empírica para que, futuros trabalhos, possam analisar com maior acurácia quais fatores levaram a essa mudança no padrão espacial dessas culturas na região.

REFERÊNCIAS

ALVES, E.; SOUZA, G. S.; GARAGORRY, F. L. A evolução da produtividade do milho. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 37, p. 77-96, 1999.

APROSOJA. A História do Milho. Apresenta a origem e o desenvolvimento do milho no mundo, no Brasil e no estado do Mato Grosso, 2021. Disponível em: <<http://www.aprosoja.com.br/soja-e-milho/a-historia-do-milho>>. Acesso em: 02 maio 2021.

ARSEGO, D. A.; FERRAZ, S. E. T.; STRECK, N. A.; CARDOSO, A. O.; ZANON, A. J. Estudo do impacto de diferentes índices associados ao El Niño Oscilação Sul na produtividade de soja no Rio Grande do Sul. *Ciência e Natura*, v. 40, p. 82-87, 2018.

CASTRO, L. S.; ALMEIDA, E. S.; LIMA, J. E. A Convergência Espacial da Produtividade de Soja no Brasil: o Caso das Regiões Centro-Oeste e Sul. *Revista Espacios*, v. 36, n. 21, 2015.

COELHO, A. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Desafios para a obtenção de altas produtividades de milho. *Embrapa Milho e Sorgo - Comunicado Técnico*, 2004.

EMBRAPA. A Soja no Brasil: história e estatísticas. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1987. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/446431>>. Acesso em: 02 maio 2021.

FAO. (2021). Countries by commodity. Roma, 2021. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity_exports>. Acesso em: 02 maio 2021.

FERREIRA, D.B. Relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões sul e sudeste do Brasil. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

FREITAS, R. E.; MENDONÇA, M. A. A. Expansão Agrícola no Brasil e a Participação da Soja: 20 anos. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 54, n. 3, p. 497-516, 2016.

IBGE. Produção Agrícola Municipal - Disponível-site IBGE (30 julho 2002). URL: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 02 abril 2021.

NEVES, M. C. R.; CASTRO, L. S.; FREITAS, C. O. O impacto das cooperativas na produção agropecuária brasileira: uma análise econométrica espacial. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 57, n. 4, p. 559-576, 2019.

PONTES, H. L. J.; DO CARMO, B. B. T.; PORTO, A. J. V. Problemas Logísticos na Exportação Brasileira da Soja em Grão. *Sistemas e Gestão*, v. 4, n. 2, p. 155-181, 2009.

RAIHER, 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.

ROSSETTO, M.; PEÑA, C. R. A produtividade e o impacto da logística de distribuição na eficiência da sojicultura brasileira. *Revista de Economia e Agronegócio*, 2018.