
ANÁLISE DO RISCO DAS CULTURAS DE SOJA E MILHO NA REGIÃO DO MATOPIBA

Risk analysis of soybean and corn crops in the Matopiba region

Beatriz Salandin Dal Pozzo

Economista. Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Av. Pádua Dias, 11, Piracicaba – SP, 13418-900. beatriz.pozzo@usp.br

Marisa Guilherme da Frota

Economista. Mestre em Economia Rural pela Universidade Federal do Ceará. Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Av. Pádua Dias, 11, Piracicaba – SP, 13418-900. marisagf@usp.br

Gabriele Silva de Almeida

Engenheira Agrônoma pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Av. Pádua Dias, 11, Piracicaba – SP, 13418-900. gabrielealmeida@usp.br

Vitor Augusto Ozaki

Engenheiro Agrônomo. Doutor em Economia Aplicada pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Professor nos Departamentos de Ciências Exatas, de Economia, Administração e Sociologia e de Estatística e Experimentação Agronômica da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Av. Pádua Dias, 11, Piracicaba – SP, 13418-900. vitorozaki@usp.br

Gilson Martins

Engenheiro Florestal. Doutor em Economia pela Universidade de Freiburg. Professor no Departamento de Economia Rural e Extensão da Universidade Federal do Paraná. Rua XV de Novembro, 1299 - Centro, Curitiba - PR, 80060-000. gilson.martins@ufpr.br

Resumo: Uma região que tem ganhado destaque na produção de grãos é a fronteira agrícola denominada MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), na qual podem-se observar mudanças no uso do solo, tais como a substituição de culturas menos rentáveis por outras mais rentáveis. Como toda atividade agrícola, a produção de grãos está sujeita a diversos riscos devido às adversidades climáticas. Assim, o presente estudo tem como objetivo identificar as implicações do efeito substituição no risco relativo de perda de produtividade tanto na cultura do milho como na sojicultura, para as microrregiões do MATOPIBA, no período de 2001 a 2020, a partir da metodologia *shif-share* e do coeficiente de variação. Os resultados demonstram que a soja apresentou um efeito substituição maior que a lavoura de milho, isto é, ela foi mais utilizada na substituição de antigas culturas, enquanto o milho apresentou coeficientes de variações maiores que a soja, indicando maiores riscos. Sendo assim, o estudo mostra que é necessário realizar análises de riscos mais minuciosas e específicas.

Palavras-chave: variação; efeito; substituição; fronteira; agrícola.

Abstract: A region called MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí and Bahia) gained the headlines as a new agricultural frontier for grain production in Brazil. Changes in land use are observed, such as the replacement of less profitable crops with more profitable ones. Like any agricultural activity, grain production is subject to several risks due to adverse weather conditions. This study aimed to identify the implications of substitution effect on the relative risk of yield loss in corn and soybean crops, for the microregions of MATOPIBA, between 2001 and 2020, based on the methodology *shift-share* and coefficient of variation. The main results were that soybean showed a greater substitution effect than corn, that is, it was more used to replace old cultures, while corn showed higher coefficients of variation than soybean, indicating greater risks. Therefore, the study shows that it is necessary to carry out more detailed and specific risk analyzes.

Keywords: variation; replacement; effect; agricultural; frontier.

1 INTRODUÇÃO

O agronegócio representou 27,5% do PIB do Brasil em 2021 e 25,5% em 2022 (CEPEA, 2022). A soja e o milho estão entre os produtos mais significativos para a economia agrícola nacional, principalmente na região do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia). O território de 73 milhões de hectares passou a ser explorado pela agricultura a partir da segunda metade de 1980, devido às características do solo e do relevo, possibilidades de mecanização e implementação de medidas para a correção dos solos, especialmente impulsionadas pelos ciclos virtuosos no mercado das *commodities*. Entre 2017/18 e 2021/22, a área de produção de grãos no MATOPIBA representou, em média, 11% das áreas cultivadas no Brasil (Conab, 2022).

A produção agrícola é influenciada por fatores edafoclimáticos, tecnológicos, políticos, logísticos e mercadológicos que impulsionam ou retraem o cultivo nas regiões do Brasil (Souza e Santos, 2009). Dados da Produção Agrícola Municipal (PAM) do IBGE, no período de 2015 a 2021, mostram que Tocantins apresentou o maior aumento das áreas colhidas de milho e soja, enquanto a Bahia reduziu o cultivo de milho. Piauí e Maranhão destacaram-se pelos maiores ganhos de produtividade no milho (IBGE, 2022).

Apesar da tendência de aumento na produtividade da região do MATOPIBA, a variação dessa variável ao longo dos anos é algo que pode ser preocupante. Para as companhias seguradoras, por exemplo, a estabilidade de produção é crucial para oferta, precificação das apólices de seguros e para gestão da carteira de produtos (Ozaki, 2009).

Carneiro Filho e Costa (2016) observaram que a expansão agrícola no MATOPIBA ocorreu principalmente sobre vegetação nativa, ao contrário de outras regiões onde se deu sobre pastagens ou culturas prévias. Santos *et al.* (2021) relataram que a conversão de mata nativa para agricultura aumenta a compactação do solo e prejudica a dinâmica da água, afetando o desenvolvimento agrícola. A qualidade do solo e os níveis de produtividade são, portanto, fatores críticos para essa fronteira agrícola, especialmente diante das mudanças climáticas (Marengo *et al.*, 2022).

Outros aspectos contribuem para o alto risco da atividade agrícola. Para Artuzo *et al.* (2019), o acesso dos agricultores à tecnologia atual e o apoio técnico também são fundamentais para manter ou aumentar a produtividade das lavouras, devido às especificidades e fatores limitantes de cada local. Sobretudo, é importante conhecer o risco sob a ótica espacial, a fim de gerenciá-lo eficientemente.

Diante disso, esta pesquisa tem como objetivo analisar os efeitos da substituição de cultura sobre o risco relativo de perda de produtividade nas lavouras de soja e milho no MATOPIBA, entre 2001 e 2020. Especificamente, busca-se: identificar as microrregiões com expansão da área de cultivo de soja e milho (a), analisar o risco de perda de produtividade nessas regiões (b) e avaliar o equilíbrio atuarial do seguro rural por meio do Índice de Sinistralidade (c). Os resultados podem auxiliar seguradoras na gestão de riscos e no desenvolvimento de produtos customizados, além de beneficiar o Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR) ao direcionar políticas públicas para áreas de menor risco, ampliando a demanda e a cobertura do seguro.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica destina-se à apresentação das pesquisas desenvolvidas anteriormente sobre expansão e alterações no uso do solo. Desse modo, esta seção está dividida em duas partes: a primeira apresenta os trabalhos que analisaram mudanças no uso da terra e suas metodologias de análise; e a segunda traz os estudos sobre a expansão da área produtiva das culturas de soja e milho no MATOPIBA.

2.1 Mudanças de uso da terra e substituição de culturas no Brasil

Para Quintão *et al.* (2021), o monitoramento das alterações de uso da terra no Brasil é complexo devido à grande extensão territorial, à diversidade de biomas e superfícies e às particularidades de uso em cada local. Os autores enfatizam que várias iniciativas e organizações visam realizar esse monitoramento, algumas com mais detalhes, outras com menos. Com base nas especificações dos autores, optou-se neste estudo por utilizar os dados da iniciativa MapBiomas, composta por uma rede colaborativa de pesquisadores que anualmente fornece, além de outros dados, um mapeamento da cobertura e uso do solo.

O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) considera importante identificar e analisar as mudanças do uso do solo para um bom ordenamento do território do País, visto que isso auxilia na tomada de decisão e pesquisas científicas (Brasil, 2022b). Vários são os fatores que acarretam alterações espaço-temporais na forma como o território é utilizado pela agricultura: valor da terra e das culturas agrícolas; eventos climáticos; suscetibilidade ao ataque de pragas e doenças; adoção de políticas públicas e alterações na oferta e demanda. Em especial, nas últimas décadas, as conversões de uso têm sido motivadas principalmente pelo custo de oportunidade econômico. Agricultores e agricultoras, com expectativas de aumentar seus rendimentos ao longo do tempo, buscam novas áreas e/ou substituem suas atividades/lavouras por outras mais rentáveis.

Devido à importância do tema, a literatura agroeconômica brasileira registrou considerável contribuição em estudos de mudanças do uso da terra no Brasil. Souza e Santos (2009) estudaram a produção do Paraná de 1990 a 2005 por meio do método *shift-share*, calculando o efeito área (dividido em escala e substituição), efeito rendimento e efeito localização geográfica. Concluiu-se que o aumento na produção ocorreu devido à substituição de áreas com culturas agrícolas, pastagens, hortaliças e reflorestamento e ganhos de produtividade, motivado por políticas macroeconômicas e setoriais e o mercado das culturas estudadas. Trabalhos mais antigos, como o de Massola e Martins (1994), para o mesmo estado, entre as décadas de 1970 e 1990, identificaram que a soja cedeu espaço para milho e algodão, devido a políticas institucionais, crédito rural e preço mínimo, causas semelhantes às pontuadas por Souza e Santos (2009).

Ponciano *et al.* (2017) analisaram a dinâmica das principais culturas no estado do Espírito Santo, entre 1970 e 2010, usando a mesma metodologia, além de índices de diversificação de área e de valor da produção. No período, a cultura do café apresentou maior expansão em área, com efeitos escala e substituição positivos, em contraste com as culturas de milho, arroz e feijão, as que mais diminuíram e tiveram efeitos negativos. O índice de diversificação revelou que houve concentração de área em poucos produtos.

Silva, Leão e Pasqualetto (2015) analisaram a expansão da cana-de-açúcar em Goiás. Os resultados indicaram efeito substituição para as culturas de cana-de-açúcar, milho, soja, girassol e batata-inglesa. Defante, Vilpoux e Sauer (2018) também usaram o método para estudar o crescimento do setor sucroenergético no Mato Grosso do Sul. Concluíram que o efeito substituição depende, basicamente, da rentabilidade econômica da lavoura. Por fim, Ferrarini (2021) estudou o avanço da soja no Mato Grosso, e descobriu que o cultivo do grão avançou sobre áreas de pastagens degradadas, plantações de milho 1ª safra e de arroz.

2.2 Expansão da soja e do milho na região do MATOPIBA

Para o MATOPIBA, a literatura apresenta particular atenção para a dinâmica agrícola, visto que boa parte da região compreende o bioma do Cerrado, alvo frequente de queimadas e desmatamentos (Klink; Machado, 2005). Carneiro Filho e Costa (2016) notaram que a área agrícola no Cerrado sofreu um aumento de 87% entre 2000 e 2014, sendo que 70% das mudanças no uso do solo ocorreram em áreas de pastagens ou de outras culturas agrícolas. Porém, tratando-se especificamente do MATOPIBA, 62% da expansão registrada entre 2000 e 2014 se deu sobre vegetação nativa.

