

Publicação da Secretaria de Política Agrícola
do Ministério da Agricultura e Pecuária,
editada pela Embrapa

e-ISSN 2317-224X
ISSN 1413-4969
Página da revista: www.embrapa.br/rpa

Artigo

Ganhos de produtividade e expansão agrícola em Minas Gerais (2002–2024)

Resumo – Este estudo analisa a dinâmica da produção de grãos em Minas Gerais entre 2002 e 2024, investigando a contribuição relativa da área colhida, da produtividade física e das mudanças estruturais na composição das culturas. Utiliza-se o método de decomposição *Logarithmic Mean Divisia Index* (LMDI) aditivo, aplicado a dados da PAM/IBGE para dez culturas relevantes, incorporando inferência estatística por meio de *bootstrap* temporal em blocos. Os resultados evidenciam forte heterogeneidade temporal e indicam a existência de duas fases distintas. Entre 2002 e 2017, o crescimento da produção foi predominantemente intensivo, sustentado por ganhos de produtividade, estatisticamente robustos na maior parte do período. A partir de 2018, observa-se uma inflexão no padrão de crescimento, com aumento da relevância da expansão da área colhida, caracterizando uma mudança estrutural recente. O efeito estrutura mostrou-se volátil e, em geral, estatisticamente não significativo, exercendo papel complementar associado a realocações pontuais entre culturas. A soja emergiu como o principal vetor do crescimento, enquanto milho e café apresentaram trajetórias contrastantes de produtividade e participação relativa. Os achados contribuem para o entendimento da evolução agrícola regional e oferecem subsídios para políticas de inovação, uso eficiente da terra e planejamento territorial.

Palavras-chave: LDMI, mudanças estruturais, produção de grãos.

Productivity gains and agricultural expansion in Minas Gerais, Brazil (2002–2024)

Abstract – This study examines the dynamics of grain production in Minas Gerais, Brazil, from 2002 to 2024, focusing on the relative contributions of harvested area,

Marlon Bruno Salazar 
Universidade Federal de São João del Rei,
Departamento de Ciências Econômicas,
São João del Rei, MG, Brasil
E-mail: msalazar@ufsj.edu.br

Recebido
2/1/2026

Aceito
25/3/2026

Como citar
SALAZAR, M.B. Ganhos de produtividade e expansão agrícola em Minas Gerais (2002–2024). *Revista de Política Agrícola*, v.35, e02093, 2026. DOI: <https://doi.org/10.35977/2317-224X.rpa2026.v35.02093>.

physical productivity, and structural changes in crop composition. We apply the additive Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI) method to IBGE's PAM data for ten major crops, incorporating statistical inference through block bootstrap techniques. The results reveal pronounced temporal heterogeneity and identify two distinct phases. Between 2002 and 2017, production growth followed an intensive pattern, largely driven by productivity gains that were statistically robust over most of the period. From 2018 onward, an inflection is observed, with production growth increasingly explained by the expansion of harvested area, indicating a recent structural shift. The structural effect proved volatile and generally statistically insignificant, playing a complementary role linked to episodic reallocations across crops. Soybeans emerged as the main growth driver, while maize and coffee displayed contrasting trajectories in productivity and relative participation. Overall, the findings advance the understanding of regional agricultural dynamics and provide relevant insights for policies aimed at technological innovation, efficient land use, and territorial planning.

Keywords: LMDI, structural change, crop production.

Introdução

A produção mundial de grãos tem assumido, nas últimas duas décadas, papel central na segurança alimentar, na estabilidade dos mercados internacionais de commodities e na competitividade das economias agrícolas. Mudanças no padrão de consumo global, sobretudo nos países emergentes, ampliaram significativamente a demanda por alimentos, rações e biocombustíveis, impulsionando a expansão da produção e a adoção de tecnologias mais intensivas em conhecimento. Dados da FAO (2025) apontam que o crescimento da produtividade agrícola vem sendo responsável pela maior parte do aumento da oferta de alimentos nas últimas décadas, superando amplamente a contribuição da expansão de área cultivada. Fuglie (2018) destaca que o progresso técnico vem respondendo por parcela dominante do crescimento agrícola global, sinalizando que ganhos de eficiência se tornaram a principal via de aumento da produção.

Por sua vez, a produção de grãos no Brasil tem passado por transformações estruturais importantes desde o início do século 21, influenciada por avanços tecnológicos, ampliação da demanda internacional e adaptação às condições climáticas variáveis. Segundo o relatório mais recente do Mapa (Brasil, 2024), Projeções do Agronegócio: Brasil 2023/24 a 2033/34, o agronegócio nacional apresenta perspectivas de crescimento relevante para a próxima década e continua sendo uma âncora central da segurança alimentar e da economia agrícola do País. No cenário nacional, a dinâmica de produtividade agrícola continua sendo apontada como um dos principais fatores que explicam o aumento da oferta de alimentos e grãos, superando em muitos casos a expansão da área cultivada. Esse padrão reflete a transição agrícola global, em que

os ganhos de eficiência, por meio de tecnologia, melhor manejo e uso intensivo de recursos, consolidam-se como principal vetor de crescimento do agronegócio. Nesse contexto, compreender os determinantes da expansão da produção – como a incorporação de novas áreas, os ganhos de produtividade ou a realocação estrutural entre culturas – permanece como uma questão empírica central para a economia agrícola aplicada.

Apesar da vasta literatura sobre crescimento agrícola no País, grande parte dos estudos empíricos ainda se concentra em análises agregadas de longo prazo ou em decomposições baseadas em métodos tradicionais, como o *shift-share*, que apresentam limitações conhecidas de consistência teórica, dependência do ano-base e presença de resíduos interpretativos. Além disso, poucos trabalhos exploram de forma sistemática a heterogeneidade temporal dos determinantes do crescimento agrícola em unidades subnacionais complexas, nas quais coexistem culturas modernas altamente intensivas em capital e sistemas produtivos mais tradicionais.

Dentro desse contexto macro, Minas Gerais assume relevância estratégica. A recente publicação Seapa-MG (2025) revela que para a safra 2024/2025 a expectativa é de um retorno mais favorável para a produção de grãos no estado, com projeção de aproximadamente 17,9 milhões de toneladas, considerando clima mais favorável e melhoria nas condições de produção. A escolha de Minas Gerais como objeto de estudo justifica-se, além disso, por sua expressiva heterogeneidade agroecológica e diversidade agrícola. O estado abrange desde grandes commodities de grãos, como milho e soja, até culturas voltadas ao mercado interno, como feijão e arroz, além de lavouras permanentes de elevada relevância econômica, a exemplo do café.

Este artigo parte da premissa de que o crescimento da produção agrícola não é um processo homogêneo ao longo do tempo, podendo alternar entre fases predominantemente intensivas, sustentadas por ganhos de produtividade, e fases mais extensivas, baseadas na expansão da área cultivada. Assim, mais do que identificar a contribuição média desses fatores, é fundamental compreender como e quando cada mecanismo prevaleceu. Para isso, o estudo adota o método de decomposição *Logarithmic Mean Divisia Index* (LMDI), em sua versão aditiva, aplicado à produção de grãos em Minas Gerais no período de 2002 a 2024.

A partir dessa abordagem, este trabalho se organiza em torno de três hipóteses econômicas centrais, a serem testadas com base na decomposição da produção de grãos no estado: i) o aumento da produção de grãos foi majoritariamente explicada pelo aumento da produtividade no período estudado; ii) a partir de 2015, observa-se um ponto de inflexão no padrão de crescimento com o aumento da relevância da expansão da área colhida como principal vetor de crescimento da produção; e iii) as mudanças na composição das culturas, capturadas pelo efeito estrutura, exerceram papel complementar, mas economicamente relevante, refletindo processos de especialização produtiva e realocação eficiente da terra entre culturas com diferentes níveis de produtividade física.

