
CAPACIDADE DE RECUPERAÇÃO E DESEMPENHO DAS CULTURAS ALIMENTARES NO MATOPIBA: IMPACTOS E DESAFIOS

Recovery Capacity and Performance of Food Crops in the MATOPIBA Region: Impacts and Challenges

Marisa Guilherme da Frota

Economista. Doutora em Economia Aplicada. Professora na Universidade Federal do Ceará. Rua Coronel Estanislau Frota, 563, Centro, Sobral, Ceará, Brasil. marisagf@usp.br

Jose de Jesus Sousa Lemos

Engenheiro Agrônomo. Doutor em Economia Rural, dos Recursos Naturais e do Meio Ambiente. Professor Permanente dos Programas de Pós-Graduação em Economia Rural e Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará. Av. Mister Hull, 2977, Campus do Pici, Fortaleza, Ceará, Brasil. lemos@ufc.br

Vitor Augusto Ozaki

Agrônomo. Doutor em Economia Aplicada. Professor nos departamentos de Ciências Exatas, de Economia, Administração e Sociologia e de Estatística e Experimentação Agronômica da Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Av. Pádua Dias, 11, Bairro São Dimas, Piracicaba, São Paulo, Brasil. vitorozaki@usp.br

Gislaine Vieira Duarte

Matemática. Doutora em Estatística e Experimentação Agronômica. Departamento de Ciências Exatas (USP/ESALQ/LCE). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Av. Pádua Dias, 11, Bairro São Dimas, Piracicaba, São Paulo, Brasil. gislainevduarte@gmail.com

Resumo: Este estudo procurou avaliar a capacidade de recuperação das culturas alimentares (arroz, feijão, mandioca/milho) na região do MATOPIBA. O cultivo de arroz, feijão e mandioca é, em grande parte, oriundas da agricultura familiar, que desempenha papel crucial na alimentação da população e abastecimento do mercado local, além de ser essencial para a geração de empregos, renda e, principalmente, manutenção da segurança alimentar. Para avaliar a capacidade de recuperação dessas culturas, foi construído o índice de resiliência agrícola, para cada cultura e estado, durante o período de 2002 a 2021. Os resultados mostram que os estados do Maranhão e da Bahia apresentaram tendência de queda na resiliência para o cultivo de arroz, feijão e mandioca. O estado do Tocantins destaca-se como único que apresenta tendência crescente na capacidade de recuperação para todas as culturas. Em relação ao cultivo de milho e soja, para os quatro estados, observou-se tendência crescente na capacidade de recuperação.

Palavras-chave: Matopiba, Segurança alimentar, Resiliência agrícola.

Abstract: This study sought to evaluate the recovery capacity of food crops (rice, beans, cassava, and corn) in the MATOPIBA region. The cultivation of rice, beans, and cassava largely originates from family farming, which plays a crucial role in feeding the population and supplying the local market. Additionally, it is essential for job creation, income generation, and, most importantly, maintaining food security. To assess the recovery capacity of these crops, an Agricultural Resilience Index was constructed for each crop and state during the period from 2002 to 2021. The results show that the states of Maranhão and Bahia exhibited a downward trend in resilience for the cultivation of rice, beans, and cassava. The state of Tocantins stands out as the only state showing an upward trend in recovery capacity for all crops. Regarding corn and soybean cultivation across the four states, a growing trend in recovery capacity was observed.

Keywords: Matopiba, Food security, Agricultural resilience.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura familiar desempenha papel crucial na produção de alimentos e matérias-primas para o mercado interno. Ao fornecer esses recursos essenciais, ela fortalece a economia local, provê segurança alimentar, gera empregos e renda. Ao mesmo tempo, desempenha papel importante na redução do êxodo rural, mantendo as populações nas áreas rurais e contribui significativamente para a segurança alimentar e nutricional das comunidades locais e regionais (Lemos, 2012).

Segurança alimentar refere-se ao direito de todos ao acesso regular e contínuo a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente, sem comprometer outras necessidades essenciais, promovendo e estimulando práticas alimentares saudáveis e sustentáveis, respeitando a diversidade cultural, CONSEA (2004). Garantir segurança alimentar implica assegurar o acesso a alimentos no presente sem comprometer o futuro do sistema alimentar, sendo um direito a ser garantido pelos estados em colaboração com a sociedade civil, (Maluf; Menezes, 2002).

No entanto, a agricultura familiar enfrenta desafios crescentes, especialmente na região do MATOPIBA, onde culturas tradicionais como arroz, feijão e mandioca competem por espaço com commodities de alto valor comercial, como milho e soja. Essas culturas comerciais, intensivas em capital, ameaçam reduzir a área plantada e a produção de alimentos básicos, essenciais para a segurança alimentar e a subsistência das famílias. A escolha dessas culturas justifica-se pelo fato de integrarem os principais itens da cesta básica brasileira (Hungria, 2024). Diante desse contexto, a presente pesquisa busca responder à seguinte questão: os agricultores familiares da região do MATOPIBA possuem capacidade de resiliência diante das transformações no cenário agrícola local?

Com base nessa problemática, o estudo tem como objetivo geral avaliar a resiliência agrícola do MATOPIBA, com foco em culturas alimentares tradicionais, frente ao avanço das culturas comerciais. Como objetivos específicos, pretende-se: a) analisar a evolução da produção e da área colhida de arroz, feijão, mandioca, milho e soja no MATOPIBA, entre 2002 e 2021; e b) examinar a capacidade de recuperação das lavouras alimentares tradicionais, considerando fatores climáticos e a redução da área plantada devido ao avanço das commodities, entre 2002 e 2021.

Para alcance dos objetivos propostos, foram realizadas análises referentes à evolução da quantidade produzida e da área colhida para cada cultura. Em seguida, foram construídos índices parciais. A partir da construção desses indicadores e empregando a metodologia de decomposição em componentes principais, foram extraídos os escores fatoriais utilizados na construção do Índice de Resiliência (IRES).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nas últimas décadas, a agricultura brasileira tem passado por transformações significativas, especialmente com a consolidação de um modelo mais intensivo em capital e voltado para exportações. Essas mudanças têm gerado impactos importantes na segurança e soberania alimentar. Isso inclui a priorização do cultivo de lavouras voltadas para o abastecimento dos mercados externos em detrimento do suprimento para o interno, na substituição de áreas de produção de alimentos por commodities, a expansão da agricultura exportadora sobre terras ocupadas pela agricultura familiar e comunidades tradicionais e no avanço da fronteira agrícola, (Flexor et al., 2022; Feitosa et al., 2023).

Por definição, fronteira agrícola consiste no processo de incorporação de novas áreas, sendo estas, antes não exploradas ou as subutilizadas (Oliveira, 2019; Sicsú; Lima, 2000; Vieira Filho, 2016). A incorporação e expansão dessas áreas acarretam transformações nas dinâmicas do espaço produtivo e nas relações de trabalho. A fronteira agrícola do MATOPIBA, região formada pelo estado do Tocantins e partes dos estados do Maranhão, Piauí e Bahia, tem como característica a modernização das áreas agrícolas, com uso de intensivos e tecnologia, transformando áreas anteriormente destinadas à produção agrícola familiar em territórios especializados com foco em grandes produções, cujo principal objetivo é a produção de commodities.

A expansão da agricultura no MATOPIBA ganhou força a partir da década de 1990, impulsionada pelas tecnologias desenvolvidas pela EMBRAPA para o cultivo agrícola em áreas de Cerrado (Oliveira; Sousa, 2006).