Segundo Sanches, Michellon e Roessing (2005), a expansão da fronteira agrícola e o bom desempenho em termos de produtividade nesses locais se devem à adoção de práticas e políticas de modernização do campo, como o uso de híbridos e cultivares adaptados às condições edafoclimáticas, à adoção de boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes, corretivos e defensivos e, sobretudo, às políticas de acesso ao crédito.

Também, conforme pontuam Freitas (2011), Vale (2017) e Brigido (2020), as condições físicas do solo e regime pluviométrico favoráveis, o baixo custo da terra e a política de garantia de preços mínimos influenciaram a expansão no Cerrado brasileiro. Na medida em que a região se estruturou, a agricultura tornou-se uma das atividades-chave. Essa é a realidade da região a que convencionou-se chamar de MATOPIBA (Ribeiro *et al.*, 2020).

A fronteira agrícola do MATOPIBA tem área total de 73 milhões de hectares, composta por 337 municípios, agrupados em 31 microrregiões. Araújo *et al.* (2019) definem “fronteira agrícola” como uma região de predomínio de vegetação natural que passou a ser ocupada por atividades relacionadas à agricultura. Assim, dentre as atividades econômicas do MATOPIBA, a agricultura apresenta preponderância na participação no produto interno bruto da região.

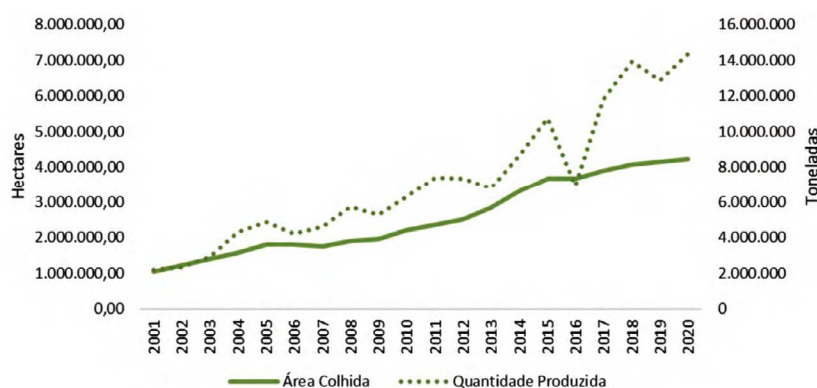
Nas últimas décadas, a soja tem alcançado uma posição de destaque. Em termos de volume de produção, houve um crescimento de 547% de 2001 a 2020, o que corresponde a um volume de 2,2 milhões para 14,3 milhões de toneladas. Com relação à área plantada, registrou-se um aumento de 304%, passando de 1,04 milhão de hectares para 4,2 milhões de hectares no período. A produtividade, por sua vez, foi de 2.115,05 kg/ha para 3.386,61 kg/ha.

Em 2020, o MATOPIBA foi responsável por 12% da produção nacional, conforme dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). Em comparação com a média de produtividade nacional, a cultura da soja na região tem apresentado produtividade superior: em 2020, a média nacional foi de 3.275 kg/ha, enquanto no MATOPIBA foi de 3.386,61 kg/ha.

Com relação ao milho, afirma-se que é um dos principais alimentos que compõem a base alimentar da população rural do semiárido. Por esse motivo, o cultivo está presente em todas as microrregiões (Duarte; Mattoso; Garcia, 2007). Essa cultura ocupa o segundo lugar em volume de produção no MATOPIBA, com 6,9 milhões de toneladas em 1,1 milhão de hectares, em 2020, representando um crescimento de 465% em relação à quantidade produzida e 130% na área colhida em 2001, como mostra o Gráfico 2. Entre 2001 e 2020, observa-se um expressivo ganho de produtividade: de 2.385,86 kg/ha para 5.851,52 kg/ha. A produtividade também superou a média nacional, que foi de 5695 kg/ha para o ano de 2020.

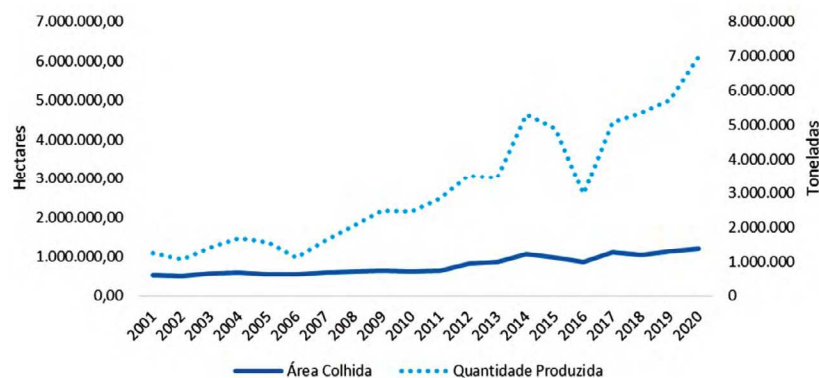
O Relatório de projeções do agronegócio (2021) estima um considerável aumento da produção de grãos e da área cultivada na fronteira agrícola do MATOPIBA: o equivalente a uma produção de 36,0 milhões de toneladas de grãos numa área plantada de 9,3 milhões de hectares no período de 2030/31.

Gráfico 1 – Área colhida e produção de soja no MATOPIBA, no período de 2001 a 2020



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do SIDRA.

Gráfico 2 – Área colhida e produção de milho no MATOPIBA, no período de 2001 a 2020



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do SIDRA.

Entretanto, a atividade agrícola está suscetível a riscos de produção (eventualidades climáticas) e de mercado (oscilações de preço). À medida que ocorre a expansão da área de produção, os níveis de risco associados à atividade acabam por se moldar às novas realidades climáticas e produtivas. Diante disso, faz-se necessária a implantação de mecanismos para gerenciar ou minimizar os riscos produtivos.

O Brasil conta com alguns mecanismos importantes de gestão de riscos rurais. Dentre eles, o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), que fornece informações sobre os períodos de menor risco para a semeadura, baseado em informações meteorológicas e de solo, para fornecer janelas viáveis de plantio para 44 culturas agrícolas de maior expressão no País. O ZARC serve de referência obrigatória na contratação do crédito rural, do Proagro e do seguro agrícola.

Outro mecanismo importante é o Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR), que subvenciona os contratos de seguro agrícola operacionalizados por seguradoras privadas. Desde a sua criação, o programa evoluiu como uma ferramenta ampla de gestão de risco para produtores rurais no Brasil. O PSR oferece ao produtor meios de reduzir os custos de contratação do seguro agrícola, o qual garante um nível de receita mínima e sustentabilidade das atividades agrícolas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção é destinada a apresentação dos materiais e métodos utilizados, e está subdividida em duas partes. Primeiramente, apresenta-se as variáveis e as fontes de dados usadas no estudo. Em seguida, expõe-se as metodologias utilizadas nos cálculos do efeito substituição, do efeito escala, do coeficiente de variação, e da sinistralidade.

3.1 Materiais

Para o cálculo do modelo *shift-share*, utilizaram-se os dados de *área colhida* disponíveis na Produção Agrícola Municipal do Sistema de Recuperação Automática do IBGE (PAM/Sidra), referentes aos anos de 2001, 2010, 2011 e 2020, para as 31 microrregiões do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia). As 10 maiores culturas selecionadas de acordo com a área produtiva foram: algodão em caroço, arroz, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho, soja, sorgo, trigo e pastagens. Ressalta-se que os dados de área de pastagens foram coletados na base do MapBiomas (2022)¹.

Para calcular o coeficiente de variação, utilizado como *proxy* do risco relativo, a variável considerada foi o *rendimento médio* da soja e do milho, no período de 2001 a 2020, também disponível na PAM/

¹ Site: <https://mapbiomas.org/>.

Sidra. A fim de obter melhores estimativas, optou-se pela análise apenas das microrregiões que não apresentaram lacunas na base de dados, ou seja, continham 20 observações. Sendo assim, para a soja, foram usadas apenas 19 microrregiões, enquanto para o milho, consideraram-se as 31 microrregiões.

Por último, para realizar a análise da gestão do seguro rural na fronteira agrícola do MATOPIBA, foram utilizadas as variáveis *número de apólices*, *prêmio total* e *indenizações*, disponíveis no portal de dados abertos, denominado Sistema de Subvenção Econômica ao Prêmio do Seguro Rural – SISSER², do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2022b).

3.2 Métodos

A metodologia divide-se em três etapas, nas quais utilizaram-se os softwares Excel e RStudio para rodar os dados. No primeiro momento, por meio do modelo *Shift-Share*, calcularam-se os efeitos escala e substituição das culturas escolhidas, para as 31 microrregiões do MATOPIBA, nos períodos de 2001 a 2010 e de 2011 a 2020, com intuito de identificar as mudanças no uso da terra.

A partir desses resultados, as microrregiões foram classificadas em dois grupos, conforme o critério de efeito substituição positivo ou negativo para as culturas de soja e de milho. Assim, o grupo denominado *up* agrega os municípios que tiveram ES positivo para soja/milho, enquanto o grupo *down* é composto pelas cidades com ES negativo ou nulo para soja/milho. Essa segregação foi feita individualmente para cada lavoura.

O método escolhido nessa primeira etapa permite decompor as mudanças na área cultivada, em função tanto da variação da área total do sistema (somatório da área cultivada das culturas consideradas no período e região de análise) de produção (efeito escala) como da substituição de uma cultura por outra, dentro do sistema (efeito substituição).

A variação da área total ocupada por uma cultura i , no intervalo de tempo compreendido entre $t = 0$ e $t' = 1$, pode ser expressa conforme equação 1:

$$A_{i1} - A_{i0} \quad (1)$$

sendo que A_{i0} e A_{i1} são as áreas totais ocupadas com os i produtos cultivados na região, respectivamente nos anos 0 e 1.

Por meio da decomposição da variação da área total (equação 1), é possível calcular os Efeitos Escala (EE) e Substituição (ES). O modelo analítico correspondente é representado pela equação 2:

$$A_{i1} - A_{i0} = (\alpha A_{i0} - A_{i0}) + (A_{i1} - \alpha A_{i0}) \quad (2)$$

tal que:

$(\alpha A_{i0} - A_{i0})$ é o Efeito Escala;

$(A_{i1} - \alpha A_{i0})$ é o Efeito Substituição;

$\alpha = \frac{A_{i1}}{A_{i0}}$, onde α é o coeficiente que mede a alteração do tamanho do sistema de produção;

$$A_{i0} = \sum A_{i0}; \quad A_{i1} = \sum A_{i1}.$$

² Site: <https://dados.agricultura.gov.br/dataset/sisser3>.