Além da contribuição interpretativa, o artigo também apresenta uma inovação metodológica aplicada ao incorporar inferência estatística à decomposição LMDI por meio de *bootstrap* temporal em blocos. Embora o LMDI seja amplamente reconhecido por sua consistência e ausência de resíduos, sua aplicação tradicional é determinística, não fornecendo medidas de incerteza associadas aos efeitos estimados. Ao empregar técnicas de reamostragem adequadas à estrutura temporal dos dados agrícolas, o estudo amplia o alcance analítico do método, permitindo avaliar a robustez estatística dos efeitos de escala, produtividade e estrutura ao longo do tempo.

Dessa forma, o objetivo do artigo é quantificar e interpretar a contribuição relativa da área colhida, da produtividade física e das mudanças estruturais na composição das culturas para a dinâmica da produção de grãos em Minas Gerais entre 2002 e 2024, destacando a heterogeneidade temporal desses mecanismos. Com isso, o trabalho contribui para a literatura de economia agrícola apli-

cada ao oferecer evidências empíricas consistentes sobre os determinantes do crescimento agrícola em uma das regiões mais relevantes do País, além de fornecer subsídios analíticos para o debate sobre uso eficiente da terra, sustentabilidade produtiva e planejamento agrícola regional.

Revisão de literatura

A literatura voltada à decomposição de variáveis agrícolas é vasta, com predominância de estudos baseados no método *shift-share*. Embora essa abordagem seja útil para fins comparativos, a Análise de Decomposição de Índices (IDA) fundamenta-se em bases teóricas e metodológicas distintas. É justamente na exploração dessas vantagens analíticas da IDA que o presente trabalho busca contribuir para a literatura.

Carvalho et al. (2012) verificaram as influências dos efeitos área e produtividade na produção de celulose brasileira, de 1960 a 2007, e concluíram que o efeito de maior relevância para o crescimento da atividade foram os ganhos em produtividade. O efeito área teve pouca participação, visto que a expansão da área plantada se iniciou na década de 1990, demonstrando que os reflorestamentos no Brasil são recentes. Ainda assim, o setor tornou-se competitivo, tanto no cenário nacional quanto no internacional, em virtude das vantagens comparativas que o País apresenta na produção de celulose.

Bittencourt & Gomes (2014) adicionaram à sua análise das fontes de crescimento da produção de cana-de-açúcar nas regiões Sudeste e Centro-Oeste o efeito composição, o qual deriva de mudanças estruturais na produção – basicamente, a substituição de áreas de culturas menos rentáveis por aquelas mais produtivas. Dentro do período analisado (1990 a 2009), verificaram a preponderância do rendimento médio na região Sudeste e do efeito área no Centro-Oeste. Porém, no período de maior crescimento em ambas as regiões (2005 a 2009), o efeito composição foi o maior responsável pela expansão.

Padrão et al. (2012) optaram pela decomposição do crescimento da produção brasileira de grãos nos efeitos área, produtividade e localização geográfica, sendo este último fundamentado na teoria das vantagens comparativas. Sua análise, que englobou todos os estados da Federação nos triênios 1989/1991 e 2006/2008, apontou o efeito

localização como o maior responsável pelo crescimento da produção, por causa das vantagens comparativas de algumas regiões em detrimento de outras. Mesmo assim, percebeu-se uma reestruturação dessas culturas no Brasil, com as regiões Norte e Nordeste, antes menos participativas, tornando-se mais expressivas graças a investimentos em tecnologia e ao próprio potencial produtivo e competitivo do País.

Utilizando os mesmos efeitos para a decomposição, mas trabalhando com mesorregiões estaduais, Felipe et al. (2010) estudaram a dinâmica da agricultura brasileira entre 1991 e 2008. Concluíram que as atividades voltadas à exportação, como os cultivos de soja e cana-de-açúcar, tiveram maior crescimento em função da demanda externa e da produção interna de biocombustíveis, obtendo ganhos em produção e área. Já as culturas voltadas ao mercado interno apresentaram menor crescimento, dinâmica verificada mais recorrentemente nos plantios de arroz, feijão e mandioca.

No relatório da Embrapa sobre a evolução da produção de mandioca em Alagoas, Cuenca et al. (2015) avaliaram, além dos efeitos área e produtividade, o efeito preço no período de 1990 a 2013. Atestaram que os efeitos produtividade e preço influenciaram positivamente o Valor Bruto da Produção (VBP) da mandioca alagoense, enquanto a área colhida atuou negativamente. Almeida (2003) foi além, investigando não só os efeitos rendimento e área (sendo este decomposto em escala e substituição), mas também a ação dos efeitos composição e localização geográfica para a orizicultura mato-grossense entre 1980 e 2001. Comprovou que parte da cultura de arroz no estado é realizada para abertura e domesticação da terra com posterior substituição por outros plantios, além de ser utilizada na recuperação de pastagens e na rotação com a soja. Todas as culturas analisadas (algodão, arroz, milho e soja) apresentaram crescimento na produção no período, com o arroz sofrendo maior influência dos efeitos rendimento e localização geográfica, enquanto o efeito área foi negativo.

Empregando os mesmos efeitos que Almeida (2003), com exceção do efeito composição, Felipe & Maximiano (2008) examinaram a dinâmica das principais culturas no estado de São Paulo no período de 1990 a 2005. Concluíram que as culturas de cana-de-açúcar e soja foram as que mais absorveram áreas, enquanto café e algodão foram as que mais cederam. Banana e mandioca apresentaram os

maiores acréscimos na produção anual. A maioria das culturas não exibiu um comportamento rígido, evidenciando o grande dinamismo do setor agrícola paulista.

Diferindo de Almeida (2003) por não decompor o efeito área em escala e substituição, mas usando os demais efeitos de maneira similar, Oliveira et al. (2008) averiguaram os principais fatores determinantes no crescimento da atividade cafeeira em Minas Gerais e em duas regiões específicas do estado: o Sudoeste e o Cerrado. Comprovaram que a cafeicultura mineira, entre 1990 e 2006, foi influenciada predominantemente pelos efeitos área e composição. A região Sudoeste apresentou resultado semelhante ao do estado como um todo, tendo nos efeitos área e composição os principais responsáveis pelo crescimento, diferindo do Cerrado, que exibiu ganhos mais relevantes em área e produtividade.

Em suma, todos os trabalhos analisados verificaram os efeitos área e produtividade em seus respectivos objetos de pesquisa, destacando-se também a relevância do efeito composição (ou estrutura), presente na maioria das obras e com resultados significativos. Logo, observa-se que os artigos que usam o método *shift-share* para decomposição de variáveis na produção agrícola tendem a apresentar estruturas analíticas semelhantes. As maiores diferenças residem nas unidades regionais analisadas, com autores optando por estados, regiões, mesorregiões ou pelo País como um todo.

Entretanto, este trabalho emprega uma abordagem distinta do *shift-share*: a IDA, especificamente por meio do método LMDI. Essa metodologia fundamenta-se nos índices de Divisia, enquanto o *shift-share* baseia-se nos índices de Laspeyres (Oh & Choi, 2015). Além disso, Balk (2008) aponta três limitações no modelo *shift-share*: i) falha nos testes de monotonicidade global, homogeneidade linear e inversão do tempo; ii) sensibilidade ao período-base (pesos fixos); e iii) presença de resíduos interpretativos (que aumentam à medida que a janela de análise se amplia). Submetido aos mesmos testes, o IDA atende a todos os requisitos, com desempenho superior ao *shift-share* (Houston, 1967; Stevens & Moore, 1980; Rose & Casler, 1996).

