

**PRODUTIVIDADE COMO CONSEQUÊNCIA DA EFICIÊNCIA PRODUTIVA DOS
CUSTOS DA SOJICULTURA EM MATO GROSSO**
*PRODUCTIVITY AS A CONSEQUENCE OF PRODUCTION EFFICIENCY OF
SOYBEAN FARMING COSTS IN MATO GROSSO*

Autor(es): Luis Felipe de Souza Rodrigues

Filiação: Universidade Federal de Mato Grosso

E-mail: lfsouza25@gmail.com

Grupo de Trabalho (GT): GT02. Governança e gestão do agronegócio

Resumo

A pesquisa analisa como a gestão dos custos dos fatores de produção afeta a produtividade agrícola e a eficiência do setor em Mato Grosso, o maior produtor de soja do Brasil. A abordagem empírica explora a relação entre a elasticidade da produtividade e os custos médios dos insumos, especialmente sob pressões inflacionárias. A análise compara cidades em diferentes períodos, considerando eficiência operacional da gestão dos custos. A função de produção de fronteira estocástica é usada como modelo para estimar os efeitos de eficiência alocativa. Dados de custeio de produção da soja entre 2007 e 2024, obtidos pela CONAB, são utilizados para os municípios de Sorriso, Primavera do Leste e Campo Novo dos Parecis, com ajustes de preços pelo IGP-DI. Além dos dados de produtividade disponibilizados pelo IBGE. Os resultados mostram que as oscilações nos custos de produção, especialmente com maquinário, sementes e fertilizantes, induzem respostas diferentes quanto à adoção de tecnologias. A mecanização tem um efeito positivo significativo na produtividade, enquanto o impacto de fertilizantes e agrotóxicos varia conforme a região. A análise da fronteira de produtividade revela que, em Sorriso, as ineficiências técnicas ainda são um desafio, enquanto em Campo Novo dos Parecis e Primavera do Leste a eficiência é maior. Isso sugere que a adaptação tecnológica depende das condições locais e do gerenciamento dos recursos, com espaço considerável para melhorias nas regiões com maior ineficiência.

Palavras-chave: Soja; Produtividade; Eficiência alocativa; Custos; Mato Grosso.

Abstract

The research analyzes how the management of production factor costs affects agricultural productivity and efficiency in Mato Grosso, the largest soybean producer in Brazil. The empirical approach explores the relationship between productivity elasticity and the average costs of inputs, especially under inflationary pressures. The analysis compares cities over different periods, considering operational efficiency in cost management. The stochastic frontier production function is used as a model to estimate the effects of allocative efficiency. Data on soybean production costs from 2007 to 2024, provided by CONAB, are used for the municipalities of Sorriso, Primavera do Leste, and Campo Novo dos Parecis, with price adjustments using the IGP-DI. In addition to the productivity data made available by IBGE. The results show that fluctuations in production costs, especially with machinery, seeds, and fertilizers, induce different responses regarding technology adoption. Mechanization has a significant positive effect on productivity, while the impact of fertilizers and pesticides varies by region. The analysis of the productivity frontier reveals that in Sorriso, technical inefficiencies remain a challenge, while in Campo Novo dos Parecis and Primavera do Leste, efficiency is higher. This suggests that technological adaptation depends on local conditions and resource management, with considerable room for improvements in regions with higher inefficiency.

Key words: Soybean; Productivity; Allocative efficiency; Costs; Mato Grosso.

1. Introdução

A vantagem nacional é determinada por quatro atributos principais que moldam o ambiente competitivo de um país (PORTER, 1990). As “Condições dos Fatores” referem-se à disponibilidade de recursos essenciais, como mão de obra qualificada e infraestrutura. As “Condições de Demanda” dizem respeito à natureza da demanda interna, que impulsiona a inovação e o desenvolvimento industrial. As “Indústrias de Suporte” envolvem a presença de setores fornecedores e indústrias complementares que fortalecem a competitividade. Por fim,

a “Estrutura, Estratégia e Rivalidade das Empresas” abrange as condições que influenciam a criação, organização e concorrência entre as empresas no mercado interno. Juntos, esses fatores determinam como as empresas surgem, evoluem e competem globalmente.

Sendo assim, a relação entre os custos dos fatores de produção e a produtividade constitui um pilar fundamental na dinâmica da competitividade agrícola, sendo influenciada por um conjunto multifacetado de elementos, tais como políticas públicas, avanços tecnológicos e eficácia gerencial. A forma como os produtores gerenciam seus custos e a eficiência com que utilizam os recursos têm um impacto direto em sua capacidade de competir no mercado. Esses custos representam os gastos incorridos na produção de outros produtos, incluindo os custos com insumos como sementes, fertilizantes, agrotóxicos, mão de obra, maquinário, terra e outros.

No que tange à influência dos custos sobre inovação e eficiência, observa-se que os preços de insumos atuam como catalisadores de processos inovadores. Expectativas de elevação sustentada de preços, por exemplo, tendem a estimular a adoção de tecnologias que ampliem a produtividade, visando mitigar pressões sobre os custos (FULGINITI & PERRIN, 1993). Contudo, a natureza e a intensidade da relação entre oscilações nos preços de insumos e o ritmo de inovação permanecem como áreas que demandam investigação mais aprofundada. Paralelamente, a eficiência — seja técnica, que implica maximizar a produção com os mesmos recursos, seja alocativa, que envolve a combinação ótima de insumos para minimizar custos — revela-se decisiva para a competitividade (LATRUFFE, 2010). Estudos nesse campo buscam identificar como os custos impactam a capacidade das empresas de operar na fronteira de produção, ou seja, em um patamar de utilização plena de recursos, sem desperdícios, otimizando a relação entre insumos e resultados produtivos.