Esse processo culminou na oficialização do MATOPIBA como fronteira agrícola em maio de 2015, com o lançamento do Plano de Desenvolvimento Agropecuário (PDA) do MATOPIBA (BRASIL, 2015). Os principais fatores que viabilizaram a expansão da soja nessa região incluem incentivos fiscais, como o Programa Nipo-Brasileiro de Cooperação para o Desenvolvimento do Cerrado - PRODECER; a inserção de empresas produtoras e processadoras de grãos e carnes; o baixo valor das terras; a mecanização facilitada pelas terras planas; e a chegada de agricultores vindos das regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste, que possuíam maior poder econômico e domínio de tecnologias avançadas (Espíndola; Cunha, 2015; Santos, 2015).

Com a atuação das políticas públicas e o baixo preço das terras, a região tornou-se atrativa para produtores e investidores, que encontraram condições favoráveis para introduzir cultivos como soja, algodão herbáceo e milho híbrido. Mesmo diante da baixa fertilidade do solo, a capacidade produtiva não foi comprometida, sendo contornada por meio da adubação química (Magalhães; Miranda, 2014).

Apesar da baixa fertilidade inicial dos solos, o uso intensivo de adubação química permitiu que a produtividade não fosse comprometida. Essa modernização resultou em um modelo agrícola intensivo em capital, caracterizado pela elevada produtividade de commodities, como soja, algodão herbáceo e milho híbrido (Lemos, 2015).

No entanto, o avanço da produção agrícola no MATOPIBA está provocando implicações importantes na modificação do ecossistema de Cerrados onde, atualmente, o cultivo de soja é predominante. Observa-se também que as áreas de soja avançam sobre aquelas cultivadas anteriormente pelos agricultores familiares. Os produtores de soja das regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste, onde as terras ficaram relativamente mais caras, migraram para aquela fronteira onde prevaleciam agricultores familiares carentes, que possuíam mosaicos de áreas reduzidas e voltadas para a produção de alimentos (arroz, feijão, mandioca e milho, principalmente), em geral sem o uso de qualquer tecnologia definida como moderna, num regime praticamente de subsistência, sem renda monetária. As terras tinham valores bem mais reduzidos do que aqueles observados nas regiões de onde vieram aqueles migrantes, que as adquiriram. Dessa forma, os agricultores nativos tiveram duas opções: emigrar ou tornarem-se trabalhadores assalariados dos novos proprietários das terras que outrora foram suas (Feitosa et al., 2023). Embora a permanência com a agricultura familiar seja tecnicamente possível, a viabilidade dessa opção em larga escala tem sido limitada no contexto atual.

De acordo com o Censo Agropecuário de 2017, a agricultura familiar representava 76,8% dos estabelecimentos agrícolas do Brasil, contribuindo com 22,8% do valor total da produção agrícola e empregando cerca de 10,1 milhões de pessoas, o que correspondia a 67,0% da força de trabalho agropecuária (IBGE, 2019). Esses estabelecimentos são responsáveis pela produção de uma variedade de alimentos essenciais para o consumo interno, como frutas, arroz, feijão, mandioca e carne bovina. Contudo, nas regiões Norte e Nordeste, a vulnerabilidade aos riscos climáticos é elevada devido à predominância da agricultura de sequeiro (Altieri; Koochafkan, 2008; Cunha et al., 2013).

Nesse contexto, o avanço da fronteira agrícola no MATOPIBA levanta preocupações sobre os impactos sociais e ambientais desse modelo. A expansão de monoculturas, como a soja sobre o Cerrado, ameaça a biodiversidade e compromete a sustentabilidade das comunidades locais, que dependem da agricultura familiar para sua subsistência e segurança alimentar. Esse cenário destaca a necessidade de políticas públicas que conciliem a produção de commodities com o fortalecimento da agricultura familiar e a preservação ambiental, garantindo o equilíbrio entre eficiência econômica e justiça social.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Base de Dados

Para alcançar os objetivos propostos, este estudo utilizou séries históricas disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o período de 2002 a 2021. Foram consideradas as seguintes variáveis: área colhida (hectares), quantidade produzida (toneladas), produtividade (quilogramas por hectare) e valores brutos das produções (VBP) para as culturas de arroz, feijão, milho, mandioca e soja. Além dessas variáveis, o estudo também incluiu o Produto Interno Bruto (PIB) dos estados, com o objetivo de analisar a contribuição do Valor Bruto da Produção (VBP) de cada cultura para a economia total de cada estado. Adicionalmente, a população por estado foi incorporada para mensurar a eficiência produtiva por meio do cálculo da produção per capita, permitindo uma avaliação mais precisa da relevância da produção agrícola em relação ao tamanho populacional. As variáveis VBP e PIB foram deflacionadas pelo Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI), disponibilizado pelo IPEADATA, tendo como base o ano de 2021.

3.2 Metodologia

A primeira etapa desta pesquisa consiste na construção dos índices parciais, esses índices são os indicadores que compõem o Índice de Resiliência (IRES), cujo propósito é estimar a capacidade de recuperação das lavouras alimentares na região de fronteira que corresponde ao MATOPIBA. A modelagem para construção dos índices parciais e do IRES seguem a mesma metodologia utilizada por (Lira et al., 2017; Sousa, 2023).

Os índices parciais foram construídos para cada cultura. Eles e correspondem a:

1. $IVBPIB_i$ – índice parcial da relação entre VBP_i pelo PIB. Essa relação indica a proporção da produção agrícola de determinada cultura “i” em relação à economia total, representada pelo PIB. Se o $IVBPIB_i$ for alto, isso indica que a cultura agrícola tem contribuição significativa para a economia em questão. Por outro lado, se o $IVBPIB_i$ for baixo, isso sugere que a referida cultura tem contribuição relativamente baixa para o PIB. A construção do $IVBPIB_i$ consiste em identificar o maior valor de (VBP_i/PIB) da série estudada. No ano em que o (VBP_i/PIB) é máximo atribui-se o escore 100, para os demais anos, realizam-se ajustes proporcionais em relação ao ano base, ou seja, $0 < IVBPIB_i < 100$.
2. $IPERC_i$ - índice parcial de produção per capita. Esse indicador é calculado dividindo a quantidade produzida pela população total, referente a cada cultura em estudo, resultando em uma medida que representa a produção média por pessoa. O ano em que o $IPERC_i$ for máximo, atribui-se o escore 100 para este indicador, para os demais anos os escores são calculados de forma proporcional, sendo $0 < IPERC_i < 100$.
3. $IAREA_i$ – índice parcial da área colhida da i-ésima cultura. Identificou-se o ano em que a área colhida foi máxima para cada cultura nos diferentes estados da análise, para o ano em que área colhida foi máximo é atribuído o escore igual a 100, para os demais anos os escores são calculados de forma proporcional, sendo $0 < IAREA_i < 100$.
4. $IVBPAREA_i$ – índice parcial do valor bruto de produção pela área colhida da i-ésima cultura. Uma alta relação $VBP_i/área_colhida$ pode indicar agricultura eficiente e altamente produtiva, na qual grande quantidade de valor é gerada em relação à quantidade de terra utilizada. Por outro lado, uma baixa relação $VBP_i/área_colhida$ pode indicar ineficiências na produção, baixa produtividade das culturas ou preços de mercado desfavoráveis. Identificou-se o ano em que a produtividade foi máxima para as diferentes culturas e estados estudados, para o ano em $IVBPAREA_i$ foi máximo o escore atribuído é igual a 100, para os demais anos os escores são calculados de forma proporcional, considerando como base o ano em que foi observado o valor máximo, sendo $0 < IVBPAREA_i < 100$.

Nesse contexto, quanto mais próximo de 100, maior é a capacidade de recuperação, indicando maior resiliência da cultura. Por outro lado, quanto mais distante de 100, menor é a capacidade de recuperação da cultura.