Outra crítica ao método *shift-share* deriva de Stevens & Moore (1980), que ponderam sobre a fraqueza fundamentação teórica do método, além de seu suporte empírico questionável. Os autores apon-

tam que, embora criticado por ser uma abordagem excessivamente simplificada e por carecer de testes definitivos sobre sua precisão, o *shift-share* permanece popular. Rose & Casler (1996) identificam outra limitação teórica ao notar que o método admite que o crescimento de um setor a taxas divergentes da média nacional só pode ser explicado por vantagens comparativas regionais. Assim, como conclui Houston (1967), o *shift-share* caracteriza-se mais como uma ferramenta de mensuração do que como um instrumento de análise teórica rigorosa.

Metodologia

Decomposição da produção agrícola

A produção total de um conjunto de culturas agrícolas pode ser representada como resultado de três componentes fundamentais: i) a escala de utilização da área colhida; ii) o rendimento físico por unidade de área; e iii) a estrutura de participação relativa das culturas no agregado. Essa formulação segue a tradição da literatura de crescimento agrícola, na qual a variação da produção é decomposta para identificar a importância relativa da expansão da fronteira agrícola e dos ganhos de produtividade. A abordagem de decomposição é empregada há décadas em estudos agrícolas no Brasil, geralmente por meio de versões do método *shift-share* (Almeida, 2003; Padrão et al., 2012; Bittencourt & Gomes, 2014). Entretanto, o *shift-share* tem limitações teóricas bem documentadas, como a dependência rígida do ano-base, a violação de propriedades axiomáticas e fragilidades sob mudanças estruturais mais intensas (Rose & Casler, 1996; Stevens & Moore, 1980). Esses problemas motivaram o uso crescente dos métodos derivados da teoria de números-índice, que oferecem maior consistência teórica.

Neste trabalho, adota-se o método LMDI, versão aditiva, não só como uma ferramenta descritiva de decomposição, mas como um instrumento empírico central para testar hipóteses econômicas sobre a natureza do crescimento agrícola ao longo do tempo. O LMDI, desenvolvido originalmente na literatura de mudanças estruturais em energia, tem sido crescentemente utilizado em diferentes áreas da economia aplicada em razão de suas propriedades superiores (Ang, 2005, 2015). A formulação LMDI é especialmente adequada à análise agrícola pois: i) não gera resíduo na decomposição; ii) é simétrica

e reversível no tempo (evitando distorções por escolha do ano-base); iii) é muito flexível na adoção de múltiplos fatores de decomposição; e iv) mantém a interpretação direta dos fatores de decomposição, facilitando a apresentação dos resultados. Essas características tornam o LMDI metodologicamente mais robusto do que o *shift-share* tradicional e adequa-se perfeitamente ao objetivo deste estudo, ou seja, medir a contribuição isolada dos efeitos área, produtividade e estrutura na evolução da produção de grãos de Minas Gerais.

A decomposição LMDI permite quantificar separadamente a contribuição marginal de cada determinante de crescimento, possibilitando avaliar empiricamente se a expansão da produção agrícola decorre predominantemente de intensificação produtiva, expansão da área ou realocação estrutural entre culturas. Adaptando a formulação descrita em Ang & Zhang (2000) e Ang (2004, 2005, 2015), pode-se representar a decomposição da produção de grão em Minas Gerais por

Efeito escala:

$$\Delta Y_{esc} = \sum_i w_i \ln \left(\frac{A^T}{A^O} \right) \quad (1)$$

Efeito estrutura:

$$\Delta Y_{str} = \sum_i w_i \ln \left(\frac{S^T}{S^O} \right) \quad (2)$$

Efeito produtividade:

$$\Delta Y_{prod} = \sum_i w_i \ln \left(\frac{p^T}{p^O} \right) \quad (3)$$

Peso média logarítmica:

$$w_i = \frac{E_i^T - E_i^O}{\ln E_i^T - \ln E_i^O} \quad (4)$$

em que ΔY_{esc} é o efeito escala e mede a variação na produção mediante variação da área colhida total; ΔY_{str} é o efeito estrutura, que mede a variação na produção total mediante a variação de culturas mais produtivas (efeito positivo) ou menos produtivas (efeito negativo) – por exemplo, a produtividade total de grãos pode aumentar de um ano para o outro não por causa de um ganho generalizado entre as culturas, mas sim porque uma cultura mais produtiva expandiu sua área colhida em detrimento das demais; e ΔY_{prod} é o efeito produtividade e mede a variação na produção mediante variação da produtividade, mantida os demais efeitos constantes.

Inferência com *bootstrap*

Além da aplicação do método LMDI aditivo, este estudo introduz uma inovação empírica ao incorporar inferência estatística formal à decomposição da produção agrícola por meio de *bootstrap* temporal em blocos. Até onde se sabe, este é um dos primeiros trabalhos a aplicar procedimentos de inferência não paramétrica à decomposição LMDI no contexto da produção agrícola regional no Brasil. Embora o LMDI seja amplamente reconhecido por suas propriedades axiomáticas desejáveis – como ausência de resíduos, simetria temporal e independência do ano-base –, sua aplicação tradicional permanece essencialmente determinística, o que limita a avaliação estatística da robustez dos efeitos estimados. Ao integrar o *bootstrap* temporal em blocos ao método, a presente pesquisa amplia o seu escopo analítico, permitindo a construção de intervalos de confiança e testes de significância diretamente associados aos efeitos de escala, produtividade e estrutura. Essa abordagem é particularmente relevante em contextos agrícolas, nos quais as séries temporais apresentam dependência serial, choques persistentes e forte agregação entre culturas – características que tornam inadequados os procedimentos inferenciais convencionais. Dessa forma, o artigo contribui metodologicamente ao demonstrar uma estratégia empírica replicável para incorporar a incerteza estatística à decomposição estrutural da produção agrícola.

A decomposição LMDI possui propriedades desejáveis de precisão e consistência, assegurando que a soma dos efeitos explicativos reproduza exatamente a variação observada da variável agregada (Ang, 2005, 2015). No entanto, por se tratar de uma técnica determinística baseada em identidades contábeis, o método LMDI não fornece, por construção, medidas de incerteza estatística associadas aos efeitos estimados. Diante disso, a avaliação da robustez estatística dos efeitos de escala, estrutura e produtividade requer a adoção de procedimentos de inferência não paramétricos. Neste estudo, optou-se pelo uso do *bootstrap*, técnica amplamente empregada para inferência empírica em contextos nos quais a distribuição amostral dos estimadores não é conhecida ou é de difícil derivação analítica. A incorporação do *bootstrap* não é tratada neste estudo como um procedimento auxiliar, mas como parte integrante da estratégia empírica, uma vez que permite aproximar a distribuição amostral dos efeitos decompostos em um contexto no qual não existem distribuições analíticas conhecidas.

O *bootstrap*, introduzido por Efron (1979), fornece um arcabouço geral para inferência estatística baseado em reamostragem, permitindo a aproximação da distribuição empírica de estatísticas complexas cuja distribuição analítica é desconhecida ou intratável. Diferentemente de métodos assintóticos tradicionais, o *bootstrap* não exige suposições de normalidade, linearidade ou independência estrita das observações. Em estudos aplicados de decomposição estrutural e energética, o *bootstrap* tem sido crescentemente utilizado para fornecer intervalos de confiança e testes de significância associados aos efeitos de decomposição, especialmente quando o foco recai sobre séries temporais agregadas.

Os dados utilizados possuem estrutura de painel balanceado, com observações anuais para múltiplas culturas agrícolas ao longo do período de 2002 a 2024. Para cada ano, a produção agregada é obtida pela soma das quantidades produzidas em todas as culturas, e a decomposição LMDI é aplicada de forma encadeada entre anos consecutivos. Essa estrutura impõe duas restrições fundamentais ao procedimento de reamostragem: i) a decomposição é definida sobre variações intertemporais, o que exige a preservação da ordem temporal dos dados; e ii) as observações dentro de um mesmo ano não são independentes, uma vez que a produção agregada resulta da combinação simultânea das culturas naquele período. Assim, métodos de *bootstrap* que reamostram observações individuais ou culturas isoladamente poderiam violar a dependência temporal inerente ao processo produtivo agrícola, influenciado por fatores persistentes como clima, tecnologia e políticas agrícolas.