Os preços e os custos de produção desempenham um papel central nesse contexto, exercendo influência direta sobre a produtividade, a competitividade e a rentabilidade do setor. Os valores associados a insumos estratégicos impactam de forma decisiva a estrutura de custos produtivos. Por sua vez, as expectativas em relação aos preços futuros dos produtos agrícolas atuam como um estímulo (ou desincentivo) à adoção de tecnologias inovadoras e práticas gerenciais mais eficientes. Nesse contexto, políticas governamentais, como regimes tributários e mecanismos de subsídios, podem introduzir distorções nos preços e custos, comprometendo a equidade competitiva no mercado (SCHULTZ, 1978).

A gestão eficaz dos custos de produção, aliada à otimização do uso de recursos, à incorporação de avanços tecnológicos e à correção de distorções de mercado, revela-se imprescindível para elevar a produtividade e assegurar equilíbrio nos preços, beneficiando produtores e consumidores. Estudos empíricos destacam que a elasticidade da produtividade em relação às variações nos preços de produção constitui um indicador relevante para compreender a sensibilidade dos agricultores a oscilações de mercado (BINSWANGER, 1989). Ademais, a dinâmica do mercado global exerce função referencial para a formação de preços em âmbito doméstico, uma vez que tendências internacionais influenciam diretamente a competitividade e as estratégias de ajuste setorial (BRINKMAN, 1987).

Em meio a variações de preços, a análise longitudinal consegue avaliar os impactos de inovações tecnológicas e mudanças de práticas de manejo, facilitando a tomada de decisões informadas sobre investimentos e práticas a adotar (KOBAYASHI & KUNIMITSU, 2024). A análise também auxilia no planejamento e na criação de estratégias sustentáveis, otimizando recursos e maximizando retornos. Com isso, aliado a comparação de custos em diferentes regiões, é possível entender como fatores locais e econômicos afetam a produtividade, permitindo um planejamento mais eficaz.

Diante desse cenário, a pesquisa proposta busca compreender, de forma específica e aplicada, como a gestão dos custos dos fatores de produção influencia a produtividade

agrícola e, consequentemente, a eficiência técnica e alocativa do setor, com enfoque no estado de Mato Grosso. Como o maior produtor de soja do Brasil, Mato Grosso é responsável por 39,34 milhões de toneladas somente na safra 2023/2024, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) — sendo um estado estratégico para a dinâmica competitiva do agronegócio nacional. A análise empírica incluirá a relação entre a elasticidade da produtividade e os custos médios dos insumos, identificando se as oscilações nos custos de produção — em um contexto de pressões inflacionárias — têm incentivado a adoção de tecnologia ou apenas ajustes marginais, e como isso se reflete na fronteira de produtividade.

2. Custos de Produção da Soja

A gestão de custos é imprescindível na cadeia produtiva da soja, exercendo influência direta sobre a rentabilidade e a sustentabilidade do empreendimento agrícola. Nesse contexto, a contabilidade de custos emerge como instrumento indispensável, fornecendo subsídios para o planejamento estratégico e a tomada de decisões informadas (SANTOS, 2018). A gestão estratégica de custos, por sua vez, amplia a análise ao integrar as despesas em um panorama macroeconômico, visando à obtenção de vantagens competitivas por meio da avaliação da cadeia de valor, do posicionamento estratégico e dos direcionadores de custos (PADOVEZE, 2013).

O controle detalhado dos gastos, desde as etapas de plantio até a comercialização, é determinante para assegurar decisões racionais e a otimização dos resultados financeiros. A ausência de uma gestão de custos estruturada acarreta impactos negativos na eficiência produtiva e na margem de lucro, uma vez que muitos produtores de soja ainda se baseiam em práticas de experiências prévias em vez de uma gestão cuidadosa dos dados (BATISTA et. al., 2022).

Os custos variáveis, particularmente os associados a insumos agrícolas, representam parcela significativa do custo total da produção de soja. Itens como sementes, fertilizantes e defensivos podem corresponder a mais de 80% dos gastos operacionais, com variações condicionadas pelo volume de produção, flutuações cambiais e dinâmicas de mercado (ARTUZO et. al., 2018). O monitoramento das condições de mercado e dos recursos naturais, aliado à aquisição estratégica de insumos – com atenção às tendências de preços –, configura-se como prática integrante para a mitigação de riscos financeiros e a otimização de custos.

A análise da estrutura de custos de produção para a safra 2024/2025, com base em dados da CONAB, demonstra a predominância das despesas de custeio no custo total agrícola nas três localidades estudadas: Sorriso (60,48%), Primavera do Leste (58,65%) e Campo Novo dos Parecis (49,92%). Tais despesas concentram-se majoritariamente na aquisição de fertilizantes e defensivos agrícolas, que, em conjunto, representam mais de 75% dos gastos operacionais, evidenciando a elevada dependência do setor em relação a insumos críticos para a manutenção da produtividade. Ademais, observa-se a hegemonia dos custos variáveis, que ultrapassam 63% do custo total em todas as regiões analisadas, refletindo a sensibilidade direta da produção agrícola às oscilações nos preços de insumos, custos laborais e encargos financeiros.

Os custos fixos, compostos por depreciações e despesas administrativas, embora com participação reduzida, apresentam heterogeneidade geográfica: alcançam 18,34% em Campo Novo dos Parecis, contra 9,6% em Sorriso, indicativo de disparidades nos padrões de investimento em maquinário e infraestrutura produtiva. O custo operacional total, resultante da soma entre custos variáveis e fixos, supera 80% do custo agregado em todas as localidades, reforçando a necessidade de otimização de processos produtivos e busca de eficiência operacional para assegurar a sustentabilidade econômica do setor.

