

**INTERDEPENDÊNCIA ECONÔMICA ENTRE A PRODUÇÃO AGRÍCOLA DA
SOJA E O PIB MUNICIPAL: Evidências dos principais municípios do Maranhão
(2002–2021)**

**ECONOMIC INTERDEPENDENCE BETWEEN SOY PRODUCTION AND
MUNICIPAL GDP: Evidence from Key Municipalities in Maranhão (2002–2021)**

RESUMO

Este estudo analisa o impacto da sojicultura no PIB de oito municípios do Maranhão (2002–2021) via MQO e Regressão Ridge. O preço da soja surge como o principal motor do crescimento econômico local, impactando positivamente todas as regiões e evidenciando forte dependência do mercado internacional. A produção física foi relevante apenas em Sambaíba e Tasso Fragoso, enquanto a área plantada mostrou efeito nulo. O modelo Ridge controlou a multicolinearidade de forma robusta. Com alto poder explicativo (R^2 entre 0,798 e 0,941), os resultados comprovam a vulnerabilidade econômica dessas localidades — especialmente Sambaíba, Tasso Fragoso e Balsas — perante as oscilações globais de commodities.

Palavras-Chave: Produto Interno Bruto, Regressão Linear Múltipla, Modelo Ridge, Dependência Econômica.

ABSTRACT

This study analyzes the impact of soy production on the GDP of eight municipalities in Maranhão (2002–2021) using OLS and Ridge Regression. Soy price emerges as the primary driver of local economic growth, positively impacting all regions and highlighting a strong dependence on the international market. Physical production was significant only in Sambaíba and Tasso Fragoso, while planted area showed a null effect. The Ridge model robustly controlled for multicollinearity. With high explanatory power (R^2 between 0.798 and 0.941), the results prove the economic vulnerability of these locations — especially Sambaíba, Tasso Fragoso, and Balsas — to global commodity fluctuations.

Keywords: Gross Domestic Product, Multiple Linear Regression, Ridge Model, Economic Dependence.

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) consolidou-se como a principal commodity exportada pelo Brasil, integrando uma cadeia produtiva que conecta a agropecuária aos mercados industriais e externos (IPEA, 2024). A partir da década de 1970, o avanço técnico-científico e o desenvolvimento de cultivares adaptadas impulsionaram o país à liderança global do grão (EMBRAPA, 2025; COSTA et al., 2012). No século XXI, essa dinâmica direcionou-se para a fronteira agrícola do MATOPIBA — acrônimo entre Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia —, região caracterizada por intensa modernização, ganhos econômicos substanciais, mas também por desafios decorrentes da concentração de renda e impactos ambientais (BRASIL, 2015; IPEA, 2018).

No Maranhão, a cultura expandiu-se a partir de Balsas na década de 1970, amparada por investimentos logísticos estratégicos como a Estrada de Ferro Carajás e o Porto do Itaqui (RODRIGUES & TERRA, 2018). Em 2023, o estado superou 1,3 milhão de hectares plantados, registrando um crescimento de 41% em um período de cinco anos (CONAB, 2024). Contudo, a despeito do dinamismo setorial, persistem gargalos estruturais de escoamento e armazenagem que limitam a competitividade regional (CRUZ & SANTOS, 2022).

A produção agrícola, em especial a cultura da soja, é um dos pilares da economia do estado do Maranhão, exercendo influência direta sobre o Produto Interno Bruto (PIB) estadual. O avanço dessa cultura está diretamente associado à modernização agrícola, à atração de investimentos e à expansão da fronteira produtiva brasileira.

O crescimento exponencial do agronegócio na região tem fomentado a geração de renda e emprego, e a expansão de outros setores relacionados como: a infraestrutura, transporte, comércio e indústria de insumos agrícolas. Apesar do dinamismo dessa produção, ainda são escassos os estudos que mensuram os reais impactos da soja nos indicadores econômicos locais, como o PIB, a geração de empregos, a renda da população e a arrecadação tributária municipal.

Compreender o grau de dependência dessas economias em relação à soja permitirá identificar vulnerabilidades estruturais, como a baixa diversificação econômica, bem como oportunidades estratégicas para o fortalecimento do desenvolvimento territorial.

Diante desse panorama, torna-se essencial a análise da inter-relação entre a produção de soja e o desempenho econômico do estado, de modo a compreender os impactos diretos e indiretos desse setor sobre o PIB dos municípios maranhenses.

Ademais, em um contexto de crescente demanda global por commodities agrícolas, a compreensão da dinâmica econômica desse segmento torna-se importante que sejam utilizadas

medidas que potencializem seus benefícios socioeconômicos. Dessa forma, este estudo pretende contribuir com uma abordagem analítica e fundamentada, possibilitando a identificação de oportunidades e desafios inerentes à expansão da soja no Maranhão e sua repercussão no crescimento econômico estadual.

Assim, a análise da inter-relação entre a produção de soja e o PIB dos municípios do sul do estado do Maranhão permitirá uma compreensão mais aprofundada dos fatores que impulsionam o crescimento econômico regional. Estudo esse, que envolve métodos estatísticos, análise territorial e indicadores socioeconômicos, oferecendo uma visão multidimensional sobre a atuação da soja nos municípios estudados.

Portanto, estudar esse tema é relevante não só para os municípios analisados, mas também para todos os territórios inseridos em zonas de expansão agrícola no Brasil.

Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo principal analisar a influência da produção agrícola da soja sobre o Produto Interno Bruto (PIB) municipal de oito municípios maranhenses (Alto Parnaíba, Balsas, Carolina, Loreto, Riachão, Sambaíba, São Raimundo das Mangabeiras e Tasso Fragoso) no período de 2002 a 2021. Especificamente, busca-se mensurar a participação da agricultura no PIB local, comparar a evolução temporal dessas variáveis, mensurar o grau de dependência econômica regional e avaliar os reflexos das oscilações do mercado. Para guiar a investigação, testam-se as hipóteses de que a produção e suas variações de preço exercem impacto estatisticamente significativo e direto sobre as oscilações do PIB dessas economias municipais.