Para lidar com a dependência serial presente nos dados, adota-se o *bootstrap* temporal em blocos (*block bootstrap*), conforme proposto originalmente por Künsch (1989) e desenvolvido por Liu & Singh (1992). Nesse procedimento, a reamostragem ocorre por meio de blocos de observações consecutivas no tempo, preservando a correlação serial local da série. Neste estudo, a unidade básica de reamostragem é o ano, e o tamanho do bloco é fixado em $b = 2$ anos consecutivos. Em cada replicação *bootstrap*, o procedimento segue as seguintes etapas:

- i) Seleção aleatória, com reposição, de pontos iniciais de blocos possíveis na série temporal;
- ii) Construção de blocos compostos por dois anos consecutivos;

- iii) Concatenação dos blocos sorteados até atingir o comprimento total da amostra original;
- iv) Truncamento do excedente de observações, quando necessário; e
- v) Manutenção, para cada ano reamostrado, de todas as culturas observadas naquele período.

Esse procedimento preserva a dependência temporal de curto prazo da série, ao mesmo tempo que introduz variabilidade suficiente para a construção da distribuição empírica dos efeitos. Para cada amostra *bootstrap* gerada, a decomposição LMDI aditiva é reaplicada integralmente, usando exatamente a mesma especificação adotada na amostra original. A decomposição é feita de forma encadeada, comparando-se pares consecutivos de anos reamostrados. Em todas as replicações, verifica-se a propriedade fundamental do LMDI aditivo, segundo a qual a soma dos efeitos explicativos reproduz exatamente a variação observada da produção agregada, assegurando a consistência interna da decomposição. O procedimento de reamostragem é repetido $B = 1.000$ vezes. Esse número de replicações é suficiente para garantir estabilidade numérica das estimativas dos quantis empíricos e está em linha com recomendações clássicas da literatura de *bootstrap* aplicada.

Os intervalos de confiança são construídos mediante o método percentil simples, conforme proposto por Efron & Tibshirani (1993). Para cada efeito k e para cada ano t , obtém-se a distribuição empírica das estimativas *bootstrap* $\{\hat{\theta}_{k,t}^{(b)}\}_{b=1}^B$. O intervalo de confiança de 95% é definido pelos quantis empíricos de ordem 2,5% e 97,5% dessa distribuição. Esse método tem a vantagem de não impor simetria ou normalidade à distribuição dos estimadores, característica particularmente relevante em decomposições econômicas, cujas distribuições empíricas podem ser assimétricas. A significância estatística dos efeitos é avaliada por meio de p -valores *bootstrap* bicaudais, calculados diretamente a partir da distribuição empírica. Para cada efeito e ano, o p -valor é obtido como

$$p = 2 \times \min \left\{ \Pr(\hat{\theta}_{k,t}^{(b)} \leq 0), \Pr(\hat{\theta}_{k,t}^{(b)} \geq 0) \right\}$$

Esse procedimento testa a hipótese nula de que o efeito não é estatisticamente diferente de zero, sem recorrer a aproximações assintóticas.

O p -valor é calculado como duas vezes a menor proporção empírica da distribuição *bootstrap* localizada em um dos lados de zero, procedimento amplamente utilizado em inferência não paramétrica. Esse teste não depende de aproximações assintóticas e é robusto à forma desconhecida da distribuição dos estimadores (Efron & Tibshirani, 1993; Davison & Hinkley, 1997).

A escolha do *bootstrap* temporal em blocos representa uma adaptação metodológica necessária ao contexto agrícola regional, no qual a produção agregada resulta da interação simultânea de múltiplas culturas e está sujeita a forte dependência serial ao longo do tempo. Procedimentos tradicionais de reamostragem que ignoram essa estrutura poderiam gerar inferências estatísticas inconsistentes. Ao preservar a correlação temporal local da série, o *bootstrap* em blocos garante que os intervalos de confiança e testes de significância reflitam adequadamente a dinâmica intertemporal da produção agrícola, reforçando a validade empírica dos resultados. Dessa forma, a estratégia empírica adotada neste estudo combina a robustez teórica do método LMDI com inferência estatística formal, oferecendo uma abordagem metodológica inovadora para a análise da dinâmica da produção agrícola regional e ampliando o uso da decomposição estrutural além de aplicações meramente descritivas.

Fonte de dados

Este trabalho usou como base de dados a Produção Agrícola Municipal (PAM), pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2026), entre 2002 e 2024, para Minas Gerais. As variáveis observadas foram: área colhida (ha); quantidade produzida (t); e rendimento médio ou produtividade média (kg/ha). As culturas analisadas foram amendoim, arroz, aveia, café, feijão, girassol, milho, soja, sorgo granífero e trigo.

Resultados

Decomposição da produção de grãos em Minas Gerais

A análise dos resultados revela que a dinâmica da produção de grãos em Minas Gerais entre 2002 e 2024 foi marcada por forte heterogeneidade temporal, com ciclos de expansão e contração que refletem simultaneamente condições de mercado,

choques climáticos e mudanças estruturais no uso da terra. A Figura 1 mostra que, enquanto a área colhida total exibe comportamento de crescimento marginal e estabilidade em diversos períodos, a produção total revela uma tendência de alta mais acentuada, fortemente correlacionada com o efeito produtividade. Esse resultado corrobora a primeira hipótese deste trabalho, indicando que, ao longo da maior parte do período analisado, o crescimento da produção esteve associado a um processo de intensificação produtiva. Esses padrões são coerentes com o que a literatura identifica como respostas da agricultura brasileira a variações de preços, câmbio e disponibilidade de crédito, fenômenos amplamente discutidos em Prates (2007) e Felipe et al. (2010). Da mesma forma, choques negativos simultâneos de clima e mercado, como sugerido para 2006, já haviam sido observados por Oliveira et al. (2008) ao examinar flutuações anuais da cafeicultura mineira.

Tal comportamento corrobora a hipótese de transição do modelo de crescimento extensivo para o intensivo na agricultura brasileira. Conforme Gasques et al. (2016) e Fuglie (2018), o crescimento da produtividade total dos fatores (PTF) tornou-se o principal fator de incremento da oferta agrícola nas últimas duas décadas, superando a expansão de novas terras. Em Minas Gerais, os resultados do LMDI confirmam que essa dinâmica global se reproduz regionalmente: o ganho de eficiência técnica foi capaz de sustentar a expansão da oferta mesmo em anos de estagnação da área plantada.

Além disso, entre 2018 e 2024, houve grande expansão da quantidade colhida de grãos com relativa estabilidade da produtividade agrícola. Enquanto a produção cresceu 28,2% no período, a produtividade recuou 6%, ao passo que a área colhida (efeito escala) avançou 46% – demonstrando que, nos últimos anos, o avanço da produção foi majoritariamente baseado na expansão da área. Esse comportamento difere substancialmente do verificado no período anterior: entre 2002 e 2017, houve aumento de 69% na produção de grãos no estado, montante dividido principalmente entre um ganho de 47% na produtividade e de 14,4% na área colhida. Isso evidencia que, a partir de 2018, ocorreu uma mudança estrutural na produção agrícola mineira, em linha com a segunda hipótese deste trabalho, com maior contribuição relativa do efeito escala para a expansão da produção.