Outro aspecto relevante reside na remuneração de fatores, que engloba desembolsos com arrendamentos e juros sobre o capital alocado. Destaca-se Campo Novo dos Parecís, onde essa rubrica atinge 18,3% dos custos totais – o maior percentual entre as regiões –, sinalizando uma significativa externalização de recursos financeiros e dependência de capitais externos. Em síntese, a estrutura de custos observada evidencia que a rentabilidade da sojicultura está intrinsecamente vinculada à gestão estratégica de insumos variáveis, à capacidade de mitigação de riscos associados à volatilidade de preços e ao equilíbrio financeiro, elementos fundamentais para a viabilidade econômica do cultivo.

Tabela 1. Composição do custeio da produção de soja em Mato Grosso da Safra 2024/2025.

CIDADE	SORRISO	P. DO LESTE	C. N. DOS PARECIS
I – TOTAL DAS DESPESAS DE CUSTEIO (A)	60,48%	58,65%	49,92%
1 – Tratores e Colheitadeiras	3,63%	4,57%	5,87%
2 – Administrador	0,33%	0,37%	0,14%
3 – Sementes e mudas	10,92%	8,21%	6,29%
4 – Fertilizantes	20,59%	21,85%	16,72%
5 – Agrotóxicos	25,01%	23,65%	20,90%
II – OUTRAS DESPESAS (B)	8,17%	8,38%	10,24%
III – TOTAL DAS DESPESAS FINANCEIRAS (C)	3,76%	2,49%	3,21%
CUSTO VARIÁVEL (A+B+C=D)	72,41%	69,52%	63,37%
IV – DEPRECIAÇÕES (E)	6,83%	9,40%	12,78%
V – OUTROS CUSTOS FIXOS (F)	2,77%	6,92%	5,56%
CUSTO FIXO (E+F=G)	9,60%	16,32%	18,34%
CUSTO OPERACIONAL (D+G=H)	82,01%	85,84%	81,71%
VI – RENDA DE FATORES (F)	17,98%	14,18%	18,30%
CUSTO TOTAL (H+I=J)	100,00%	100,00%	100,00%

Fonte: CONAB.

Nesse sentido, a otimização das despesas de custeio é fundamental, pois a adoção de como sementes, fertilizantes, defensivos agrícolas, máquina e implementos, desempenha papel catalisador no incremento da produtividade, embora implique desafios econômicos (HERRENDORF & SCHOELLMAN, 2015). A adoção de tecnologia, como sementes genericamente modificadas e máquinas agrícolas, potencializa a produção, mas também eleva os custos operacionais devido à manutenção de equipamentos e à aquisição de tecnologias. Nesse cenário, a eficiência na aplicação dos fatores produtivos, incluindo a tecnologia, torna-se imperioso para maximizar as receitas. O sistema de plantio direto, por exemplo, destaca-se como alternativa para reduzir custos e elevar a produtividade, combinando sustentabilidade e eficiência econômica (GOMES, 2019).

A rentabilidade do cultivo de soja está intrinsecamente vinculada à eficiência técnica e econômica do processo produtivo. A análise de custos, ao integrar dimensões físicas e monetárias, permite avaliar a relação entre produtividade, custos unitários e lucratividade (MARION & SEGATTI, 2006). O aumento do rendimento por hectare reduz o custo por unidade produzida, enquanto o planejamento estratégico – incluindo operações no mercado futuro – auxilia na gestão de riscos e na garantia de margens de lucro (CREPALDI, 2019). Em síntese, a conjugação de uma gestão de custos robusta, o controle de variáveis críticas, a incorporação de tecnologias adequadas e um planejamento meticuloso configura-se como imperativo para assegurar a competitividade e a rentabilidade sustentável na produção de soja.

3. Produtividade e a Eficiência Técnica/Alocativa

A análise do potencial de aprimoramento da produtividade ocorre mediante a comparação de empresas com um referencial técnico. Na abordagem transversal, avalia-se o desempenho relativo entre empresas no mesmo período, identificando ganhos decorrentes de maior eficiência operacional e/ou ajustes na escala produtiva para atingir a otimização. Já na perspectiva longitudinal, examina-se a evolução de uma mesma empresa em períodos distintos, permitindo mensurar avanços tecnológicos que elevam a produtividade agregada de todas as unidades produtivas. Essa dinâmica apresenta um modelo simplificado da função de produção, conforme proposto por Coelli et al. (2005), onde o produto y maximizável para um dado insumo x define a fronteira de possibilidades técnicas. Nesse contexto, os incrementos de produtividade podem originar-se de três fontes distintas: eficiência técnica, ganhos de escala e progresso tecnológico.

Sendo assim, a melhoria da produtividade de uma empresa pode ocorrer de três formas principais: (1) aumento da eficiência, quando uma firma reduz sua distância até a fronteira de produção, produzindo mais com os mesmos insumos ou reduzindo insumos mantendo o mesmo nível de produção; (2) exploração de economias de escala, onde empresas com elasticidade maior que 1 apresentam ganhos de escala, ou seja, aumentam a produção proporcionalmente mais do que o aumento dos insumos, enquanto aquelas com elasticidade menor que 1 enfrentam deseconomias de escala; e (3) progresso tecnológico, que desloca a fronteira para cima ($f \rightarrow f'$), permitindo maior produção para o mesmo nível de insumos.

Por sua vez, a eficiência empresarial é composta por três dimensões inter-relacionadas: eficiência de escala, eficiência técnica e eficiência alocativa (FARRELL, 1957). A eficiência de escala avalia se a empresa opera no tamanho ótimo, caracterizado por retornos constantes de escala, ou se explora economias/deseconomias de escala. A eficiência técnica mede a capacidade de maximizar a produção com os insumos disponíveis, sob retornos variáveis de escala, independentemente de preços.

