

Trajetórias heterogêneas de produtividade na agropecuária brasileira e seus efeitos sobre o mercado de alimentos: uma análise de equilíbrio geral computável

Heterogeneous Productivity Trajectories in Brazilian Agriculture and Their Effects on the Food Market: A Computable General Equilibrium Analysis

Arlei Luiz Fachinello

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis - SC, Brasil

Cárliton Vieira dos Santos

Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Ponta Grossa - PR, Brasil

Joaquim Bento Ferreira Filho

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), Piracicaba - SP, Brasil

GT10. Abastecimento, segurança alimentar e nutricional e dinâmicas de consumo

Resumo: Este artigo analisa os impactos econômicos de trajetórias heterogêneas de produtividade na agropecuária brasileira sobre a dinâmica do mercado de alimentos do país e seus desdobramentos sobre a economia como um todo, para o período de 2025 a 2050. À luz de evidências recentes de desaceleração da produtividade e de restrições crescentes à expansão da área agrícola, o estudo avalia como variações no desempenho produtivo entre atividades se propagam pela economia por meio de preços relativos, realocação do uso da terra e encadeamentos intersetoriais. Para isso, utiliza-se um modelo de equilíbrio geral computável calibrado para a economia brasileira, com módulo endógeno de uso da terra, desagregação da agropecuária em 22 atividades e implementado de forma recursiva (dinâmica sequencial). Os choques de produtividade são construídos a partir de tendências históricas de rendimentos agrícolas, permitindo incorporar heterogeneidade empírica entre atividades. Os resultados indicam que a heterogeneidade nas trajetórias de produtividade produz efeitos macroeconômicos positivos, porém modestos, com expansão do PIB, do consumo e do investimento, sustentados pela redução dos preços ao consumidor e aumento da renda real. No entanto, observa-se elevação expressiva do preço da terra, que emerge como principal fator restritivo e canal de transmissão dos efeitos de custo. Setorialmente, atividades com desaceleração relativa da produtividade perdem competitividade, enquanto aquelas com ganhos mais robustos expandem produção e uso de fatores. Ademais, os efeitos distributivos são heterogêneos, favorecendo relativamente famílias de maior renda. Os resultados contribuem para a literatura ao evidenciar que a incorporação de trajetórias diferenciadas de crescimento da produtividade entre atividades agropecuárias altera os mecanismos de ajuste do sistema econômico, com destaque para o papel da terra como fator restritivo e principal canal de transmissão dos efeitos de custo, gerando implicações relevantes para políticas de inovação, uso da terra e segurança alimentar.

Palavras-chave: produtividade total de fatores (PTF), agropecuária, equilíbrio geral computável, uso da terra, Brasil.

Abstract: This paper analyzes the economic impacts of heterogeneous productivity trajectories in Brazilian agriculture on the dynamics of the domestic food market and their broader effects on the overall economy, for the period from 2025 to 2050. In light of recent evidence of slowing productivity growth and increasing constraints on agricultural land expansion, the study examines how differences in productive performance across activities propagate through the economy via relative prices, land-use reallocation, and intersectoral linkages. To this end, a computable general equilibrium model calibrated to the Brazilian economy is employed, featuring an endogenous land-use module, a detailed disaggregation of agriculture into 22 activities, and a recursive dynamic (sequential) implementation. Productivity shocks are constructed based on historical yield trends, allowing the incorporation of empirical heterogeneity across activities. The results indicate that heterogeneous productivity trajectories generate positive but modest macroeconomic effects, with increases in GDP, consumption, and investment, supported by lower consumer prices and higher real income. However, land prices rise substantially, highlighting land as the main constraining factor and the key channel through which cost pressures are transmitted. At the sectoral level, activities experiencing relative productivity slowdown lose competitiveness, whereas those with stronger productivity gains expand output and factor use. In addition, distributional effects are heterogeneous, with relatively larger gains accruing to higher-income households. The findings contribute to the literature by showing that incorporating differentiated productivity growth trajectories across agricultural activities significantly alters the adjustment mechanisms of the economic system, emphasizing the role of land as

a binding constraint and central transmission channel, with important implications for innovation policies, land use, and food security.

Keywords: total factor productivity (TFP), agriculture, computable general equilibrium, land use, Brazil

1. Introdução

A capacidade de sustentar a oferta de alimentos em um contexto de restrições crescentes ao uso da terra e de intensificação das pressões ambientais e climáticas depende, de maneira decisiva, da trajetória da produtividade agropecuária (Godfray et al., 2010; Alexandratos; Bruinsma, 2012). Evidências recentes indicam sinais de desaceleração no ritmo de crescimento da produtividade em diferentes regiões do mundo, recolocando no centro do debate econômico a elasticidade de longo prazo da oferta agrícola e suas implicações para preços, comércio e segurança alimentar (Fuglie, 2018; Fuglie; Jelliffe; Morgan, 2021).

No Brasil, a agropecuária desempenha papel estratégico na formação de preços domésticos e na oferta global de *commodities*. Embora o setor tenha registrado ganhos expressivos de eficiência ao longo das últimas décadas (Gasques et al., 2010; Rada; Fuglie, 2019), estimativas recentes apontam desaceleração do crescimento da produtividade total dos fatores (PTF) a partir da década de 2010 (Gasques et al., 2022; OECD, 2025). Diante dessa relevância sistêmica, torna-se fundamental compreender como trajetórias diferenciadas de produtividade entre atividades agropecuárias podem repercutir sobre a economia. Esses fatores – incluindo as crescentes restrições à expansão da área agrícola e as pressões associadas às mudanças climáticas – reforçam a centralidade da produtividade como determinante da oferta no longo prazo.

A literatura de equilíbrio geral computável (EGC) tem sido amplamente utilizada para examinar interações entre produtividade, uso da terra e preços relativos. Contudo, no caso brasileiro, choques de produtividade são frequentemente operacionalizados de forma agregada ou uniforme entre atividades, o que limita a captura da heterogeneidade observada nas trajetórias produtivas setoriais.

Este artigo busca preencher essa lacuna ao incorporar choques heterogêneos de produtividade, derivados de tendências históricas de rendimentos por atividade, em um modelo de EGC com módulo endógeno de uso da terra e elevado nível de desagregação setorial. Essa abordagem permite avaliar como diferenças no desempenho produtivo se propagam pela economia nos próximos 25 anos (2025 a 2050) por meio de preços relativos, realocação de terra, produção, comércio e bem-estar, capturado por mudanças no consumo e na distribuição entre grupos de renda.

O estudo oferece três contribuições principais: (i) integra evidências empíricas sobre rendimentos e produtividade na construção de cenários prospectivos; (ii) operacionaliza choques diferenciados por atividade em um modelo com uso endógeno da terra; e (iii) fornece evidências sobre os efeitos macroeconômicos e setoriais de uma possível desaceleração heterogênea da produtividade agropecuária no Brasil, permitindo identificar efeitos intersetoriais e distributivos que não são capturados por abordagens baseadas em choques agregados.

O artigo está organizado da seguinte forma. A seção 2 desenvolve o enquadramento conceitual e empírico que fundamenta a análise. A seção 3 apresenta a estratégia metodológica e a estrutura do modelo. A seção 4 expõe os cenários e os resultados das simulações. A seção 5 apresenta as conclusões e implicações de política.

2. Revisão de Literatura

A literatura em economia agrícola distingue rendimentos (*yields*), produtividade parcial e produtividade total dos fatores (PTF) como medidas relacionadas, porém conceitualmente distintas. Enquanto os rendimentos capturam a produção por unidade de terra, a PTF sintetiza a eficiência do conjunto de insumos, sendo interpretada como indicador de progresso tecnológico e mudanças institucionais (Coelli et al., 2005; Fuglie, 2012). Essa distinção é relevante, pois trajetórias diferenciadas de rendimentos entre atividades podem sinalizar mudanças heterogêneas no desempenho produtivo, ainda que não esgotem a dinâmica da PTF.

