

CONVERGÊNCIA ESPACIAL DA SOJA NA AMAZÔNIA LEGAL: UMA ANÁLISE ENTRE OS ANOS DE 2000 E 2020

Walberti Saith¹

Sabrina de Matos Carlos²

Resumo

A expansão da soja na Amazônia Legal é um importante fenômeno a ser estudado. A importância reside no fato de que a ocupação ocorre em detrimento da área de floresta. Esse estudo tem como objetivo principal verificar os padrões de distribuição espacial da soja na Amazônia Legal entre os anos de 2000 e 2020. Além disso, foi avaliada a manifestação do fenômeno de convergência espacial, ou seja, se há aumento relativo da soja na região em estudo. A variável estudada foi a área municipal plantada da soja em todos os municípios da Amazônia Legal, totalizando 772 observações por ano. Empregou-se métodos estatísticos que consideram os efeitos geográficos sobre a variável e modelos de regressões com parâmetros que captam diferentes efeitos espaciais. Os resultados mostram que, de fato, existe o fenômeno da autocorrelação espacial, e que tal correlação vem aumentando ao longo do tempo. Os modelos econométricos mostraram a existência de convergência espacial da soja na Amazônia Legal, indicando que os municípios com pouca área plantada de soja, estão crescendo a taxas maiores do que os municípios com grande área plantada. Esse fato ocorre porque existe um facilitamento da produção, por meio de transferência de tecnologia, infraestrutura e de escoamento da produção.

Palavras-Chaves: Produção de soja, Amazônia Legal, *clusters*, Convergência espacial.

Abstract

The expansion of soybean in the Legal Amazon is an important phenomenon to be studied. The importance lies in the fact that the occupation occurs to the detriment of the forest area. The main objective of this study is to verify the patterns of spatial distribution of soybeans in the Legal Amazon between the years 2000 and 2020. In addition, the manifestation of the phenomenon of spatial convergence was evaluated, that is, whether there is a relative increase in soybeans in the region under study. The variable studied was the municipal planted area with soybeans in all municipalities in the Legal Amazon, totaling 772 observations per year. Statistical methods were used that consider the geographic effects on the variable and regression models with parameters that capture different spatial effects. The results show that, in fact, there is the phenomenon of spatial autocorrelation, and that such correlation has been increasing over time. The econometric models showed the existence of spatial convergence of soybeans in the Legal Amazon, indicating that municipalities with little planted area of soybeans are growing at higher rates than municipalities with large planted areas. This fact occurs because there is a facilitation of production, through technology transfer, infrastructure and production flow.

Key-words: Soy production, Legal Amazon, clusters, Spatial convergence.

1. INTRODUÇÃO

Em anos recentes, a produção de soja tem ocupado um importante papel na pauta de exportação brasileira (DOMINGUES; BERMANN, 2012; GARCIA; VIEIRA FILHO, 2014;

¹ Doutor em economia aplicada, professor do departamento de economia da Universidade Federal de Rondônia – UNIR. E-mail: walberti@unir.br.

² Doutora em economia aplicada, Universidade Federal De Viçosa – UFV. E-mail: sabrinamcarlos@gmail.com.

COLUSSI; SCHNITKEY, 2021). Os crescentes volumes de exportações impulsionaram a produção na região centro-oeste. Para suprir os altos volumes exportados, observou-se uma expansão vertiginosa da área plantada. Após o esgotamento das áreas disponíveis para cultivo na região centro-oeste, predominada pela vegetação do tipo cerrado, passou-se a buscar terras para o cultivo de soja nas fronteiras da região norte, onde predomina o bioma amazônico (DOMINGUES; BERMAN, 2012; VIEIRA FILHO, 2016; MARTINELLI, et al., 2017).

A floresta amazônica se estende por nove países, embora 60% esteja em território brasileiro. No Brasil, grande parte da região norte é ocupada por esse tipo de vegetação. Dentre as inúmeras especificidades e problemáticas associadas ao bioma amazônico, recentemente, muitos estudos têm evidenciado o crescimento agropecuário na Amazônia Legal (DOMINGUES; BERMAN, 2012, VIEIRA FILHO, 2016). A amplitude desse crescimento tem levado essa região a ser conhecida como nova fronteira agrícola, por representar as novas terras para o cultivo.

Uma das discussões mais proeminentes entre pesquisadores diz respeito ao papel das culturas agrícolas em regiões de floresta. Em especial, tem-se procurado entender as regiões onde essas culturas têm se concentrado e, marcadamente, quais as implicações sobre a localidade na qual estão se inserindo. Isso porque a expansão da agricultura depende das formas e uso da terra, apresentando um efeito geográfico de difusão. Deste modo, a difusão espacial faz com que a expansão da produção agrícola ocorre para as regiões mais próximas, que se beneficiam da infraestrutura já existente.