Já a eficiência alocativa reflete a escolha ótima de combinações de insumos e produtos, considerando seus preços, para maximizar lucros ou minimizar custos. Embora a eficiência alocativa exija eficiência técnica (pois a empresa precisa estar na fronteira produtiva para otimizar), o inverso não é verdadeiro: uma empresa tecnicamente eficiente pode não ser alocativamente eficiente se não considerar os preços de mercado. A eficiência econômica total resulta da multiplicação desses três componentes, sintetizando a capacidade da empresa em alinhar práticas produtivas, escala e decisões econômicas.

A fronteira de produção f representa a isoquanta com as combinações mínimas de insumos para produzir uma unidade de produto, sendo que firmas na fronteira são tecnicamente eficientes. Firms além da fronteira são ineficientes e podem reduzir insumos proporcionalmente para atingir eficiência técnica. A eficiência alocativa é determinada pela isocusto π , representando a combinação de insumos de menor custo. Firms onde f e π têm a mesma inclinação, são alocativamente eficientes, embora ainda que existam outras firms tecnicamente eficiente, mas que poderiam reduzir custos ajustando a alocação de insumos. A medição da eficiência depende da construção da fronteira eficiente, utilizando métodos paramétricos ou não paramétricos.

Com relação a eficiência agrícola, evidências empíricas demonstram como a adoção relativa de fatores produtivos na agricultura orienta a trajetória da inovação tecnológica (HAYAMI & RUTTAN, 1970). Conclui-se que a mudança técnica induzida na agricultura ocorre a partir da substituição e complementaridade entre fatores de produção em dois tipos de inovação: mecânica e biológica. Sendo assim, inovação mecânica ocorre quando o custo relativo do trabalho aumenta, levando ao uso intensivo de máquinas e mais terra, reduzindo a dependência da mão de obra. Inicialmente, o ponto de equilíbrio é onde há uma combinação

ótima entre trabalho e terra. Com o aumento do custo do trabalho, a curva de possibilidade de inovação (IPC) se desloca, resultando em um novo equilíbrio onde o uso de máquinas substitui o trabalho, tornando terra e potência mecânica complementares e trabalho e terra substitutos.

A inovação biotecnológica segue um processo semelhante, mas em resposta ao aumento do custo relativo da terra. Inicialmente, o equilíbrio ocorre com uma combinação ótima entre terra e fertilizante. Com o avanço da biotecnologia, variedades agrícolas mais eficientes em absorver fertilizantes são desenvolvidas, reduzindo a necessidade de terra e aumentando o uso de insumos químicos. Isso desloca a curva IPC e estabelece um novo equilíbrio onde fertilizante e infraestrutura da terra são complementares, enquanto fertilizante e terra se tornam substitutos. Portanto, a inovação técnica é impulsionada por mudanças nos preços relativos dos fatores de produção.

4. Contextualização Empírica

Os métodos paramétricos em estudos de eficiência envolvem a definição estrutural de uma função de produção e a estimação de seus parâmetros mediante técnicas econométricas. No entanto, os modelos determinísticos convencionais partem do pressuposto de que quaisquer desvios observados em relação à fronteira de produção são atribuíveis integralmente à ineficiência técnica, desconsiderando a possibilidade de interferências oriundas de fatores exógenos, a exemplo de erros de medição ou flutuações aleatórias. Para contornar essa restrição, foi proposto o modelo de fronteira estocástica, que decompõe sistematicamente as fontes de variação, segregando o efeito da ineficiência técnica (de natureza assimétrica) do termo estocástico de erro (simétrico), integrando ambas as componentes em sua formulação. Essa abordagem confere maior robustez e aderência à realidade empírica, uma vez que contempla, simultaneamente, a heterogeneidade intrínseca aos dados e as deficiências operacionais, refinando assim a acurácia das conclusões sobre eficiência produtiva.

O método introduzido por Aigner et al. (1977) reside na especificação de um erro composto, no qual um componente aleatório (v_i), associado a fatores estocásticos, é adicionado ao termo de ineficiência técnica (u_i), superando a rigidez do modelo determinístico puro. A representação geral assume a forma:

$$\ln(y_i) = f(x_i, \alpha) + v_i - u_i \quad (1)$$

Na modelagem, y_i denota o volume observado de produção da i -ésima unidade produtiva, $f(\cdot)$ corresponde à função de produção teórica, x_i é o vetor de insumos utilizados pela unidade, α representa o vetor de parâmetros técnicos a serem estimados, v_i é o termo estocástico de erro (simétrico, com distribuição normal) e u_i é uma variável aleatória não negativa que quantifica a ineficiência técnica da firma. A eficiência técnica (TE_i) da i -ésima unidade é definida como:

$$TE_i = \exp(-u_i) \quad (2)$$

Sendo que $TE_i \in (0,1]$, onde valores próximos a 1 indicam proximidade à fronteira produtiva ótima, e valores inferiores revelam perdas associadas à ineficiência na alocação de recursos. Essa decomposição dual (v_i e u_i) permite discriminar entre variações aleatórias exógenas e falhas operacionais intrínsecas ao processo produtivo.

Uma vez que apenas o termo composto de erro $w_i = v_i - u_i$ é passível de observação empírica, a recuperação do componente de ineficiência técnica u_i (variável latente não negativa) é realizada por meio de sua expectância condicional, dado o valor estimado de w_i .