Sob a premissa da construção dos indicadores mencionados, o ano em que as culturas alcançaram o valor máximo pode ser interpretado como a capacidade potencial máxima daquela cultura. Nos anos em que os indicadores apresentarem valores abaixo de 100, sugere-se a ocorrência de eventos adversos que interferiram no alcance dessa capacidade máxima. No entanto, essa análise não possibilita identificar, com precisão, os motivos pelos quais o indicador não atingiu o escore máximo. Isso porque a região do MATOPIBA enfrenta riscos climáticos, além da possibilidade de mudança no uso do solo, o que pode resultar na substituição de uma cultura por outra. Esses são alguns dos elementos que podem contribuir para uma possível diminuição nos indicadores da região, que não foram possíveis de serem captados nesta pesquisa em função das fontes dos dados utilizados.

Após a elaboração dos indicadores que refletem estimativa do potencial de resiliência de cada cultura, esses indicadores foram empregados na formação do Índice de Resiliência (IRES) para cada cultura examinada. A metodologia adotada para determinar os pesos baseou-se na análise fatorial, utilizando a decomposição dos componentes principais, descritos na seção a seguir.

3.3 Decomposição em Componentes Principais (DCP)

Essa técnica pode ser empregada para criar índices e classificar indivíduos com base em suas variações, refletindo seu comportamento dentro da população. Em resumo, a análise de Decomposição em Componentes Principais (DCP) agrupa os indivíduos de uma população de acordo com a variação de suas características (Wilks, 2006).

De acordo com Fávero (2009), a decomposição em componentes principais trata-se de uma técnica estatística multivariada que transforma um conjunto de variáveis originais em um conjunto de variáveis chamadas de componentes principais. Esses componentes principais são combinações lineares das variáveis originais, independentes entre si, e são estimados para capturar o máximo de informação possível contida nos dados, em termos da variação total. A (DCP) é usada para reduzir a dimensionalidade dos dados, redistribuindo a variação observada nos eixos originais para obter um conjunto de eixos ortogonais não correlacionados. Na rotação ortogonal, os eixos são mantidos em ângulo reto. O método mais utilizado para fazer rotação ortogonal é o processo varimax. Esse procedimento simplifica a estrutura dos componentes, permitindo que as variáveis tenham alta carga em um componente e baixa carga nos outros, o que facilita a interpretação e a identificação de padrões significativos nos dados. Em resumo, o método varimax permite obter uma estrutura mais clara e interpretação mais intuitiva, gerando componentes principais que são linearmente independentes ou ortogonais.

Na construção do IRES, os fatores são estimados e os escores fatoriais das dimensões latentes são extraídos, substituindo as variáveis originais. Os escores fatoriais resultantes apresentam distribuição simétrica em torno da média zero e variância um, o que permite que assumam valores tanto positivos quanto negativos (Sousa, 2023; King, 2001; Hair Junior et al., 2005). Para evitar valores negativos, todos os valores foram transformados em positivos sem considerar suas posições relativas, utilizando a equação (01):

$$F_i = \frac{F_{ij} - F_{min}}{F_{máx} - F_{min}} \quad (01)$$

Sendo:

F_{ij} = i-ésimo ($i = 1, 2, \dots, p$) escore fatorial associado ao j-ésima cultura;

F_{min} = valor mínimo, assumindo um valor negativo, associado pelo escore fatorial;

$F_{máx}$ = valor máximo, assumindo um valor positivo, assumido pelo escore fatorial;

Porém, o método descrito na equação (01) é aplicável somente em situações em que apenas um fator é estimado. Quando são estimados mais de um fator, a estratégia para construir o índice envolve a soma do produto da proporção da variância explicada por cada fator, conforme expresso na equação (02):

$$F_t = \sum F_{ij} a_{ij} \quad (02)$$

Sendo:

F_{ij} = i-ésimo ($j = 1, 2, \dots, p$) escore fatorial associado ao j-ésima cultura;

a_{ij} = proporção da variância explicada de cada fator.

O coeficiente é calculado pela soma das variâncias explicadas dos fatores estimados dividida pela proporção da variância de cada fator, em que a soma das proporções é igual a um. Consequentemente, o índice varia de zero a um. Para facilitar a interpretação e a visualização dos dados, eles são convertidos em valores percentuais, conforme descrito na equação (03).

$$IRES_{ij} = \left(\frac{F_t}{F_{máx}} \right) * 100 \quad (03)$$

A DCP tem suas limitações, especialmente em relação à interpretação dos componentes principais e à necessidade de validação dos resultados com outras técnicas estatísticas, por isso é frequentemente utilizada em conjunto com os testes KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) e Bartlett para avaliar a adequação dos dados. O teste KMO avalia se os dados são apropriados para esse tipo de análise e fornece indicação de quão bem os dados se adequam à estrutura de correlação necessária para a DCP, apresentando resultados entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo de 1, melhor a adequação dos dados para a análise fatorial. Por sua vez, o teste de esfericidade de Bartlett avalia se as correlações entre as variáveis observadas são estatisticamente significativas, ou seja, se as variáveis estão suficientemente correlacionadas para justificar a utilização da DCP. A hipótese nula do teste é que a matriz de correlação é uma matriz de identidade, o que significa que as variáveis são completamente não correlacionadas. Se o valor-p associado ao teste de Bartlett for menor que um nível de significância pré-definido (geralmente 0,05), a hipótese nula é rejeitada, indicando que as variáveis estão correlacionadas o suficiente para serem adequadas para a análise (Fávero et al., 2009). Esses testes são importantes para garantir que os dados sejam adequados para análise, criando condições sobre sua estrutura para fornecer resultados válidos e confiáveis.

Para uma compreensão mais abrangente da metodologia da Análise de Componentes Principais (ACP) e sua interpretação, recomenda-se consultar obras de referência como Wilks (2006), Bjornsson e Venegas (1997), Jolliffe (2002), Vicini e Souza (2005) e Hannachi et al. (2007).

3.4 Trajetória e nível de estabilidade do IRES

Após a estimação do IRES, foi analisada a trajetória da capacidade de recuperação das lavouras por meio da taxa geométrica de crescimento (TGC). Essa análise foi realizada utilizando um modelo de regressão simples, tendo como variável dependente o IRES e como variável independente o período em anos, conforme apresentado na equação (04).

$$IRES_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 T + \varepsilon_{it} \quad (04)$$

Sendo, o coeficiente linear; α_0 o coeficiente angular, e α_1 o erro aleatório que, por hipótese, atende aos pressupostos do modelo linear clássico. A TGC é aferida pela derivada da variável ($IRES_{it}$) em reação ao tempo “ T ”. Como a variável dependente está definida em percentuais, então o resultado dessa derivada, que é o coeficiente, será interpretado da seguinte forma: quando o Tempo variar de um ano, a variável dependente ($IRES_{it}$) variará de $\alpha_1\%$.

Para verificar a estabilidade do IRES de cada cultura e estado, a métrica aplicada consiste no coeficiente de variação do índice, expresso na equação (05):

$$FV = \frac{\sigma_{IRE}}{\mu_{IRES}} * 100 \quad (04)$$

A equação 05 mostra a razão entre o desvio padrão () e a média do índice de resiliência, multiplicada por 100 para expressar o resultado em porcentagem.

O coeficiente de variação é uma medida que afere a homogeneidade/heterogeneidade ou a estabilidade/instabilidade da distribuição dos valores de uma variável aleatória em torno da sua média. Quanto maior o CV, mais heterogênea ou mais instável será a distribuição dos valores da variável em torno da sua média. Nesse contexto, o CV pode ser entendido como medida de risco (GOMES, 1985; GARCIA, 1989).

Tabela 1 – Classificação do Coeficiente de Variação

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

Fonte: GOMES, 1985; GARCIA, 1989).