O Efeito Escala (EE) refere-se à variação na área de uma determinada cultura, causada por mudanças no tamanho ou na escala dos sistemas, mantendo-se constante a participação dessa cultura no sistema. Os resultados do EE podem ser interpretados da seguinte maneira: valores positivos representam uma tendência de expansão das culturas; valores negativos representam uma tendência de redução na produção das culturas dentro do sistema analisado. Em outras palavras, o EE demonstra como o comportamento de cada lavoura seria afetado se a expansão ou a redução da área fosse distribuída de forma uniforme entre elas (Santos; Faria; Teixeira, 2008).

Por outro lado, o Efeito Substituição (ES) mostra a variação da participação de uma determinada cultura dentro do sistema, ou seja, refere-se à diferença entre a variação real da área cultivada, entre os períodos em análise. Por isso, um ES positivo aponta que essa cultura ocupou as áreas que antes eram destinadas a outras atividades. Em suma, o efeito-substituição positivo indica a expansão da área de uma cultura em detrimento de outra, enquanto o efeito-substituição negativo corresponde à perda de área de uma lavoura para outra.

A segunda etapa deste estudo buscou calcular o risco relativo de perda de produtividade da soja e do milho, com intuito de verificar o comportamento dessa variável nas microrregiões que tiveram expansão da área cultivada dessas culturas, cuja classificação baseou-se no efeito-substituição positivo para esses cultivos (grupo $\square p$).

A métrica utilizada para quantificar a magnitude do risco relativo foi o coeficiente de variação (CV) da rentabilidade da cultura de soja e do milho, metodologia esta encontrada no estudo de Ozaki e Dias (2009), dado por:

$$CV = \left(\frac{\sigma}{\mu} \right) \times 100 \quad (3)$$

sendo que σ é o desvio padrão e μ é a média.

Nesse cálculo, considerou-se o período de 2001 a 2020, sendo realizada a análise em dois períodos: um primeiro período, de 2001 a 2010; e um segundo, correspondente a 2011 a 2020. No entanto, optou-se por analisar apenas as microrregiões que continham a série de dados completa, ou seja, com o máximo de informação disponível, referente à variável *rendimento* da soja e do milho, com a finalidade de minimizar os problemas de estimação.

Como toda e qualquer atividade econômica, a produção agrícola está sujeita a diversas incertezas, tais como estiagem, chuvas excessivas, geadas, granizo, as quais podem afetar milhares de produtores em uma vasta extensão territorial. Um dos mecanismos utilizados para amenizar os efeitos dos riscos é o seguro agrícola, o qual se mostra eficiente no propósito de proteger o produtor em casos de perda de safra. No entanto, quando há perdas de produtividade em virtude das condições climáticas, ocorre um aumento dos pagamentos de indenizações, em função da grande quantidade de produtores afetados, o que acaba gerando um desequilíbrio financeiro nas seguradoras (Ozaki, 2009).

Com o intuito de minimizar esse problema, as seguradoras buscam identificar e classificar as microrregiões de acordo com o grau de risco. Essa estratégia consiste em diversificar as operações em diferentes regiões geográficas, de modo que os sinistros ocorridos em algumas delas possam ser compensados por resultados positivos ocorridos em outras áreas.

Portanto, como parte do propósito desta análise, realizou-se a quantificação do risco relativo, a partir do cálculo do coeficiente de variação, que reflete a magnitude dessa variável. Garcia (1989), analisando os coeficientes de variação (CV) obtidos nos ensaios agrícolas, sugeriu a seguinte classificação:

Tabela 1 – Classificação do risco relativo

| Classificação do Risco | CV |
|------------------------|-----------------|
| Baixo | Inferior 10% |
| Médio | Entre 10% e 20% |
| Alto | Entre 20% e 30% |
| Muito Alto | Superior a 30% |

Fonte: Garcia, 1989.

Por último, foram realizadas inferências sobre o equilíbrio atuarial do mercado de seguro agrícola nas microrregiões supracitadas, por meio do Índice de Sinistralidade (IS) médio, no período de 2011 a 2020:

$$IS = \left(\frac{\text{Indenizações}}{\text{Prêmio Total}} \right) \times 100 \quad (4)$$

O (IS) mede, em termos percentuais, a participação do valor total das indenizações pagas aos produtores rurais em decorrência de sinistros em relação ao valor do prêmio total arrecadado pelas seguradoras.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção foi dividida em três partes: primeiramente, descrevem-se os resultados encontrados para a cultura da soja; em seguida, estão expressos os resultados obtidos para a lavoura de milho; e, por último, realizou-se uma comparação dos resultados dessas duas culturas.

4.1 Análise da cultura de soja

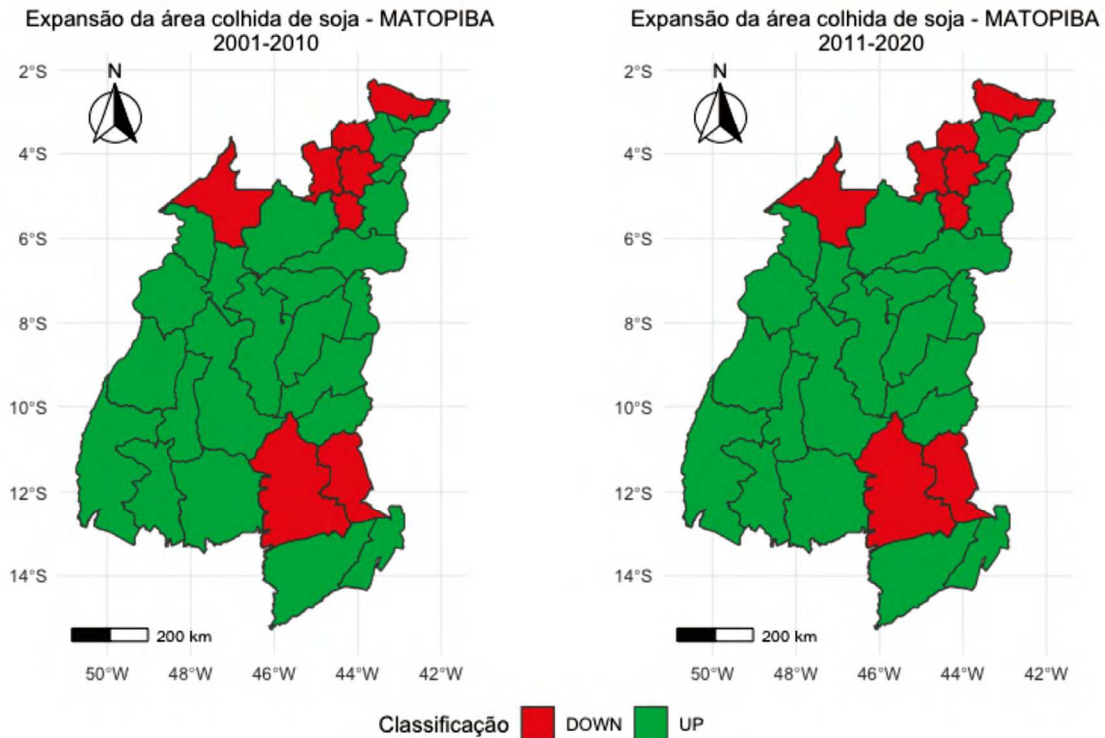
Para apresentar os resultados das análises para a cultura de soja, dividiu-se esta seção em duas partes: na primeira parte, é exposto os resultados dos cálculos dos efeitos escala e substituição; e na segunda parte, descreve-se os riscos relativo encontrados para cada microrregião.

4.1.1 Classificação das microrregiões para a cultura de soja

O efeito substituição no período de 2001 a 2010 (ES1) foi nulo para soja nas microrregiões de Codó (MA), Cotegipe (BA), Imperatriz (MA), Itapecuru Mirim (MA), Lençóis Maranhenses (MA), Médio Mearim (MA) e Presidente Dutra (MA). Além disso, na região de Barreiras (BA), o ES1 foi negativo, no valor de 40.706,10. Sendo assim, essas oito microrregiões foram classificadas no grupo *down*, e o restante (22) compôs o grupo *up*, como demonstrado na Figura 1.

As cinco microrregiões com maiores efeitos substituição positivos foram Alto Parnaíba Piauiense (PI), Alto Médio Gurguéia (PI), Jalapão (TO), Chapadinha (MA) e Dianópolis (TO), cujos valores foram, respectivamente, 87.344, 62.055, 52.808, 41.200 e 26.139, indicando que a soja adentrou em solos anteriormente usados em outras atividades agrícolas, tais como arroz, feijão, mandioca e pastagem.

Figura 1 – Classificação das microrregiões do MATOPIBA de acordo com o efeito substituição de soja



Fonte: Resultados da pesquisa.