Para facilitar a análise da Figura 1, a Tabela 1 mostra os dados de produção de grãos e suas decomposições divididos por ano e incremento marginal. Os resultados sugerem que, excluindo 2002 e 2003, a produtividade representou a principal contribuição para o aumento da produção de grãos em Minas Gerais. Esses achados são consistentes com os resultados de estudos nacionais que aplicam decomposições estruturais. Carvalho et al. (2012) encontraram forte predominância da produtividade na produção de celulose. Bittencourt & Gomes (2014), em estudo sobre cana-de-açúcar, também observaram que ganhos de eficiência se tornaram

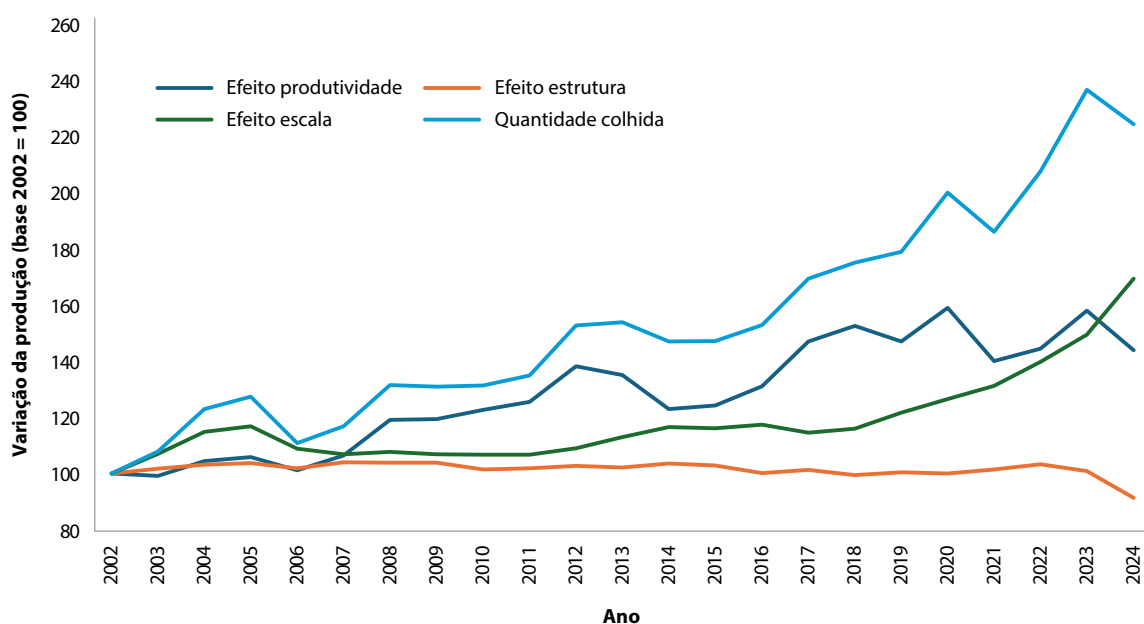


Figura 1. Decomposição da produção de grãos em Minas Gerais entre 2002 e 2024.

Tabela 1. Decomposição da produção de grãos (t) por ano.

Ano	Produção	Escala	Produtividade	Estrutura	Σ Efeitos	Δ Produção (%)
2002	8.863.473	-	-	-	-	-
2003	9.551.004	621.846	-82.771	148.456	687.531	7,8
2004	10.888.647	691.385	516.144	130.114	1.337.643	14,0
2005	11.290.191	191.297	141.081	69.166	401.544	3,7
2006	9.819.472	-764.486	-496.538	-209.695	-1.470.719	-13,0
2007	10.354.362	-186.032	509.798	211.124	534.890	5,4
2008	11.652.100	88.114	1.230.633	-21.010	1.297.738	12,5
2009	11.596.796	-104.896	38.904	10.688	-55.304	-0,5
2010	11.639.106	-4.385	310.879	-268.768	37.726	0,4
2011	11.956.527	-8.750	273.499	50.863	315.612	2,7
2012	13.529.884	267.736	1.206.014	99.607	1.573.357	13,2
2013	13.624.785	482.777	-302.456	-85.420	94.901	0,7
2014	13.026.476	441.634	-1.224.301	183.398	-599.269	-4,4
2015	13.040.317	-52.945	138.876	-72.090	13.841	0,1
2016	13.545.650	137.194	712.433	-344.294	505.333	3,9
2017	15.003.619	-328.265	1.649.448	136.786	1.457.969	10,8
2018	15.505.568	185.704	570.832	-254.587	501.949	3,3
2019	15.851.773	768.650	-565.176	142.731	346.205	2,2
2020	17.712.386	630.590	1.286.580	-56.558	1.860.613	11,7
2021	16.478.296	650.578	-2.115.824	231.157	-1.234.090	-7,0
2022	18.386.191	1.079.810	527.875	300.210	1.907.895	11,6
2023	20.956.332	1.277.992	1.715.569	-423.420	2.570.141	14,0
2024	19.880.953	2.784.199	-1.872.669	-1.986.909	-1.075.379	-5,1

crescentemente relevantes depois de 2000. Já Padrão et al. (2012) identificaram que, em diversos estados brasileiros, a área explica ciclos iniciais de expansão, mas a produtividade tende a dominar no longo prazo.

A Tabela 1 indica que o biênio 2005/2006 apresentou o pior desempenho de toda a série histórica, com efeitos negativos em escala, produtividade e estrutura. Esses dados são descritos por Agrolink (2006) como uma “tempestade perfeita”, por causa da forte valorização cambial (que reduziu a renda dos exportadores, desestimulando o plantio), enquanto a incidência da ferrugem-asiática na soja reduziu a produtividade. Em contrapartida, o ano de 2017, juntamente com 2023, exibiu os maiores incrementos de produtividade.

A Tabela 2 deixa clara a mudança estrutural que vem pautando a produção de grãos em Minas Gerais. A cultura da soja foi a principal responsá-

vel pelo aumento da produção, respondendo por aproximadamente 52% do incremento total de grãos entre 2002 e 2024. Das mais de 5,8 milhões de toneladas adicionadas de soja no período, cerca de 3,2 milhões foram provenientes do aumento de área, 752 mil toneladas do aumento de produtividade e 1,8 milhão do efeito estrutura. O efeito estrutura mede a variação da composição relativa da produção, mantendo-se constantes a área total e a produtividade média de cada cultura – em termos gerais, o efeito mede se a alocação de área está se movendo de culturas de menor rendimento (menor produtividade média) para culturas de maior rendimento (maior produtividade média), ou vice-versa. Se a produção total cresce por causa da realocação de área para culturas mais eficientes, o efeito estrutura será positivo. Se a área for realocada para culturas menos eficientes ou se as culturas mais produtivas perderem área relativa, o efeito será negativo.

Tabela 2. Decomposição da produção de grãos (t) por cultura.

Cultura	Produção em 2002	Produção em 2024	Efeito			
			Escala	Produtividade	Estrutura	Total
Amendoim	10.612	48.552	12.095	5.241	20.601	37.936
Arroz	212.122	94.693	24.768	25.506	-167.706	-117.432
Aveia	0	9.203	3.723	-6.193	10.712	8.242
Café	1.301.029	3.387.724	924.842	609.148	552.501	2.086.491
Feijão	496.441	531.031	288.555	232.930	-486.941	34.544
Girassol	0	8.266	3.751	-1.799	-80	1.872
Milho	4.808.170	6.599.875	3.834.063	2.470.670	-4.513.638	1.791.094
Soja	1.951.342	7.740.542	3.198.447	752.650	1.837.436	5.788.533
Sorgo	60.213	1.057.993	416.861	153.898	426.922	997.681
Trigo	23.544	403.074	140.968	-73.218	311.744	379.495
Total	8.863.473	19.880.953	8.848.075	4.168.832	-2.008.450	11.008.457

Nesse quesito, a soja ganhou participação relativa na área total, avançando sobre pastagens degradadas e outras culturas (como o arroz e parte do milho). Isso elevou a produtividade média ponderada do estado, confirmando a soja como vetor de especialização e aumento da eficiência alocativa. Entretanto, embora o milho tenha tido ganhos expressivos de produtividade (efeito produtividade positivo), o efeito estrutura negativo revela que a cultura perdeu participação relativa na área total para a soja. Economicamente, a área de milho mais nobre (safra de verão) migrou para a soja, restando ao milho a safrinha (segunda safra) em terras de menor potencial e maior risco climático. O modelo penaliza essa perda estrutural na média. Esses resultados sugerem que, conforme proposto neste trabalho, o efeito estrutura exerce papel complementar, associado a realocações temporárias da área entre culturas, sem constituir o principal motor do crescimento de longo prazo.