A soja, assim como as demais *commodities*, apresenta efeitos de dependência espacial geográfica (ALMEIDA et al., 2008; HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014; ODERICH et al., 2019). A evolução de sistemas de geoprocessamento permitiu o monitoramento mais detalhado e constante da distribuição espacial, não só do cultivo da soja, mas também da produção agrícola como um todo. Nesse contexto, torna-se importante conhecer a dinâmica da distribuição espacial do cultivo de soja na Amazônia Legal, como forma de melhor entender a direção e tendências geográficas de ocupação de áreas plantadas. A identificação dessa dinâmica nos permite ter acesso à trajetória da produção de soja na região nas dimensões espacial e temporal.

Tendo em vista as considerações feitas anteriormente, esse trabalho tem como objetivo principal analisar a distribuição espacial da soja na Amazônia Legal entre os anos de 2000 e

2020. Especificamente, pretende-se verificar a existência de padrões de aglomerações da produção e como essa dinâmica se altera ao longo do tempo. A caracterização dos padrões de aglomerações no cultivo de soja na área considerada também permitirá avaliar a manifestação do fenômeno de convergência espacial, ou seja, se há aumento relativo da soja na região em estudo. Caso se verifique a ocorrência de convergência da plantação de soja, será possível estimar a velocidade em que isso ocorre.

Este trabalho está organizado em seis seções, em que se inclui esta introdução. A segunda seção caracteriza, de forma geral, a produção agrícola na Amazônia Legal. A terceira seção evidencia a metodologia que será utilizada para atender aos propósitos desse estudo, bem como as fontes de dados consideradas. Na quarta seção é feita uma discussão dos resultados obtidos em termos da distribuição da soja na região em estudo, tendo como foco as dimensões espacial e temporal. Na quinta seção é analisada a ocorrência do fenômeno de convergência espacial do cultivo de soja na Amazônia Legal. Por fim, na sexta seção são destacadas as conclusões desse trabalho, bem como as considerações finais.

2. PRODUÇÃO AGRÍCOLA NA AMAZÔNIA LEGAL

Os efeitos espaciais na agricultura provêm da dependência de condições climáticas, solo, preço da terra, infraestrutura de escoamento, *etc.* Como destaca Almeida, Perobelli e Ferreira (2008), os efeitos da interdependência manifestam-se por meio de ordenação geográfica, difusão espacial, influência de vizinhos e expansão de fronteira agrícola. Os efeitos da distribuição espacial da agricultura tornam-se ainda mais importantes na Amazônia Legal, pois o crescimento dessas áreas implica em ocupação regiões de floresta.

No Brasil, o que se pode observar é que a agricultura se distribui de forma desigual entre as regiões. A soja, em especial, tem se concentrado fortemente na região Centro-Oeste. Todavia, a expansão da soja, tem alcançado regiões da Amazônia Legal, na fronteira com a região centro-oeste (FEARNSIDE, 2006). Uma das maiores forças motrizes desse crescimento é a demanda internacional, em especial, da China. Fuchs (2020) destaca que a demanda chinesa tem efeitos diretos na fronteira agrícola da Amazônia, impulsionando a extensão da área cultivada de soja.

Existem na literatura diversos estudos dedicados ao crescimento da soja na Amazônia, dentre os quais pode-se destacar o de Oliveira (2015), que mostrou a expansão da soja em

direção ao cerrado na região Centro-Oeste e Nordeste do país. Esse movimento foi impulsionado pelo crescimento das exportações, fenômeno que alterou a distribuição da produção no Brasil.

Domingues e Bermann (2012) mostram que a expansão da soja está, em parte, associada diretamente ao desmatamento da floresta amazônica. Isso ocorre devido ao avanço para a região Central e Norte do Brasil. No mesmo sentido, Santos (2010) destaca, por meio de modelos econométricos, que a soja tem se expandido na Amazônia Legal, entre os anos de 2002 e 2007 e tem sido, junto com a pecuária, uma das mais importantes culturas na região.

O que tem se observado desde os anos 2000 é um aumento vertiginoso da área plantada de soja no Brasil, tendo como finalidade principal a exportação. Quando se considera a evolução da área plantada na região da Amazônia Legal, o avanço da soja fica ainda mais evidente. A Figura 1 apresenta a evolução área plantada total de soja, em hectares, de 1990 a 2020.

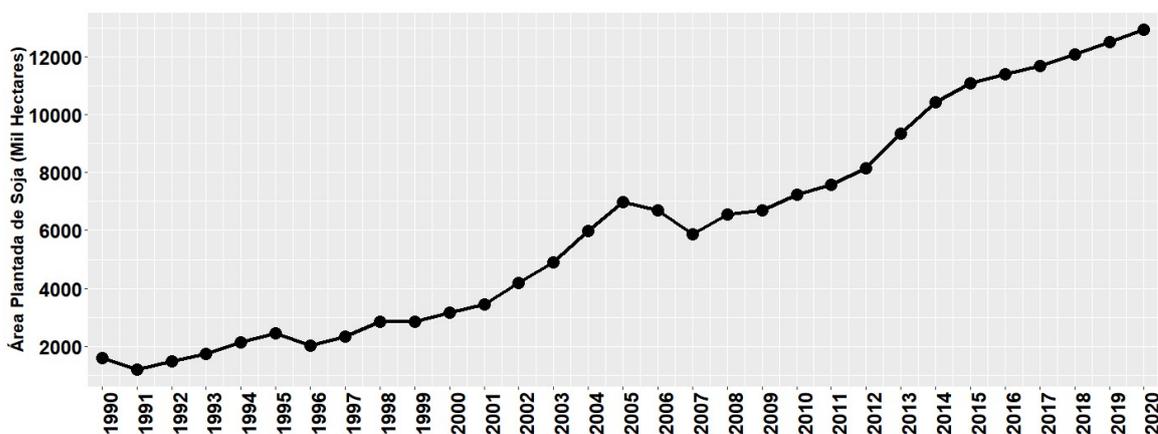


Figura 1. Evolução da Área Plantada de soja na Amazônia Legal de 1990 a 2020.