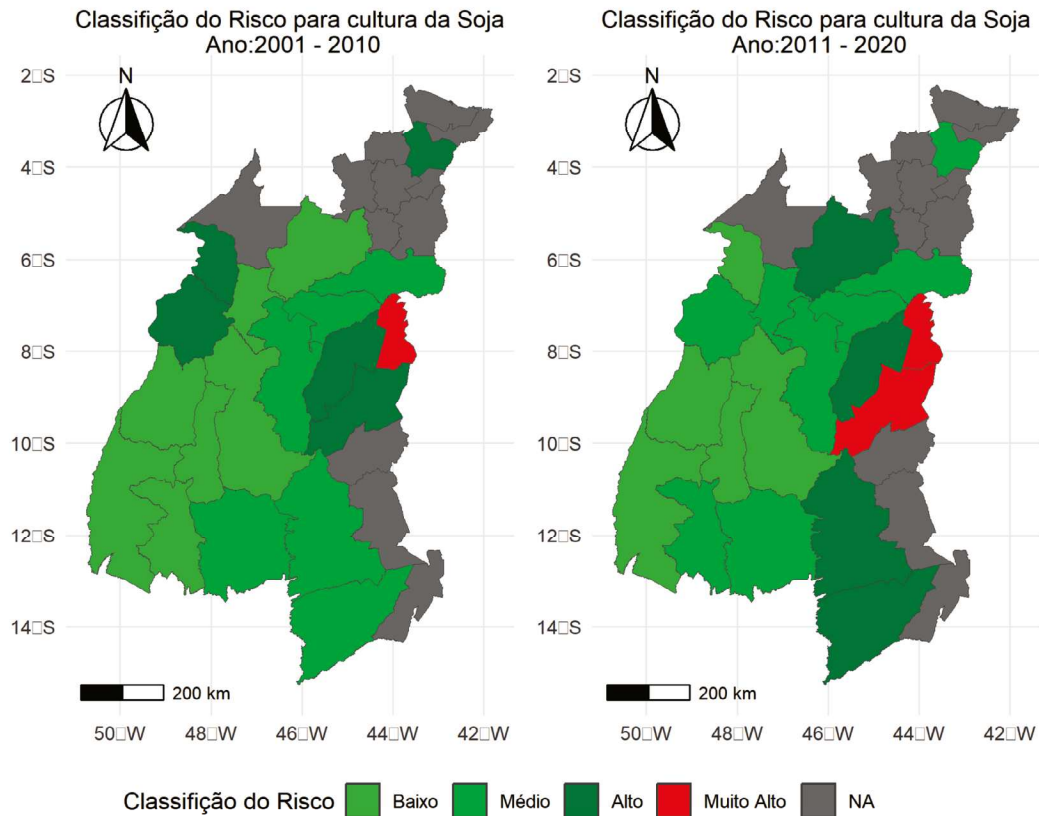
O efeito substituição entre 2011 e 2020 (ES2) das regiões de Codó (MA), Itapecuru Mirim (MA), Lençóis Maranhenses (MA) e Médio Mearim (MA) continuou sendo nulo. Observou-se ainda que as microrregiões de Alto Parnaíba Piauiense (PI), Alto Médio Gurguéia (PI) e Jalapão (TO) saíram do grupo $\square p$ e passaram a pertencer ao grupo *down*, apresentando ES negativo no valor de 17.473, 12.776 e 6.908, respectivamente. Nessas microrregiões, a soja cedeu espaço para milho, sorgo, pastagem e arroz. Outras regiões classificadas como *down* foram Gerias de Balsas (MA) e Chapadas das Mangabeiras (MA) (Figura 1). Portanto, 9 microrregiões foram classificadas no grupo *down* e 21 no grupo $\square p$.

Por outro lado, a microrregião com o maior efeito substituição (201.128) foi Barreiras (BA), a qual estava anteriormente alocada na classificação *down*, seguida por Gurupi (TO), Miracema do Tocantins (TO), Imperatriz (MA) e Santa Maria da Vitória (BA), cujos valores foram de 168.882, 116.266, 83.933 e 72.101, nessa ordem. As principais culturas que cederam áreas para o cultivo da soja nessas microrregiões foram algodão, milho e pastagem.

4.1.2 Análise do risco relativo da perda de produtividade da soja

Para análise dos coeficientes de variação (risco relativo) da produtividade de soja, foram consideradas somente as microrregiões que apresentaram todas as observações da variável *rendimento*, no período de 2001 a 2020. Logo, das 31 regiões, apenas 19 compuseram a análise de risco. Dentro dessa seleção, e considerando o efeito substituição no segundo período, 5 microrregiões foram classificadas no grupo *down* e 14 como grupo $\square p$.

Figura 2 – Classificação do risco relativo da cultura da soja, no período de 2001 a 2020



Fonte: Resultados da pesquisa.

A Figura 2 mostra a distribuição do risco relativo nas microrregiões do MATOPIBA. O coeficiente de variação no período de 2001 a 2010 (CV1) da região de Bertolínia (PI) foi de 33,28%, o qual é classificado como altíssimo risco, segundo Garcia (1989). Além disso, as microrregiões de Alto Médio Gurguéia (PI), Alto Parnaíba Piauiense (PI), Araguaína (TO), Bico do Papagaio (TO) e Chapadinha (MA) apresentaram CV1 considerado de alto risco. Por fim, 6 regiões foram classificadas como médio risco, e outras 7, como baixo risco.

Por outro lado, o coeficiente de variação no período de 2011 a 2020 (CV2) da microrregião de Bertolínia (PI) permaneceu em valores considerados de risco altíssimo, apesar da variação negativa dessa variável. Outra região que se juntou ao grupo muito alto foi Alto Médio Gurguéia (PI), que atingiu o valor de 34,48%.

O número de microrregiões com alto risco passou de 5 para 4, porém apenas Alto Parnaíba Piauiense permaneceu nessa classificação. As outras regiões que apresentaram aumento dos coeficientes de variação e passaram a ser classificadas como alto risco foram: Alto Mearim e Grajaú (MA), que anteriormente era consideradas de baixo risco; Barreiras (BA) e Santa Maria da Vitória (BA), as quais pertenciam ao grupo de médio risco. Ademais, o número de regiões de baixo risco caiu, enquanto o número para médio risco aumentou.

Partindo para uma análise das regiões que tiveram expansão da soja, percebe-se que as médias dos CV1 e CV2 para o grupo *up* foram menores que as do grupo *down*, indicando que nessas regiões o risco relativo foi menor. Também se notou que tanto a média como a mediana dos coeficientes de variações para microrregiões classificadas como *down* aumentaram no período. Em contrapartida, no grupo *up* a média diminuiu, enquanto a mediana teve um aumento. Essas informações podem ser mais bem visualizadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas do risco relativo da soja, nos períodos de 2001 a 2010 e 2011 a 2020, para as microrregiões classificadas como UP e DOWN

| Risco Relativo | UP | | DOWN | |
|----------------|-------|---------|-------|---------|
| | Média | Mediana | Média | Mediana |
| CV 1 | 15,68 | 13,00 | 16,24 | 11,07 |
| CV 2 | 14,96 | 14,62 | 20,02 | 19,22 |

Fonte: Resultados da pesquisa.

Analisando-se mais detalhadamente (Tabela 3), observa-se que oito microrregiões tiveram uma queda no coeficiente de variação, sendo que apenas uma delas pertencia ao grupo *down*. As regiões com maiores reduções foram Araguaína e Bico do Papagaio, ambas classificadas como grupo *up* e alto risco, passando a ter médio e baixo risco, respectivamente.

Tabela 3 – Análise do efeito substituição (ES), do risco relativo (CV), apólices e sinistralidade nas microrregiões do MATOPIBA para soja

| UF | Microrregião | ES1 | ES2 | CV1 | CV2 | Apólices | Sinistralidade |
|----|----------------------------|------------|-------------|-------|-------|----------|----------------|
| MA | Alto Mearim e Grajaú | 4.412,06 | 11.716,28 | 9,53 | 21,36 | 94 | 31,94 |
| PI | Alto Médio Gurguéia | 62.055,73 | -12.776,34 | 27,32 | 34,48 | 416 | 174,06 |
| PI | Alto Parnaíba Piauiense | 87.344,23 | -17.473,74 | 22,63 | 24,47 | 582 | 123,14 |
| TO | Araguaína | 12.166,32 | 25.259,13 | 26,96 | 10,88 | 79 | 111,47 |
| BA | Barreiras | -40.706,10 | 201.128,55 | 18,94 | 20,13 | 2.789,00 | 93,05 |
| PI | Bertolínia | 5.603,73 | 15.013,28 | 33,28 | 30,3 | 10 | 12,32 |
| TO | Bico do Papagaio | 5.791,88 | 3.254,33 | 23,18 | 6,54 | 11 | 0 |
| MA | Chapadas das Mangabeiras | 16.912,00 | -49.511,25 | 10,74 | 17,98 | 356 | 39,69 |
| MA | Chapadas do Alto Itapecuru | 3.623,35 | 27.556,23 | 10,24 | 17,52 | 73 | 34,44 |
| MA | Chapadinha | 41.200,64 | 28.101,28 | 21,4 | 14,4 | 188 | 52,85 |
| TO | Dianópolis | 36.139,90 | 36.370,81 | 15,75 | 10,63 | 226 | 55,39 |
| MA | Gerais de Balsas | 31.761,55 | -130.042,50 | 11,07 | 19,22 | 431 | 47,22 |
| TO | Gurupi | 31.162,96 | 168.882,31 | 9,21 | 14,84 | 800 | 33,61 |
| TO | Jalapão | 52.808,20 | -6.908,32 | 9,43 | 3,93 | 318 | 20,15 |
| TO | Miracema do Tocantins | 32.694,92 | 116.266,72 | 6,9 | 5,05 | 468 | 48,36 |
| MA | Porto Franco | 8.045,36 | 8.488,97 | 7,87 | 18,93 | 10 | 15,91 |
| TO | Porto Nacional | 34.776,96 | 66.454,91 | 9,7 | 9,97 | 488 | 30,85 |
| TO | Rio Formoso | 11.445,12 | 61.336,74 | 7,57 | 5,52 | 208 | 26,44 |
| BA | Santa Maria da Vitória | 13.440,19 | 72.101,36 | 18,92 | 23,31 | 341 | 70,6 |

Fonte: Resultados da pesquisa.

Por outro lado, identificou-se que onze microrregiões tiveram aumento do coeficiente de variação, sendo quatro do grupo *down* e sete do grupo *up*. As maiores altas ocorreram em Alto Mearim e Grajaú e Porto Franco, ambas no estado do Maranhão. Essas regiões saíram de uma classificação de baixo risco e passaram a apresentar alto risco.

Vale ressaltar que Alto Médio Gurguéia, a qual apresentou o maior CV para o segundo período, foi também a microrregião de maior sinistralidade, cujo valor foi de 174,06%. Além disso, seu efeito substituição no primeiro período foi positivo no valor de 62.055,73, enquanto no segundo período essa variável foi negativa, indicando que a soja cedeu área para outras culturas. Esse movimento do efeito substituição também pode ser visto no Jalapão, região que apresentou o menor CV2 e uma sinistralidade de 20,15%.

Outro ponto de destaque foi a sinistralidade ocorrida em Araguaína, que chegou a 111,47%, mesmo apresentando uma grande redução do coeficiente de variação, que passou de 26,96 para 10,88. Nessa região, o efeito substituição foi positivo em ambos os períodos analisados. De outro

modo, Bico do Papagaio teve uma sinistralidade de 0 e apresentou uma queda do coeficiente de variação e do efeito substituição.

4.2 Análises da cultura do milho

Assim como foi feito para a soja, a exposição dos resultados das análises para a cultura de milho foi dividida em duas partes: na primeira parte, é exposto os resultados dos cálculos dos efeitos escala e substituição; e na segunda parte, descreve-se os riscos relativo encontrados para cada microrregião.