A cultura do milho revela um paradoxo aparente que exige interpretação cuidadosa. Embora tenha sido a cultura com maior ganho de produtividade absoluta (+2,47 milhões de toneladas) – como possíveis reflexos da adoção massiva de híbridos transgênicos e alta tecnologia –, o milho apresentou um efeito estrutura fortemente negativo (-4,5 milhões de toneladas). Esse resultado pode ser explicado pela dinâmica da safrinha. A migração do milho da safra de verão (primeira safra) para a segunda safra (que possui teto produtivo menor e maior risco climático comparado à soja de verão) reduz sua contribuição proporcional à média pon-

derada de rendimento do sistema produtivo total, mesmo que o volume absoluto aumente. Além disso, é possível que o milho tenha cedido as áreas mais nobres de verão para a soja, o que o método LMDI penaliza como uma perda de estrutura “ótima” em termos de maximização de volume físico por área no verão, embora seja uma decisão economicamente racional para o produtor (maximização de lucro ano-safra).

Por fim, o café reafirma sua posição estratégica. Apesar da bienalidade inerente à cultura, o efeito produtividade positivo acumulado (+609 mil toneladas) e o efeito estrutura também positivo (+552 mil toneladas) indicam que a cafeicultura mineira se modernizou e se expandiu para novas áreas (como o Cerrado Mineiro), mantendo-se competitiva globalmente. O ganho de estrutura no café é particularmente notável por se tratar de uma cultura perene de alto valor, sugerindo que, diferentemente das culturas anuais em que a soja domina, o café possui uma dinâmica própria de territorialização e investimento de longo prazo que resiste à pressão das commodities anuais (Oliveira et al., 2008).

Decomposição LMDI com inferência bootstrap

A Tabela 3 e a Figura 2 mostram os resultados da decomposição LMDI da produção agrícola de grãos em Minas Gerais, incorporando inferência estatística por meio de *bootstrap* temporal em blocos – as médias *bootstrap*, para cada ano do período

Tabela 3. Médias das reamostragens por efeito e *p*-valor.

Ano	Efeito escala	p-valor escala	Efeito estrutura	p-valor estrutura	Efeito produtividade	p-valor produtividade
2003	752.741	0,34	-1.548.174	0,07	1.910.467	0,02
2004	615.840	0,27	1.269.320	0,10	985.971	0,04
2005	103.603	0,22	429.839	0,25	-139.553	0,92
2006	596.696	0,39	-948.231	0,27	1.907.217	0,01
2007	850.069	0,28	137.488	0,71	1.035.688	0,04
2008	207.060	0,34	1.171.025	0,71	-298.230	0,74
2009	527.786	0,46	-1.131.866	0,11	1.451.175	0,08
2010	995.825	0,27	-918.116	0,55	1.115.957	0,10
2011	422.800	0,28	879.392	0,52	983.856	0,02
2012	74.814	0,25	301.414	0,02	20.730	0,81
2013	957.110	0,29	-1.787.205	0,01	1.677.938	0,08
2014	621.485	0,27	1.317.323	0,13	972.314	0,04
2015	116.943	0,16	298.818	0,23	-48.391	0,70
2016	838.630	0,32	-1.310.819	0,11	2.113.157	0,01
2017	750.766	0,28	948.404	0,27	984.301	0,05
2018	181.993	0,18	583.218	0,58	-4.315	0,41
2019	640.687	0,39	-828.231	0,10	1.562.683	0,07
2020	1.053.967	0,24	-516.869	0,87	952.098	0,07
2021	423.840	0,24	539.121	0,74	748.647	0,05
2022	66.720	0,33	275.036	0,00	9.186	0,57
2023	1.091.358	0,19	-1.725.472	0,03	1.251.469	0,16
2024	651.571	0,20	1.113.586	0,31	983.287	0,01

2003–2024, dos efeitos escala, estrutura e produtividade, bem como seus respectivos *p*-valores empíricos; e a evolução temporal desses efeitos com intervalos de confiança de 95%, respectivamente.

De forma geral, os resultados indicam que o crescimento da produção agrícola é explicado predominantemente pelo efeito produtividade, ainda que com heterogeneidade intertemporal relevante. O efeito de escala, associado à variação da área total colhida, apresenta valores médios positivos na maioria dos anos (Figura 2). No entanto, os intervalos de confiança *bootstrap* são amplos e, em praticamente todo o período analisado, incluem o valor zero – o que se reflete em *p*-valores elevados (Tabela 3). Esse resultado indica que, embora a expansão ou retração da área cultivada contribua para a variação da produção, não há evidência estatística robusta de que o crescimento agrícola tenha sido sistematicamente extensivo ao longo do

período. Em termos econômicos, isso sugere que a dinâmica recente da produção agrícola não pode ser atribuída, de forma consistente, à incorporação líquida de novas áreas, mas sim a outros mecanismos. Esse achado é compatível com a interpretação de que restrições ambientais, institucionais e de uso da terra limitam o papel da expansão extensiva, tornando-a um fator secundário e volátil na explicação do crescimento produtivo. A incorporação de técnica de reamostragem e *p*-valores permite qualificar estatisticamente os efeitos de decomposição, evidenciando a robustez do papel da produtividade e a maior volatilidade dos efeitos escala e estrutura.

O efeito estrutura, associado à redistribuição relativa da área entre culturas, apresenta elevada volatilidade ao longo do tempo, com alternância frequente de sinais, conforme evidenciado no painel intermediário da Figura 2. Em diversos anos, o efeito médio é negativo, indicando realocações