Seguindo a metodologia proposta por Coelli et al. (2005), a estimação de u_i baseia-se na expressão:

$$u_i = E\{u_i | w_i\} \quad (3)$$

Para estimação do modelo serão usados dados das despesas de custeio de produção da soja disponibilizada pela CONAB, entre os anos de 2007 a 2024, para os municípios de Sorriso, Primavera do Leste e Campo Novo dos Parecis. Essas despesas representam o custeio com fatores técnicos de produção, tais como: operacionalização de máquinas e tratores (M), sementes geneticamente modificadas (S), fertilizantes (F) e agrotóxicos (T). Enquanto que a produtividade (Y) é medida pela rentabilidade da relação entre produção (P) e área produzida (A), com dados concedidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Além disso, os preços são corrigidos ao deflacionar os valores de custeio pelo Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna – (IGP-DI), que avalia os preços das matérias-primas agrícolas e industriais, divulgados pelo Instituto Brasileiro de Economia (FGV-IBRE). Portanto, o modelo de regressão estimado é:

$$(P_t / A_t) = Y_t = \alpha + \beta_k (\text{CustoInsumo}_k) + v_t - u_t \quad (4)$$

A Tabela 2 apresenta estatísticas descritivas sobre a produtividade da soja (Y) representado pelo rendimento da produção pela área plantada e os custos de produção (M, S, F e T) expressos em reais por hectares nos municípios estudados. Os resultados indicam que Sorriso possui a maior produtividade média (3.327 ton/ha), seguido por Campo Novo dos Parecis (3.258 ton/ha) e Primavera do Leste (3.220 ton/ha), com variações relativamente pequenas entre as três localidades. No entanto, a produtividade máxima registrada em Sorriso (3.870 ton/ha) é ligeiramente superior à de Campo Novo dos Parecis (3.853 ton/ha) e Primavera do Leste (3.760 ton/ha).

Tabela 2. Análises descritivas dos dados.

Cidade	Variável	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Sorriso	Y (ton/ha)	3.327	0.290	2.880	3.870
	M (R\$/ha) ¹	134.29	50.80	86.89	262.41
	S (R\$/ha) ¹	325.1	147.91	175.8	721.5
	F (R\$/ha) ¹	1509	396.21	1071	2536
	T (R\$/ha) ¹	1039.9	430.07	361.5	1803.2
Primavera do Leste	Y (ton/ha)	3.220	0.239	3.000	3.760
	M (R\$/ha) ¹	162.92	56.81	96.65	313.20
	S (R\$/ha) ¹	343.1	80.50	223.9	517.4
	F (R\$/ha) ¹	1482.2	420.74	948.1	2627.1
	T (R\$/ha) ¹	1247.7	493.08	445.9	2003.3
Campo Novo dos Parecis	Y (ton/ha)	3.258	0.253	2.932	3.853
	M (R\$/ha) ¹	161.60	92.10	89.05	392.59
	S (R\$/ha) ¹	318.0	87.14	200.0	462.9
	F (R\$/ha) ¹	1405	281.30	1040	2219
	T (R\$/ha) ¹	1110.6	386.01	489.8	1587.4

Fonte: CONAB; IBGE.

Nota: 1 – valores deflacionados pelo IGP-DI.

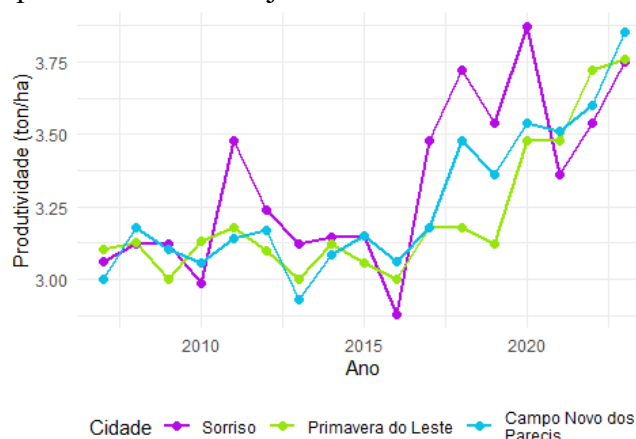
Os custos médios com fertilizantes são os mais elevados entre os insumos produtivos em todas as regiões, sendo mais altos em Sorriso (1.509 R\$/ha), seguido por Primavera do Leste (1.482,2 R\$/ha) e Campo Novo dos Parecis (1.405 R\$/ha). Já os gastos com agrotóxicos são mais expressivos em Primavera do Leste (1.247,7 R\$/ha) e apresentam maior variação entre os municípios, indo de 1039,9 R\$/ha em Sorriso até 1110,6 R\$/ha em Campo Novo dos Parecis. O custo com sementes geneticamente modificadas é ligeiramente mais alto em Primavera do Leste (343,1 R\$/ha) e Campo Novo dos Parecis (318 R\$/ha), enquanto o menor valor médio é observado em Sorriso (325,1 R\$/ha).

O custo com máquinas e tratores apresenta diferenças mais expressivas entre os municípios. Primavera do Leste registra o maior custo médio (162,92 R\$/ha), enquanto Sorriso apresenta um custo menor (134,29 R\$/ha), seguido por Campo Novo dos Parecis (161,60 R\$/ha). Os desvios-padrão indicam uma variação significativa nos custos de produção, principalmente nos gastos com fertilizantes e agrotóxicos, o que pode refletir diferenças nas práticas agrícolas, no acesso a insumos e nas condições de cultivo ao longo do período analisado.