4.2.1 Classificação das microrregiões para a cultura do milho

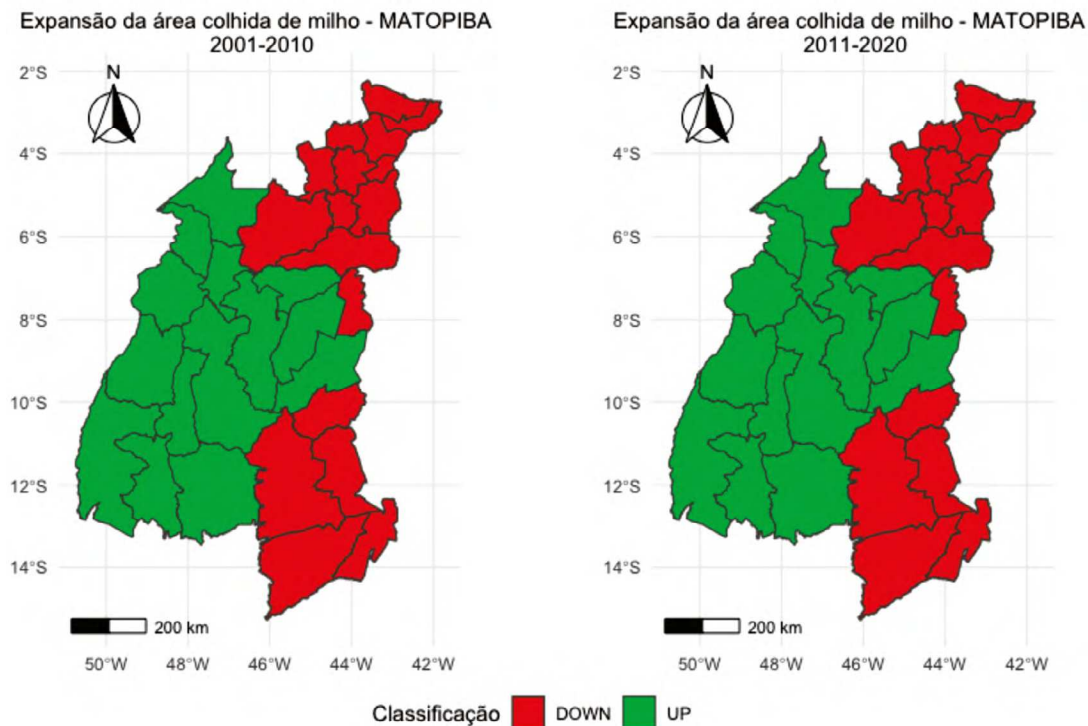
Para o primeiro período de 2001 a 2010, as microrregiões que apresentaram um efeito substituição (ES) positivo para o milho foram Gurupi (TO), Porto Nacional (TO), Chapadas do Extremo Sul Piauiense (PI), Alto Parnaíba Piauiense (PI), Itapecuru Mirim (MA), Bertolândia (PI), Bom Jesus da Lapa (BA), Dianópolis (TO), Cotegipe (BA), Jalapão (TO) e Chapadas das Mangabeiras (MA). Assim, essas onze microrregiões foram classificadas no grupo $\square p$, e o restante (20) compôs o grupo *down*, como demonstrado na Figura 3.

As cinco microrregiões com menores efeitos substituição negativos foram Barreiras (BA), Santa Maria da Vitória (BA), Presidente Dutra (MA), Alto Mearim e Grajaú (MA) e Médio Mearim (MA), cujos valores foram, respectivamente, -76.272, -22.624, -16.321, -13.356 e -11.824, indicando que o milho cedeu áreas para outras atividades agrícolas, tais como soja, sorgo e pastagens.

Nos anos entre 2011 e 2020, catorze microrregiões apresentaram efeito substituição positivo para o milho, sendo que seis delas já estavam classificadas como grupo $\square p$ no primeiro período (Jalapão, Gurupi, Dianópolis, Porto Nacional, Chapada das Mangabeiras e Alto Parnaíba Piauiense). As microrregiões que saíram do grupo *down* e passaram a pertencer ao grupo $\square p$ foram Imperatriz (MA), Bico do Papagaio (TO), Araguaína (TO), Porto Franco (MA), Rio Formoso (TO), Alto Médio Gurgueia (PI), Miracema do Tocantins (TO) e Gerais da Balsas (MA). As principais culturas que cederam área para o cultivo de milho foram soja, arroz e pastagem.

Por outro lado, as microrregiões de Chapadas do Extremo Sul Piauiense (PI), Itapecuru Mirim (MA), Bertolândia (PI), Bom Jesus da Lapa (BA), Cotegipe (BA), que anteriormente foram classificadas como $\square p$, passaram a integrar o grupo *down*. Além disso, a microrregião com o menor efeito substituição (-31.626) continuou sendo Barreiras (BA), seguida por Alto Mearim e Grajaú (MA), Presidente Dutra (MA), Cotegipe (BA) e Médio Mearim (MA), cujos valores foram de -23.081, -16.904, -16.302 e -15.253, nessa ordem.

Figura 3 – Classificação das microrregiões do MATOPIBA de acordo com o efeito substituição do milho



Fonte: Resultados da pesquisa.

4.2.2 Análise do risco relativo de perda de produtividade do milho

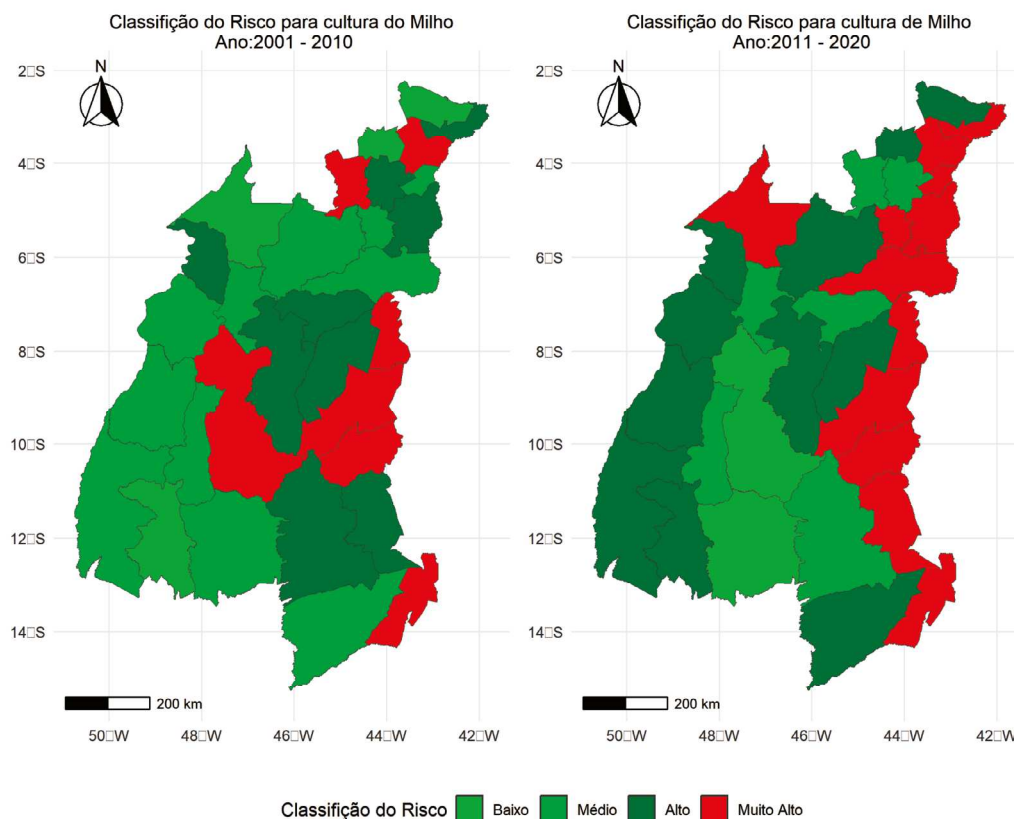
Para esta análise, foram consideradas somente as microrregiões que apresentaram todas as observações da variável *rendimento*, no período de 2001 a 2020. Logo, todas as 31 microrregiões fizeram parte da análise de risco para a lavoura de milho. Considerando o efeito substituição no segundo período, 14 microrregiões foram classificadas no grupo *up* e 17 como grupo *down*. A Figura 4 mostra a distribuição do risco relativo do milho nas microrregiões do MATOPIBA.

No primeiro período, de 2001 a 2010, o coeficiente de variação (CV1) da região de Bom Jesus da Lapa (BA) foi de 64,05%, o qual é classificado como altíssimo risco. Além dessa região, outras 6 microrregiões também foram classificadas nesse grupo. Ademais, das 31 microrregiões analisadas, 9 apresentaram um risco alto, 11 foram classificadas como médio risco e 4 tiveram CV1 considerados baixos. O menor CV1 foi encontrado na região de Itapecuru Mirim, no Maranhão.

Por outro lado, no período de 2011 a 2020, a microrregião de Cotegipe (BA) apresentou um expressivo aumento do risco relativo, saindo de um coeficiente de variação de 25,94 para 72,54. Outras regiões que se juntaram ao grupo de altíssimo risco foram Coelho Neto, Caxias, Baixo Parnaíba Maranhense, Chapadas do Alto Itapecuru, Presidente Dutra e Imperatriz, cujos valores bateram as marcas de 68,51%, 52%, 51,94%, 36,96%, 34,65% e 31,04%, respectivamente. Ressalta-se que o número de microrregiões com muito alto risco passou de 7 para 12.

Já na classificação de alto risco, o número de microrregiões aumentou de 9 para 11, das quais apenas 3 mantiveram sua classificação igual ao período anterior. As outras regiões que apresentaram aumento dos coeficientes de variação e passaram a ser classificadas como de alto risco foram: Gurupi (TO), Itapecuru Mirim (MA) e Lençóis Maranhense, que anteriormente eram consideradas de baixo risco; Rio Formoso (TO), Araguaína (TO), Miracema do Tocantins (TO), Alto Mearim e Grajaú (MA) e Santa Maria da Vitória (BA), as quais pertenciam ao grupo de médio risco. Em contrapartida, os números de regiões de médio e baixo risco diminuiram.

Figura 4 – Classificação do risco relativo da cultura do milho, no período de 2001 a 2020



Fonte: Resultados da pesquisa.

Partindo para uma análise das regiões que tiveram expansão do milho, percebe-se que as médias e medianas dos CV1 e CV2 para o grupo *up* foram menores que as do grupo *down*, indicando que nessas regiões o risco relativo foi menor. Tal fato pode ser explicado em função da substituição de culturas, já que o milho pode ter sido introduzido em áreas de antigas lavouras de soja ou arroz, cujo solo já foi tratado e a infraestrutura já se desenvolveu.