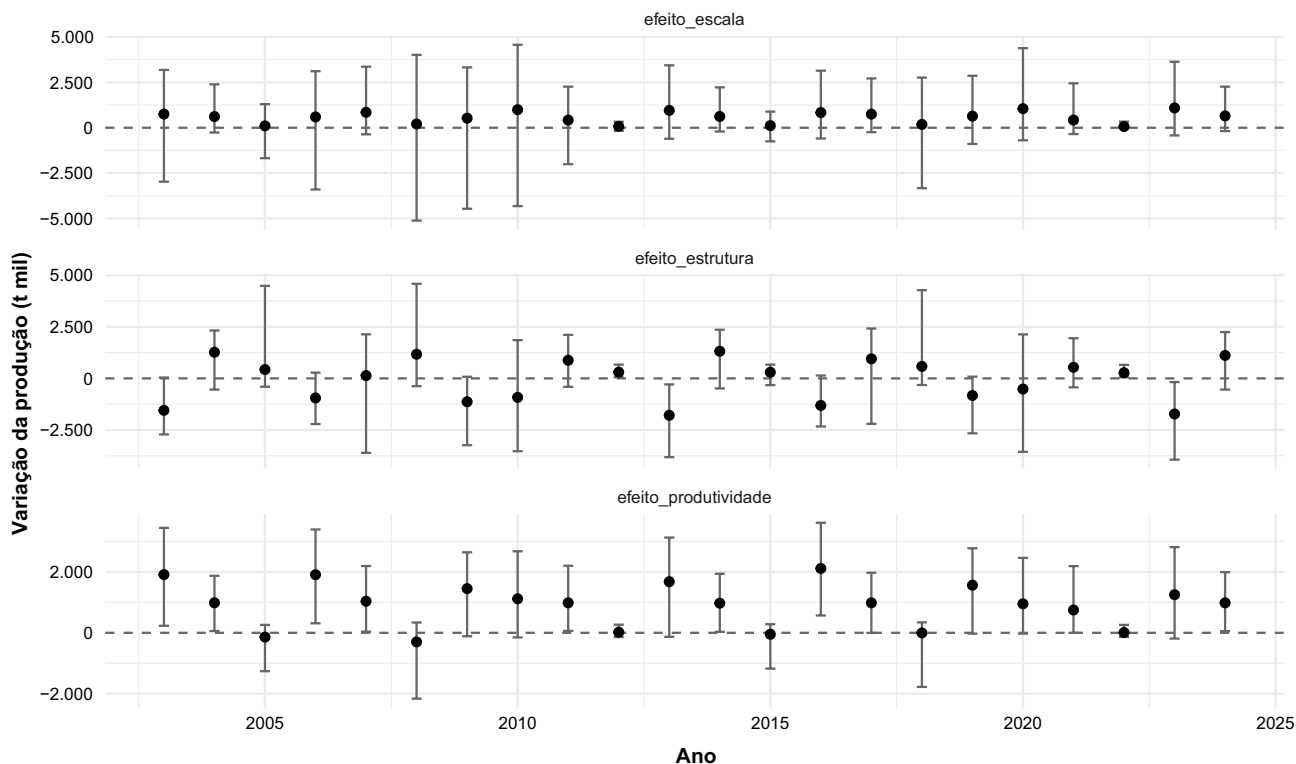


Figura 2. Decomposição da produção de grãos em Minas Gerais – intervalo de confiança = 95% (*bootstrap* temporal).

desfavoráveis do ponto de vista da produção agregada; em outros, o efeito torna-se positivo, sugerindo movimentos pontuais de especialização mais eficiente. Contudo, os *p*-valores elevados na maior parte do período indicam que essas mudanças estruturais raramente são estatisticamente diferentes de zero. Exceções pontuais, como em 2003, 2004, 2012, 2013, 2022 e 2023, sugerem episódios específicos de reestruturação produtiva, mas sem evidência de um padrão persistente. Do ponto de vista econômico, esse resultado sugere que a composição da produção agrícola é relativamente estável no longo prazo, e que as realocações entre culturas tendem a responder a choques transitórios, como preços relativos, condições climáticas específicas ou políticas setoriais, sem gerar ganhos estruturais duradouros na produção agregada.

O efeito produtividade, de forma consistente, revela-se como o principal determinante da variação da produção agrícola, tanto em termos de magnitude quanto de significância estatística. Conforme a Figura 2, a maior parte das estimativas médias do efeito produtividade é positiva e, em vários anos, os intervalos de confiança *bootstrap* excluem o zero, o que é corroborado por *p*-valores inferiores a 5% na Tabela 3. Esse padrão indica que ganhos de produtividade física – decorrentes

de avanços tecnológicos, melhorias de manejo, adoção de insumos modernos e difusão de conhecimento – desempenharam papel central na expansão da produção agrícola. Ainda assim, observa-se heterogeneidade temporal relevante, com alguns anos apresentando efeitos estatisticamente indistintos de zero ou mesmo negativos, o que é compatível com a influência de choques adversos, como eventos climáticos extremos. A predominância do efeito produtividade é consistente com a literatura internacional de decomposição baseada em LMDI aplicada ao setor energético, que frequentemente identifica o progresso tecnológico como o principal fator de crescimento sustentável da produção (Ang, 2005, 2015).

Conclusão

Este trabalho analisou a dinâmica da produção de grãos em Minas Gerais entre 2002 e 2024 utilizando o método de decomposição LMDI aditivo, o que permitiu identificar e quantificar as contribuições relativas da área colhida, da produtividade e das mudanças estruturais na composição das culturas. Os resultados demonstram que o crescimento agrícola no estado não é homogêneo, mas sim marcado por transições tecnológicas, variações climáticas e reconfigurações do uso da terra.

Os achados centrais mostram que a expansão da área foi a principal responsável pelo crescimento da produção de grãos no longo prazo, respondendo pela maior parcela do crescimento acumulado da produção estadual. Além disso, a produtividade apresentou importante contribuição para o crescimento da produção – padrão consistente com a literatura sobre modernização agrícola no Brasil, que documenta avanços contínuos em manejo, mecanização e genética agrícola ao longo das últimas décadas. Em culturas como café, feijão, milho, soja e sorgo, verificou-se um movimento claro de intensificação: mesmo diante do crescimento de área, os ganhos de produtividade foram suficientes para sustentar ou ampliar a produção agregada. Esses resultados evidenciam um processo de qualificação tecnológica que contribui para a maior eficiência do uso da terra, mas demonstram que a expansão territorial foi o fator determinante para o aumento da produção agrícola de grãos no estado.

A decomposição setorial aponta para uma especialização produtiva guiada pela eficiência alocativa. O efeito estrutura agregado, embora contribuindo com a menor parcela de variação, esconde uma intensa dinâmica interna: o ganho estrutural da soja, vetor de alta produtividade e rentabilidade, sobrepôs-se à perda estrutural do milho (que cedeu áreas nobres de primeira safra) e ao abandono de culturas menos competitivas (arroz e feijão). Essa realocação demonstra uma racionalidade microeconômica por parte dos produtores, que otimizaram o uso da terra em resposta aos sinais de mercado. Esse comportamento confirma padrões observados em transições produtivas regionais no Brasil, nas quais culturas intensivas em capital, como a soja, tendem a ocupar áreas antes destinadas a sistemas tradicionais. Já o caso do arroz revela uma retração estrutural contínua, associada à perda de área e à desaceleração da produtividade, reforçando que alguns segmentos enfrentam limites competitivos persistentes.

Os resultados do *bootstrap* temporal reforçam a robustez dessas conclusões ao evidenciar que, para a maior parte dos anos analisados, a produtividade exibe médias estatisticamente distintas de zero, enquanto o efeito estrutura apresenta maior variabilidade e menor significância estatística ao longo do período. As estimativas *bootstrap* indicam que o efeito produtividade é consistentemente positivo e significativo em diversos anos, confirmando seu papel central na sustentação do crescimento da

produção agrícola, mesmo em contextos de elevada volatilidade climática e de mercado. Por sua vez, o efeito escala, embora positivo em média, apresenta intervalos de confiança mais amplos, refletindo a heterogeneidade intertemporal da expansão da área colhida. Já o efeito estrutura, apesar de relevante em episódios específicos de realocação produtiva, não se mostra estatisticamente robusto em todo o horizonte analisado, corroborando a interpretação de que mudanças estruturais atuaram como fator complementar, e não dominante, do crescimento agrícola.

As implicações desses resultados são amplas. O predomínio dos ganhos de produtividade reforça a importância de políticas voltadas para inovação, assistência técnica, pesquisa agrícola e difusão tecnológica. Ao mesmo tempo, a expansão de área observada em culturas como soja, sorgo e café aponta para a necessidade de planejamento territorial e monitoramento ambiental, especialmente diante de pressões por intensificação da fronteira agrícola. O comportamento diferenciado entre culturas também sugere que políticas setoriais devem considerar especificidades produtivas e regionais, evitando soluções uniformes.

Do ponto de vista metodológico, a aplicação do LMDI permitiu decompor a variação da produção sem as inconsistências típicas de métodos tradicionais, garantindo estabilidade e neutralidade em relação ao ano-base. Do ponto de vista empírico, a incorporação do *bootstrap* temporal em blocos adiciona uma camada de confiabilidade aos resultados ao capturar a dependência temporal inerente à produção agrícola e fornecer intervalos de confiança e testes de significância diretamente associados aos efeitos decompostos. Isso permite afirmar que as conclusões do estudo não são sensíveis a flutuações amostrais específicas, mas sim reflexo de padrões estruturais persistentes na dinâmica da produção de grãos em Minas Gerais.