A produção Agrícola do Maranhão

A agricultura no estado do Maranhão possui condições edafoclimáticas favoráveis e uma extensa área agricultável, tornando-se de grande relevância para a economia do estado, e isso propicia a ampliação de sua produção de grãos, consolidando-se como um importante polo do agronegócio na região Nordeste.

Conforme observado por Campos (2011), os avanços tecnológicos aplicados à agricultura, somados aos investimentos em infraestrutura e melhorias logísticas, têm contribuído para ampliar a competitividade da produção agrícola no Maranhão, o que tem fortalecido sua inserção tanto no mercado nacional quanto no internacional.

Mesquita (2018), esses elementos estruturais têm favorecido a diversificação produtiva e ampliado o potencial do agronegócio no estado. A incorporação de novas tecnologias no

processo produtivo, juntamente com os avanços em infraestrutura e logística, tem contribuído para o aumento da produtividade e para o fortalecimento da competitividade do setor.

O crescimento da soja tem impactado diretamente a economia estadual, promovendo o aumento das exportações e fomentando a cadeia produtiva associada, como a indústria de fertilizantes, defensivos agrícolas e máquinas agrícolas (Buainain, *et al.*, 2018).

Lemos (2015), menciona que o milho desempenha um papel relevante na matriz produtiva agrícola maranhense, sendo cultivado tanto como cultura principal quanto como elemento estratégico em sistemas de rotação, especialmente com a soja.

A competitividade da produção agrícola maranhense tem sido fortemente influenciada por melhorias na infraestrutura logística. Conforme destaca Colussi (2017), o Porto do Itaqui, localizado em São Luís, desempenha papel estratégico na exportação de grãos, contribuindo para a redução de custos operacionais e ampliando a inserção do estado nas cadeias globais do agronegócio.

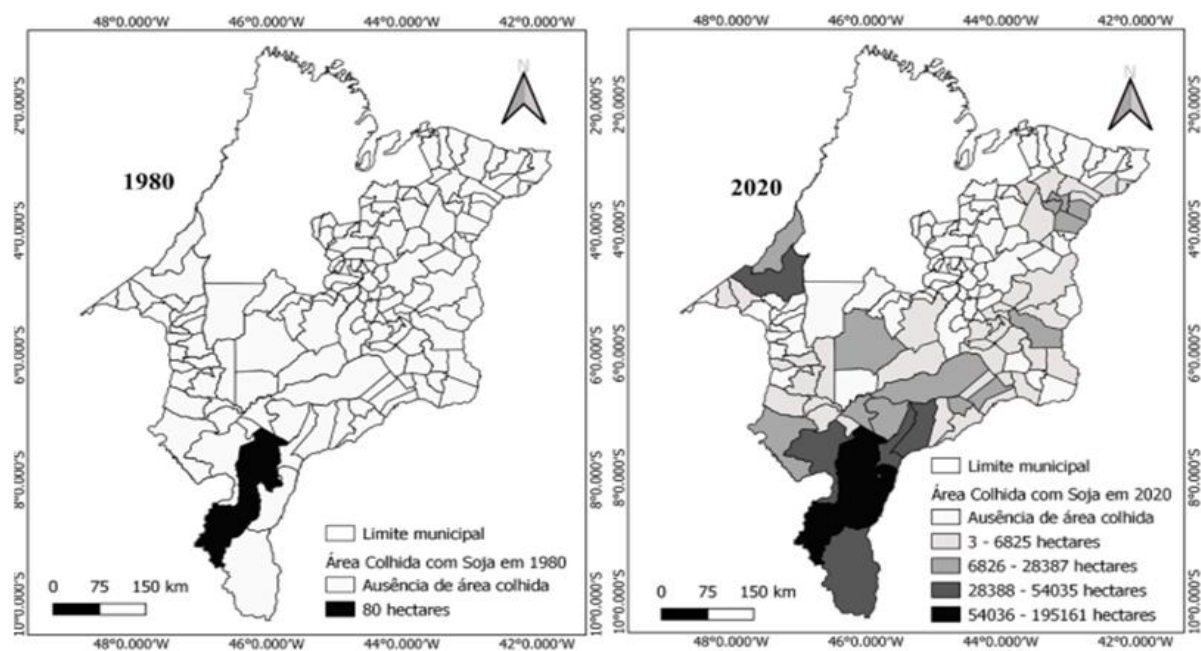
Nesse contexto, os investimentos em infraestrutura viária e ferroviária, como a pavimentação de rodovias e a operacionalização da Ferrovia Norte-Sul e da Estrada de Ferro Carajás, têm favorecido a fluidez logística do agronegócio no estado. Tais melhorias logísticas têm possibilitado maior integração dos polos produtores maranhenses aos corredores de exportação, otimizando o transporte de grãos e fortalecendo a competitividade regional.

Conforme apontam Almeida et al., (2019), o potencial agrícola do estado, quando associado à formulação de políticas públicas eficazes e ao fomento à inovação, pode posicionar o Maranhão como um importante polo do agronegócio nacional, contribuindo tanto para o dinamismo econômico quanto para a melhoria das condições de vida da população local.

Produção da Soja no Maranhão

A produção de soja no estado do Maranhão tem se concentrado principalmente nos municípios de Alto Parnaíba, Balsas, Carolina, Loreto, Riachão, Sambaíba, São Raimundo das Mangabeiras e Tasso Fragoso e Balsas é responsável por uma significativa parcela do PIB estadual, impulsionado pelo agronegócio, especialmente pela soja (Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos – IMESC, 2021). Alto Parnaíba apresenta o cultivo de soja como uma das principais atividades econômicas, empregando diretamente 565 pessoas (Caravela Dados, 2021). Riachão e Tasso Fragoso também se destacam na produção de soja, refletindo sua importância na agricultura maranhense (Cunha; Espíndola, 2018), Lemos, 2015).