Fonte: Elaboração própria.

Como podemos observar, no início dos anos 2000 há uma tendência positiva de aumento da área plantada de soja na Amazônia Legal, corroborando os estudos que evidenciam o avanço da fronteira agrícola. A maior parte destes trabalhos, tem se dedicado a ocupação da soja na Amazônia, tornando incipiente os estudos da dinâmica dentro da região.

Desse modo, uma questão importante pode ser levantada: Onde se concentra a produção de soja na Amazônia? Para responder a essa questão é necessário, inicialmente, entender como analisar o processo de distribuição espacial de uma variável.

3. METODOLOGIA

3.1. ESTATÍSTICA ESPACIAL

Existem diversas formas de se analisar a concentração e distribuição espacial de uma variável. Nesse estudo, empregamos a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE). O objetivo principal dessa abordagem é verificar a existência de autocorrelação espacial. Essa estatística é verificada pelo cálculo do índice I de Moran Global calculado da seguinte forma:

$$I = \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (Z_i - \bar{Z})(Z_j - \bar{Z})}{\sum_i^n (Z_i - \bar{Z})^2} \quad (1)$$

em que I representa o índice de correlação espacial de Moran; w_{ij} é a matriz de pesos espaciais considerada; n representa o número de regiões estudadas, Z_i é o valor da variável estudada na área i , \bar{Z} é o valor médio da variável em uma determinada área.

Quando analisamos os efeitos espaciais existentes sobre uma determinada variável, estamos considerando o efeito que municípios vizinhos têm sobre uma determinada região. A quantidade de vizinhos a ser considerada é definida pelo tipo de matriz de pesos espaciais escolhida. Normalmente são empregadas as matrizes do tipo rainha ou torre, que possuem esses nomes por escolherem a quantidade de vizinhos conforme os movimentos feitos por essas peças no jogo de xadrez. Além disso, também podemos considerar os n vizinhos com maior área de fronteira.

O I de Moran é um índice de correlação, de modo que valores positivos desse indicador evidenciam que os municípios vizinhos ao município considerado no estudo seguem a mesma direção da variável analisada. Deste modo, se, por exemplo, observa-se um aumento em determinada variável no município em estudo, também será observado um aumento dessa mesma variável em municípios vizinhos. O oposto é válido para valores negativos.

O índice I de Moran, por ser uma estatística global, pode mascarar padrões espaciais locais de uma variável. Uma forma de contornar essa limitação, é conduzir uma análise local, o que pode ser feito por meio do *Local Indicator of Spatital Analisys (LISA)*:

$$I_i = Z_i \sum_{j=1}^j w_{ij} Z_j \quad (2)$$

As variáveis que compõem a equação do LISA são as mesmas da Equação 1, a diferença aqui é que o I_i vai variar de acordo com a região objeto da análise. Um fator importante a considerar é que a soma dos indicadores locais deve ser proporcional ao indicador global. Esse indicador

irá mostrar para cada observação, uma indicação de *clusters* espaciais significativos estatisticamente.

Um das formas mais comuns de apresentar os resultados do *LISA* é por meio de um plano cartesiano, que apresente o índice de Moran global e as suas contrapartes locais. Os resultados são normalmente apresentados através de um diagrama de dispersão, tal como apresentado na Figura 2:

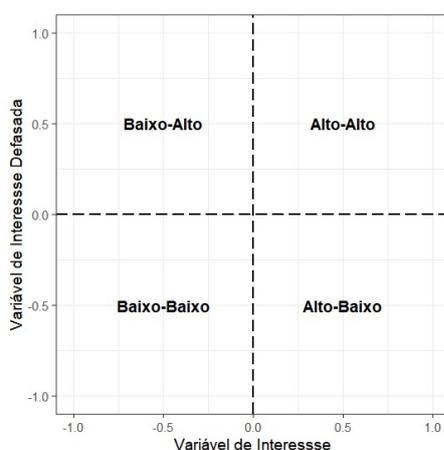


Figura 2. Índice global de correlação de Moran.

Fonte: Elaboração própria.

Como pode-se observar através da Figura 2, o plano cartesiano com o diagrama de dispersão de Moran apresenta quatro padrões de associação local. Os quatro quadrantes são os seguintes: Alto-Alto, Baixo-Baixo, Alto-Baixo e Baixo-Alto, indicando a associação entre a variável de interesse (eixo das abscissas) e a mesma variável nos vizinhos (eixo das ordenadas), ponderada pela matriz de pesos espaciais.