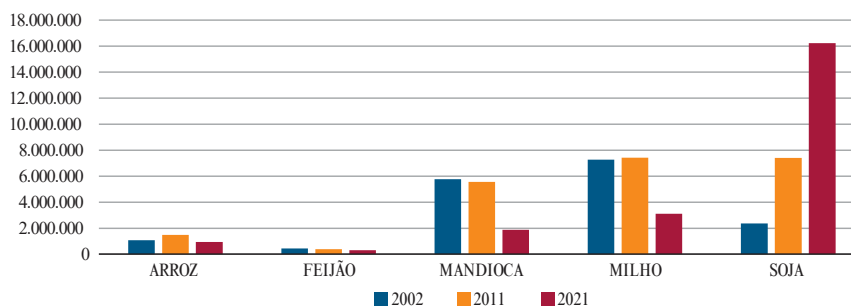
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Evolução da produção das culturas de arroz, feijão, mandioca e milho no MATOPIBA entre os anos de 2002 e 2021

Nos últimos 20 anos, a contar a partir de 2002, o MATOPIBA experimentou aumento significativo na produção, impulsionado pela introdução de insumos e tecnologias avançadas, além de fortes incentivos tanto do setor público quanto privado. De acordo com dados do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) em 2022, a produção total cresceu 92%, passando de 18 milhões de toneladas (safra 2012/2013) para aproximadamente 35 milhões de toneladas.

De acordo com os dados do IBGE (2024), a cultura dominante na região é a soja, que em 2021 atingiu 16 milhões de toneladas cultivadas em uma área de 4,7 milhões de hectares, representando um aumento de 120% em relação a 2011. O milho é a segunda maior cultura em volume produzido no MATOPIBA, com 8,3 milhões de toneladas cultivadas em aproximadamente 2 milhões de hectares em 2021, marcando um crescimento de 125% na quantidade produzida desde 2011, quando foram produzidas 3,6 milhões de toneladas em 1,4 milhão de hectares. A expansão da área total colhida, considerando as culturas de arroz, feijão, mandioca, milho e soja, entre 2002 e 2021, foi de 61%, ressaltando o notável crescimento da atividade agrícola ao longo desse período. (Figura 1 e 2).

Figura 1 - Quantidade produzida de arroz, feijão, milho, mandioca, milho e soja: MATOPIBA (2002-2011-2021)



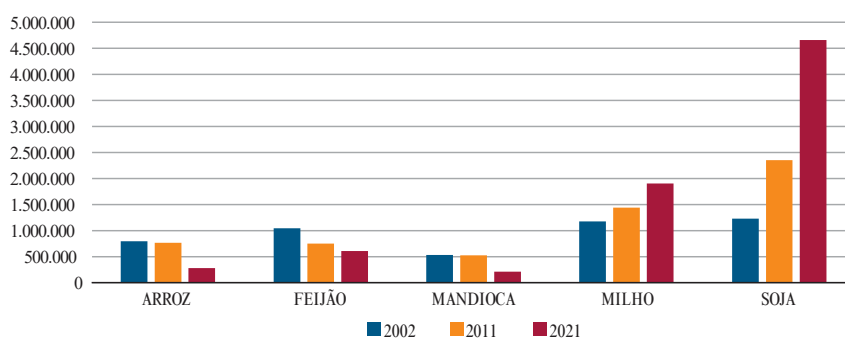
Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa, com base nos dados IBGE (2024).

Em relação às demais culturas, arroz, feijão e mandioca apresentaram declínio em termos de produção e área. As lavouras de arroz apresentaram crescimento referente ao período 2002 a 2011; o volume produzido passou de 1,1 milhão de toneladas para 1,4 milhão toneladas, um aumento de 38,7%. Em termos de área colhida, no mesmo período, houve ligeira queda de 4%, indicando ganhos de produtividade. Contudo, na última década do período analisado, observou-se acentuada queda na área colhida, que diminuiu de 765 mil hectares para 277 mil hectares, uma redução de 65%.

O feijão teve uma produção de 435 mil toneladas em 2002, que caiu para 296 mil toneladas em 2021, resultando em queda de 32%. Em termos de área colhida, a diminuição foi de 42%. A mandioca também experimentou declínio significativo: a produção passou de 5,7 milhões de toneladas em 2002 para 1,8 milhão de toneladas em 2021, redução de aproximadamente 67%. A área plantada de mandioca recuou 60%, diminuindo de 531 mil hectares em 2002 para 209 mil hectares em 2021.

Esses resultados evidenciam a diminuição do cultivo de culturas alimentares de “mesa”. Embora soja e milho sejam consumidos de forma direta e indireta, essas culturas também servem como matéria-prima para uma ampla gama de produtos na indústria alimentícia e em outros setores industriais, como bebidas e combustíveis. Além disso, são amplamente utilizados na produção de rações e silagem. Dada sua versatilidade de aplicação, esses grãos possuem grande demanda externa.

Figura 2 – Área colhida de arroz, feijão, milho, mandioca, milho e soja: MATOPIBA (2002-2011-2021)



Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa

No estudo conduzido por Mitidireo Junior e Goldfarb (2021), os autores destacam tendência semelhante a nível nacional. Em 1988, aproximadamente 24,7% da área do país era destinada à agricultura dos principais produtos da cesta básica, como arroz, feijão e mandioca. No entanto, em 2019, essa área caiu significativamente para 7,7%.

A crescente integração do agronegócio brasileiro aos mercados globais impulsiona a expansão da produção de commodities, como soja e milho, por meio de práticas de monocultura em larga escala. Esses modelos de negócio representam um desafio para a biodiversidade e contribuem para o desmatamento, dois fatores que apresentam riscos elevados para a segurança alimentar (Hannah et al., 2013; Thrupp, 2000).

4.2 Índice de Resiliência (IRES)

Após a elaboração dos índices parciais, realizou-se a estimação da decomposição de componentes principais para cada cultura (arroz, feijão, mandioca, milho e soja). De acordo com a Tabela 2, observa-se a quantidade de fatores extraídos que melhor representam as relações entre as variáveis ou aspectos analisados especificamente para cultura. Os coeficientes de comunalidades indicam o quanto cada variável contribui para o fator. Verificou-se que, na cultura da soja, o IVBPIB - índice parcial da relação entre VBP pelo PIB apresentou a maior relação com o fator desenvolvido durante o período analisado. Esse resultado enfatiza a importância do valor da cultura e o volume de produção para a formação do índice de resiliência relacionado ao cultivo de soja.

Tabela 2 – Resultados da análise da decomposição em componentes principais

Cultura	Comunalidades				Nº de componentes	Variância Explicada (%)	KMO	Teste Bartlett	
	IVBPIB	IPERC	IAREAC	IVBPAREA				Coefficiente	P-value
Arroz	0,848	0,890	0,888	0,001	2	91,85	0,66	208,23	0,000
Feijão	0,709	0,802	0,700	0,354	1	64,09	0,62	140,07	0,000
Mandioca	0,565	0,920	0,903	0,022	2	93,67	0,56	235,69	0,000
Milho	0,890	0,903	0,574	0,670	1	75,97	0,50	309,64	0,000
Soja	0,932	0,907	0,740	0,718	1	82,50	0,63	448,90	0,000

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

IVBPIB- índice parcial da relação entre VBP_i pelo PIB; **IPERC**_i - índice parcial de produção *per capita*. **IAREAC**_i – índice parcial da área colhida da i-ésima cultura; **IVBPAREA**_i – índice parcial do valor bruto de produção pela área colhida da i-ésima cultura.