Figura 1 - Evolução da área colhida de soja no Maranhão de 1980 e 2020



Fonte: Elaboração com base dados do IBGE - Produção Agrícola Municipal, vários anos. Feitosa, M.; Sousa, E. C.; Nascimento, L.; Lemos, J. de J. S. (2020).

Na Figura 1, com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), a produção de soja no estado do Maranhão em 2020, comparada ao ano de 1980, apresentou um crescimento de cerca de 2,86 milhões de toneladas. (Buainain *et al.*, 2018).

A produção de soja no Maranhão, conforme explica Buss *et al.*, (2019), representa um eixo central para o desenvolvimento econômico do estado, agregando valor à cadeia produtiva do agronegócio e ampliando a participação maranhense no comércio global de commodities agrícolas. Com a adoção de boas práticas de manejo e o fortalecimento da infraestrutura produtiva e logística, a sojicultura poderá continuar sua trajetória de expansão de maneira sustentável e competitiva.

Produto Interno Bruto do Maranhão

O Produto Interno Bruto (PIB) do Maranhão reflete o valor total dos bens e serviços produzidos no estado em determinado período. A economia maranhense é caracterizada por um setor produtivo diversificado, com destaque para a agropecuária, a indústria e os serviços. Nos últimos anos, o estado tem experimentado um crescimento econômico, especialmente impulsionado pela expansão do agronegócio, mas ainda enfrenta desafios relacionados à infraestrutura, à desigualdade socioeconômica e à necessidade de diversificação da base produtiva (Colussi, 2017).

Buainain *et al.* (2018), menciona que o setor agropecuário é o que possui maior visibilidade na composição do PIB maranhense, destacando-se pela produção de grãos como soja, milho e arroz e vem se consolidando como um dos maiores produtores de soja do Brasil, sendo parte integrante da região da Matopiba, que inclui também os estados do Piauí, Tocantins e Bahia, como já mencionado anteriormente.

O aumento da área cultivada, aliado a inovações tecnológicas no manejo agrícola, tem elevado a produtividade das lavouras, impactando diretamente a economia do estado por meio da geração de empregos e do incremento das exportações. O estado se beneficia de sua posição geográfica, com acesso a portos e infraestrutura que facilita a exportação desses produtos, agregando valor à economia regional especialmente pelo Porto do Itaqui.

O setor de serviços, por sua vez, representa a maior parcela do PIB maranhense, englobando comércio, transporte, turismo, educação e serviços financeiros. A expansão do comércio e a modernização das atividades logísticas têm sido fatores de dinamismo econômico, contribuindo para o aumento do consumo interno e a atração de novos investimentos (Colussi, 2017).

Embora o Maranhão tenha registrado avanços econômicos nas últimas décadas, seus indicadores de renda permanecem abaixo da média nacional, revelando a continuidade de disparidades regionais e sociais. Conforme argumentam Buss et al., (2019), a incidência da pobreza, a informalidade persistente nas relações de trabalho e as limitações no acesso à educação e à formação profissional dificultam a consolidação de um modelo de desenvolvimento inclusivo.

O crescimento sustentável do Maranhão também depende da ampliação dos investimentos em infraestrutura, sobretudo nas áreas de transporte e logística. De acordo com Almeida et al., (2019), intervenções como a modernização das rodovias e ferrovias, além da expansão da capacidade operacional do Porto do Itaqui, são estratégias-chave para reduzir os custos logísticos, aumentar a competitividade regional e atrair novos fluxos de capital. Tais melhorias estruturais são especialmente relevantes para o escoamento eficiente de produtos agrícolas e minerais, tanto para o mercado interno quanto para o comércio exterior.

Em resumo, o PIB do Maranhão apresentou crescimento consistente no período de 2002 a 2026, embora em ritmo abaixo da média nacional, cresceu gradualmente com algumas oscilações, como no ano de 2009 devido à crise global, 2015 e 2016 a possível retração devido à crise fiscal brasileira e 2019 e 2020 impacto direto da pandemia da COVID-19 que afetou serviços e comércio, gerando forte queda no PIB de muitos estados, inclusive Maranhão. O agronegócio resistiu parcialmente.

2. METODOLOGIA

Este estudo adota uma abordagem quantitativa, utilizando modelos de regressão linear múltipla para analisar a influência da produção de soja, área plantada e preço da soja sobre o Produto Interno Bruto (PIB) de oito municípios maranhenses: Alto Parnaíba, Balsas, Carolina, Loreto, Riachão, Sambaíba, São Raimundo das Mangabeiras e Tasso Fragoso. O critério para a seleção dos municípios deu-se devido à disponibilidade dos dados para a série temporal de 2002 à 2021 do Produto Interno Bruto dos Municípios no site do IBGE para esses locais analisados.

A análise foi conduzida para o período de 2002 a 2021, com base em dados anuais coletados de fontes oficiais como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). O preço médio da soja foi obtido em valores correntes e posteriormente deflacionado com base no Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), conforme metodologia proposta por Gujarati e Porter (2013), a fim de eliminar os efeitos da inflação e garantir a comparabilidade temporal dos valores. O PIB municipal também foi deflacionado com base no mesmo índice.

Todas as variáveis foram posteriormente padronizadas via z-score, conforme orientado por Wooldridge (2016), para permitir a comparação entre variáveis com escalas diferentes e facilitar a interpretação dos coeficientes na regressão.

A regressão linear múltipla (OLS – *Ordinary Least Squares*) foi utilizada como modelo base, por ser amplamente reconhecida como um método robusto para estimar relações lineares entre variáveis econômicas (Gujarati; Porter, 2013).