O uso de dados oficiais de alta qualidade reforça a confiabilidade dos achados. Futuras pesquisas podem avançar ao incorporar medidas de produtividade ajustadas pelo clima ou integrar modelos econométricos que relacionem diretamente produtividade, preços e crédito. Em síntese, o estudo demonstra que o crescimento da produção agrícola em Minas Gerais entre 2002 e 2024 foi impulsionado principalmente por ganhos de produtividade e, em menor grau, por aumento de área colhida e mudanças estruturais de baixa intensidade. Ao forne-

cer um diagnóstico quantificado dos determinantes do crescimento agrícola, esta pesquisa contribui para o entendimento da evolução do setor e oferece subsídios para políticas públicas voltadas ao uso eficiente da terra, à sustentabilidade ambiental e à competitividade agrícola no estado.

Referências

- AGROLINK. **Crise agrícola passa e deixa dívidas como herança**. 2006. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/noticias/crise-agricola-passa-e-deixa-dividas-como-heranca_49410.html>. Acesso em: 30 mar. 2026.
- ALMEIDA, P.N.A. **Fontes de crescimento e sistema produtivo da orizicultura no Mato Grosso**. 2003. 213p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.11.2004.tde-24052004-142414>.
- ANG, B.W. Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? *Energy Policy*, v.32, p.1131-1139, 2004. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00076-4](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00076-4).
- ANG, B.W. LMDI decomposition approach: a guide for implementation. *Energy Policy*, v.86, p.233-238, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.07.007>.
- ANG, B.W. The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide. *Energy Policy*, v.33, p.867-871, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.10.010>.
- ANG, B.W.; ZHANG, F.Q. A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy*, v.25, p.1149-1176, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(00\)00039-6](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(00)00039-6).
- BALK, B.M. Searching for the holy grail of index number theory. *Journal of Economic and Social Measurement*, v.33, p.19-25, 2008. DOI: <https://doi.org/10.3233/JEM-2008-0295>.
- BITTENCOURT, G.M.; GOMES, M.F.M. Fontes de crescimento da produção de cana-de-açúcar no Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. *REDES - Revista de Desenvolvimento Regional*, v.19, p.182-201, 2014.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Projeções do agronegócio: Brasil 2023/24 a 2033/34**. Brasília, 2024. 76p. (Projeções de Longo Prazo). Disponível em: <<https://repositorio-dspace.agricultura.gov.br/bitstream/1/6050/1/PROJECOE5%20DO%20AGRONEGOCIO%202024-2034.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2026.
- CARVALHO, K.H.A. de; SILVA, M.L. da; SOARES, N.S. Efeito da área e da produtividade na produção de celulose no Brasil. *Revista Árvore*, v.36, p.1119-1128, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000600012>.
- CUENCA, M.A.G.; SANTIAGO, A.D.; DOMPIERI, M.H.G.; SÁ, H.A. **Análise da evolução e dos efeitos dos fatores da variação do valor bruto da produção de mandioca, no Estado de Alagoas**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 37p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 102).
- DAVISON, A.C.; HINKLEY, D.V. **Bootstrap methods and their application**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. 592p. (Cambridge Series in Statistical and Probabilistic Mathematics).
- EFRON, B. Bootstrap methods: another look at the Jackknife. *The Annals of Statistics*, v.7, p.1-26, 1979. DOI: <https://doi.org/10.1214/aos/1176344552>.
- EFRON, B.; TIBSHIRANI, R.J. **An introduction to the bootstrap**. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 1993. 456p. (Monographs on Statistics and Applied Probability, 57). DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429246593>.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The state of food and agriculture 2025: addressing land degradation across landholding scales**. Rome, 2025. 123p. DOI: <https://doi.org/10.4060/cd7067en>.
- FELIPE, F.I.; MAXIMIANO, M.L. Dinâmica da agricultura no estado de São Paulo entre 1990-2005: uma análise através do modelo “shift share”. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, Rio Branco. *Anais*. Rio Branco: SOBER, 2008. DOI: <https://doi.org/10.22004/ag.econ.108832>.
- FELIPE, F.I.; RIZATO, M.R.; MAGGIAN, R.C. Dinâmica da agricultura brasileira entre 1991-2008: análise pelo modelo Diferencial-Estrutural. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 48., 2010, Campo Grande. *Anais*. Campo Grande: SOBER, 2010. 1 CD-ROM.
- FUGLIE, K. R&D capital, R&D spillovers, and productivity growth in world agriculture. *Applied Economic Perspectives and Policy*, v.40, p.421-444, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1093/aep/ppx045>.
- GASQUES, J.G.; BACCHI, M.R.P.; RODRIGUES, L.; BASTOS, E.T.; VALDES, C. Produtividade da agricultura brasileira: a hipótese da desaceleração. In: VIEIRA FILHO, J.E.R.; GASQUES, J.G. (Org.). **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. Brasília: Ipea, 2016. p.143-163.
- HOUSTON, D.B. The shift and share analysis of regional growth: a critique. *Southern Economic Journal*, v.33, p.577-581, 1967. DOI: <https://doi.org/10.2307/1055653>.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **PAM – Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html>>. Acesso em: 30 mar. 2026.
- KÜNSCH, H.R. The Jackknife and the bootstrap for general stationary observations. *The Annals of Statistics*, v.17, p.1217-1241, 1989. DOI: <https://doi.org/10.1214/aos/1176347265>.
- LIU, R.Y.; SINGH, K. Moving blocks jackknife and bootstrap capture weak dependence. In: LEPAGE, R.; BILLARD, L. (Ed.). **Exploring the Limits of Bootstrap**. New York: John Wiley, 1992.
- OH, W.; CHOI, K.-H. Changes in Korean labor productivity through index decomposition. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE ASSOCIATION OF KOREAN ECONOMIC STUDIES, 14., 2015, Beijing. Korea and the World Economy: new challenge for the Korea and China cooperation. [Proceedings]. Beijing: AKES, 2015. p.1-31. Disponível em: <http://www.akes.or.kr/akes/eng/conferences/Korea2015_prog.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2026.
- OLIVEIRA, A. de A.S.; GOMES, M.F.M.; RUFINO, J. dos S.L.; SILVA JÚNIOR, A.G. da; GOMES, S.T. Estrutura e dinâmica da cafeicultura em Minas Gerais. *Revista de Economia*, v.34, p.121-142, 2008. DOI: <https://doi.org/10.5380/re.v34i1.7451>.
- PADRÃO, G. de A.; GOMES, M.F.M.; GARCIA, J.C. Determinantes estruturais do crescimento da produção brasileira de grãos por estados da federação: 1989/90/91 e 2006/07/08. *REN - Revista Econômica do Nordeste*, v.43, p.51-66, 2012. DOI: <https://doi.org/10.61673/ren.2012.198>.
- PRATES, D.M. A alta recente dos preços das commodities. *Revista de Economia Política*, v.27, p.323-344, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31572007000300001>.

ROSE, A.; CASLER, S. Input–output structural decomposition analysis: a critical appraisal. **Economic Systems Research**, v.8, p.33-62, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1080/09535319600000003>.

SEAPA-MG. Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais. **Balanço do agronegócio de Minas Gerais 2024**. Belo Horizonte, 2025. 56p. Disponível em: <<https://www.mg.gov.br/system/files/media/agricultura/>

[documento_detalhado/2025/publicacoes-de-agrodados/balanco-do-agronegocio-de-minas-gerais-2024.pdf](#)>. Acesso em: 30 mar. 2026.

STEVENS, B.H.; MOORE, C.L. A critical review of the literature on shift-share as a forecasting technique. **Journal of Regional Science**, v.20, p.419-437, 1980. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.1980.tb00660.x>.