Em comparação com as outras culturas (arroz, feijão, mandioca e milho), o IPERC - Índice Parcial de Produção Per Capita demonstrou a maior correlação com o fator estimado. Esse resultado ressalta a significância da produção agrícola per capita na formação do índice de resiliência associado ao cultivo dessas culturas.

O teste de Kaiser-Meyer-Olkin, que avalia a adequação da amostra, confirma a adequação da técnica multivariada para cada cultura analisada. De forma complementar, o teste de esfericidade de Bartlett foi estimado com o propósito de validar os dados para realização da análise de decomposição em componentes principais. O *p-value* confirma que há existência de correlação entre as variáveis, condição necessária para utilização dessa técnica estatística.

Após a obtenção das estimativas dos escores fatoriais, foi calculado o Índice de Resiliência dos cultivos de arroz, feijão, mandioca, milho e soja na região do MATOPIBA. A Tabela 3 apresenta a capacidade de recuperação dessas cinco culturas nos quatro estados. O índice varia de zero a cem; quanto mais próximo de zero, menor é a capacidade de resiliência da cultura no referido estado, e quanto mais próximo de 100, maior é a capacidade de recuperação da cultura após a ocorrência de eventos adversos, que incluem as intempéries climáticas, como secas prolongadas e variações bruscas de temperatura, além da substituição de áreas cultivadas para o plantio de culturas voltadas à exportação, o abandono da agricultura familiar em busca de empregos remunerados, ataques de pragas e doenças, e a redução de áreas agrícolas devido à expansão do agronegócio intensivo em capital.

No período analisado, o índice de resiliência do cultivo de arroz revelou tendências distintas entre os estados da região. Apenas o estado do Tocantins apresentou trajetória de crescimento na resiliência, enquanto os demais estados registraram Taxas Geométricas de Crescimento (TGC) negativas. No Tocantins, o índice alcançou seu valor máximo em 2020 e o mínimo em 2006. Contudo, durante nove anos do período, a capacidade de recuperação das lavouras de arroz no estado permaneceu abaixo da média do IRES.

Na safra 2020/2021, segundo dados da Conab (2021), o Tocantins registrou produção de 636,2 mil toneladas, consolidando-se como o terceiro maior produtor de arroz no cenário nacional. Esse desempenho expressivo foi impulsionado por fatores como a adoção de tecnologias avançadas, o melhoramento genético de sementes, a utilização de sistemas de manejo mais eficientes e a forte organização e atuação da cadeia produtiva (Fragoso et al., 2021).

Tabela 3 – IRES para as culturas Arroz, feijão, Mandioca, Milho e Soja na região do MATOPIBA

ANO	ARROZ				FEIJÃO				MANDIOCA				MILHO				SOJA			
	MA	TO	PI	BA	MA	TO	PI	BA	MA	TO	PI	BA	MA	TO	PI	BA	MA	TO	PI	BA
2002	77,24	49,67	41,86	51,24	86,05	0,00	54,53	99,74	59,73	34,45	50,08	93,86	15,38	3,23	0,00	46,51	17,16	7,90	0,00	20,56
2003	84,44	67,82	81,45	53,08	90,88	52,11	84,26	94,92	64,62	52,72	62,83	89,45	20,61	10,88	11,07	57,22	28,74	17,30	15,82	25,58
2004	93,17	66,13	79,68	86,97	96,82	8,61	64,65	78,85	70,64	52,50	81,25	85,93	18,45	5,86	2,99	60,88	28,36	25,25	20,42	35,02
2005	69,15	57,10	75,11	79,15	88,41	22,46	70,92	94,73	72,32	58,17	65,97	60,02	16,60	3,38	5,79	53,62	29,13	24,51	19,70	27,17
2006	67,05	33,76	58,12	24,54	100,00	21,51	88,96	70,53	74,75	55,81	71,50	58,15	17,38	1,78	7,33	41,21	19,15	15,99	13,04	19,43
2007	67,93	47,90	53,90	35,46	89,69	22,34	56,30	97,05	82,73	58,36	78,91	59,84	19,26	4,83	5,54	63,51	21,73	17,74	12,17	26,55
2008	81,59	57,68	79,83	54,21	99,85	56,09	90,77	83,02	92,68	52,75	69,80	58,15	19,58	16,06	13,59	65,46	42,09	28,86	32,38	35,09
2009	64,16	49,33	71,71	67,95	95,40	78,39	72,17	60,10	64,25	55,89	72,42	49,62	17,58	10,95	20,58	63,53	35,70	26,15	27,37	29,28
2010	59,06	49,61	42,06	38,86	79,19	76,05	44,20	73,52	77,56	52,19	70,02	46,46	18,72	10,74	10,62	65,61	36,43	24,37	22,08	31,30
2011	67,39	49,49	78,52	39,28	93,31	68,64	94,28	43,35	81,81	48,91	61,78	41,82	26,83	18,93	28,21	61,15	38,63	29,88	33,72	38,52
2012	46,09	37,19	43,77	31,86	79,07	60,31	41,97	24,90	71,93	42,95	48,81	36,72	30,35	18,50	30,19	59,09	40,66	32,51	35,86	38,41
2013	49,19	49,52	35,44	24,17	88,96	32,58	64,06	48,06	78,94	37,74	30,79	32,33	49,69	12,21	15,89	57,16	40,00	35,81	28,17	31,87
2014	54,51	49,17	47,61	17,90	90,91	17,60	64,41	55,81	74,37	31,47	29,06	37,90	49,56	19,04	35,40	71,91	46,56	49,59	43,75	37,77
2015	33,73	56,52	35,04	15,12	81,88	8,24	55,10	68,38	62,93	36,13	38,39	34,77	42,88	28,04	33,12	67,28	49,56	49,77	48,03	48,90
2016	21,49	56,41	19,49	13,87	65,92	25,44	34,71	43,47	50,23	38,28	37,64	34,61	26,21	27,08	27,45	52,14	32,88	43,15	21,94	38,58
2017	32,56	57,86	39,48	20,06	78,93	17,50	91,86	23,10	38,42	38,05	45,37	23,00	45,77	36,28	49,96	45,08	53,05	49,50	55,19	53,75
2018	26,97	63,54	39,11	16,52	56,36	31,84	95,33	22,30	30,27	44,78	51,89	18,86	41,04	35,73	50,86	57,12	63,89	53,56	64,92	65,59
2019	23,72	58,40	32,33	12,56	52,17	39,69	78,91	33,61	20,66	37,31	47,92	17,26	52,42	47,44	56,57	49,03	63,32	53,45	58,94	55,61
2020	24,22	79,41	41,28	23,71	48,69	57,54	97,66	46,10	19,03	69,32	58,76	15,95	74,36	80,19	77,99	86,33	82,96	70,53	68,22	75,76
2021	34,35	70,52	42,56	24,01	51,60	95,65	68,04	40,03	20,56	84,78	61,87	18,78	96,59	100,00	99,33	88,87	100,00	100,00	100,00	100,00
IRES Médio	53,90	55,35	51,92	36,53	80,70	39,63	70,65	60,08	60,42	49,13	56,75	45,67	34,96	24,56	29,12	60,64	43,50	37,79	36,09	41,74
CV (%)	41,70	19,59	36,69	60,80	20,74	67,78	27,15	42,93	37,64	26,61	27,30	52,23	62,33	105,02	90,85	20,05	48,27	57,26	66,44	48,10
IRES Máx.	93,17	79,41	81,45	86,97	100,00	95,65	97,66	99,74	92,68	84,78	81,25	93,86	96,59	100,00	99,33	88,87	100,00	100,00	100,00	100,00
IRES Min.	21,49	33,76	19,49	12,56	48,69	0,00	34,71	22,30	19,03	31,47	29,06	15,95	15,38	1,78	0,00	41,21	17,16	7,90	0,00	19,43
TGC (%a.a.)	-3,50	0,67	-2,14	-2,83	-2,28	1,28	0,43	-3,61	-2,76	0,52	-1,32	-3,85	3,07	3,59	4,00	0,85	3,05	3,27	3,55	2,85

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

O estado da Bahia registrou o menor IRES médio, seguido pelos estados do Maranhão e Piauí. Quanto ao coeficiente de variação, a Bahia apresenta o maior registro, indicando a maior instabilidade na capacidade de recuperação dessa cultura na região do MATOPIBA.