A estrutura do modelo geral estimado é a seguinte:

$$PIB_{it} = \beta_0 + \beta_1 Produ\tilde{c}\tilde{a}\tilde{o}_{it} + \beta_2 \acute{A}reaplantada_{it} + \beta_3 Pre\tilde{c}osoja_{it} + \varepsilon_{it}$$

PIB_{it} : Produto Interno Bruto do município i no ano t

β_0 : Intercepto do modelo (valor do PIB quando todas as variáveis independentes são zero).

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$, Coeficientes de regressão que medem o impacto de cada variável sobre o PIB.

$Produ\tilde{c}\tilde{a}\tilde{o}_{it}$: Quantidade de soja produzida no município i no ano t

$\acute{A}reaplantada_{it}$: Área total cultivada com soja

$Pre\tilde{c}osoja_{it}$: Valor médio da saca de soja no mercado

ε_{it} : Termo de erro

Além disso, para controlar possível multicolinearidade entre os regressores e conferir maior robustez aos resultados, foi aplicada a Regressão Ridge, uma forma de regularização L2

que penaliza a magnitude dos coeficientes (HASTIE, TIBSHIRANI & FRIEDMAN, 2009). O parâmetro de penalização (α) foi selecionado automaticamente via validação cruzada (*cross-validation*), conforme sugerido em análises de regularização para modelos com múltiplos preditores (HOEDEMAEKER & HOX, 2008).

A modelagem foi realizada utilizando a linguagem Python, com suporte das bibliotecas statsmodels para OLS e scikit-learn para Ridge. Os testes de significância estatística adotaram nível de confiança de 95% (valor- $p < 0,05$).

3. Resultados dos Municípios

De acordo com os diagramas de dispersão dos municípios entre PIB e Produção, Área Plantada e Preço da Soja, indicam uma relação positiva. A relação não é perfeita porque todos os pontos não estão em linha reta. No entanto, o padrão geral dos pontos e a linha de tendência sugerem que a relação geral é positiva, exceto São Raimundo das Mangabeiras onde o padrão geral dos pontos e a linha de tendência sugerem que a relação geral é negativa nos gráficos de produção e Área Plantada versus PIB, analise conforme (Anderson et. al.2021, p.57).

3.1 Alto Parnaíba

Tabela 1 – Matriz de Correlação entre o PIB, a Produção, a Área Colhida e o Preço da Soja em Alto Parnaíba

Variáveis	Y(PIB)	X1 (produção)	X2(área colhida)	X3 (preço soja)
Y (PIB)	1,000	0,885	0,877	0,895
X1 (produção)	0,885	1,000	0,923	0,802
X2 (área colhida)	0,877	0,923	1,000	0,810
X3 (preço soja)	0,895	0,802	0,810	1,000

Fonte: Dados do IBGE. Elaboração do autor

Como mostra a Tabela 1, as variáveis estão fortemente correlacionadas, essa interdependência por exemplo da área colhida e produção é uma resposta esperada no setor agrícola tanto quanto o preço da soja e o PIB indicando que o mercado da soja é importante na economia do município.

O modelo de regressão linear (OLS) apresentou coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,883, revelando que 88,3% da variação do PIB municipal pode ser explicada pelas variáveis produção de soja, área plantada e preço da soja.

O preço da soja foi a única variável estatisticamente significativa ($p < 0,01$), com coeficiente positivo, sugerindo forte impacto sobre o PIB. A produção e a área plantada também apresentaram sinais positivos, mas sem significância estatística.

Apesar de todos os coeficientes apresentarem sinal positivo, apenas o preço da soja mostrou-se estatisticamente significativo ($p < 0,01$), indicando que o valor da saca no mercado tem um impacto direto e relevante sobre a atividade econômica local, sugerindo forte impacto sobre o PIB. A quantidade produzida e a área plantada, embora tenham contribuído positivamente para o modelo, não demonstraram significância estatística ao nível convencional, sugerindo que seu efeito pode estar diluído ou condicionado por outras variáveis, como produtividade agrícola, tecnologia empregada ou fatores climáticos.

Para verificar a robustez dos resultados, aplicou-se a Ridge Regression, que apresentou resultado consistente ($R^2 = 0,869$) e manteve os padrões de coeficientes observados no modelo OLS. A análise dos resíduos indicou ausência de padrão sistemático, o que reforça a adequação dos modelos aos dados observados.

3.2 Balsas

Tabela 2– Matriz de Correlação entre o PIB, a Produção, a Área Colhida e o Preço da Soja em Balsas

Variáveis	Y(PIB)	X1 (produção)	X2 (área colhida)	X3(preço soja)
Y (PIB)	1,00	0,868	0,900	0,912
X1 (produção)	0,87	1,000	0,876	0,769
X2 (área colhida)	0,90	0,876	1,000	0,803
X3 (preço soja)	0,91	0,769	0,803	1,000

Fonte: Dados do IBGE. Elaboração do autor

Na tabela 2, mostra o PIB do município de Balsas com correlação forte e positiva em relação a produção, muito forte com a área colhida e uma altíssima correlação com o preço da soja áreas.

O modelo OLS apresentou R^2 de 0,919, indicando que 91,9% da variação do PIB pode ser explicada pelas variáveis independentes: produção de soja, área plantada e preço da soja. Esse elevado poder explicativo demonstra que a dinâmica da produção de soja está profundamente inserida no contexto econômico do município. Entre as variáveis independentes analisadas, o preço da soja foi o mais significativo ($p = 0,001$), com coeficiente positivo, destacando-se como o principal fator de influência sobre o PIB.

A área plantada também apresentou influência relevante ($p = 0,064$), pode ser inclusa no 10% de significância estatística. Isso pode indicar que a expansão territorial agrícola possui

efeitos indiretos sobre o crescimento econômico. Por outro lado, a quantidade produzida da soja, embora com coeficiente positivo, não apresentou significância estatística.