Evidências internacionais indicam perda de dinamismo no crescimento da produtividade agrícola nas últimas décadas. Estudos sobre rendimentos mostram desaceleração em diversas culturas e regiões (Alston; Beddow; Pardey, 2009; Ray et al., 2013; Grassini; Eskridge; Cassman, 2013; van Ittersum et al., 2016), enquanto análises de PTF apontam redução nas taxas de crescimento global, especialmente a partir da década de 2010 (Fuglie, 2010, 2012, 2018; Fuglie; Jelliffe; Morgan, 2021; Agnew; Nakelse, 2024; USDA, 2024). Essa desaceleração, além de heterogênea entre países, manifesta-se também entre culturas e sistemas produtivos.

Esse debate ganha relevância diante das restrições crescentes à expansão da área agrícola. Limitações econômicas, ambientais e institucionais reduzem a viabilidade da expansão extensiva, deslocando o crescimento da produção para ganhos de produtividade (Alexandratos; Bruinsma, 2012; Lambin et al., 2013; Gibbs et al., 2010; Foley et al., 2011;

Tilman et al., 2011). Nesse contexto, a produtividade assume papel central na capacidade de resposta da oferta agrícola no longo prazo.

As mudanças climáticas reforçam esse quadro ao afetar rendimentos e eficiência produtiva. Evidências indicam impactos negativos sobre a produtividade, especialmente em regiões tropicais, com efeitos persistentes mesmo na presença de adaptação (Schlenker; Roberts, 2009; Challinor et al., 2014; Rosenzweig et al., 2014; Ortiz-Bobea et al., 2021; Wing; De Cian; Mistry, 2021; Hultgren et al., 2025). A interação entre desaceleração produtiva, restrições de área e pressões climáticas tende, assim, a reduzir a elasticidade de longo prazo da oferta agrícola.

No Brasil, a trajetória recente da agropecuária foi fortemente sustentada por ganhos de produtividade, associados a avanços tecnológicos e institucionais (Gasques et al., 2010; Rada; Fuglie, 2019). Contudo, evidências recentes apontam desaceleração da PTF a partir da década de 2010 (Gasques et al., 2022; OECD, 2025), sugerindo mudanças na dinâmica do crescimento do setor.

Modelos de equilíbrio geral computável (EGC) oferecem estrutura adequada para analisar essas interações, ao incorporar encadeamentos intersetoriais, mercados de fatores e comércio internacional (Dixon; Jorgenson, 2013; Ianchovichina; Darwin; Shoemaker, 2001). Avanços recentes incluem a modelagem endógena do uso da terra, permitindo capturar a realocação entre atividades em resposta a preços relativos (Hertel; Rose; Tol, 2009; Hertel; Baldos; van der Mensbrugghe, 2016; Ferreira Filho; Horridge, 2012, 2014; Faria; Haddad, 2017; Zhao et al., 2017, 2020; Gurgel et al., 2017).

Apesar desses avanços, a literatura aplicada ao Brasil frequentemente adota choques de produtividade agregados ou uniformes entre atividades, o que pode obscurecer efeitos decorrentes da heterogeneidade produtiva. Em um contexto de trajetórias divergentes entre culturas e sistemas produtivos, essa limitação torna-se particularmente relevante.

Nesse contexto, este estudo contribui ao incorporar trajetórias diferenciadas de produtividade em um modelo de EGC com uso endógeno da terra e elevado nível de desagregação setorial, permitindo avaliar seus efeitos sobre produção, preços relativos, comércio e bem-estar.

3. Metodologia

3.1. O modelo

Para avaliar os impactos das mudanças nas produtividades totais dos fatores (PTFs) da agropecuária brasileira, utilizou-se uma versão modificada do modelo de equilíbrio geral computável ORANI-G (Horridge, 2014), implementada de forma recursiva (dinâmica sequencial), na qual os resultados de cada período constituem a base para a simulação do período subsequente. Essa abordagem permite incorporar a acumulação dos efeitos dos choques ao longo do tempo, aproximando o modelo de uma trajetória dinâmica. O modelo segue a tradição australiana de modelagem (tipo Johansen), com equações linearizadas e resultados expressos em variações percentuais.

As simulações são conduzidas para o período de 2025 a 2050, considerando dois cenários: (i) um cenário base (*baseline*), que representa a evolução da economia brasileira assumindo-se taxas constantes de crescimento da PTF agropecuária, de 1,5% ao ano, homogêneas para todas as atividades desse setor; e (ii) um cenário alternativo (*contrafactual*), no qual são introduzidas mudanças heterogêneas nas PTFs agropecuárias. As diferenças entre os resultados desses cenários mensuram os efeitos econômicos dos choques de produtividade.

A base de dados do modelo é a Matriz Insumo-Produto (MIP) de 2015 do IBGE, atualizada para 2025 por meio de procedimento que garante a consistência com os principais agregados macroeconômicos para esse ano. A estrutura foi adaptada para ampliar o nível de detalhamento setorial da agropecuária e melhorar a representação do consumo e do uso de fatores de produção. Especificamente, houve: (i) desagregação das atividades agropecuárias de 3 para 22 setores, bem como das indústrias de processamento de alimentos; (ii) abertura do consumo das famílias em sete grupos de renda, com base na POF 2017-2018 (IBGE, 2019); e (iii) incorporação de um módulo de uso da terra. A matriz foi transformada em uniproduto, com base na tecnologia indústria x indústria (Miller e Blair, 2009), gerando uma estrutura composta por 64 produtos x 64 atividades.

O módulo de uso da terra endogeneiza a alocação desse fator entre atividades produtivas, assumindo estoque físico fixo. A distribuição da terra entre usos é determinada por uma função de transformação do tipo CRETH (*Constant Ratios of Elasticities of*

Transformation, Homothetic), que generaliza a função CET ao permitir elasticidades diferenciadas entre pares de usos (Hanoch, 1971; Dixon et al., 1982). A literatura recente de modelos de EGC aplicados à agricultura tem incorporado, de forma recorrente, módulos de uso da terra, com variações nas formas funcionais e nas hipóteses adotadas (Ferreira Filho e Horridge, 2012; Gurgel et al., 2016; Zhao et al., 2017, 2020).

Nesse contexto, a alocação da terra decorre da maximização da receita do proprietário, sujeita à restrição de área total:

$$\max \sum_{i=1}^n P_i X_i \quad \text{sujeito a} \quad X_i = f(Q_i) = A_i Q_i^{\alpha_i}$$

onde P_i é o preço do produto, Q_i a quantidade física de terra alocada e X_i o uso efetivo (serviços) do fator terra na atividade agropecuária i . Essa especificação capta a heterogeneidade do fator terra, de modo que diferenças de qualidade, localização e aptidão produtiva resultam em distintos retornos econômicos entre usos. Nesse sentido, a função CRETH atua como um mecanismo de transformação que redistribui a terra entre atividades em resposta a variações nos preços relativos. A Figura 1 mostra parte da estrutura de produção do modelo, contendo o detalhamento da oferta e uso da terra nas atividades agropecuárias.

As elasticidades de transformação (CET) para comércio seguem Carvalho, Siqueira e Nogueira (2013), enquanto as elasticidades de substituição entre fatores e entre bens domésticos e importados são baseadas em Campos (2020). O parâmetro de Frisch é obtido de Domingues et al. (2009) e as elasticidades de gasto das famílias de Hoffmann (2010).