Os resultados do IRES para o cultivo do feijão mostram que os estados do Maranhão e da Bahia apresentaram tendência negativa de evolução do índice, evidenciando dificuldades na capacidade de recuperação dessa cultura alimentar. Em contrapartida, os estados do Tocantins e Piauí apresentaram tendência positiva do IRES, indicando a presença da capacidade de recuperação após choques que impactam diretamente na capacidade produtiva. Verifica-se que o maior IRES médio ocorreu no Maranhão, seguido pelo estado do Piauí.

Para as lavouras de mandioca, observa-se que os estados do Maranhão, Bahia e Piauí apresentam tendência decrescente no IRES ao longo dos anos, indicando perda na capacidade de recuperação. Essa afirmação é validada pelos coeficientes negativos da TGC para esses estados, sugerindo redução na capacidade de recuperação ao longo do tempo. Por outro lado, o estado do Tocantins demonstra persistência na capacidade de recuperação, com TGC positiva. Em 2014, o estado do Tocantins registrou o menor valor do índice de resiliência, apresentando trajetória de crescimento nos anos subsequentes, culminando em seu valor máximo em 2021. Esse resultado pode ser atribuído a uma série de ações promovidas por políticas de incentivo do Governo do Tocantins, em parceria com o Instituto de Desenvolvimento Rural do Tocantins (Ruraltins), a Embrapa e os produtores rurais. Essas iniciativas têm fortalecido a cadeia produtiva da mandioca, com destaque para a formação de uma rede de multiplicação e transferência de mudas sadias, contribuindo para o aumento da produtividade e a resiliência da cultura no estado (Spricigo, 2021).

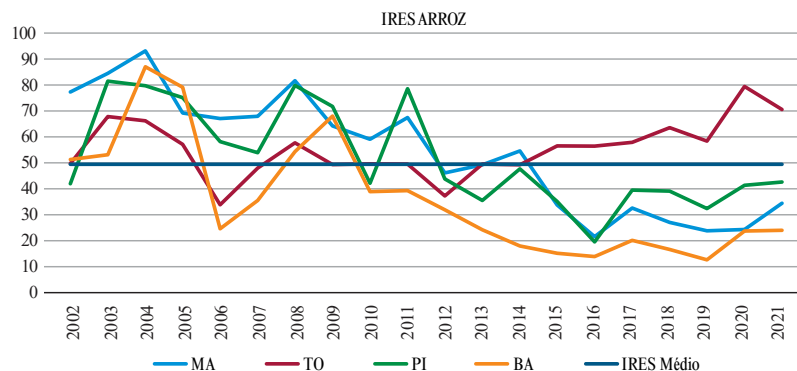
Os resultados referentes ao cultivo de milho revelam tendência crescente na capacidade de recuperação dessa cultura em toda a região do MATOPIBA, conforme indicado pelos coeficientes positivos da TGC. O estado do Piauí destaca-se por apresentar a taxa de crescimento mais elevada. Em contrapartida, o estado da Bahia apresentou a menor TGC.

Assim como observado no cultivo de milho, a soja apresenta tendência crescente na capacidade de recuperação ao longo do período analisado. Esses resultados são evidenciados pelo coeficiente positivo da TGC para todos os estados analisados. Novamente, o estado do Piauí destaca-se por apresentar a maior TGC. O ano de 2002 corresponde ao pior desempenho do índice para todos os estados. Nesse período, o Brasil enfrentou uma desvalorização cambial acentuada e taxas de juros elevadas, fatores que aumentaram consideravelmente os custos dos insumos agrícolas e restringiram o acesso ao crédito pelos produtores. Essa conjuntura de instabilidade também desestimulou investimentos no setor agrícola, agravando os desafios enfrentados pelos agricultores e comprometendo a resiliência das lavouras de soja, (BACEN, 2002; Pitta et al., 2018).

A capacidade de recuperação das culturas de milho e soja pode ser atribuída à crescente demanda mundial por essas commodities, o que impulsiona investimentos no setor. Além disso, políticas públicas têm desempenhado papel significativo nesse cenário, incluindo subsídios estatais na forma de crédito e seguro agrícola, isenções fiscais e investimentos em infraestrutura básica para o sistema produtivo, como energia e estradas. Esses fatores criam um ambiente mais favorável para a expansão e recuperação dessas culturas na região do MATOPIBA, (Mathias, 2017; Fian, 2018).

A Figura 3 apresenta a trajetória do Índice de Resiliência (IRES) para a cultura do arroz, evidenciando tendência de queda nos estados da Bahia, Maranhão e Piauí. Os elevados coeficientes de variação observados indicam alta instabilidade do IRES nesses estados ao longo das últimas duas décadas. Essa instabilidade pode ser atribuída a uma combinação de fatores estruturais, econômicos e ambientais que comprometem a sustentabilidade dessa atividade agrícola. Além disso, o gráfico revela que os estados com menores IRES médios são os mesmos que apresentam os maiores percentuais de instabilidade, destacando a vulnerabilidade do cultivo do arroz nessas regiões.

Figura 3 – Índice de resiliência agrícola – Arroz



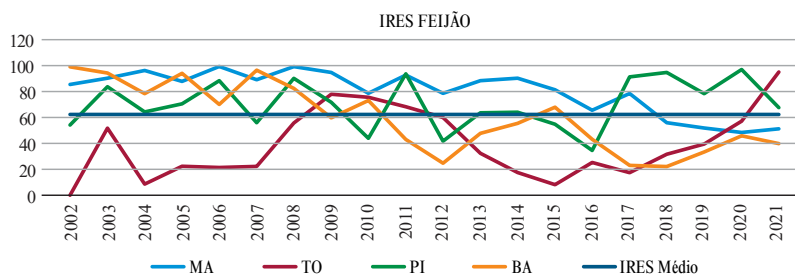
Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

O destaque vai para o estado do Tocantins, que apresenta tendência de alta, embora com nível médio de instabilidade. A partir de 2014, o índice de resiliência desse estado supera a média obtida pelos quatro estados. Esses resultados estão em consonância com as descobertas feitas por Carneiro et al (2006), que destacam o contínuo deslocamento da produção de áreas tradicionais, especialmente do Maranhão, Piauí e Bahia, para o oeste do Tocantins. Nessa região, a cultura é conduzida com base em novas práticas de manejo, mais intensivas em tecnologia e capital, resultando na redução do caráter de subsistência da agricultura.

A figura 4 apresenta a trajetória do IRES para a cultura do feijão ao longo do período analisado. O estado do Tocantins desde 2017 apresenta tendência consistente de alta, embora a análise do coeficiente de variação revele instabilidade na capacidade de recuperação agrícola muito alta (67,78%) para o estado de Tocantins. Embora o índice de resiliência do estado do Piauí tenha se mantido acima da média

durante grande parte do período analisado, no último ano observou-se tendência de queda. Os estados do Maranhão e Bahia apresentam trajetória de queda, encerrando o período de análise com um IRES abaixo da média geral dessa cultura na região de fronteira.