O modelo Ridge Regression, com R^2 de 0,910, apresentou coeficientes consistentes com o OLS e contribuiu para mitigar potenciais efeitos de multicolinearidade entre produção e área plantada. O valor ideal de regularização ($\alpha = 5,0$) garantiu melhor equilíbrio entre ajuste e robustez.

3.3 Carolina

Tabela 3 - Matriz de Correlação entre o PIB, a Produção, a Área Colhida e o Preço da Soja em Carolina

Variáveis	Y(PIB)	X1 (produção)	X2 (área colhida)	X3 (preço soja)
Y (PIB)	1,000	0,655	0,586	0,907
X1 (produção)	0,655	1,000	0,918	0,549
X2 (área colhida)	0,586	0,918	1,000	0,497
X3 (preço soja)	0,907	0,549	0,497	1,000

Fonte: Dados do IBGE. Elaboração do autor

Na Tabela 3, mostra a produção da soja relacionada com o PIB uma correlação moderada a forte, o PIB é a área colhida mostra uma correlação moderada e o PIB com o preço da soja resulta uma correlação alta, como se pode nota no Gráfico 2.

Os modelos de regressão estimados para o município de Carolina (MA), abrangendo o período de 2002 a 2021, revelam uma estrutura econômica fortemente condicionada ao desempenho do mercado da soja. O modelo linear (OLS) apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,858, indicando que 85,8% da variação do Produto Interno Bruto (PIB) municipal pode ser explicada pelas variáveis produção agrícola, área plantada e preço da soja.

A aplicação da regressão Ridge, com regularização $\alpha = 5,0$, permitiu atenuar efeitos de multicolinearidade entre as variáveis, mantendo resultados consistentes com o modelo tradicional. Embora o R^2 tenha apresentado leve redução (0,843), o coeficiente do preço da soja se manteve elevado (0,6569), corroborando sua relevância como fator central no desempenho econômico. Os coeficientes de produção e área continuaram positivos, mas com impactos secundários, sugerindo que a quantidade produzida da soja por si só não é o principal determinante da performance econômica local.

Em termos comparativos, o modelo OLS apresentou um ajuste marginalmente superior, mas o Ridge se destaca por proporcionar maior robustez ao modelo, especialmente diante da presença de multicolinearidade entre as variáveis.

3.4 Loreto

Tabela 4 – Matriz de Correlação entre o PIB, a Produção, a Área Colhida e o Preço da Soja em Loreto

Variáveis	Y(PIB)	X1 (produção)	X2 (área colhida)	X3 (preço soja)
Y (PIB)	1,000	0,884	0,852	0,943
X1 (produção)	0,884	1,000	0,931	0,790
X2 (área colhida)	0,852	0,931	1,000	0,774
X3 (preço soja)	0,943	0,790	0,774	1,000

Fonte: Dados do IBGE. Elaboração do autor

Na tabela 4, o PIB e a produção da soja mostra uma correlação forte, supõe-se que a produção agrícola impacta diretamente o desempenho econômico do município. O PIB do município e a área cultivada estão correlacionada fortemente considerando que quanto maior a área usada para cultivo, maior tende a ser o PIB e o PIB municipal e o preço da soja é uma correlação muito forte, indicando o preço da commodity exerce forte influência na economia local, confirma no Gráfico 5, no diagrama de dispersão do PIB e preço da soja.

A aplicação dos modelos de regressão múltipla (OLS e Ridge) para o município de Loreto (MA), no período de 2002 a 2021, permitiu identificar relações significativas entre variáveis associadas à produção de soja e o desempenho econômico municipal. O modelo OLS apresentou elevado poder explicativo ($R^2 = 0,941$), indicando que 94,1% da variação do PIB padronizado pode ser atribuída às variáveis independentes: produção agrícola, área plantada e preço da soja.

Entre os coeficientes estimados, o preço da soja demonstrou significância estatística ($p < 0,01$), com impacto positivo e elevado (coeficiente = 0,6477), confirmando que o valor de mercado da commodity exerce influência determinante sobre o crescimento do PIB local.

A produção agrícola também apresentou coeficiente positivo (0,3431), com significância marginal ($p \approx 0,067$), sugerindo um papel secundário, mas ainda relevante na explicação do desempenho econômico. Enquanto na área plantada, embora positivamente associada ao PIB, não obteve significância estatística ($p > 0,80$), indicando que a simples expansão territorial das lavouras não contribui de forma direta para o crescimento da economia.

A utilização da regressão Ridge, com valor de penalização selecionado automaticamente ($\alpha = 7,5646$), conferiu maior estabilidade ao modelo, sobretudo frente à multicolinearidade entre as variáveis explicativas. O R^2 obtido (0,910) confirmou o bom ajuste do modelo regularizado. Embora os coeficientes tenham sido suavizados em relação ao OLS, uma característica própria da regularização, a direção dos impactos foi preservada, com destaque

novamente para o preço da soja (0,4179), seguido pela produção (0,2626) e área plantada (0,2062).

3.5 Riachão

Tabela 5 – Matriz de Correlação entre o PIB, a Produção, a Área Colhida e o Preço da Soja em Riachão

Variáveis	Y(PIB)	X1 (produção)	X2 (área colhida)	X3 (preço soja)
Y (PIB)	1	0,824	0,861	0,939
X1 (produção)	0,824	1	0,869	0,750
X2 (área colhida)	0,861	0,869	1	0,803
X3 (preço soja)	0,939	0,751	0,803	1

Fonte: Dados do IBGE. Elaboração do autor

Na tabela 5 as variáveis PIB e produção da soja e PIB área colhida apresentam coeficientes de correlação 0,8246 e 0,8615 respectivamente, apontando um grau de associação forte e positiva indicando que a produção agrícola impacta significativamente o desempenho econômico do município e que quanto maior o uso da terra, maior contribui ao PIB municipal. O PIB e o preço da soja mostra um coeficiente de correlação de 0,9389, indicando um grau de associação positiva e forte indicando que o preço da commodity tem influência direta e intensa sobre a economia.