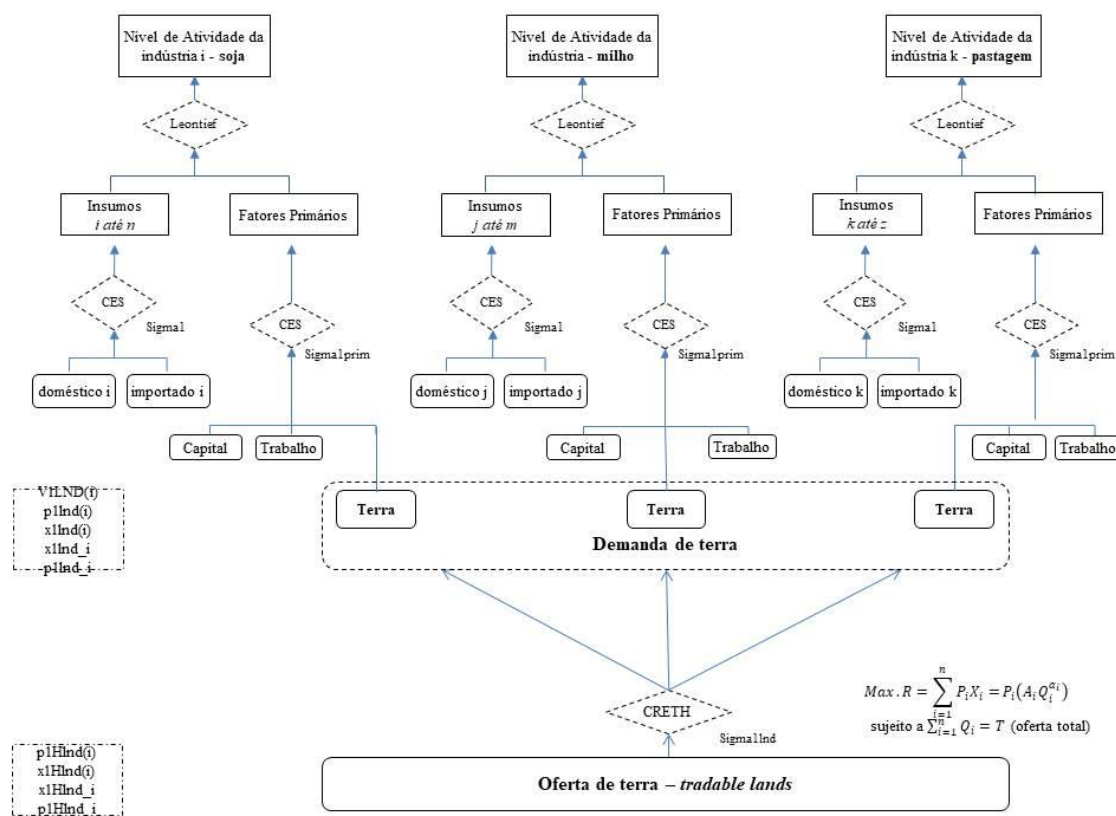


Figura 1 - Fluxograma de oferta e uso da terra nas atividades produtivas.

Fonte: Elaboração própria a partir de Horridge (2014; 2019).

O fechamento de longo prazo assume que a dinâmica econômica é conduzida por projeções exógenas de população (UN, 2024) e PIB (OECD, 2024), com crescimento acumulado de 2,2% e 56,2% entre 2025 e 2050, respectivamente. O investimento é endógeno e ajusta-se à demanda por capital, enquanto o estoque total de terra permanece fixo. O deflator do PIB é utilizado como numerário.

3.2. Trajetórias das PTFs agropecuárias

A análise das trajetórias de produtividade considera dois cenários distintos. Na literatura, é comum assumir taxas constantes de crescimento da PTF agropecuária, tipicamente, no caso brasileiro, em torno de 1,5% ao ano (Gasques et al., 2022; Helfand et al., 2025; BRASIL, 2025). Neste trabalho, busca-se relaxar essa hipótese por meio da incorporação de trajetórias diferenciadas entre atividades.

Para isso, utiliza-se a evolução histórica dos rendimentos agropecuários como *proxy* imperfeita da PTF, assumindo que variações nos rendimentos refletem, ao menos parcialmente, mudanças tecnológicas e de eficiência produtiva. Uma elevada correlação entre a PTF e os rendimentos agropecuários no Brasil podem ser observada a partir dos dados

apresentados por Gasques et al. (2022). As projeções são obtidas a partir de um modelo log-linear estimado com dados de 1990 a 2024 para as 22 atividades agropecuárias consideradas.

As taxas projetadas são normalizadas para um crescimento inicial de 1,5% em 2025, permitindo a comparação entre trajetórias ao longo do tempo. A Figura 2 apresenta as variações médias anuais da PTF por quinquênio no período 2025-2050. Observa-se heterogeneidade relevante entre atividades, com desaceleração em culturas como trigo, algodão, arroz, milho, soja e feijão, e aceleração em algumas lavouras permanentes.

No caso da pecuária, destacam-se trajetórias mais favoráveis para a bovinocultura e a produção de ovos, enquanto aves e suínos apresentam desaceleração moderada. Evidências recentes sugerem aumento da produtividade da pecuária bovina, com elevação da lotação média de pastagens, bem como expansão da área cultivada no país nas últimas décadas (IBGE, 2025; MAPBIOMAS, 2023).

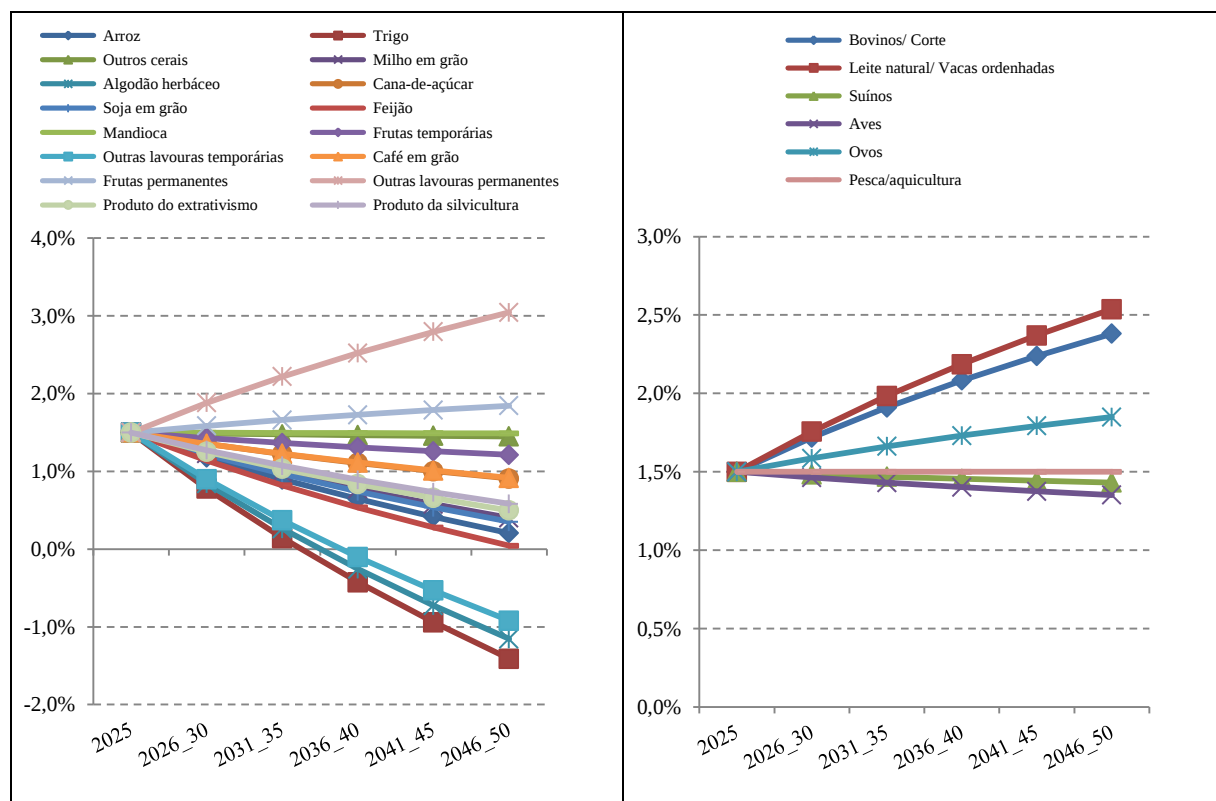


Figura 2 - Variação projetada da PTF por atividade agropecuária (2025-2050): média anual por quinquênio (em %)

Fonte: dados da pesquisa.