O primeiro e o terceiro quadrante, indicam a presença de autocorrelação espacial positiva. Enquanto o segundo e o quarto quadrante, mostram a autocorrelação espacial negativa, com regiões de valores contrários.

3.2. CONVERGÊNCIA ESPACIAL

O conceito de convergência surge com o trabalho de Baumol (1956), que verificou a existência de convergência de renda entre alguns países. A ideia básica do trabalho era a de que os países com menores níveis de renda *per capita* tendem a apresentar maiores taxas de crescimento, sendo tais taxas maiores do que as observadas em países com maiores níveis de

renda *per capita*. Esse processo faria com que ao longo do tempo a diferença entre os dois grupos se reduzisse.

O princípio da convergência também pode ser aplicado à produção agrícola, tal como nos trabalhos de Almeida, Perobelli e Ferreira (2008) e Antunes (2021). No caso do presente estudo, aplica-se o conceito de convergência no qual procura-se verificar se as diferenças nas áreas plantadas de soja na Amazônia Legal estão em processo de diminuição ao longo do tempo.

Se existir tal fenômeno, então as regiões com menores áreas plantadas de soja estão se expandindo a uma taxa de crescimento maior que as regiões com maiores áreas plantadas de soja. Empiricamente, a convergência é verificada estatisticamente por meio de uma formulação matemática que pode ser definida da seguinte forma:

$$Crescimento_i = \beta_1 + \beta_2 \ln(Soja_{2000,i}) + u_i \quad (3)$$

em que $Crescimento_i$ é taxa de crescimento da área plantada de soja calculada como: $\ln(Soja_{2020,i}) - \ln(Soja_{2000,i})$. Sendo a variável independente $\ln(Soja_{2000,i})$ o início do período analisado; β_i são os parâmetros a serem estimados. A estimação da Equação 3 é usualmente feita através do método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).

3.2. FONTE DE DADOS

Delimitamos a região de estudo para a Amazônia Legal, que corresponde a totalidade dos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do estado do Maranhão. O nível de análise escolhido foi o municipal, o mais desagregado possível.

Para se trabalhar com dados geoespaciais é necessário mapas no formato de *shapefile*. Esse formato de arquivo contém dados do Sistemas de Informações Geográficas também conhecidos como SIG. Nessa pesquisa foi empregado o *shapefile* do mapa da Amazônia Legal obtido junto ao IBGE (2019), contendo os dados espaciais em geometrias de polígonos.

A variável de estudo utilizada nesse trabalho é a área municipal plantada da soja em todos os municípios da Amazônia Legal, totalizando 772 observações por ano. Sendo a área plantada medida em hectares. Os dados foram coletados na Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) do IBGE(2019) e abrangem o período de 2000 e 2020 (último ano disponível para análise). A variável área municipal plantada da soja foi inserida na base de dados do *shapefile*,

permitindo o cálculo das estatísticas espaciais. Além disso, através dessa variável foi calculado o crescimento, tendo em vista a Equação 3.

Os cálculos empregados nesse estudo, assim como a manipulação dos mapas foram realizados no R Core Team (2019). Mais especificamente, é empregado o pacote *sp: Classes and Methods for Spatial Data* (PEBESMA; BIVAND, 2005) para plotagem de dados como mapas, seleção espacial, etc. As matrizes de pesos espaciais e as estimações dos modelos foram feitas com o pacote *spdep: Spatial Dependence: Weighting Schemes, Statistics* (BIVAND; WONG, 2018).

4. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA SOJA

Iniciamos a nossa análise apresentando a distribuição espacial da área plantada de soja na Amazônia Legal. Foi calculada a média da área plantada, e em seguida foram criados quatro intervalos baseados no desvio padrão. Esses intervalos são representados na Figura 3, indicando a intensidade do cultivo da soja em cada município considerado. As cores mais escuras indicam os municípios com maior área plantada.

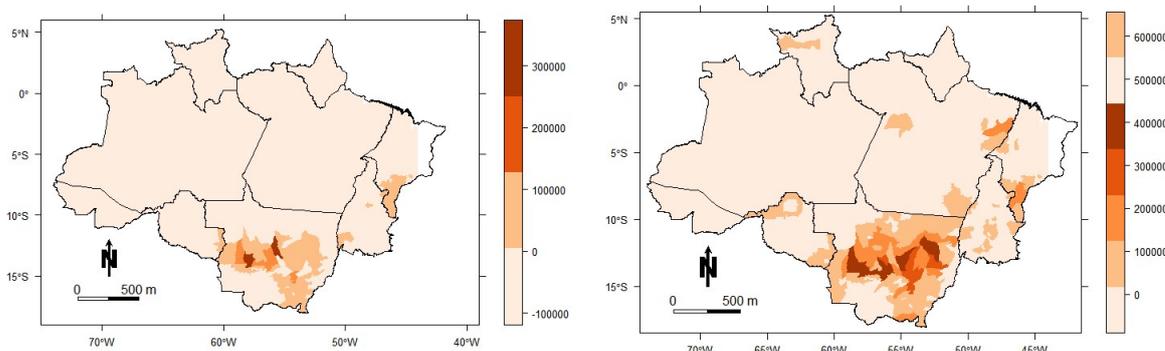


Figura 3. Área plantada de soja na Amazônia Legal 2000 e 2020.