Também se notou que tanto a média como a mediana dos coeficientes de variações para microrregiões classificadas como *down* aumentaram significativamente no período analisado. Porém, no grupo *up* a média manteve-se estável, com pequeno aumento, enquanto a mediana aumentou. Essas informações podem ser visualizadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Estatísticas descritivas do risco relativo do milho, nos períodos de 2001 a 2010 e 2011 a 2020, para as microrregiões classificadas como UP e DOWN

| Risco Relativo | UP | | DOWN | |
|----------------|-------|---------|-------|---------|
| | Média | Mediana | Média | Mediana |
| CV 1 | 22,71 | 17,05 | 27,75 | 22,51 |
| CV 2 | 22,88 | 24,44 | 40,78 | 34,65 |

Fonte: Resultados da pesquisa.

Analisando-se mais detalhadamente, observa-se que nove microrregiões tiveram uma queda no coeficiente de variação, sendo que quatro delas pertenciam ao grupo *down*. As regiões com maiores reduções foram Jalapão (grupo *up*) e Bertolândia (grupo *down*), as quais tinham muito alto risco. A primeira passou a ser classificada como baixo risco, e a segunda, apesar da queda, manteve sua classificação de muito alto risco.

Por outro lado, identificou-se que 22 microrregiões tiveram aumento do coeficiente de variação, sendo 13 do grupo *down* e 9 do grupo \uparrow . As maiores altas ocorreram em Coelho Neto e Cotegipe, ambas classificadas como *down*. Essas regiões saíram de uma classificação de médio e alto risco, respectivamente, para muito alto risco.

Vale ressaltar que Cotegipe, a qual apresentou o segundo maior CV para o segundo período, foi também a microrregião de maior sinistralidade, cujo valor foi de 828%. No entanto, esse alto grau de sinistralidade pode ser explicado pelo número de apólices dessa região, que é igual a 1. Além disso, seu efeito substituição no primeiro período foi positivo no valor de 6.459, enquanto no segundo período, essa variável foi negativa, indicando que o milho cedeu área para outras culturas (Tabela 5).

Já no Jalapão, cujo CV2 foi o menor, a sinistralidade para a cultura do milho foi de 218%, e o efeito substituição foi positivo em ambos os períodos. Outra região que teve uma sinistralidade acima de 200 foi Gerais da Balsa, cujo efeito substituição era negativo no período de 2001 a 2010, e chegou a 158.271 no período de 2011 a 2020. Destaca-se ainda que essa última apresentou um leve aumento do CV, que passou de 21 para 24.

Um dos menores índices de sinistralidade foi encontrado na região de Chapadas do Extremo Sul Piauiense, na qual o coeficiente de variação chegou a 61,41, e o efeito substituição foi negativo no segundo período.

Tabela 5 – Análise do efeito substituição (ES), do risco relativo (CV), apólices e sinistralidade nas microrregiões do MATOPIBA para milho

| UF | Microrregião | ES 1 | ES 2 | CV 1 | CV 2 | Apólices | Sinistralidade |
|----|-----------------------------------|------------|------------|-------|-------|----------|----------------|
| MA | Alto Mearim e Grajaú | -13.356,41 | -23.081,93 | 12,79 | 22,39 | 21 | 0 |
| PI | Alto Médio Gurguéia | -8.342,98 | 50.734,89 | 55,11 | 35,29 | 129 | 99,22 |
| PI | Alto Parnaíba Piauiense | 1.946,97 | 70.104,95 | 25,33 | 23,92 | 238 | 94,15 |
| TO | Araguaína | -1.154,99 | 5.861,49 | 16,17 | 27,33 | 5 | 0 |
| MA | Baixo Parnaíba Maranhense | -1.472,43 | -972,98 | 21,18 | 51,94 | - | - |
| BA | Barreiras | -76.272,97 | -31.626,45 | 22,51 | 15,64 | 500 | 70,14 |
| PI | Bertolândia | 2.588,45 | -2.862,71 | 60,82 | 31,94 | 4 | 0 |
| TO | Bico do Papagaio | -4.758,90 | 3.848,24 | 24,38 | 26,78 | 2 | 0 |
| BA | Bom Jesus da Lapa | 3.512,84 | -14.486,34 | 64,05 | 72,2 | - | - |
| MA | Caxias | -7.888,86 | -10.399,47 | 25,69 | 52 | 4 | 0 |
| MA | Chapadas das Mangabeiras | 18.706,73 | 56.959,27 | 28,44 | 19,88 | 98 | 125,28 |
| MA | Chapadas do Alto Itapecuru | -6.896,63 | -6.009,98 | 13,77 | 36,96 | 11 | 0 |
| PI | Chapadas do Extremo Sul Piauiense | 843,61 | -10.532,82 | 58,23 | 61,41 | 3 | 21,77 |
| MA | Chapadinha | -5.958,03 | -6.126,27 | 31,2 | 71,92 | 9 | 0 |
| MA | Codó | -8.941,45 | -10.572,45 | 27,48 | 13,06 | - | - |
| MA | Coelho Neto | -5.204,79 | -1.665,58 | 19,85 | 68,51 | - | - |
| BA | Cotegipe | 6.459,52 | -16.302,28 | 25,94 | 72,54 | 1 | 828,16 |
| TO | Dianópolis | 5.552,63 | 19.987,47 | 17,92 | 9,09 | 50 | 127,02 |
| MA | Gerais de Balsas | -9.222,24 | 158.271,10 | 21,31 | 24,53 | 234 | 223,99 |
| TO | Gurupi | 142,04 | 11.712,59 | 9,53 | 24,35 | 49 | 51,26 |
| MA | Imperatriz | -770,39 | 3.376,06 | 7,74 | 31,04 | 5 | 0 |
| MA | Itapecuru Mirim | 2.250,11 | -10.093,36 | 5,26 | 25,7 | - | - |
| TO | Jalapão | 7.484,97 | 9.900,72 | 61,23 | 7,91 | 50 | 218,16 |
| MA | Lençóis Maranhenses | -182,16 | -1.430,60 | 9,23 | 26,07 | - | - |
| MA | Médio Mearim | -11.824,46 | -15.253,65 | 40,88 | 16,01 | 1 | 0 |
| TO | Miracema do Tocantins | -2.085,47 | 85.851,82 | 12,72 | 26,58 | 125 | 52,52 |
| MA | Porto Franco | -8.638,69 | 14.399,26 | 12,08 | 15,51 | 20 | 0 |
| TO | Porto Nacional | 208,21 | 53.829,85 | 11,32 | 18,66 | 100 | 71,9 |
| MA | Presidente Dutra | -16.321,13 | -16.904,16 | 13,23 | 34,65 | 2 | 0 |

| UF | Microrregião | ES 1 | ES 2 | CV 1 | CV 2 | Apólices | Sinistralidade |
|----|------------------------|------------|------------|-------|-------|----------|----------------|
| TO | Rio Formoso | -4.073,00 | 19.445,54 | 14,61 | 29,51 | 26 | 105,64 |
| BA | Santa Maria da Vitória | -22.624,55 | -10.672,52 | 19,59 | 20,31 | 117 | 134,58 |

Fonte: Resultados da pesquisa.

4.3 Comparação entre as culturas de soja e milho

Observa-se que a soja obteve, em média, um efeito substituição maior que o milho, mostrando uma forte expansão desse cultivo em detrimento de outros. Além disso, os coeficientes de variação da soja, para os períodos de 2001 a 2010 e 2011 a 2020, foram inferiores aos do milho, indicando um risco menor. Outro ponto de destaque é que o número de apólices para soja é 4,4 vezes maior que do outro grão em análise, o que impacta diretamente a sinistralidade, a qual é menor na lavoura de soja.

Analisando cada estado, nota-se que Tocantins foi a unidade da Federação que apresentou, em geral, o menor risco relativo para soja, sendo a segunda colocada em número de apólices. Ainda, esse estado foi o único que teve redução do risco relativo e apresentou altos índices de efeitos substituição para soja em ambos os períodos, demonstrando a forte expansão da leguminosa na região.

Por outro lado, Piauí foi o estado de maiores coeficientes de variação, mostrando o alto risco da produção de soja na região. Tal fato é sentido diretamente no número de apólices e na sinistralidade, as quais foram a menor e a maior, respectivamente. Esses dados estão dispostos na Tabela 6.

Do mesmo modo, em média, os menores coeficientes de variação para o milho foram encontrados no estado de Tocantins, cuja sinistralidade bateu a casa dos 78,31%. Novamente, foi a unidade da Federação com o segundo maior número de apólices e com efeitos substituição positivos nos dois períodos analisados, indicando que também houve expansão da lavoura do milho nesse estado.

Tabela 6 – Análise do efeito substituição (ES), do risco relativo (CV), apólices e sinistralidade nos estados do MATOPIBA para soja

| UF | Médi-ES 1 | Médi-ES 2 | Médi-CV 1 | Médi-CV 2 | Apólices | Médi-Sinistralidade |
|------------|-----------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|---------------------|
| BA | -6241,48 | 69592,54 | 18,93 | 21,72 | 3139,00 | 54,55 |
| MA | 7413,80 | 1268,53 | 11,81 | 18,24 | 1241,00 | 18,50 |
| PI | 39230,82 | 773,20 | 27,74 | 29,75 | 1008,00 | 103,17 |
| TO | 27123,28 | 58864,58 | 13,59 | 8,42 | 2598,00 | 40,78 |
| Tot | 14843,57 | 24884,12 | 15,82 | 16,29 | 7986,00 | 39,29 |

Fonte: Resultados da pesquisa.

Em contrapartida, os maiores riscos relativos foram encontrados no Piauí. No entanto, a maior sinistralidade ocorreu na Bahia, região que também apresentou altos riscos relativos. Nesse estado, os efeitos substituição foram negativos, demonstrando que o milho cedeu espaço para outras lavouras. Além disso, apresentou o maior número de apólices (Tabela 7).

Tabela 7 – Análise do efeito substituição (ES), do risco relativo (CV), apólices e sinistralidade nos estados do MATOPIBA para milho

| UF | Médi-ES 1 | Médi-ES 2 | Médi-CV 1 | Médi-CV 2 | Apólices | Médi-Sinistralidade |
|------------|-----------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|---------------------|
| BA | -22231,29 | -18271,90 | 33,02 | 45,17 | 618,00 | 344,29 |
| MA | -5048,06 | 8699,69 | 19,34 | 34,01 | 405,00 | 34,93 |
| PI | -740,99 | 26861,08 | 49,87 | 38,14 | 374,00 | 53,79 |
| TO | 164,44 | 26304,72 | 20,99 | 21,28 | 407,00 | 78,31 |
| Tot | -5364,34 | 12106,12 | 25,47 | 32,70 | 1804,00 | 88,95 |

Fonte: Resultados da pesquisa.