O modelo OLS apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,921, indicando que 92,1% da variação do Produto Interno Bruto (PIB) municipal pode ser explicada pelas variáveis independentes: quantidade produzida de soja, área plantada e preço da soja. Dentre essas, apenas o preço da soja mostrou significância estatística ao nível menor que 5%, com coeficiente positivo de 0,6711. Esse resultado confirma que o mercado da soja, especialmente seu valor de comercialização, tem um papel importante na econômica do município, superando os efeitos diretos das variáveis físicas de produção.

O modelo Ridge, utilizado para atenuar a multicolinearidade entre variáveis correlacionadas, reforçou os padrões observados. O valor de penalização ótimo ($\alpha = 3,59$), obtido por validação cruzada, permitiu suavizar os coeficientes sem comprometer a direção dos efeitos estimados. Os coeficientes estimados para produção, área plantada e preço da soja foram de 0,2004, 0,2355 e 0,5042, respectivamente, mantendo o preço da soja como variável dominante.

No modelo Ridge, o ajuste foi igualmente alto, com R^2 de 0,909. O modelo utilizou um parâmetro de regularização ótimo (α) igual a 3,59, o que contribuiu para estabilizar os coeficientes e amenizar eventuais efeitos de multicolinearidade entre as variáveis explicativas.

Os coeficientes estimados para produção, área plantada e preço da soja foram 0,2004, 0,2355 e 0,5042, respectivamente. O preço da soja, mais uma vez, destacou-se como a variável com maior impacto sobre o PIB do município.

As variáveis produção e área plantada, embora com sinais positivos, não obtiveram significância estatística.

A comparação entre os dois modelos reforça a relevância do preço da soja como principal determinante da dinâmica econômica do município de Riachão nesse período. Embora o modelo OLS tenha apresentado um ligeiramente melhor ajuste, o modelo Ridge oferece maior estabilidade dos coeficientes, sendo, portanto, uma alternativa robusta para a análise econométrica, especialmente em contextos onde há potencial correlação entre as variáveis independentes.

3.6 Sambaíba

Tabela 6 – Matriz de Correlação entre o PIB, a Produção, a Área Colhida e o Preço da Soja em Sambaíba

Variáveis	Y(PIB)	X1 (produção)	X2 (área colhida)	X3 (preço soja)
Y (PIB)	1	0,789	0,706	0,925
X1 (produção)	0,789	1	0,822	0,620
X2 (área colhida)	0,706	0,822	1	0,630
X3 (preço soja)	0,925	0,620	0,630	1

Fonte: Dados do IBGE. Elaboração do autor

Na tabela 6 as variáveis PIB e produção da soja e PIB área colhida apresentam coeficientes de correlação 0,7895 e 0,7059 apontando um grau de associação forte e positiva e moderada a forte respectivamente. A produção impacta o PIB de forma significativa, mas há espaço para outros fatores econômicos, enquanto o uso da terra influencia o PIB, mas não é o fator dominante. O PIB e o preço da soja mostra um coeficiente de correlação de 0,9251 e grau de associação muito forte, indicando que o valor da commodity é o principal motor econômico para o município.

A estimativa de regressão linear múltipla (OLS) revelou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,934, indicando que 93,4% da variação do PIB municipal pode ser explicada pelas variáveis independentes: produção de soja, área plantada e preço da soja.

Dentre os coeficientes estimados, o preço da soja apresentou maior significância estatística ($p < 0,01$) e o maior impacto sobre o PIB (coeficiente = 0,7261), reafirmando a centralidade da valorização da commodity como motor da atividade econômica do município de Sambaíba.

A produção agrícola também foi estatisticamente significativa (coeficiente = 0,4160; $p < 0,01$), reforçando seu papel como elemento importante da estrutura econômica local. Por outro lado, a área plantada não apresentou significância estatística ($p > 0,05$) e, além disso, o sinal de seu coeficiente foi negativo (-0,0915), sugerindo que a simples expansão territorial da lavoura não necessariamente impulsiona o crescimento econômico.

Para fins de robustez e controle de multicolinearidade, foi estimado um modelo de regressão Ridge com penalização L2. O valor ótimo de regularização ($\lambda = 11,4976$) foi selecionado por validação cruzada, e o modelo resultante apresentou um R^2 de 0,856, mantendo bom nível de explicação. Os coeficientes foram suavizados, como esperado, mas mantiveram a mesma direção: o preço da soja novamente se destacou (0,4289), seguido pela produção (0,2584) e pela área plantada (0,1417). Embora a magnitude dos coeficientes tenha sido reduzida, os padrões de impacto se mantiveram consistentes, o que reforça a validade dos resultados.

Esses resultados confirmam que a economia do município de Sambaíba é altamente influenciada pelas oscilações do preço do mercado da soja, especialmente pela valorização da commodity e pelo volume produzido. A baixa relevância da área plantada sugere que o crescimento econômico está mais associado à eficiência e ao preço do produto do que à sua simples expansão territorial. Assim, o município exibe uma estrutura produtiva vulnerável à volatilidade do mercado internacional, o que pode implicar riscos em períodos de queda de preços. R^2 elevado (0,934) indica que o modelo explica bem a variação do PIB.

3.7 São Raimundo das Mangabeiras

Tabela 7 – Matriz de Correlação entre o PIB, a Produção, a Área Colhida e o Preço da Soja em São Raimundo das Mangabeiras

Variáveis	Y(PIB)	X1 (produção)	X2 (área colhida)	X3 (preço soja)
Y (PIB)	1	-0,182	-0,249	0,891
X1 (produção)	-0,182	1	0,918	-0,173
X2 (área colhida)	-0,249	0,918	1	-0,278
X3 (preço soja)	0,891	-0,173	-0,278	1

Fonte: Dados do IBGE. Elaboração do autor

De acordo a tabela 7 as variáveis PIB e produção da soja e PIB área colhida apresentam coeficientes de correlação -0,1825 e -0,2488 apontando um grau de associação fraca negativa respectivamente. O aumento da produção não contribui positivamente para o PIB local e mais terra utilizada não garante crescimento econômico. O PIB e o preço da soja mostra um

coeficiente de correlação de 0,8908 e grau de associação muito forte positiva, indicando que a economia no município depende fortemente da valorização da soja no mercado.