Fonte: Elaboração própria.

Como podemos observar por meio da Figura 3, quando comparamos os anos de 2000 e 2020, fica evidente o crescimento da área plantada de soja nos municípios próximos à região Centro-Oeste. Enquanto no ano de 2000 a soja ocupava grande parte do estado do Mato Grosso, com pequenas áreas produzidas no Tocantins, na fronteira com o Mato Grosso, e no Sul do Maranhão, nos estados restantes, quase não existia área plantada. Já no ano de 2020, esse

cenário muda bastante com o aumento considerável da área plantada de soja, principalmente, no estado de Rondônia, mais especificamente no Cone Sul do estado.

O estado do Tocantins teve um aumento considerável da área plantada em 2020, com maior intensidade na fronteira com Mato Grosso. Além disso, a produção no estado do Mato Grosso, também aumentou notavelmente. Também é relevante observar áreas plantadas nos estados do Pará e Roraima, onde não existia produção em 2000.

Essa dinâmica reflete o avanço da chamada fronteira agrícola em direção ao Norte da Amazônia Legal. A Figura 3 apresenta forte evidência do avanço da soja na região amazônica. Além disso, indica que esse avanço ocorre do Sul da região em direção ao Norte.

4.1. ANÁLISE GLOBAL

Para verificarmos de forma mais rigorosa a distribuição espacial da área plantada de soja, estimamos o *I* de Moran para os anos de 2000 e 2020. Foram testados vários tipos de matrizes de contiguidade; Rainha e Torre, assim como cinco e seis vizinhos mais próximos. Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Matrizes de pesos espaciais.

Matrizes de pesos	Soja em 2000	Soja em 2020
Rainha	0,411***	0,645***
Torre	0,411***	0,656***
5 Vizinhos	0,305***	0,564***
6 Vizinhos	0,315***	0,554***

Fonte: Elaboração própria.

Nota: *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$.

Como evidencia a Tabela 1, o *I* de Moran é muito parecido em termos de sinais e magnitude em todos os tipos de matrizes. Além disso, mostraram-se estatisticamente significativos em todos os casos. A matriz de contiguidade do tipo Rainha e Torre foram as que melhor captaram os efeitos espaciais. Neste trabalho, foi empregada a matriz do tipo Rainha para a análise da correlação e também para as estimações dos modelos de convergência espacial.

Considerando os anos de 2000 e 2020, observa-se que, em ambos os anos, a área plantada de soja apresentou correlação espacial positiva e estatisticamente significativa. Esse resultado indica que existe uma tendência de que municípios com uma grande área plantada de

soja, sejam cercados por também municípios com grande área plantada. No ano de 2000, o nível de correlação espacial era de 41,1%, enquanto em 2020, essa correlação foi de 64,5%, ou seja, um aumento de 23,4 pontos percentuais no intervalo de 20 anos.

Esses resultados corroboram o encontrado na seção anterior, uma vez que mostram um aumento substancial da concentração espacial da área plantada de soja. Há, portanto, evidências de que a soja, não só tem avançado sobre a Amazônia, mas como também está se concentrando e apresentando um padrão espacial de difusão.

4.2. CRESCIMENTO ESPACIAL

Seguindo a análise da dinâmica da distribuição espacial do cultivo de soja na Amazônia Legal, também representamos a taxa de crescimento (Equação 3) da área plantada em um mapa. Também é calculado o índice de Moran global para o crescimento, ambos são representados Figura 4. O índice global de Moran foi de 48,8%, indicando a existência de autocorrelação espacial do crescimento da soja. Em outras palavras, quase metade dos municípios estão cercados por também municípios com alta taxa de crescimento do cultivo de soja. Novamente, essa dinâmica indica como a soja tem crescido de forma consistente na Amazônia Legal.

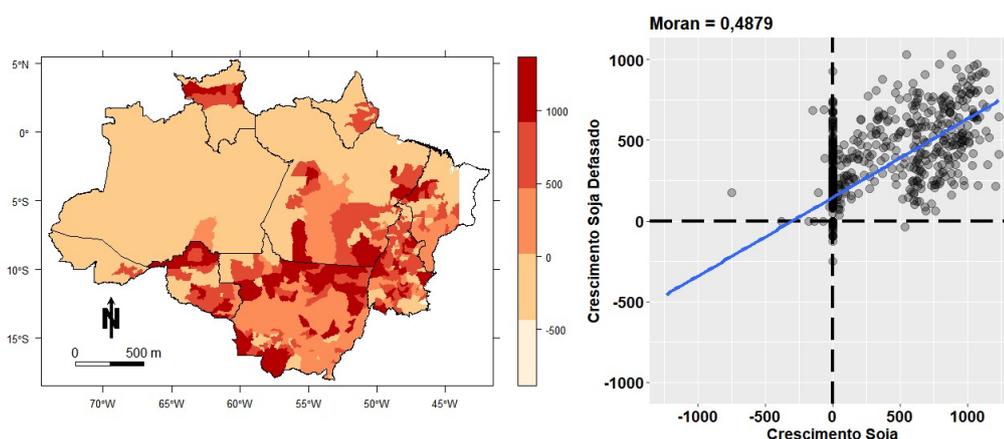


Figura 4. Crescimento da área plantada de soja na Amazônia Legal entre 2000 e 2020.