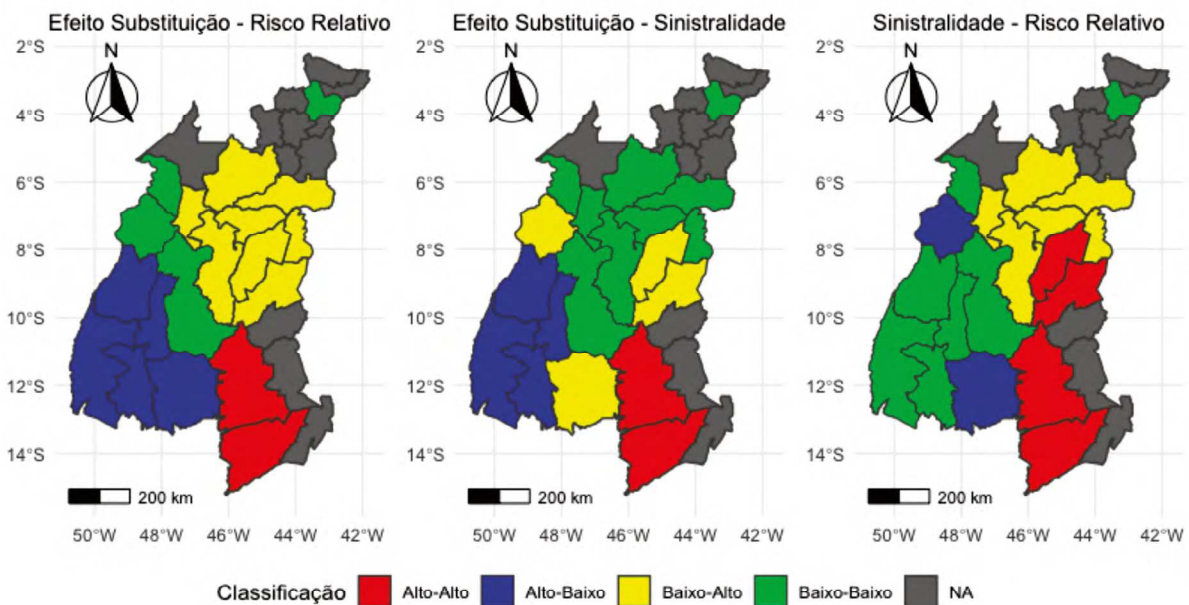
Por último, comparou-se o efeito substituição tanto com o risco relativo do período entre 2011 e 2020 como com a sinistralidade. Além disso, também se comparou o coeficiente de variação de 2011 a 2020 (CV2) à sinistralidade. Para tanto, consideraram-se as variáveis efeito substituição (padronizado³), coeficiente de variação (risco relativo) no período de 2011 a 2020 e sinistralidade. Desse modo, classificaram-se em: alto, os resultados obtidos acima de zero; e baixo, os resultados abaixo de zero.

Analisando primeiramente a cultura da soja, observa-se que das 19 microrregiões analisadas, 8 apresentaram uma classificação baixo-alto quanto ao efeito substituição – risco relativo, 2 foram classificadas como alto-alto, 4 como baixo-baixo e 5 como alto-baixo. Pela Figura 7, identifica-se ainda uma certa proximidade entre microrregiões de mesma classificação.

Ainda para cultura de soja, nota-se que 9 microrregiões tiveram um baixo efeito substituição em conjunto com uma baixa sinistralidade. Ademais, as mesmas microrregiões que apresentaram um efeito substituição alto somado a um alto risco, também apresentaram uma alta sinistralidade. Por fim, 4 microrregiões foram classificadas como baixo-alto (efeito substituição – sinistralidade) e outras 4, como alto-baixo.

Já em relação à sinistralidade – risco relativo, percebe-se que 7 microrregiões foram classificadas como baixo-baixo, 6 como baixo-alto, 2 como alto-baixo e 4 como alto-alto. Em todas as análises, as microrregiões de Barreiras e Santa Maria da Vitória apresentaram classificação alto-alto. Essas regiões, pertencentes ao estado da Bahia, têm apresentado uma grande expansão tanto da área cultivável como da produtividade, em função dos incentivos governamentais.

Figura 5 – Cartograma das classificações quanto a efeito substituição – risco relativo, efeito substituição – sinistralidade e sinistralidade – risco relativo para soja



Fonte: Resultados da pesquisa.

Realizando-se as mesmas análises para o milho, tem-se que apenas uma microrregião apresentou um efeito substituição e um risco relativo alto. Em contrapartida, 13 microrregiões tiveram efeito substituição baixo em conjunto com um risco baixo. Ainda, 9 foram classificadas como baixo-alto (efeito substituição – risco relativo) e 8 como alto-baixo. Diferentemente do que ocorre

3 Calculam-se a média e o desvio-padrão da amostra. Depois, de cada valor, retira-se a média e divide-se pelo desvio-padrão ($z = \frac{x - \mu}{\sigma}$).

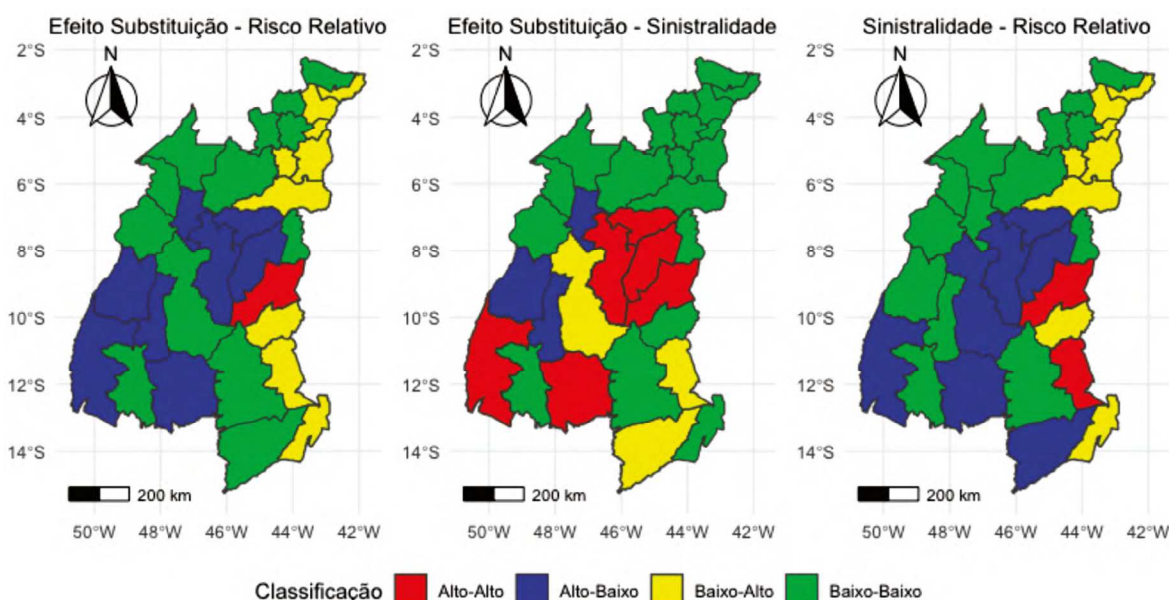
na soja, não se observa uma proximidade entre as microrregiões de mesma classificação para o milho (Figura 6).

Analisando-se o efeito substituição com relação à sinistralidade, identificou-se que 19 microrregiões apresentaram uma baixa sinistralidade somada a um baixo efeito substituição, enquanto 6 tiveram alta sinistralidade e alto efeito substituição. Além disso, 3 microrregiões apresentaram classificação baixo-alto (efeito substituição – sinistralidade) e outras 3, alto-baixo.

Para a análise de sinistralidade e risco relativo, observam-se 14 microrregiões classificadas como baixa sinistralidade e baixo risco relativo, 2 como alto-alto (sinistralidade – risco relativo), 7 como alto-baixo e 8 como baixo-alto. Em todas as análises, a microrregião de Alto Médio Gurguéia, no Piauí, apresentou uma classificação alto-alto.

Com as Figuras 5 e 6, fica evidente a falta de um padrão dessas classificações, não sendo possível identificar uma relação clara entre efeito substituição, risco relativo e sinistralidade. Portanto, nota-se a necessidade de realizar análises específicas e minuciosas do risco de perda de produtividade, de modo que a subscrição dessa variável ocorra de forma personalizada para cada cliente, evitando-se, assim, a generalização.

Figura 6 – Cartograma das classificações quanto a efeito substituição – risco relativo, efeito substituição – sinistralidade e sinistralidade – risco relativo para milho



Fonte: Resultados da pesquisa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No primeiro momento, utilizando-se do modelo *shift-share*, foram analisadas as mudanças no uso da terra nas microrregiões do MATOPIBA, nos períodos de 2001 a 2010 e 2011 a 2020, a fim de identificar em quais regiões as culturas de soja e milho incorporaram novas áreas. Em seguida, as microrregiões foram classificadas em dois grupos (*up* e *down*), segundo critério baseado no efeito substituição do milho ou da soja, para o período de 2011 a 2020.

Em relação à soja, das 31 microrregiões analisadas, 22 apresentaram expansão de área, sendo classificadas como *up*, e 9 não tiveram expansão de área para o cultivo de soja, sendo classificadas como *down*. Por outro lado, para o milho, observou-se que 20 microrregiões foram classificadas como *down* e 11 como *up*.

Além disso, realizou-se uma análise sobre o risco de perda de rendimento relativo, com a finalidade de verificar o comportamento do risco ao longo dos períodos, por meio de sua quantificação e classificação quanto ao nível de risco observado. Os resultados para soja mostram que as médias dos CV1 e CV2 para o grupo $\square p$ foram menores quando comparadas ao grupo *down*, indicando que nessas regiões o risco relativo foi menor. Ademais, observa-se um aumento tanto da média como da mediana dos coeficientes de variações das microrregiões do grupo *down*.

Com relação ao milho, as médias e medianas dos CV1 e CV2 para o grupo $\square p$ foram menores que as do grupo *down*, indicando que nessas regiões o risco relativo foi menor, fato que pode ser explicado pela substituição de culturas, uma vez que o milho pode ter sido introduzido em áreas de antigas lavouras, cujo solo já sofreu algum tipo de correção ou tratamento. Também foi possível perceber uma queda da média e da mediana dos coeficientes de variações para microrregiões do grupo *down*.

Quando se comparam os resultados de ambas as culturas, identifica-se que a soja apresenta, em média, um efeito substituição maior que o milho. Entretanto, os coeficientes de variação da soja, para os dois períodos analisados, foram inferiores aos do milho. Destaca-se, ainda, que o número de apólices para a soja é 4,4 vezes maior que para o milho, impactando diretamente a sinistralidade, a qual é menor na lavoura de soja.