Em consonância com a literatura recente, ganhos de produtividade na pecuária tendem a reduzir a pressão sobre o uso de terra e trabalho, favorecendo a realocação desses fatores para outras atividades agrícolas. Esse mecanismo, já documentado para o Brasil (Ferreira Filho e Horridge, 2012), é capturado no modelo por meio do módulo de uso da terra e das

respostas a preços relativos. Embora os rendimentos não capturem integralmente a PTF, sua utilização permite incorporar heterogeneidade empírica entre atividades, aspecto central para o objetivo do estudo.

4. Resultados e Discussão

À luz do objetivo do estudo, esta seção analisa como trajetórias heterogêneas de crescimento da PTF agropecuária alteram a dinâmica do mercado de alimentos no Brasil e seus desdobramentos sobre a economia como um todo. As trajetórias de produtividade aqui analisadas refletem variações projetadas das PTFs, conforme discutido na seção 2. A análise baseia-se na comparação entre duas trajetórias: uma trajetória de referência, com crescimento uniforme da PTF, e uma trajetória contrafactual, na qual esse crescimento ocorre de forma diferenciada entre atividades. Os resultados discutidos a seguir correspondem às diferenças entre esses dois cenários.

Nesse contexto, os resultados também dialogam com a literatura que destaca que, em ambientes marcados por restrições à expansão da área agrícola e por mudanças climáticas, a desaceleração da produtividade tende a intensificar pressões sobre custos e preços no longo prazo.

4.1. Impactos macroeconômicos

Como evidenciado na Tabela 1, as mudanças heterogêneas nas trajetórias de produtividade agropecuária produzem efeitos macroeconômicos de magnitude relativamente modesta, porém positivos ao longo do horizonte analisado. O PIB apresenta crescimento adicional acumulado de 0,58% entre 2025 e 2050, refletindo principalmente a recomposição dos custos e preços relativos entre atividades e seus efeitos sobre a demanda interna.

Como decorrência do mecanismo central do modelo, esse resultado reflete a coexistência de atividades com desempenho relativamente mais favorável de produtividade – notadamente proteínas animais e algumas culturas específicas – e de atividades com desaceleração relativa. Nas primeiras, a menor pressão sobre o uso de fatores contribui para conter custos e preços; nas segundas, a necessidade de maior utilização de insumos produtivos intensifica pressões de custo. A Tabela 1 mostra que essa recomposição resulta em queda do índice de preços ao consumidor (-1,42%) e aumento da renda real (salários reais +2,16%), o que sustenta a expansão do consumo das famílias (+1,95%) e do investimento (+2,08%).

Tabela 1 - Variações quinquenais e acumuladas de variáveis macroeconômicas selecionadas, em termos de volume e preços, 2026-2050 (%)

	2026-30	2031-35	2036-40	2041-45	2046-50	Acumulado 2026-2050
Cons. Famílias	0,14	0,28	0,40	0,51	0,61	1,95
Investimento	0,16	0,30	0,43	0,54	0,63	2,08
Gastos Governo	0,14	0,28	0,40	0,51	0,61	1,95
Exportações	-0,28	-0,55	-0,79	-1,02	-1,24	-3,82
Importações	0,30	0,57	0,82	1,05	1,27	4,08
PIB	0,05	0,09	0,12	0,15	0,18	0,58
Estoque capital	0,14	0,27	0,38	0,47	0,55	1,83
Emprego e uso agregado da terra (níveis fixos)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Salário real	0,17	0,32	0,45	0,56	0,66	2,16
Preço da terra	2,23	4,42	6,57	8,68	10,74	36,92
Preços ao consumidor	-0,11	-0,20	-0,29	-0,37	-0,45	-1,42
Taxa de câmbio real	-0,52	-1,01	-1,45	-1,87	-2,26	-6,91
Termos comércio (ou de troca)	0,55	1,06	1,54	1,98	2,41	7,76

Nota: As variáveis de atividade econômica (consumo das famílias, investimento, estoque de capital, gastos do governo, exportações, importações e PIB) são apresentadas em termos de volume (variações reais), enquanto preços referem-se a variações relativas. A taxa de câmbio real é expressa em R\$/moeda estrangeira, de modo que reduções indicam apreciação real da taxa de câmbio.

Fonte: resultados das simulações.

Do lado da oferta, o ajuste ocorre predominantemente via intensificação do uso do capital, dada a restrição do estoque de terra e o crescimento limitado da força de trabalho. Como também indicado na Tabela 1, esse processo pressiona os preços dos fatores produtivos, com destaque para a terra, cujo preço se eleva em 36,92% no período, refletindo sua condição de fator relativamente escasso e não expansível no modelo. Esse comportamento evidencia o papel da terra como principal canal de transmissão dos efeitos das mudanças de produtividade sobre os custos de produção.

No comércio exterior, a Tabela 1 indica redução das exportações (-3,82%) e aumento das importações (+4,08%), acompanhados de melhora dos termos de troca (+7,76%) e apreciação real da taxa de câmbio. Esse resultado sugere que, apesar dos ganhos de produtividade em algumas atividades, a elevação de custos em segmentos relevantes da produção agropecuária reduz a competitividade externa do país.

Em conjunto, os resultados macroeconômicos indicam que as mudanças heterogêneas nas trajetórias de produtividade não apenas redistribuem ganhos e perdas entre setores, mas também alteram os preços relativos de forma a favorecer a demanda interna, ainda que com efeitos agregados de magnitude limitada.

4.2. Impactos setoriais sobre o mercado de alimentos no Brasil

Em consonância com o arcabouço analítico adotado, os efeitos setoriais refletem de forma mais direta a heterogeneidade nas trajetórias de produtividade. Como evidenciado na

Tabela 2, atividades com desaceleração relativa da PTF – como arroz, trigo, milho e soja – passam a demandar maior volume de fatores produtivos para sustentar sua produção, o que, em um contexto de elevação dos preços desses fatores, resulta em deterioração relativa de custos e perda de competitividade. Em contraste, atividades com desempenho mais favorável da produtividade, como frutas, lavouras permanentes e pecuária, conseguem reduzir ou conter a demanda por fatores mais pressionados, o que se traduz em melhora relativa de custos.

Tabela 2 - Variações quinquenais e acumuladas nos custos de produção das 22 atividades agropecuárias no Brasil, 2026-2050 (%)

	2026-30	2031-35	2036-40	2041-45	2046-50	Acumulado 2026-2050
Arroz	0,46	0,85	1,20	1,48	1,71	5,83
Trigo	0,75	1,35	1,84	2,29	2,71	9,26
Outros Cereais	-0,24	-0,45	-0,59	-0,66	-0,67	-2,58
Milho em Grão	1,78	3,32	4,53	5,38	5,89	22,66
Algodão Herbáceo	0,23	0,41	0,54	0,62	0,66	2,50
Cana de açúcar	0,12	0,24	0,37	0,50	0,67	1,91
Soja em grão	0,31	0,58	0,81	1,02	1,22	4,00
Feijão	0,62	1,17	1,62	1,99	2,28	7,92
Mandioca	-0,14	-0,25	-0,34	-0,40	-0,44	-1,55
Frutas lav. temp.	-0,10	-0,18	-0,24	-0,27	-0,29	-1,07
Outras lav. temp.	0,07	0,12	0,17	0,21	0,24	0,81
Café em grão	0,04	0,08	0,13	0,20	0,29	0,74
Frutas lav. perm.	-0,20	-0,36	-0,49	-0,60	-0,67	-2,30
Outras lav. perm.	-1,57	-2,98	-4,32	-5,68	-7,05	-19,90
Bovino e outros anim.	-0,27	-0,47	-0,60	-0,68	-0,73	-2,71
Leite in natura	-0,34	-0,61	-0,80	-0,96	-1,13	-3,78
Suíno vivo	0,04	0,10	0,18	0,27	0,37	0,96
Aves vivas	0,07	0,15	0,24	0,35	0,46	1,27
Ovos	-0,01	0,01	0,05	0,11	0,19	0,34
Prod. extrativa	13,32	28,20	44,45	62,45	81,49	518,69
Prod. silvícola	1,10	2,30	3,62	5,11	6,74	20,25
Pesca e aquic.	1,12	2,36	3,72	5,22	6,81	20,64

Fonte: dados da pesquisa.