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 4 mostra que a grande maioria dos municípios apresentou uma taxa de crescimento extremamente elevada, sendo a média geral da taxa de crescimento igual à 278,2%, corroborando a pujante expansão da soja na Amazônia Legal. O maior crescimento foi

apresentado pelo município de Ipiranga do Norte no Mato Grosso que cresceu³ 1232,39%, seguido de perto por São Félix do Araguaí, também localizado no Mato Grosso, em que a taxa de crescimento do cultivo de soja foi de 1230,91%. Quando consideradas as dez maiores taxas de crescimento, oito desses municípios estão localizados no estado do Mato Grosso, enquanto os outros dois localizam-se no estado do Pará.

Algumas regiões apresentaram uma taxa de crescimento negativo, porém, em sua maioria, são municípios que em 2000 possuíam uma pequena área plantada. Desse modo, como são áreas em que o cultivo de soja era muito pequeno, as barreiras para o aumento da produção levam a uma redução considerável da área plantada. Por exemplo, o município de Taguatinga, localizado no estado do Tocantins, apresentou uma taxa de crescimento da área plantada de soja de -749,55%. No entanto, quando se considera o ano de 2000, observa-se que esse município detinha 1800 hectares destinados ao cultivo da *commodity*, e dada a taxa de crescimento estimada, passou a não ter mais área plantada de soja em 2020. Os maiores decréscimos observados foram de municípios do estado do Amazonas. Uma política ambiental ou um maior nível de fiscalização podem ser apontados como algumas das razões para essa diminuição.

Pode-se também analisar o crescimento médio por estado, para entender melhor em quais regiões o crescimento tem sido mais acentuado. Calculamos o crescimento médio por estados entre os anos de 2000 e 2020, sendo os resultados apresentados na Figura 5.

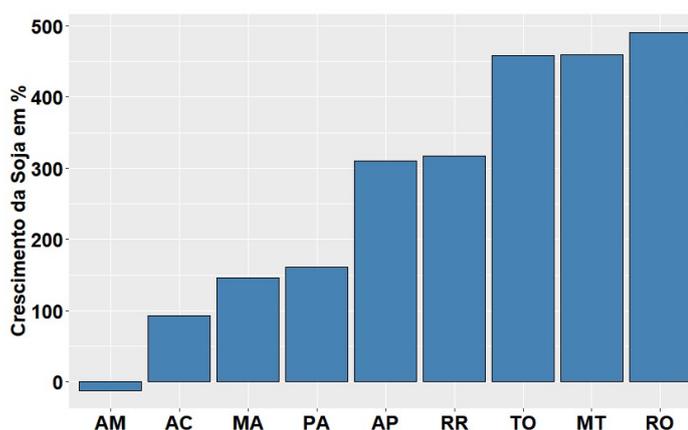


Figura 5. Crescimento da área plantada de soja na Amazônia Legal por estados.

Fonte: Elaboração própria.

³ Mais especificamente, em 2000 tinha zero de área plantada enquanto em 2020 apresentava 225000 hectares destinados ao cultivo de soja.

Na Figura 5, os crescimentos estão apresentados em ordem crescentes. O único estado em que houve diminuição da área plantada foi o Amazonas (AM), sendo essa redução de -12,6%. Por sua vez, o estado com maior taxa média de crescimento foi Rondônia, 491%, seguido de perto pelos estados de Mato Grosso e Tocantins, com taxas de crescimento de 459% e 458%, respectivamente. Esse fato, mais uma vez, evidencia o crescimento da fronteira agrícola, uma vez que os estados que fazem fronteira com o Centro-Oeste são aqueles que apresentam as maiores taxas de crescimento da área plantada destinada à produção de soja.

4.3. ANÁLISE LOCAL

Até o momento, os padrões de associação espacial da soja foram apresentados de forma global. Nas seções anteriores foram apresentadas evidências de que de fato a produção de soja na Amazônia Legal apresenta um efeito de difusão. Todavia, é necessário verificar se os mesmos padrões também são verificados localmente.

Utilizando o diagrama de dispersão de Moran, podemos representar os padrões de associação local por meio de um mapa, em que são descritos os quatro tipos de associações. Os resultados são apresentados na Figura 6.