Outro objetivo do trabalho foi realizar inferências sobre o índice de sinistralidade. Esse índice, quando supera os 100%, indica que a quantidade de indenizações é maior que o volume total de arrecadação de prêmios. Considerando-se o custo de operação do mercado segurador, admite-se como aceitável um nível de sinistralidade de 65%. Assim, entre as microrregiões analisadas, Alto Médio Gurguéia, Alto Parnaíba Piauiense, Araguaína e Barreiras foram as que apresentaram taxas de sinistralidade para soja superiores a 65%. Já para o milho, as regiões com índice superior ao admissível foram: Barreiras, Porto Nacional, Alto Parnaíba Piauiense, Alto Médio Gurguéia, Rio Formoso, Chapadas das Mangabeiras, Dianópolis, Santa Maria da Vitória, Jalapão, Gerais de Balsas e Cotegipe.

Por fim, com relação à análise dos impactos da expansão de área sobre o nível de risco observado para os cultivos de soja e milho, não se observa uma convergência de resultados. Em algumas microrregiões, notou-se uma relação inversa entre expansão da área cultivada e o risco relativo, mas, em outras, identificou-se uma relação direta entre essas variáveis.

A utilização da metodologia *shif-share* em conjunto com o coeficiente de variação e a sinistralidade apresenta uma forma alternativa de averiguar o risco assumido pelo mercado segurador nas novas fronteiras agrícolas. Além disso, o uso desses três ferramentais metodológicos permitiu a classificação das microrregiões em relação ao efeito substituição, ao risco relativo e à sinistralidade.

Assim, a principal contribuição acadêmica deste trabalho é que os resultados demonstram a necessidade de um tratamento cuidadoso com relação ao desenvolvimento do mercado de seguros em novas regiões, uma vez que não se verifica uma correlação explícita entre o nível de avanço em novas áreas e o nível de risco assumido pelo mercado. Ou seja, os estudos devem evitar realizar generalizações espaciais e prezar pela análise mais minuciosa. Dessa forma, é importante notar que os níveis de risco são uma expressão das condições locais de atuação das seguradoras, do apetite das seguradoras por mercados e sobretudo pelos níveis de seleção adversa, dada a realidade dos produtores da região.

As informações contidas neste artigo podem servir como base para tomada de decisão quanto à destinação de recursos para as políticas públicas com enfoque no seguro agrícola, dado que apresenta a quantificação e classificação microrregionalizada do risco de perda de produtividade relativo. Nesse sentido, os resultados encontrados nesta pesquisa podem auxiliar o PSR a destinar recursos para as microrregiões com maior grau de risco, assegurando a manutenção da renda do produtor em um cenário de perda de safra. Além do mais, esses dados são essenciais à diversifica-

ção do risco das seguradoras e à precificação mais eficiente das taxas de prêmio. Tal medida pode aumentar a adesão dos produtores em relação ao seguro rural.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. L. S. *et al.* Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990 – 2015). **Land Use Policy**, v. 80, p. 57-67, 2019.
- ARTIGAS, F. D. *et al.* O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 515, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n2p515-540>. Acesso em: 07 out. 2022.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). 2022a. **Sistema de Subvenção do Seguro Rural (SISSER) - Atlas do seguro rural**, 2023. Disponível em: <https://mapa-indicadores.agricultura.gov.br/publico/extensions/SISSER/SISSER.html>. Acesso em: 08 mar. 2022.
- _____. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). 2022b. **MCTI lança painel com dados estaduais sobre uso da terra e florestas**. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/central-de-conteudo/noti/mcti-lanca-painel-com-dados-estaduais-sobre-uso-da-terra-e-florestas>. Acesso em: 04 out. 2022.
- BRIGIDO, P. N. C. **Competitividade da soja goiana no cenário nacional com base na abordagem ricardiana**. 2020. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) – Escola de Gestão e de Negócios da PUC, Goiás, 2020.
- CARNI FILHO, A.; COSTA, K. A expansão da soja no Cerrado: caminhos para a ocupação territorial, uso do solo e produção sustentável. São Paulo, Brasil, 2016. Disponível em: https://www.inputbrasil.org/wp-content/uploads/2016/11/A-Expans%3A3o-da-Soja-no-Cerrado_Agroicone_INPT.pdf. Acesso em: 14 jul. 2022.
- CEPEA - CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. PIB Agro CEPEA - SP/CNA, 2022. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/>. Acesso em: 20 ago. 2022.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Portal de Informação Agropecuárias. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/produtos-360.html>. Acesso em: 07 out. 2022.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Portal de Informação Agropecuárias: Série Histórica das Safras**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/907-graos-por-unidades-da-federacao>. Acesso em: 07 out. 2022.
- DUFANT, L. R.; VILPOX, O. F.; SAUER, L. Rapid expansion of sugarcane crop for biofuels and influence on food production in the first producing region of Brazil. **Food Policy**, v. 79, p. 121-131, 2018.
- DART, J. O.; MATTOSO, M. J.; GARCIA, J. C. Agência Embrapa de informação tecnológica: importância socioeconômica, Brasília, 2007. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_8_168200511157.html. Acesso em: 19 out. 2022.

- FERRARINI, A. A expansão das áreas de soja e pastagens nas microrregiões de Mato Grosso. **Revista de Política Agrícola**, v. 30, n. 4, p. 5-21, 2021. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1677>. Acesso em: 04 out. 2022.
- FREITAS, M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, 2011. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4287>. Acesso em: 15 jul. 2022.
- GARCIA, C. H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. IPEF: Filosofia de Trabalho de Uma Elite de Empresas Florestais Brasileiras. Circular Técnica N°171, 1989. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr171.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2022.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA PRODUÇÃO AGRÍCOLA MUNICIPAL. Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). **PAM - Produção Agrícola Municipal**, 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2020>. Acesso em: 16 mar. 2022.
- KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, n. 3, v. 19, p. 707-713, 2005. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/3591058>. Acesso em: 04 out. 2022.
- MAPBIOMAS. **Estatísticas: Coberturas e Transições Municípios**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/estatisticas>. Acesso em: 08 mar. 2022.
- MARENGO, J. A. *et al.* Increased climate pressure on the agricultural frontier in the Eastern Amazonia–Cerrado transition zone. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 457-467, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-021-04241-4>. Acesso em: 04 out. 2022.
- MASSOLA, M. P.; MARTINS, R. S. A dinâmica da agricultura paranaense nos anos 70 e 80: o caso das culturas de verão. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. Brasília, v. 32, n. 3, p. 305-321, 1994.
- OZAKI, V. A., DIAS, C. T. S. Análise e quantificação do risco para a gestão eficiente do portfólio agrícola das seguradoras. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 47 n. 3, p. 549-567, 2009.
- PONCIANO, N. *et al.* Dinâmica na produção e na diversificação das culturas cultivadas no Espírito Santo de 1970 a 2010. **Revista Teoria e Evidência Econômica**, v. 23, n. 48, p. 92-117, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5335/rtee.v23i48.7361>. Acesso em: 07 out. 2022.
- QUINTÃO, J. M. B. *et al.* Mudanças do uso e cobertura da terra no Brasil, emissões de GEE e políticas em curso. **Ciência e Cultura**, v. 73, n. 1, p. 18-24, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602021000100004>. Acesso em: 04 out. 2022.
- RIBEIRO, M. C. *et al.* The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.
- SANCHES, A.C.; MICHELON, E.; ROESSING, A. C. Os Limites da Expansão da Soja. **Informe GEPEC (Online)**, v. 9, p. 1-21, 2005.
- SANTOS, F. A. A.; FARIA, R. A. D.; TEIXEIRA, E. C. Mudança da composição agrícola em duas regiões de Minas Gerais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 46, n. 3, p. 579-595, 2008.

SANTOS, R. S. *et al.* Consequences of land-use change in Brazil's new agricultural frontier: a soil physical health assessment. **Geoderma**, v. 400, p. 115149, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115149>. Acesso em: 04 out. 2022.

SILVA, L. I.; LEÃO, C.; PASQUALETTO, A. Área de ocupação da cana-de-açúcar no estado de Goiás e o efeito substituição em relação a outras culturas de abastecimento alimentar (2003-2012). **Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos**, v. 1, n. 1, p. 21-35, 2016.

SOUZA, A. B., SANTOS, C. V. Mudanças na composição da produção agrícola paranaense no período 1990 a 2005: uma análise quantitativa do desempenho das principais culturas. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, n. 116, p. 7-32, 2009.

VALE, N. K. A. **Trajectoria da produtividade da soja em função da variabilidade das chuvas no estado de Goiás**. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) – Programa do Pós-Graduação em Agronegócio, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

ANEXO - AS MICRORREGIÕES UTILIZADAS PARA SOJA (ESQUERDA) E MILHO (DIREITA)

| UF | Microrregião |
|----|----------------------------|
| MA | Alto Mearim e Grajaú |
| PI | Alto Médio Gurguéia |
| PI | Alto Parnaíba Piauiense |
| TO | Araguaína |
| BA | Barreiras |
| PI | Bertolândia |
| TO | Bico do Papagaio |
| MA | Chapadas das Mangabeiras |
| MA | Chapadas do Alto Itapecuru |
| MA | Chapadinha |
| TO | Dianópolis |
| MA | Gerais de Balsas |
| TO | Gurupi |
| TO | Jalapão |
| TO | Miracema do Tocantins |
| MA | Porto Franco |
| TO | Porto Nacional |
| TO | Rio Formoso |
| BA | Santa Maria da Vitória |

| UF | Microrregião |
|----|-----------------------------------|
| MA | Alto Mearim e Grajaú |
| PI | Alto Médio Gurguéia |
| PI | Alto Parnaíba Piauiense |
| TO | Araguaína |
| MA | Baixo Parnaíba Maranhense |
| BA | Barreiras |
| PI | Bertolândia |
| TO | Bico do Papagaio |
| BA | Bom Jesus da Lapa |
| MA | Caxias |
| MA | Chapadas das Mangabeiras |
| MA | Chapadas do Alto Itapecuru |
| PI | Chapadas do Extremo Sul Piauiense |
| MA | Chapadinha |
| MA | Codó |
| MA | Coelho Neto |
| BA | Cotegipe |
| TO | Dianópolis |
| MA | Gerais de Balsas |
| TO | Gurupi |
| MA | Imperatriz |
| MA | Itapecuru Mirim |
| TO | Jalapão |
| MA | Lençóis Maranhenses |
| MA | Médio Mearim |
| TO | Miracema do Tocantins |
| MA | Porto Franco |
| TO | Porto Nacional |
| MA | Presidente Dutra |
| TO | Rio Formoso |
| BA | Santa Maria da Vitória |