5. Resultados

A Figura 1 mostra a evolução da produtividade agrícola em rendimentos nos municípios de Sorriso, Primavera do Leste e Campo Novo dos Parecis ao longo dos anos, evidenciando um crescimento geral, especialmente após 2015. Após esse ano, em Sorriso, houve um crescimento de 30,2% da produtividade, enquanto nos anos anteriores esse crescimento foi de apenas 2,8%, porém, com alta oscilação, atingindo um pico em 2011 e caindo nos anos seguintes. Portanto, Sorriso apresenta a maior volatilidade, enquanto Primavera do Leste tem uma trajetória mais estável, e Campo Novo dos Parecis mostra uma evolução consistente. Esse municípios com o crescimento da produtividade mais estáveis, também apresentaram forte avanço após 2015, com Primavera do Leste crescendo 25,3% e Campo Novo dos Parecis crescendo 25,9%. Apesar de algumas quedas pontuais, as três cidades convergem para níveis similares nos anos mais recentes, refletindo uma aproximação de como a soja é manejada.

Figura 1. Evolução da produtividade da soja.



Fonte: elaborado pelo autor.

As estimações para Sorriso (Tabela 3) analisam o impacto dos custos de diferentes insumos na produtividade agrícola, utilizando tanto o método de Mínimos Quadrados Ordinários (OLS) quanto o modelo de Fronteira Estocástica (SFA). O OLS fornece uma

estimativa média do impacto dos insumos sem considerar ineficiências produtivas, enquanto o SFA permite separar os efeitos dos insumos daqueles decorrentes de ineficiência técnica. Em ambos os modelos, os custos com maquinário apresentaram um coeficiente positivo e estatisticamente significativo, indicando que investimentos em mecanização estão associados a um aumento na produtividade agrícola. No entanto, no modelo Selecionado (2) do OLS, a variável maquinário foi removida devido à alta multicolinearidade, sugerindo que seu efeito pode estar sendo absorvido por outras variáveis, como sementes geneticamente modificadas. Essas sementes se mostraram estatisticamente significativas apenas no modelo Selecionado (2) do OLS, mas não foram robustas no SFA, indicando que seu impacto pode depender da interação com outros insumos. Portanto, pode-se dizer que um aumento de 1% nos custos com operacionalização de maquinário geraria um ganho de 23,5% em produtividade.

Tabela 3. Estimações para Sorriso.

Parâmetros	OLS			SFA		
	Completo	Selecionado ^{1:2} (1)	Selecionado ^{1:3} (2)	Completo	Selecionado ^{1:2} (1)	Selecionado ^{1:3} (2)
α	0.939 (0.112)	1.011 (0.094)	0.350 (0.212)	1.227** (0.005)	1.256** (0.003)	0.362 (0.717)
Ln(M)	0.184 (0.334)	0.221** (0.003)	—	0.139 (0.315)	0.235*** (0.000)	—
Ln(S)	0.055 (0.701)	—	0.148** (0.006)	0.083 (0.424)	—	0.148 (0.881)
Ln(F)	-0.103 (0.300)	-0.121 (0.170)	—	-0.159* (0.031)	-0.157* (0.011)	—
Ln(T)	-0.028 (0.622)	—	—	0.004 (0.928)	—	—
σ^2	—	—	—	0.018 (0.241)	0.018 (0.355)	0.004 (0.846)
γ	—	—	—	0.922*** (0.000)	0.920*** (0.000)	0.049 (0.960)
R ² ajustado	0.338	0.400	0.359	—	—	—
LogLikelihood	23.944	23.520	22.326	24.323	24.615	22.326
Eficiência Média	—	—	—	0.953	0.953	0.988

Fonte: elaborado pelo autor.

Nota: 1 – foi usado stepwise com método “backward”; 2 – foi retirado a variável S devido sua alta multicolinearidade com outras variáveis pelo indicador VIF; 3 – foi retirado a variável M devido sua alta correlação com a variável S, a qual permaneceu no modelo.

Os fertilizantes apresentaram um efeito negativo e significativo no modelo SFA, sugerindo que seu uso pode estar gerando ineficiências, possivelmente devido à aplicação excessiva ou manejo inadequado, representando uma perda de 15,7% da produtividade pelo seu incremento. Os agrotóxicos, por outro lado, não foram estatisticamente significativos em nenhum dos modelos, indicando que seus custos não exercem um efeito claro sobre a produtividade agrícola. Um dos achados mais relevantes do SFA foi o coeficiente γ , próximo de 1 e altamente significativo, revelando que a maior parte da variabilidade na produtividade entre unidades produtivas se deve a ineficiências técnicas e não a choques aleatórios. Além disso, como o log-likelihood dos modelos SFA foi maior do que o dos OLS, há indícios de

que ineficiências alocativas desempenham um papel relevante na produtividade agrícola, sugerindo que melhorias na gestão dos insumos poderiam trazer ganhos expressivos de eficiência. Ainda assim, o modelo Selecionado (2), com loglikelihood mais ajustado, apresentou uma eficiência média muito boa, sendo 0,953, próximo de 1.

Para Primavera do Leste, os coeficientes do modelo OLS indicam que os custos com maquinário têm um impacto positivo e significativo na produtividade agrícola, assim como observado em Sorriso. No modelo selecionado do OLS, essa variável continua altamente significativa, reforçando que a mecanização é um fator determinante no desempenho agrícola da região. Agora, o custo com agrotóxicos também apresenta um coeficiente positivo e significativo tanto no OLS quanto no SFA, sugerindo que o uso desses insumos pode estar contribuindo para aumentar a produtividade, algo não observado nos modelos de Sorriso, onde essa variável não teve significância estatística. Já os custos com sementes e fertilizantes não apresentaram impacto significativo, o que indica que esses insumos podem não ser fatores determinantes na produtividade em Primavera do Leste.

Tabela 4. Estimações para Primavera do Leste.