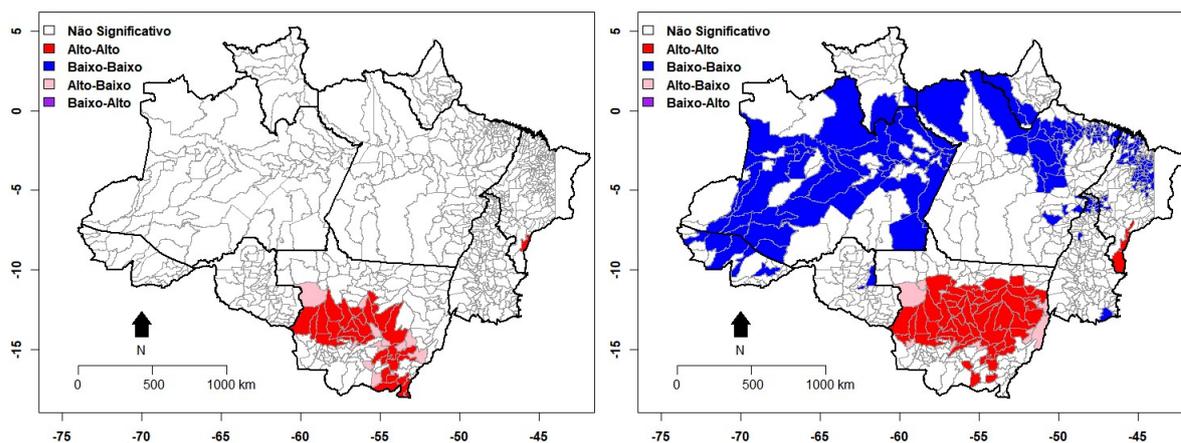


Figura 6. Índice local de autocorrelação de Moran em 2000 e 2020.

Fonte: Elaboração própria.

Através da Figura 6, nota-se que no ano de 2000 existia um grande *cluster* do tipo Alto-Alto no estado do Mato Grosso, e um pequeno ao sul do Maranhão. Também se pode observar alguns municípios em fase de transição do tipo Alto-Baixo, no estado de Mato Grosso.

No ano de 2020, contudo, pode-se observar uma grande transformação na área plantada de soja em toda a região. O *cluster* do tipo Alto-Alto aumentou consideravelmente no Mato

Grosso, ocupando a maior parte do estado. Ao sul do estado do Maranhão ainda se observa um *cluster* desse mesmo tipo. A mudança mais significativa pode ser vista nos estados do Pará, Amazonas e Acre. No ano de 2000 não era possível notar nenhum padrão de aglomeração espacial nesses estados. No entanto, já em 2020 pode-se observar padrões do tipo Baixo-Baixo. Embora seja um *cluster* Baixo-Baixo, esse padrão indica claramente que a soja está se aglomerando na Amazônia Legal, uma vez que padrões espaciais de aglomerações estão sendo observados em regiões que anteriormente não apresentava nenhum tipo de representatividade. Desse modo, essa cultura tem se tornado forte, no sentido de estar aglomerando espacialmente, nessa região.

5. CONVERGÊNCIA ESPACIAL

Considerando as evidências apresentadas nas seções anteriores, observa-se o crescimento da soja na Amazônia Legal e com a intensificação da correlação espacial, uma pergunta que emerge é: Existe convergência espacial da produção de soja na Amazônia Legal?

Para responder a essa questão, estimou-se um modelo de convergência espacial através do método de MQO. Além disso, também foram estimados dois modelos considerando explicitamente os efeitos espaciais. Em um deles foi considerado o efeito do erro espacial e no outro o efeito da defasagem espacial.

No modelo em que consideramos o erro espacial, os efeitos espaciais estão presentes no termo u_i da Equação 3, para captar esse efeito é estimado um parâmetro λ . Já no modelo em que é considerada a defasagem espacial, assume-se que o efeito espacial e os efeitos geográficos estão presentes na variável $Soja_{2000,i}$. Nesse caso, é incluído o parâmetro ρ no modelo. Os resultados dos três modelos estimados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Modelos de convergência estimados.

	MQO	Erro	Defasagem
β_1	2,9262*** (0,1475)	3,0282*** (0,4477)	0,9871*** (0,1381)
β_2	-0,1198** (0,0454)	-0,5911*** (0,0425)	-0,2246*** (0,0354)
λ		0,7954***	
ρ			0,7323***
AIC	4258	3765	3884

Moran	0,5227***		
Wald		1020***	693***
Observações	772	772	772

Fonte: Elaboração própria.

Nota: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.

A Tabela 2 evidencia que todos os parâmetros estimados foram estatisticamente significativos. Após a estimação do modelo MQO, verificou-se a existência de efeito espacial sobre os erros da regressão, conforme mostra o teste de Moran. Outro aspecto importante é a significância estatística dos parâmetros que captam o efeito espacial. Esses resultados reforçam as evidências da necessidade de considerar de forma explícita os efeitos geográficos nos modelos de regressão de variáveis agropecuárias.

A existência da convergência espacial pode ser verificada pelo sinal negativo do parâmetro β_2 . Isso porque o valor negativo indica que municípios com menores áreas plantadas de soja estão crescendo a uma taxa maior do que os municípios com grandes áreas plantadas. Ademais, a Tabela 2 mostra que em todos os modelos estimados é verificada a existência da convergência espacial da soja na Amazônia Legal. Esse resultado indica que além de haver um avanço da soja sobre a região amazônica, há também um aumento da área plantada em municípios que possuem pouca produção de soja. Desse modo, começam a surgir na Amazônia regiões *clusters* que concentram a área plantada da soja.