A dinâmica dos fatores produtivos reforça esse resultado. A Figura 3 ilustra a trajetória crescente dos preços dos fatores ao longo do período, evidenciando que a terra apresenta variação significativamente superior à do trabalho e do capital. Esse comportamento confirma que a restrição de oferta de terra, combinada com maior pressão de demanda, constitui o principal mecanismo de elevação de custos no cenário contrafactual.

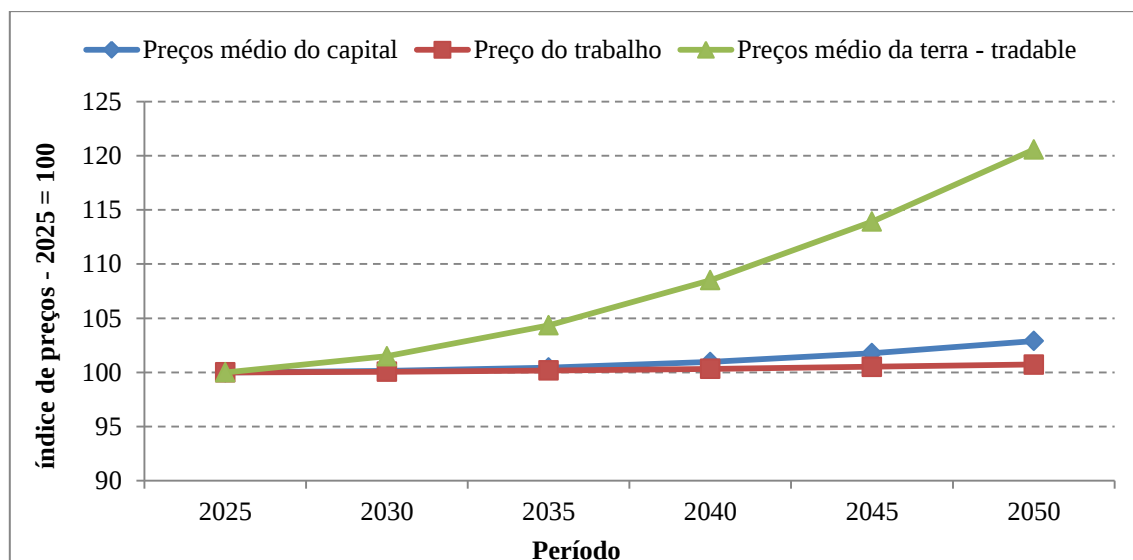


Figura 3 - Movimento dos preços dos fatores de produção no Brasil entre 2025 e 2050.

Fonte: dados da pesquisa.

Essa diferenciação de desempenho leva a um processo de realocação de recursos, particularmente evidente no uso da terra. Como mostrado na Tabela 3, observa-se uma realocação acumulada de 37,7 milhões de hectares para lavouras até 2050, equivalente a 48,1% do estoque inicial desse grupo de atividades, enquanto a pecuária reduz sua área em 41,7 milhões de hectares (-24,9%). Como o estoque total de terra é fixo, esse movimento reflete redistribuição entre usos, e não expansão líquida da área.

Tabela 3 - Mudanças quinquenais e acumuladas no uso do fator terra por grupo de atividades, 2026–2050 (mil hectares e %)

	Estoque		Diferença entre os cenários base e alternativo					Var. % 2026-2050
	2025	2026-30	2031-35	2036-40	2041-45	2046-50	2026-2050	
Lavouras	78.463	2.791	5.332	7.710	9.945	11.984	37.762	48,1%
Pecuária	167.715	-3.142	-5.975	-8.580	-10.973	-13.104	-41.775	-24,9%
Floresta	114.312	351	643	871	1.028	1.120	4.013	3,5%
Total	360.490	0	0	0	0	0	0	

Fonte: dados da pesquisa.

A Figura 4 detalha esse processo ao nível das atividades, evidenciando que soja, milho, arroz e trigo ampliam sua demanda por terra, enquanto a bovinocultura de corte e de leite concentram as maiores reduções. Esse padrão sugere que atividades com menor desempenho relativo de produtividade recorrem mais intensamente à expansão extensiva, enquanto aquelas com ganhos mais elevados liberam terra, reforçando o processo de realocação.

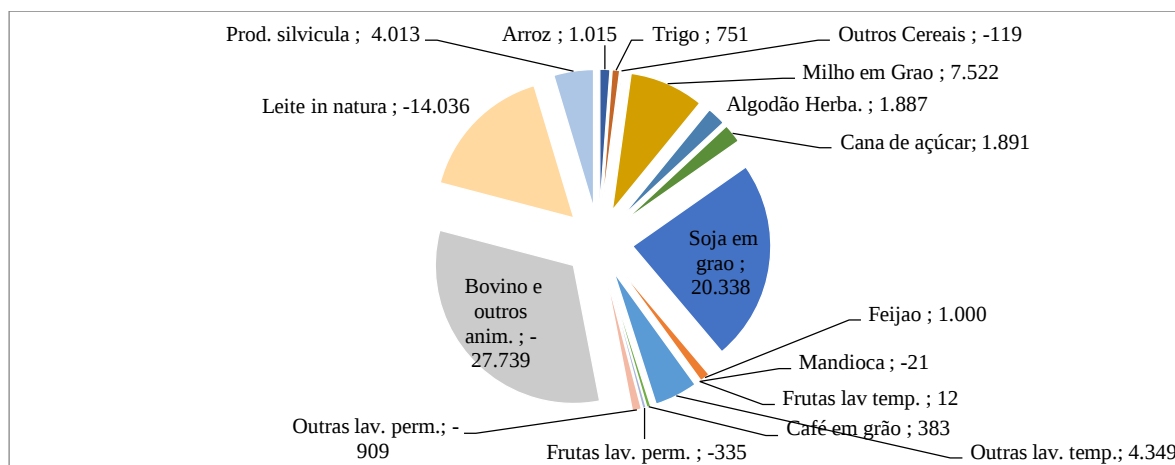


Figura 4 - Mudanças acumuladas no uso da terra por atividade agropecuária no Brasil entre os anos de 2025 e 2050 - mil hectares.

Fonte: dados da pesquisa.

A dinâmica de custos e uso de fatores se traduz em mudanças no padrão de produção. Como apresentado na Tabela 4, observa-se retração da produção em diversas atividades intensivas em terra e com desaceleração relativa da produtividade, com destaque para o trigo (-31,55%) e produtos da silvicultura (-7,44%). Em contraste, atividades como mandioca, frutas, lavouras permanentes, bovinocultura de corte e de leite apresentam crescimento, refletindo melhores condições relativas de custo e menor dependência do fator terra. Esse resultado evidencia o papel central da terra como fator restritivo e como elemento-chave na determinação da competitividade relativa entre atividades agropecuárias.