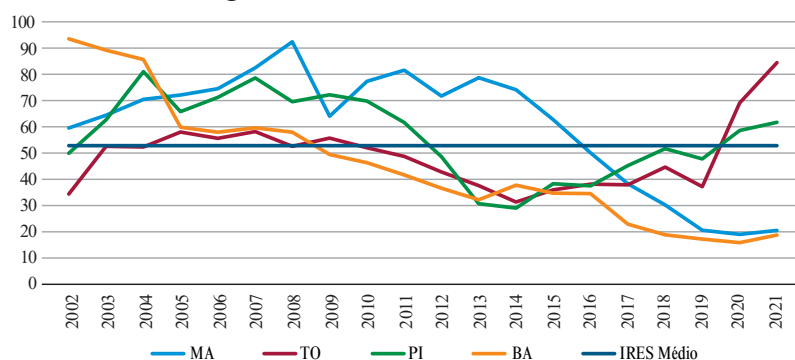
Figura 4 – Índice de resiliência agrícola – Feijão



Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

A trajetória do IRES da mandioca é expressa na figura 5. Tocantins e Piauí, novamente, apresentam tendência crescente a partir de 2015, superando a média geral do índice estimado para essa cultura em 2020, enquanto Maranhão e Bahia seguem tendência decrescente em praticamente todos os anos investigados. Em relação à homogeneidade aferida a partir do IRES, o estado do Tocantins apresenta, para o período analisado, trajetória estável, com CV de 9,41%. Os estados do Maranhão e Bahia apresentam os maiores percentuais de instabilidade, sendo 37,64% e 52,23%, respectivamente.

Figura 5 – Índice de resiliência agrícola – Mandioca



Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

A Figura 6 apresenta a trajetória do IRES estimado para a cultura do milho, indicando tendência crescente em todos os estados analisados. O índice de resiliência do estado da Bahia permaneceu acima do IRES médio durante todo o período analisado, demonstrando desempenho consistente na capacidade de recuperação. Os estados do Maranhão, Tocantins e Piauí exibem coeficientes de variação classificados como muito altos, indicando maior instabilidade ao longo do período analisado nesses estados.

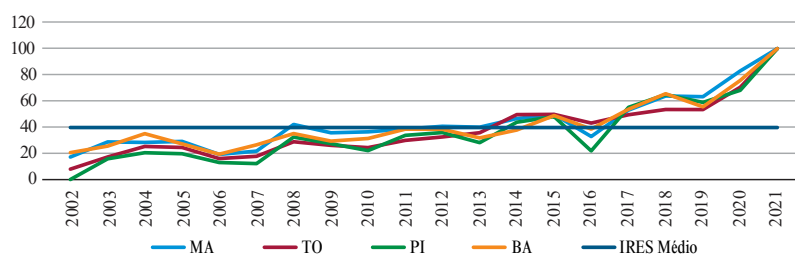
Figura 6 – Índice de resiliência agrícola – Milho



Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Análoga à trajetória do milho, o IRES estimado da soja apresenta trajetória crescente, como era esperado. Em termos de instabilidade, os coeficientes de variação são classificados como muito altos, ou seja, superiores a 30% para todos os estados analisados. A partir de 2017, os IRES estimados de todos os estados superaram o respectivo IRES médio.

Figura 7 – Índice de resiliência agrícola – Soja



Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

As culturas de arroz, feijão e mandioca experimentaram redução na capacidade de recuperação entre 2002 e 2021 nos estados do Maranhão, Piauí e Bahia. Essas culturas, especialmente o arroz e o feijão, são elementos essenciais na dieta dos brasileiros. Uma diminuição na produção, sendo provocada por problemas climáticas, pragas ou à alteração na ocupação do solo (como a substituição de culturas), tem impacto significativo na dinâmica do abastecimento local e, conseqüentemente, na garantia da segurança alimentar. Além disso, de acordo com os dados fornecidos pela CONAB (2024), os estoques públicos de arroz e feijão foram drasticamente reduzidos em 2016 e permanecem zerados desde 2017.

O milho e a soja, por sua vez, apresentaram consistente capacidade de recuperação em todos os estados. Esse desempenho pode estar associado ao fato de essas culturas terem um mercado internacionalizado e negociarem contratos futuros, o que oferece uma opção mais segura para os produtores em comparação com gêneros básicos como feijão e mandioca, que se restringem basicamente ao mercado interno.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou analisar as capacidades de recuperação das culturas alimentares tradicionais, visa a vis aquela associada ao cultivo da soja nos estados que fazem parte da região de fronteira agrícola do MATOPIB. A tentativa foi feita por meio da construção do Índice de resiliência (IRES) para as culturas de arroz, feijão, mandioca

e milho, uma vez que essas culturas continuam sendo os principais produtos da cesta alimentar, tendo em vista o avanço do cultivo da soja nessas áreas. Em detrimento das condições climáticas e estresse hídrico em algumas partes da região e em função das transformações no modelo de agricultura, priorizando culturas voltadas para as exportações, surge um novo desafio, dado que essas mudanças têm impacto direto na segurança e soberania alimentar.

Os resultados indicam que apenas o estado do Tocantins demonstra capacidade de recuperação para todas as culturas analisadas. Por outro lado, os estados da Bahia e Maranhão apresentaram tendência de queda na capacidade de recuperação para os cultivos de arroz, feijão e mandioca. Em termos de padrões de estabilidade da capacidade de recuperação para essas culturas, esses estados mostraram os maiores riscos, conforme evidenciado pelos maiores coeficientes de variação.

Em relação ao cultivo de milho e soja, para os quatro estados, observou-se tendência de crescimento na capacidade de recuperação. Esse resultado corrobora com a literatura, uma vez que se trata de commodities de alta importância econômica caracterizadas por sua versatilidade de utilização, desde alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Entretanto, os resultados apresentados sinalizam um obstáculo para a manutenção da segurança alimentar ancorada nas lavouras de arroz, feijão e mandioca, uma vez que nas últimas décadas o modelo agrícola tem priorizado o cultivo de culturas com maior potencial exportável. As conseqüências da manutenção desse modelo recaem, sobretudo nos mercados locais, resultando no aumento de preços, numa maior escassez e na piora da segurança alimentar de comunidades inteiras.

Adicionalmente, a substituição de agriculturas de pequena escala, mais tradicionais, por monoculturas, como soja e milho, pode acarretar outras possíveis conseqüências. Isso inclui

a perda de biodiversidade, aumento do desmatamento, bem como a contaminação de solos e águas. Soma-se a isso a drástica queda na formação de estoques públicos, que nos últimos seis anos têm se mantido inoperantes, segundo dados da CONAB.

Diante disso, dada a complexidade da pauta de manutenção da segurança alimentar, faz-se necessária a articulação de políticas de fomento à produção agrícola para cultivos alimentares, aperfeiçoando e incrementando medidas de curto e médio prazo que vão além do acesso crédito rural, como a ampliação das assistências técnicas e extensões rurais, até o desenvolvimento de práticas e produtos voltados para mitigação e gestão dos riscos agrícolas.

REFERÊNCIAS

ALTIERI, M. A.; KOOHAFKAN, P. **Enduring Farms: Climate Change, Smallholders and Traditional Farming Communities**. 6. ed. Penang, Malaysia: Third World Network, 2008. 58 p.

BACEN - BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Relatório da Administração (2002)**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/htms/reladmcb2002/RelatorioAdmBC2002.pdf>. Acesso: 04 jun. 2024. 2002.

CARNEIRO, W. M. A.; NARCISO SOBRINHO, J.; COELHO, M. do C. S. **Grãos nos cerrados nordestinos: produção, mercado e estruturação das principais cadeias**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 2006. n. 8. (Série Documentos do Etene).

CONSELHO NACIONAL DE SEGURANÇA ALIMENTAR E NUTRICIONAL. II Conferência Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional. Olinda: CONSEA, 2004 (Relatório final).