Parâmetros	OLS		SFA	
	Completo	Selecionado ¹	Completo	Selecionado ¹
α	-0.107 (0.758)	-0.142 (0.559)	0.087 (0.759)	-0.135 (0.892)
Ln(M)	0.199** (0.003)	0.194*** (0.000)	0.213*** (0.000)	0.194 (0.846)
Ln(S)	0.051 (0.451)	—	0.020 (0.688)	
Ln(F)	-0.052 (0.448)	—	-0.084 (0.125)	
Ln(T)	0.049 (0.199)	0.046* (0.041)	0.077** (0.004)	0.046 (0.962)
σ^2	—	—	0.002 (0.059)	0.001 (0.977)
γ	—	—	0.999*** (0.000)	0.049 (0.960)
R ² ajustado	0.641	0.656	—	—
LogLikelihood	32.432	31.501	33.503	31.500
Eficiência Média	—	—	0.945	0.993

Fonte: elaborado pelo autor.

Nota: 1 – foi usado stepwise com método “backward”.

Ao comparar com Sorriso, percebe-se que em ambas as regiões o custo com maquinário tem um efeito positivo e significativo, indicando um padrão consistente de que a mecanização impulsiona a produtividade agrícola, representando um aumento de 21,3% na produtividade. No entanto, enquanto em Sorriso os fertilizantes tiveram um efeito negativo e significativo no SFA, sugerindo ineficiências no uso, em Primavera do Leste eles não foram estatisticamente significativos. Além disso, o uso de agrotóxicos, que não teve efeito relevante em Sorriso, aparece como um fator produtivo positivo e significativo no SFA de Primavera do Leste, sugerindo diferenças no manejo agrícola entre as regiões, indicando um acréscimo de 7,7% na produtividade.

Outro ponto importante é o coeficiente γ , que foi elevado e significativo em Sorriso, indicando alta ineficiência técnica, enquanto em Primavera do Leste, no modelo completo do SFA, γ foi significativo, mas no modelo selecionado, não foi. Isso sugere que, ao considerar todas as variáveis, ainda há alguma ineficiência produtiva na região, mas quando o modelo é reduzido, essa ineficiência deixa de ser estatisticamente relevante. Além disso, o log-likelihood do modelo completo de SFA em Primavera do Leste foi maior do que o do modelo completo da OLS, indicando a presença de ineficiências quando se considera todos os custos envolvidos. Portanto, considera-se que a eficiência média de Primavera do Leste foi de 0,945, inferior a Sorriso. Esse resultado sugere que, embora as ineficiências técnicas sejam mais evidentes em Sorriso, os produtores dessa região podem estar operando de forma relativamente mais eficiente do que os de Primavera do Leste.

Para Campo Novo dos Parecis, os coeficientes estimados indicam que os custos com maquinário são altamente significativos e positivos em todos os modelos, tanto no OLS quanto no SFA. Isso sugere que a mecanização é um fator determinante para o aumento da produtividade agrícola na região, um padrão semelhante ao observado em Sorriso e Primavera do Leste. Além disso, o custo com sementes geneticamente modificadas também apresentou um efeito positivo e significativo nos modelos selecionados de OLS e SFA, indicando que esse insumo desempenha um papel relevante na produtividade agrícola, o que não foi um resultado robusto nas outras duas regiões. Por outro lado, os custos com fertilizantes e agrotóxicos não foram estatisticamente significativos em nenhum dos modelos, o que sugere que esses insumos podem não impactar diretamente a produtividade na região.

Tabela 5. Estimções para Campo Novo dos Parecis.

Parâmetros	OLS		SFA	
	Completo	Selecionado	Completo	Selecionado
α	0.101 (0.940)	-0.652 (0.254)	0.107 (0.917)	-0.650 (0.225)
Ln(M)	0.430*** (0.000)	0.409*** (0.000)	0.430*** (0.000)	0.409*** (0.000)
Ln(S)	0.314 (0.185)	0.326** (0.006)	0.314 (0.102)	0.327*** (0.000)
Ln(F)	-0.111 (0.539)	—	-0.112 (0.412)	—
Ln(T)	0.003 (0.156)	—	0.003 (0.982)	—
σ^2	—	—	0.009* (0.036)	0.009 (0.066)
γ	—	—	0.007 (0.983)	-0.018 (0.948)
R ² ajustado	0.790	0.814	—	—
LogLikelihood	15.458	15.165	15.458	15.165
Eficiência Média	—	—	0.996	0.996

Fonte: elaborado pelo autor.

Nota: 1 – foi usado stepwise com método “backward”.

Ao comparar com Sorriso e Primavera do Leste, observa-se que o efeito do maquinário é consistente em todas as regiões, sempre positivo e significativo, reforçando a importância da mecanização na produtividade agrícola, indicando um aumento de 40,9% na

produtividade. No entanto, a relevância das sementes geneticamente modificadas é um diferencial de Campo Novo dos Parecis, pois aqui essa variável apresentou impacto positivo e significativo, enquanto em Sorriso e Primavera do Leste sua influência foi menos robusta, sendo representando por um acréscimo de 32,7%. Além disso, diferentemente de Sorriso, onde o uso de fertilizantes teve um efeito negativo e significativo no SFA, em Campo Novo dos Parecis essa variável não apresentou impacto relevante. Em relação à ineficiência técnica (γ), o coeficiente não foi estatisticamente significativo em nenhum dos modelos para Campo Novo dos Parecis, o que indica que as unidades produtivas da região operam muito próximas da fronteira de eficiência. Isso é corroborado pela eficiência média de 0,996, superior às encontradas para Sorriso (entre 0,953 e 0,988) e Primavera do Leste (0,945), sugerindo que Campo Novo dos Parecis é a região com a gestão mais eficiente dos custos dos insumos agrícolas.