Tabela 4 - Variações quinquenais e acumuladas do volume de produção agropecuária por atividade, 2026–2050 (%)

	2026-30	2031-35	2036-40	2041-45	2046-50	Acumulado 2026-2050
Arroz	-0,08	-0,15	-0,22	-0,27	-0,32	-1,04
Trigo	-2,97	-5,43	-7,52	-9,36	-11,02	-31,55
Outros Cereais	-0,22	-0,44	-0,68	-0,94	-1,22	-3,46
Milho em Grão	-0,20	-0,38	-0,53	-0,65	-0,75	-2,49
Algodão Herbáceo	-0,30	-0,56	-0,78	-0,98	-1,16	-3,73
Cana de açúcar	-0,20	-0,38	-0,55	-0,71	-0,87	-2,68
Soja em grão	-0,19	-0,36	-0,52	-0,66	-0,79	-2,50
Feijão	-0,17	-0,31	-0,43	-0,53	-0,62	-2,04
Mandioca	0,05	0,10	0,14	0,18	0,21	0,68
Frutas lav temp.	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,12
Outras lav. temp.	-0,40	-0,75	-1,05	-1,32	-1,57	-4,99
Café em grão	-0,11	-0,21	-0,31	-0,40	-0,48	-1,50
Frutas lav. perm.	0,06	0,12	0,16	0,19	0,22	0,75
Outras lav. perm.	0,45	0,86	1,25	1,62	2,00	6,33
Bovino e outros anim.	0,16	0,29	0,39	0,46	0,52	1,84
Leite in natura	0,10	0,19	0,27	0,34	0,41	1,32
Suíno vivo	-0,14	-0,28	-0,42	-0,55	-0,68	-2,07
Aves vivas	-0,18	-0,34	-0,50	-0,64	-0,78	-2,42
Ovos	0,05	0,10	0,14	0,18	0,21	0,69

Prod. do extrativismo	-0,34	-0,66	-0,96	-1,25	-1,52	-4,64
Prod. da silvicultura	-0,52	-1,02	-1,52	-2,04	-2,56	-7,44
Pesca e aquicultura	-0,30	-0,62	-0,95	-1,30	-1,67	-4,76

Fonte: dados da pesquisa.

Além dos condicionantes do lado da oferta, a produção responde aos componentes da demanda. A Tabela 5 mostra que, com a elevação dos custos relativos para produtos exportáveis, ocorre queda generalizada das exportações, especialmente em *commodities* agrícolas e produtos florestais. Já atividades mais voltadas ao mercado interno, como leite in natura e produtos lácteos, se beneficiam da expansão do consumo doméstico, o que contribui para sustentar ou ampliar sua produção. A redução dos preços de outros alimentos processados – especialmente carnes e produtos vegetais industrializados – contribui para sustentar a demanda doméstica e atenuar as perdas em parte das cadeias produtivas.

Tabela 5 - Variações acumuladas no volume de produção, consumo das famílias, exportações e preços ao consumidor por grupo de produtos, 2026–2050 (%)

	Produção	CF*	Exportações	Preços ao consumidor
Produtos primários				
Vegetais	-3,12	-1,22	-2,32	9,60
Frutas	0,64	1,38	-1,00	-3,39
Animais vivos e ovos	-0,16	-0,32	2,24	8,43
Leite in natura	1,32	1,03	0,00	-10,50
Produtos extrativos	-4,64	-24,89	-3,65	439,69
Produtos da silvicultura	-7,44	-4,27	-17,95	30,04
Produtos processados/industriais				
Ind. de carnes	-1,55	1,78	-3,99	-2,72
Ind. de lácteos	1,52	1,83	-0,93	-3,10
Ind. processamento vegetal	-0,37	1,00	-7,21	-0,07
Ind. de rações	-0,59	-0,09	-8,76	2,97
Ind. Conservas frutas/sucos	-0,54	3,31	-3,57	-2,28
Outras indústrias	-0,16	2,27	-2,94	-2,31
Serviços	0,85	2,07	-5,69	-1,39

Nota: (*) CF = Consumo das famílias. As variáveis de produção, consumo e exportações são expressas em termos de volume (variações reais). Os preços referem-se ao índice de preços ao consumidor.

Fonte: dados da pesquisa.

Em síntese, os resultados setoriais evidenciam que as mudanças nas trajetórias de produtividade favorecem atividades capazes de reduzir o uso do fator cujo custo mais se eleva – a terra – enquanto penalizam cadeias mais intensivas nesse fator, particularmente no segmento vegetal e florestal.

4.3. Efeitos distributivos sobre o consumo das famílias

Embora os resultados anteriores evidenciem os mecanismos de ajuste do lado da oferta, seus desdobramentos sobre o bem-estar dependem do comportamento do consumo das famílias. Nesse sentido, torna-se relevante examinar como as mudanças nos preços relativos se transmitem para diferentes grupos de renda.

A Figura 5 mostra a evolução do consumo das famílias ao longo do período, por grupo de renda. O primeiro grupo vai de 0 a 2 salários mínimos (Até 2SM), e o último, mais que 25 salários mínimos (>25SM). Ela indica crescimento agregado de 1,95%, consistente com os resultados macroeconômicos apresentados na Tabela 1. Esse movimento está associado à queda do índice geral de preços ao consumidor (-1,42%), que eleva a renda real e sustenta a expansão do consumo.

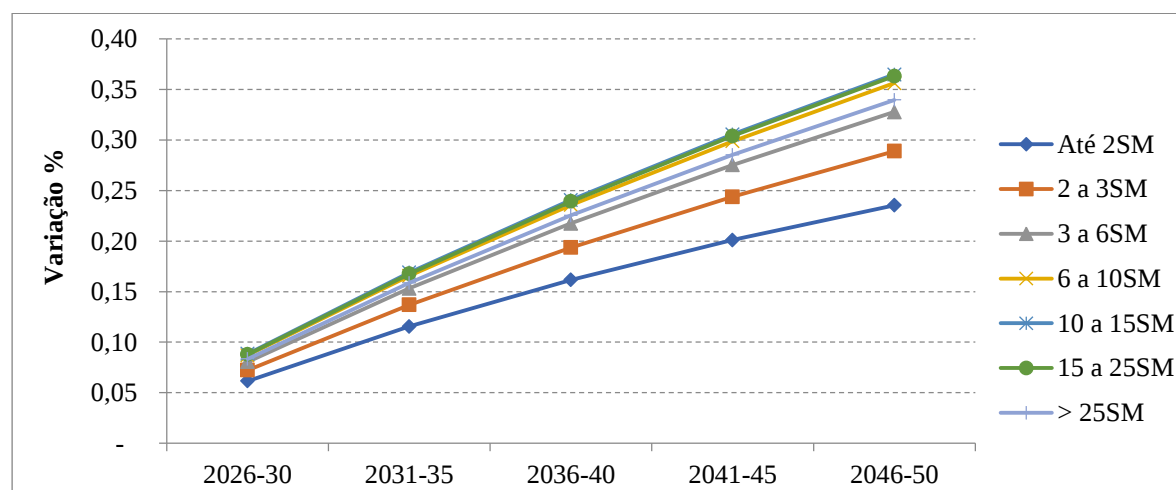


Figura 5 - Evolução quinquenal do consumo de alimentos por grupos de famílias, 2026-2050.

Fonte: dados da pesquisa.

Entretanto, os efeitos de ganhos de bem-estar associados à queda de preços e à expansão do consumo são heterogêneos entre grupos de renda. Famílias de maior renda apresentam ganhos relativamente mais elevados, em razão da maior participação, em suas cestas de consumo, de bens e serviços cujos preços se reduzem mais intensamente. Em contraste, famílias de menor renda, que apresentam maior participação de produtos primários em seus gastos, enfrentam efeitos mistos, combinando ganhos indiretos com pressões de custo em itens específicos.

A Figura 6 complementa essa análise ao mostrar a trajetória dos preços por grupos de produtos, evidenciando que alimentos processados apresentam queda de preços, enquanto alguns produtos primários registram elevação. Esse padrão ajuda a explicar por que os ganhos de bem-estar são distribuídos de forma desigual entre os diferentes grupos de famílias.