O modelo OLS apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,798, com valor ajustado de 0,760, indicando que cerca de 80% da variação do Produto Interno Bruto (PIB) municipal pode ser explicada pelas variáveis independentes consideradas: produção de soja, área plantada e preço médio da soja. Dentre estas, apenas o preço da soja apresentou significância estatística ($p < 0,01$), com coeficiente elevado de 0,9063, evidenciando que a valorização da commodity exerce efeito direto e decisivo sobre a economia local.

As variáveis quantidade produzida e área plantada não se mostraram estatisticamente significativas ao nível de 5%, embora apresentem sentido econômico coerente.

O modelo Ridge, com penalização regularizada por validação cruzada ($\alpha \approx 2,1544$), confirmou os resultados. O R^2 obtido foi de 0,7881, muito próximo ao modelo OLS, reforçando a robustez dos resultados. Os coeficientes foram suavizados como esperado, destacando novamente o preço da soja como principal determinante (coef. = 0,8016). Produção e área plantada mantiveram valores muito reduzidos, com impactos modestos e sem significância estatística, até confirmando o que vemos na matriz de correlação.

3.8 Tasso Fragoso

Tabela 8 – Matriz de Correlação entre o PIB, a Produção, a Área Colhida e o Preço da Soja em Tasso Fragoso

Variáveis	Y(PIB)	X1 (produção)	X2 (área colhida)	X3 (preço soja)
Y (PIB)	1	0,887	0,858	0,938
X1 (produção)	0,887	1	0,909	0,795
X2 (área colhida)	0,858	0,909	1	0,819
X3 (preço soja)	0,938	0,795	0,819	1

Fonte: Dados do IBGE. Elaboração do autor

De acordo a tabela 7 as variáveis PIB e produção da soja e PIB área colhida apresentam coeficientes de correlação 0,8867 e 0,8581 apontando um grau de associação muito forte positiva e forte positiva respectivamente. Indicando que a produção agrícola está intimamente ligada ao crescimento econômico do município, e que mais área cultivada tende a aumentar o PIB do município de Tasso Fragoso. O PIB e o preço da soja mostra um coeficiente de correlação de 0,9377 e grau de associação muito forte positiva, indicando que a economia de Tasso Fragoso depende fortemente da valorização da soja.

O modelo OLS apresentou um alto grau de explicação da variabilidade do PIB, com um R^2 de 0,934, indicando que aproximadamente 93,4% da variação do PIB no período analisado

pode ser explicada pelo conjunto das variáveis explicativas. Verifica-se que os coeficientes estimados, se destaca o preço da soja, com valor de 0,6485 e alta significância estatística ($p < 0,01$), sugerindo que variações positivas no preço do grão tendem a ter forte impacto positivo sobre o PIB do município.

A variável produção de soja também apresentou coeficiente positivo (0,4250) e significância estatística ($p = 0,016$), reforçando sua importância econômica local. Por outro lado, a variável área plantada mostrou-se estatisticamente não significativa ($p = 0,726$), com coeficiente de -0,0581, sugerindo que, isoladamente, a expansão de área não tem associação direta com a elevação do PIB, confirmando o que diz a tabela 8.

Ao aplicar o modelo Ridge, observou-se uma leve redução no coeficiente de determinação ($R^2 = 0.9269$), ainda indicando forte ajuste do modelo. Os coeficientes suavizados pelo processo de regularização confirmam a relevância da variável preço da soja (0,5349) e mantêm sinais positivos para produção (0,3310) e área plantada (0,1067), embora com menor magnitude. O melhor parâmetro de penalização encontrado foi $\alpha = 1.8738$, demonstrando que o uso da regularização contribuiu para reduzir possíveis distorções causadas por colinearidade, sem prejuízo substancial à capacidade explicativa do modelo.

4. DEPENDÊNCIA ECONÔMICA

Tabela 9 - Ranking de Dependência Econômica ao Mercado da Soja (2002–2021)

Posição	Município	Dependência Econômica	Justificativa Principal
1º	Sambaíba	Muito Alta	Preço e produção da soja ambos significativos; R^2 OLS = 0,934
2º	Tasso Fragoso	Alta	Preço da soja muito significativo; produção relevante; área irrelevante; $R^2 = 0,934$
3º	Balsas	Alta	Preço da soja dominante; área quase significativa; $R^2 = 0,919$
4º	Riachão	Alta	Apenas o preço da soja significativo; alto $R^2 = 0,921$
5º	Loreto	Alta	Preço significativo; produção marginal; área irrelevante; $R^2 = 0,941$
6º	Alto Parnaíba	Alta	Preço significativo; produção e área sem significância; $R^2 = 0,883$
7º	Carolina	Moderada	Preço relevante; produção e área sem significância; $R^2 = 0,858$
8º	São Raimundo das Mangabeiras	Moderada	Preço muito significativo; produção e área sem impacto; menor $R^2 = 0,798$

Fonte: Dados do IBGE. Elaboração do autor

A tabela 9 correspondente a dependência econômica foi elaborada neste estudo, levou em consideração as seguintes análises dos resultados:

- Municípios com duas variáveis significativas (preço + produção) foram considerados de dependência econômica muito alta.

- Municípios com apenas o preço da soja significativo, mas R^2 acima de 0,88, foram classificados como de dependência alta.
- Municípios com apenas o preço significativo, mas R^2 abaixo de 0,85, foram considerados de dependência moderada.