Por fim, os valores de R^2 ajustado para os três municípios indicam variações significativas na explicação da variabilidade dos dados. Para Sorriso, o modelo completo explica apenas 33,8% da variação, e com a seleção de variáveis, o ajuste melhora ligeiramente para 40% e 35,9%. Em Primavera do Leste, o modelo completo explica 64,1% da variação, com um pequeno aumento para 65,6% ao selecionar variáveis. Já em Campo Novo dos Parecis, o modelo completo explica 79% da variação, com uma melhoria para 81,4% após a seleção de variáveis, destacando-se como o mais eficiente entre os três municípios. Em geral, a seleção de variáveis melhora o ajuste em todos os casos, mas o impacto é mais pronunciado em Campo Novo dos Parecis.

6. Conclusão

A análise dos dados e dos modelos estimados para os municípios de Sorriso, Primavera do Leste e Campo Novo dos Parecis revela que as oscilações nos custos de produção têm gerado respostas distintas quanto à adoção de tecnologias e ao impacto na fronteira de produtividade agrícola. Em um contexto de pressões inflacionárias, especialmente nas variáveis de custos com insumos como maquinário, sementes geneticamente modificadas e fertilizantes, observou-se que a mecanização (custo com maquinário) exerce um efeito positivo e significativo sobre a produtividade em todas as regiões estudadas. Este padrão sugere que, diante de variações nos custos, os produtores tendem a adotar tecnologias que, embora exigentes em termos de investimento inicial, contribuem de maneira consistente para a elevação da produtividade.

No entanto, a resposta a custos como fertilizantes e agrotóxicos variou entre as regiões. Em Sorriso, observou-se um efeito negativo significativo no uso excessivo desses insumos, refletindo ineficiências no manejo. Em contraste, em Primavera do Leste, os agrotóxicos mostraram um impacto positivo, indicando que a adaptação tecnológica pode ocorrer de maneira distinta dependendo das práticas agrícolas locais e do gerenciamento dos insumos.

Quanto à fronteira de produtividade, a análise dos modelos de Fronteira Estocástica revelou que grande parte da variabilidade na produtividade é atribuída a ineficiências técnicas, especialmente em Sorriso, o que sugere que a região ainda enfrenta desafios significativos em termos de otimização do uso dos insumos. Por outro lado, as regiões de Campo Novo dos Parecis e Primavera do Leste apresentam maior eficiência média, com o campo de produção operando mais próximo da fronteira de produtividade, indicando um gerenciamento mais eficiente dos custos de insumos.

Portanto, é possível afirmar que as oscilações nos custos de produção têm incentivado, principalmente, a adoção de tecnologias relacionadas à mecanização, com efeitos positivos na

produtividade. No entanto, a reação a outras variáveis, como sementes e fertilizantes, parece ser mais marginal, com ajustes nos métodos de aplicação e manejo, ao invés de inovações tecnológicas significativas. As diferenças nas respostas indicam que a capacidade de adaptação das regiões depende não apenas das pressões inflacionárias, mas também das práticas locais e da eficiência no uso dos recursos disponíveis. A fronteira de produtividade, portanto, reflete essas variações, mostrando que há um espaço considerável para melhorias, especialmente nas regiões com maior ineficiência técnica.

7. Referências

AIGNER, D.; LOVELL, C.; SCHMIDT, P. Formulation and estimation of stochastic production function models. *Journal of Econometrics*, Vol. 6, pp. 21-37, 1977.

ARTUZO, F. D. et al. Gestão de custos na produção de milho e soja. 2018.

BATISTA, A. et al. Gestão de custos na produção agrícola: um estudo na cultura da soja. 2022.

BINSWANGER, Hans P. How Agricultural Producers Respond to Prices and Government Investments. paper presented at the First Annual World Bank Conference on Development Economics, 1989.

BRINKMAN, George L. The competitive position of Canadian agriculture. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie*, v. 35, n. 2, p. 263-288, 1987.

CREPALDI, S. A. Contabilidade Rural: Uma Abordagem Decisória, 9. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

COELLI, T.; RAO, D.; O'DONNELL, C.; BATTESE, G. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis, Springer, New York, second edition, 2005.

FARRELL, M. The measurement of productive efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society Series A*, Vol. 120, No. 3, pp. 253-281, 1957.

FULGINITI, Lilyan E.; PERRIN, Richard K. Prices and productivity in agriculture. *The review of economics and statistics*, p. 471-482, 1993.

GOMES, R. C. Apuração dos custos de produção da cultura da soja na região noroeste do paran  pela aplicação do custeio variável. 2019.

HAYAMI, Y., RUTTAN, V. W. Factor prices and technical change in agricultural development: The United States and Japan, 1880-1960. *Journal of political economy*, 78(5), 1115-1141, 1970.

HERRENDORF, B.; SCHOELLMAN, T. Why is measured productivity so low in agriculture? *Review of Economic Dynamics*, v. 18, n. 4, p. 1003-1022, 2015.

LATRUFFE, Laure. Competitiveness, productivity and efficiency in the agricultural and agri-food sectors. 2010.

KOBAYASHI, S., KUNIMITSU, Y. Assessment of soybean productivity and its changing factors in Japan based on the production cost statistics. Heliyon, 10(20), 2024.

MARION, J. C.; SEGATTI, S. Sistema de gestão de custos nas pequenas propriedades leiteiras. Custos e @gronegócios online, 2(2), 2-7, 2006.

SANTOS, J. J. Manual de contabilidade e análise de custos. Grupo Gen-Atlas, 2017.

SCHULTZ, Theodore William (Ed.). Distortions of agricultural incentives. 1978.

PADOVEZE, C. L. Contabilidade de Custos: Teoria, prática, integração com sistemas de informações (erp), São Paulo: Cengage Learning, 2013.

PORTER, M. The Competitive Advantage of Nations, The Free Press, New York, 1990.