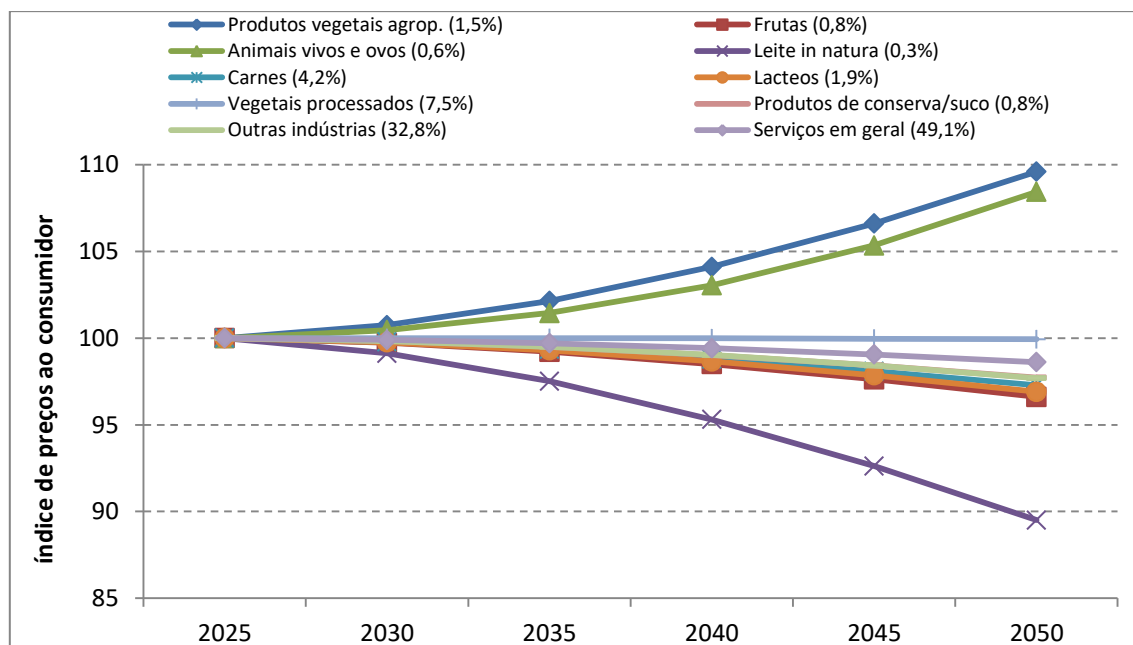


Figura 6 - Evolução dos preços de grupos de produtos da cesta de consumo das famílias entre 2025 e 2050.

Nota: os valores entre parênteses na legenda referem-se à participação das despesas com cada grupo de produtos no orçamento familiar das famílias brasileiras.

Fonte: dados da pesquisa.

Assim, ainda que os efeitos agregados sobre o consumo sejam positivos, as mudanças heterogêneas nas trajetórias de produtividade agropecuária tendem a produzir impactos distributivos não uniformes, na medida em que afetam de forma diferenciada os preços relativos e, consequentemente, as cestas de consumo das famílias brasileiras.

5. Considerações finais

O presente trabalho analisou como trajetórias heterogêneas de crescimento da produtividade agropecuária no Brasil – parametrizadas com base em projeções derivadas do comportamento histórico dos rendimentos observados no Brasil no passado recente (1990-2024) – podem afetar o crescimento econômico e, em particular, a dinâmica do mercado de alimentos. A partir da comparação entre uma trajetória de referência e um cenário contrafactual com diferenciação de choques entre atividades, foi possível isolar os efeitos econômicos decorrentes de mudanças não uniformes nas PTFs agropecuárias.

Consistentemente com os resultados apresentados, a heterogeneidade nas trajetórias de produtividade, com predomínio de desaceleração relativa em culturas relevantes, tende a elevar os custos de produção, sobretudo por meio da intensificação da pressão sobre o uso da terra. Tratada como fator de oferta restrita, a terra emerge como principal canal de

transmissão desses efeitos, apresentando valorização significativamente superior à observada para trabalho e capital. Esse mecanismo penaliza atividades mais intensivas em terra, particularmente entre os principais produtos vegetais – incluindo arroz, trigo, soja, milho e café – e florestais, cuja produção tende a se retrair relativamente ao cenário base.

Em contraste, atividades como frutas, lavouras permanentes e pecuária – especialmente bovinocultura de corte e de leite – apresentam desempenho relativamente mais favorável. Nesses casos, a combinação entre trajetórias de produtividade mais robustas e menor dependência do fator terra resulta em ganhos de competitividade, permitindo expansão da produção mesmo em um contexto de elevação generalizada dos custos.

Do ponto de vista agregado, os efeitos sobre a economia brasileira são positivos, porém modestos, refletindo principalmente a recomposição dos preços relativos e seus impactos sobre a demanda interna. Contudo, esses ganhos não se distribuem de forma uniforme, uma vez que as mudanças nos preços relativos afetam de maneira diferenciada as cestas de consumo das famílias. Como resultado, os benefícios tendem a ser relativamente maiores para os grupos de maior renda, enquanto famílias mais dependentes de produtos primários enfrentam efeitos mais heterogêneos.

Em termos de contribuição, o estudo avança em relação à literatura ao explicitar como trajetórias diferenciadas de produtividade entre atividades agropecuárias – em contraste com hipóteses usuais de crescimento uniforme – alteram os mecanismos de ajuste do sistema econômico, com destaque para o papel da terra como fator restritivo e elemento-chave na determinação da competitividade setorial e dos efeitos distributivos.

Por fim, os resultados sugerem implicações relevantes para a formulação de políticas públicas. Diante da tendência de maior pressão sobre o fator terra e da desaceleração relativa em culturas estratégicas, torna-se central ampliar investimentos em inovação, difusão tecnológica e práticas de manejo que elevem a produtividade dessas atividades, bem como em infraestrutura e adaptação às mudanças climáticas. Essas medidas são particularmente importantes para mitigar pressões de custo, preservar a competitividade externa e reduzir potenciais efeitos adversos sobre a segurança alimentar e a distribuição de renda no país. Esses resultados dialogam com a literatura recente que aponta para a redução da elasticidade de longo prazo da oferta agrícola diante de restrições estruturais e climáticas.

Referências

AGNEW, J.; NAKELSE, T. Powering productivity: scaling high impact bundles of proven & emerging tools. In: THOMPSON, T. (ed.). **2024 Global Agricultural Productivity Report**. Virginia

Tech: College of Agriculture and Life Sciences, 2024. Disponível em: <content>. Acesso em: 3 de fevereiro de 2026.

ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision**. ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO, 2012.

ALSTON, J. M.; BEDDOW, J. M.; PARDEY, P. G. Agricultural research, productivity, and food prices in the long run. **Science**, Washington, v. 325, n. 5945, p. 1209–1210, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Projeções do agronegócio: Brasil 2024/25 a 2034/35: projeções de longo prazo**. Brasília: MAPA, 2025. 132 p. Disponível em: www.gov.br. Acesso em: 17 ago. 2025.

CAMPOS, C. V. C. **Cálculo de impactos econômico-tributários setoriais provocados por alterações tributárias: modelo de equilíbrio geral computável aplicado à economia brasileira**. 2020. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2020. doi:10.11606/T.96.2020.tde-15092020-162023. Acesso em: 20 /11/2025.

CARVALHO, D. B.; SIQUEIRA, R. B. de; NOGUEIRA, J. R. B.. Características distributivas e impacto de reformas tributárias sobre o bem-estar das famílias no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, v. 67, n. 3, p. 263-282, 2013.

CHALLINOR, A. J. et al. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. **Nature climate change**, v. 4, n. 4, p. 287-291, 2014.

COELLI, T. J. et al. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. 2. ed. New York: Springer, 2005.

DIXON, P. B.; JORGENSEN, D. W. Introduction. In: DIXON, P. B.; JORGENSEN, D. W. (org.). **Handbook of Computable General Equilibrium Modeling**. Amsterdam: Elsevier, 2013. v.1A, p.1-22.

DIXON, P. B. et al. **Orani: a multisectoral model of the Australian economy**. Contributions to Economic Analysis, v. 142. North-Holland, 1982.

DOMINGUES, E. P. et al. Calibragem do modelo ORANIG para os dados da matriz insumo-produto nacional (2005). Relatório Técnico de Pesquisa. CEDEPLAR/UFMG, out.2009, 33 p.