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento safra brasileira de grãos**. Safra 2020/21. Brasília, DF: CONAB, v. 13, n. 6, p. 1-106, 2021.

_____. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Safra 2023/24. Brasília, DF: CONAB, v. 11, n. 7, 2024, p 1-117, 2024.

CUNHA, D. A.; COELHO, A. B.; FÉRES, J. G.; BRAGA, M. J.; SOUZA, E. C.; Irrigação como estratégia de adaptação de pequenos agricultores às mudanças climáticas: aspectos econômicos. **Economia e Sociologia Rural**. Piracicaba - SP, v. 51, n. 2, p. 369-386, abr./jun. 2013.

ESPÍNDOLA, C. J.; CUNHA, R. C. C. A dinâmica geoeconômica recente da cadeia produtiva da soja no Brasil e no mundo. **GeoTextos**, v. 11, n. 1, p. 217-238, 2015.

FÁVERO, L. P.; BELFIONE, P.; SILVA, F.L.; CHAN, B.L. **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões**. 2 ed. Rio de Janeiro. Elsevier Editora Ltda, 2009. 641p.

FEITOSA, M. M.; SOUSA, E. C.; NASCIMENTO, L.; LEMOS, J. de J. S. A soja no estado do Maranhão, Brasil: uma análise temporal da expansão e substituição das culturas alimentares. **Geografares**, Vitória, Brasil, v. 3, n. 37, p. 114–131, 2023. DOI: <https://doi.org/10.47456/geo.v3i37.40394>. Acesso em: 10 jun. 2024.

FRAGOSO, D. De B.; HIDEO, N. R. P.; CARVALHO, da R., R. N.; ALVES, C. E. Contribuição das cultivares de arroz da embrapa na produção de arroz irrigado no estado do Tocantins. **Agri-Environmental Sciences**, v. 7, n. 2, p. 6, 14 jun. 2021.

FIAN BRASIL. **Custo Ambientais e humanos do negócio de terras: O caso do Matopiba.** 2018. Disponível em: campanhacerrado.org.br/images/biblioteca/custos-ambientais-humanos-negocios-terra-matopiba-brasil.pdf. Acesso em 05 fev. 2024.

FLEXOR, G.; KATO, K.; LEITE, S. P. **Transformações na agricultura brasileira e os desafios para a segurança alimentar e nutricional no século XXI.** Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, 2022. 43 p. (Textos para Discussão, n. 82). Disponível em: <https://arca.fiocruz.br/handle/icict/52399>. Acesso em 05 fev. 2024.

GARCIA, C. H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação.** Piracicaba: Ipef, 1989. p.12. (Circular técnica, 171).

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental.** 13. ed. São Paulo: ESALQ/USP, p. 467. 1985.

HAIR JUNIOR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HANNAH, L.; IKEGAMI, M.; HOLE, D. G.; SEO, C.; BUTCHART, S. H. M.; PETERSON, A. T.; ROEHRDANZ, P. R. Global climate change adaptation priorities for biodiversity and food security. **PLoS One**, v. 8, n. 8, e72590, 2013.

HUNGRIA, M. **Segurança alimentar e nutricional: o papel da ciência brasileira no combate à fome.** Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2024. Disponível em: <https://www.abc.org.br/wp-content/uploads/2024/03/Seguranca-Alimentar-e-Nutricional-O-Papel-da-Ciencia-Brasileira-no-Combate-a-Fome-LIVRO-ABC-2024.pdf>. Acesso em: 20 de nov. 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA **Censo Agropecuário 2017: Resultados Definitivos.** Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/resultados-censo-agro-2017/resultados-definitivos.html>. Acesso em: 02/04/2024.

KING, G. How not to lie with statistics: Avoiding common mistakes in quantitative political science. **American Journal of Political Science**, New York, n. 30, p. 666-687, 2001.

LEMOS, J. J. S. **Mapa da Exclusão Social no Brasil: radiografia de um país assimetricamente pobre.** 3.ed. Revisada e atualizada. Fortaleza. Banco do Nordeste do Brasil, 2012.

_____. Efeitos da expansão da soja na resiliência da agricultura familiar no Maranhão. **Revista de Política Agrícola.** Ano XXIV, n. 26, abr./jun., 2015.

LIRA, J. S. de; LEMOS, J. J. S.; LIMA, P. V. P. S. Capacidade de recuperação da agricultura familiar do Nordeste brasileiro: uma análise para o período 1990 - 2012. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 47, n. 4, p. 107-121, 2017. <https://doi.org/10.61673/ren.2016.621>.

MAGALHÃES, L. A.; MIRANDA, E. E. **Matopiba: quadro natural.** Nota técnica, Campinas, n. 5, p. 1-41, dez. 2014. (Embrapa).

MALUF, R.; MENEZES, F. Caderno Segurança Alimentar. 2002. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/seguranca+alimentar_000gvxlxe0q02wx7ha0g934vgwlj72d2.pdf . Acesso em: 6 abr. 2024.

MATHIAS, M. **Matopiba**: na fronteira entre a vida e o capital. Rio de Janeiro: EPSJV/Fiocruz, 2017.

MITIDIERO Jr., M. A.; GOLDFARB, Y. **O agro não é tech, o agro não é pop e muito menos tudo**. Abra. Disponível em: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/brasilien/18319-20211027.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2024.

OLIVEIRA, A. B. Indústria de celulose e o avanço da silvicultura do eucalipto na fronteira agrícola da Amazônia maranhense. **Geosul**, Florianópolis, v. 34, n. 71, p. 301-327, abr. 2019. Dossiê Agronegócios no Brasil.

OLIVEIRA, A. J. P.; SOUSA, F. J. P. A desconcentração industrial e o Nordeste: do estado desenvolvimentista a globalização. In: **A economia do Nordeste na fase contemporânea**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2006, p. 101-130.

PITTA, F. T., MENDONÇA, M. L.; BOECHAT, C. A. A produção do espaço na região do MATOPIBA: violência, transnacionais imobiliárias agrícolas e capital fictício. **Estudos Internacionais: Revista De relações Internacionais Da PUC Minas**, v. 5, n. 2, p. 155-179, 2018. <https://doi.org/10.5752/P.2317-773X.2017v5n2p155>

SICSÚ, A. B.; LIMA, J. P. R. Fronteiras agrícolas no Brasil: a lógica de sua ocupação recente. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 10, n. 1, p. 109-138, jul. 2000.

SOUSA, E. Costa. **Regionalização climática e projeções da produção per capita de lavouras alimentares de sequeiro no estado do Maranhão**. 2023. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

SPRICIGO.C. Variedades de mandioca com alta produtividade serão apresentadas pelo Ruraltins na Agrotins 2021 100% Digital. Secretaria da Comunicação, 2021. Disponível em: <https://www.to.gov.br/secom/noticias/variedades-de-mandioca-com-alta-produtividade-serao-apresentadas-pelo-ruraltins-na-agrotins-2021-100-digital/13a4bz4bm8hq#:~:text=No%20Tocantins%2C%20segundo%20dados%20do,cultivada%20em%202014.181%20estabelecimentos%20rurais> . Acesso em 30 de out. 2024.

THRUPP, L. A. Linking agricultural biodiversity and food security: the valuable role of agrobiodiversity for sustainable agriculture. **International Affairs**, v. 76, n. 2, p. 265–281, 2000.

VIEIRA FILHO, J. E. R. **Expansão da fronteira agrícola no Brasil**: desafios e perspectivas. Brasília: Rio de Janeiro: Ipea, 2016.

WILKS, D. **Statistical Methods in the Atmosphere Science**. 2. Burlington, MA: Academic Press, 2006. 627 p. (International Geophysics Series, v. 91).