6. CONCLUSÕES

Nesse estudo buscou-se mostrar a existência de padrões de aglomerações espaciais da área plantada da soja na Amazônia Legal por meio de métodos estatísticos que consideram os efeitos do espaço geográfico. Pode-se observar que de fato existe o fenômeno da autocorrelação e que tal correlação vem aumentando ao longo do tempo. Essa dinâmica é um forte indicativo de que a expansão da soja sobre as regiões de floresta vem ocorrendo a taxas cada vez maiores.

Os mapas apresentados fornecem uma representação visual desse avanço da soja sobre a Amazônia Legal. As formações de *clusters* de municípios com grandes áreas plantadas tem surgido principalmente nos estados que fazem fronteira com o Centro-Oeste, comprovando o efeito dispersão espacial. O crescimento da soja também apresentou forte efeito de

autocorrelação, mostrando que a dinâmica dentro da própria região já é de espalhamento entre os municípios.

Também foi verificado, por meio de modelos econométricos, a existência de convergência espacial da soja na Amazônia Legal. Esse resultado mostra que os efeitos de espalhamento vindo de outras regiões também é observado dentro da Amazônia. Isso representa uma dinâmica de crescimento da área plantada em municípios que em 2000 possuíam pouca soja, a taxas maiores do que os municípios com grande área plantada. Esse fato ocorre porque existe um facilitamento da produção, por meio de transferência de tecnologia, infraestrutura e de escoamento da produção.

Uma sugestão de pesquisa para estudos posteriores é verificar como cada estado tem lidado com esse crescimento interno da área de soja e como políticas de proteção a floresta amazônica tem impactado a expansão da soja na Amazônia Legal.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, E. S. d.; PEROBELLI, F. S.; FERREIRA, P. G. C. Existe convergência espacial da produtividade agrícola no Brasil? **Revista de Economia e Sociologia Rural**, SciELO Brasil, v. 46, n. 1, p. 31–52, 2008.

ANTUNES, L. A. **Convergência da produtividade agropecuária: uma análise considerando regimes espaciais por biomas entre os anos de 1995 e 2017**. Tese (Tese) — Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2021.

BIVAND, R.; WONG, D. W. S. Comparing implementations of global and local indicators of spatial association. **TEST**, v. 27, n. 3, p. 716–748, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11749-018-0599-x>>.

COLUSSI, J.; SCHNITKEY, G. **Brazil likely to remain world leader in soybean production**. Farmdoc daily (11): 105, Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois at Urbana-Champaign, July 12, 2021.

DOMINGUES, M. S.; BERMAN, C. O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. **Ambiente & Sociedade**, sciELO, v. 15, p. 1 – 22, 08 2012. ISSN 1414-753X.

FEARNSIDE, P. M. O cultivo da soja como ameaça para o meio ambiente na Amazônia brasileira. **Destruição e Conservação da Floresta Amazônica**, Vol. 1, p. 281–324, 2006.

FUCHS, V. B. Chinese-driven frontier expansion in the Amazon: four axes of pressure caused by the growing demand for soy trade. **Civitas-Revista de Ciências Sociais**, SciELO Brasil, v. 20, p. 16–31, 2020.

GARCIA, J.R.; VIEIRA FILHO, J.E.R. **Reflexões sobre o papel da política agrícola brasileira para o desenvolvimento sustentável**. Texto para discussão 1936 – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2014.

HIRAKURI, M.H.; LAZZAROTTO, J.J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) – Embrapa Soja, Junho, 2014.

- IBGE. **Produção Agrícola Municipal.** 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>.
- MARTINELLI, L.A.; BATISTELLA, M.; DA SILVA, R.F.B.; MORAN, E. **Soy expansion and socioeconomic development in municipalities of Brazil.** Land, 6, 62, 2017.
- ODERICH, E. H.; ELIAS, L.P.; WAQUIL, P.D. **Expansão do agronegócio no Brasil: Diferentes discursos e dinâmicas socioeconômicas no Rio Grande do Sul.** Eutopia. Revista de Desarrollo Económico Territorial, N°16, 2019.
- OLIVEIRA, A. U. de. A Amazônia e a nova geografia da produção da soja. **Terra livre**, v. 1, n. 26, p. 13–43, 2015.
- PEBESMA, E. J.; BIVAND, R. S. Classes and methods for spatial data in R. **R News**, v. 5, n. 2, p. 9–13, November 2005. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>.
- R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing.** Vienna, Austria, 2019. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.
- SANTOS, R. P. **Os Principais Fatores do Desmatamento na Amazônia (2002-2007) - Uma análise econométrica e espacial.** Tese (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Brasília, 2010.
- VIEIRA FILHO, J.E.R. **Expansão da fronteira agrícola no Brasil: Desafios e perspectivas.** Texto para Discussão 2223 – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2016.