FARIA, W. R.; HADDAD, E. A. Modeling land use and the effects of climate change in Brazil. **Climate Change Economics**, v. 8, n. 01, p. 1750002, 2017.

FERREIRA FILHO, J. B. de S.; HORRIDGE, M. **Endogenous land use and supply, and food security in Brazil**. Victoria University, Centre of Policy Studies/IMPACT Centre, 2012.

FERREIRA FILHO, J. B. de S.; HORRIDGE, M. Ethanol expansion and indirect land use change in Brazil. **Land Use Policy**, v. 36, p. 595-604, 2014.

FOLEY, J. A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337-342, 2011.

FUGLIE, K. O. Total factor productivity in the global agricultural economy: evidence from FAO data. In: ALSTON, J. M.; BABCOCK, B. A.; PARDEY, P. G. (ed.). **The shifting patterns of agricultural production and productivity worldwide**. Ames: Midwest Agribusiness Trade Research and Information Center (MATRIC), Iowa State University, 2010. p. 63-95.

FUGLIE, K. O. Productivity growth and technology capital in the global agricultural economy. In: FUGLIE, K. O.; WANG, S. L.; BALL, E. J. (ed.). **Productivity growth in agriculture: an international perspective**. Wallingford: CABI, 2012. p. 335–368.

FUGLIE, K. O. Is agricultural productivity slowing? **Global Food Security**, Amsterdam, v. 17, p. 73–83, 2018.

FUGLIE, K. O.; JELLIFFE, J.; MORGAN, S. Slowing productivity reduces growth in global agricultural output. **Amber waves: The economics of food, farming, natural resources, and rural America**, v. 2021, 2021.

GASQUES, J. G. et al. Produtividade total dos fatores e transformações da agricultura brasileira: análise dos dados dos censos agropecuários. In: GASQUES, J. G.; VIEIRA FILHO, J. E. R.; NAVARRO, Z. (orgs.) **A agricultura brasileira: desempenho, desafios e perspectivas**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2010. p. 19–44.

GASQUES, J. G. et al. **Produtividade total dos fatores na agricultura**: Brasil e países selecionados. Brasília: Rio de Janeiro: Ipea, 2022. 22 p. (Texto para Discussão, n. 2764). Disponível em: www.ipea.gov.br. Acesso em: 17 mar. 2026.

GIBBS, H. K. et al. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 38, p. 16732-16737, 2010.

GODFRAY, H. C. J. et al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 812–818, 2010.

GRASSINI, P.; ESKRIDGE, K. M.; CASSMAN, K. G. Distinguishing between yield advances and yield plateaus in historical crop production trends. **Nature Communications**, London, v. 4, art. 2918, 2013.

GURGEL, A. et al. CGE models: linking natural resources to the CGE framework. In: **World Scientific Reference on Natural Resources and Environmental Policy in the Era of Global Change: Volume 3: Computable General Equilibrium Models**. 2017. p. 57-98.

HANOCH, G. CRESH production functions. **Econometrica**: Journal of the Econometric Society, p. 695-712, 1971.

HELFAND, S. M. et al. **Total factor productivity growth in Brazilian agriculture (1985-2017): the roles of climate change and public policy**. (S. l.: s. n.), 1 out. 2025. Disponível em: <https://economics.ucr.edu/docs/helfand/Helfand%20Determinants%20of%20Total%20Factor%20Productivity%20Growth%20draft%2010-2025.pdf>. Acesso em: 12 set. 2025.

HERTEL, T. W.; BALDOS, U. L. C.; VAN DER MENSBRUGGHE, D. Predicting long-term food demand, cropland use, and prices. **Annual Review of Resource Economics**, v. 8, n. 1, p. 417-441, 2016.

HERTEL, T. W.; ROSE, S.; TOL, R. S. J. Land use in computable general equilibrium models: an overview. **Economic analysis of land use in global climate change policy**, p. 23-50, 2009.

HOFFMANN, R. Desigualdade da renda e das despesas per capita no Brasil, em 2002-2003 e 2008-2009, e avaliação do grau de progressividade ou regressividade de parcelas da renda familiar. **Economia e Sociedade**, v. 19, n. 3, p. 647-661, 2010.

HORRIDGE, M. **ORANI-G**: a generic single-country computable general equilibrium model. Centre of Policy Studies and Impact Project, Monash University, Australia, revised Mar. 2014. Disponível em: <https://www.copsmodels.com/ftp/gpextra/oranig06doc.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2025.

HORRIDGE, M. Using CRETH to make quantities add up without efficiency bias. In: GTAP ANNUAL CONFERENCE ON GLOBAL ECONOMIC ANALYSIS, 22., 2019, Varsóvia. **Anais...** (S. l.): GTAP, 2019. Disponível em: <http://ageconsearch.umn.edu>. Acesso em: 17 ago. 2025. 12 p.

HULTGREN, A. et al. Impacts of climate change on global agriculture accounting for adaptation. **Nature**, v. 642, n. 8068, p. 644-652, 2025.

IANCHOVICHINA, E.; DARWIN, R.; SHOEMAKER, R. Resource use and technological progress in agriculture: a dynamic general equilibrium analysis. **Ecological Economics**, v. 38, n. 2, p. 275-291, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa da Pecuária Municipal 2024**: resultados preliminares e estimativas. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 17 out. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa de orçamentos familiares 2017-2018**: primeiros resultados. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 mai. 2025.

LAMBIN, E. F. et al. Estimating the world's potentially available cropland using a bottom-up approach. **Global Environmental Change**, v. 23, n. 5, p. 892–901, 2013.

MAPBIOMAS. **Mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil entre 1985 a 2022**: coleção 8. (S. l.): MapBiomas, 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 20 out. 2025. (FACT_MapBi... pp. 1, 13).

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-output analysis**: foundations and extensions. Cambridge University Press, 2009.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2025**: making the most of the trade and environment nexus in agriculture. Paris: OECD Publishing, 2025. DOI: 10.1787/a80ac398-en.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **GDP long-term forecast**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://data.oecd.org/gdp/gdp-long-term-forecast.htm#indicator-chart>. Acesso em: 10 jan. 2024.

ORTIZ-BOBEA, A. et al. Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth. **Nature Climate Change**, London, v. 11, n. 4, p. 306–312, 2021.

RADA, N.; FUGLIE, K. O. New perspectives on farm size and productivity. **Food Policy**, Amsterdam, v. 84, p. 147–158, 2019.

RAY, D. K. et al. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 8, n. 6, e66428, 2013.

ROSENZWEIG, C. et al. Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 111, n. 9, p. 3268-3273, 2014.

SCHLENKER, W.; ROBERTS, M. J. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 106, n. 37, p. 15594–15598, 2009.

TILMAN, D. et al. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 108, n. 50, p. 20260-20264, 2011.

UNITED NATIONS (UN). **World population prospects**: the 2024 revision. New York: UN, 2024. Disponível em: population.un.org. Acesso em: 10 jul. 2025.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Economic Research Service. **International Agricultural Productivity**. Washington, DC: USDA, 2024. Disponível em: <https://www.ers.usda.gov/data-products/international-agricultural-productivity>. Acesso em: 3 fev. 2026.

VAN ITTERSUM, M. K. et al. Can sub-Saharan Africa feed itself? **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 113, n. 52, p. 14964–14969, 2016.

WING, I. S.; DE CIAN, E.; MISTRY, M. N. Global vulnerability of crop yields to climate change. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 109, p. 102462, 2021.

ZHAO, X.; VAN DER MENSBRUGGHE, D. Y.; TYNER, W. E. Modeling land physically in CGE models: new insights on intensive and extensive margins. In: AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS ASSOCIATION ANNUAL MEETING, 2017, Chicago. **Selected Paper...** Chicago: AAEA, 2017. Disponível em: <http://ageconsearch.umn.edu>. Acesso em: 8 out. 2025.

ZHAO, X. et al. Improving the way land use change is handled in economic models. **Economic modelling**, v. 84, p. 13-26, 2020.