5. CONCLUSÃO

Os resultados econométricos obtidos via modelos MQO e Ridge (2002–2021) confirmam que o preço da soja é a variável mais significativa para o PIB dos oito municípios maranhenses analisados. A produção física gerou impactos positivos localizados apenas em Sambaíba e Tasso Fragoso, enquanto a área plantada não apresentou relevância estatística, evidenciando que a expansão de terras não garante crescimento econômico direto.

O estudo revela dinâmicas distintas na região: **Alta dependência externa:** Sambaíba, Tasso Fragoso e Balsas são os mais vulneráveis às oscilações de preços do mercado internacional de commodities; **Diversificação regional:** Municípios com menor poder explicativo (R^2 mais baixos), como São Raimundo das Mangabeiras e Carolina, indicam a presença de outras atividades econômicas relevantes.

A validação metodológica pela convergência entre MQO e Ridge reforça a robustez das estimativas. Diante disso, conclui-se que o desenvolvimento regional sustentável exige a formulação de políticas voltadas à diversificação produtiva, à agroindustrialização local e ao estímulo à eficiência tecnológica para mitigar a exposição a choques macroeconômicos globais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. G.; SODRÉ, R. B.; MATTOS JUNIOR, J. S. **O MATOPIBA nas Chapadas Maranhenses: Impactos da Expansão do Agronegócio na Microrregião de Chapadinha.** Revista Nera (UNESP), v. 22, p. 248-271, 2019.
- ANDERSON, D. R.; SWEENEY, D. J.; WILLIAMS, T. A.; CAMM, J. D.; COCHRAN, J. J. **Estatística aplicada à administração e economia.** 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2021.
- BRASIL. Decreto nº 8.447, de 6 de maio de 2015.** Dispõe sobre a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, ed. 85, seção 1, p. 1, 7 maio 2015. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/decreto/d8447.htm. Acesso em: [02/01/2025]. **Revogado.**
- BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R.; VIEIRA FILHO, J. E. R. A **economia agropecuária do Matopiba.** Estudos Sociedade e Agricultura (UFRRJ), v. 26, n. 2, p. 376-401, jun.-set. 2018.
- BUSS, Ricardo Niehues; Mendanha, José Francisco; da Silva, Daniel Martins, & Siqueira, Glécio Machado. **Infraestrutura logística de transporte e armazenagem da soja no estado do Maranhão–Brasil.** Brazilian Journal of Development, v. 5, n. 12, p. 31564-31580, 2019.
- COLUSSI, J. **Matopiba: mudanças no uso da terra na nova fronteira.** 99 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios. Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/164377/001026823.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 jan. 2025.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Primeira estimativa para safra de grãos 2024/25 indica produção de 322,47 milhões de toneladas.** Conab, 15 out. 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5770-primeira-estimativa-para-safra-de-graos-2024-25-indica-producao-de-322-47-milhoes-de-toneladas#:~:text=A%20primeira%20estimativa%20para%20a,322%2C47%20milh%C3%B5es%20de%20toneladas>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- COSTA, N. L. et al. Poder de mercado e desenvolvimento de novas cultivares de soja transgênicas e convencionais: análise da experiência brasileira. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 56, n. 1, p. 61–68, 2012.
- CUNHA, Roberto César Costa; ESPÍNDOLA, Carlos José. **A dinâmica geoeconômica recente da cadeia produtiva da soja no Brasil e no mundo.** *GeoTextos*, v. 11, n. 1, p. 217-238, 2018.
- CRUZ, F. A.; SANTOS, J. B. Desafios logísticos da cadeia produtiva da soja no Maranhão. *Revista de Economia e Desenvolvimento Regional*, v. 10, n. 2, p. 45–62, 2022. Disponível em: <https://revistaedr.org/soja-logistica-ma>. Acesso em: 27 jul. 2025.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. CNPASA. **Manual de práticas para a produção de soja.** Brasília, DF: Embrapa, 2017.
- EMBRAPA. **Brasil é referência no desenvolvimento de tecnologias sustentáveis para produção de soja.** 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/->

/noticia/81613580/brasil-e-referencia-no-desenvolvimento-de-tecnologias-sustentaveis-para-producao-de-soja. Acesso em: 10 out. 2024.

FEITOSA, M.; SOUSA, E. C.; NASCIMENTI, L.; LEMOS, J. de J. S. **Produção agrícola de soja no Maranhão: análise da evolução de áreas colhidas entre 1980 e 2020**. *Elaboração própria com dados do IBGE - Produção Agrícola Municipal, vários anos*. 2020.

GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C. **Basic Econometrics**. 6. ed. Boston: McGraw-Hill, 2013.

IBGE. Produção Agrícola Municipal (PAM) 2020: Maranhão. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>. Acesso em: 27 jul. 2025.

INSTITUTO MARENHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS (IMESC). *Balsas e o seu papel no PIB do Maranhão*. Disponível em: https://unibalsas.edu.br/no-setor-do-agronegocio-balsas-e-destaque-no-pib-do-maranhao/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 17 abr. 2025.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Crescimento e produtividade da agricultura brasileira, 1975 a 2016**. Brasília, 2018. (Carta de Conjuntura; n. 38).

LEMOS, José de Jesus Sousa. **Efeitos da expansão da soja na resiliência da agricultura familiar no Maranhão**. Revista de Política Agrícola. n. 2, p. 17-25. 2015.

MESQUITA, B. A. de. **A dinâmica recente do desenvolvimento do Maranhão: diagnóstico e perspectivas**. 2018. Disponível em: <https://monografias.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/7575/1/RENATA%20GAMBOA%20SILVA.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2025.

RODRIGUES, Vanderson Viana; TERRA, Ademir. **Conflitos socio espaciais entre os agricultores tradicionais e sojicultores no município de Balsas Maranhão**. Brazilian Journal of Development, v. 4, n. 4, p. 1196-1216, 2018.

WOOLDRIDGE, J. M. 6. ed. Boston: Cengage Learning, 2016.