

A PRODUÇÃO AGRÍCOLA DO BRASIL SOB A DEPENDÊNCIA DA LIMITAÇÃO DA EXPANSÃO DE ÁREAS CULTIVÁVEIS ENTRE 2015 E 2020

Ricardo da Silva Souza

Graduado em Ciências Econômicas pela Universidade Estadual de Londrina (UEL), graduado em Matemática pela UEL, especialista em Estatística com Ênfase em Pesquisa Quantitativa pela UEL, especialista em Educação Matemática e Ciências pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), mestre em Economia Aplicada pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e doutor em Teoria Econômica pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Docente da Universidade Estadual do Norte do Paraná (Uenp), no *campus* de Cornélio Procopio, e da Secretaria Estadual de Educação do Estado do Paraná (Seed-PR).

E-mail: ricardoricardo87@hotmail.com



<https://orcid.org/0000-0003-3449-5577>

Alexandre Florindo Alves

Graduado em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) e mestre e doutor em Economia Aplicada pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (Esalq/USP). Professor associado do Departamento de Economia e professor permanente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Econômicas e do Mestrado Profissional em Agroecologia da Universidade Estadual de Maringá (UEM). Ex-coordenador adjunto e ex-coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências Econômicas da UEM. Ex-coordenador de Serviços e Desenvolvimento Regional da UEM.

E-mail: afalves@uem.br



<https://orcid.org/0000-0003-4640-6543>



Este artigo está licenciado com uma Licença Creative Commons - Atribuição-NãoComercial 4.0 Internacional

Como citar este artigo: Souza, R. da S., & Alves, A. F. (2025). A produção agrícola do Brasil sob a dependência da limitação da expansão de áreas cultiváveis entre 2015 e 2020. *Revista de Economia Mackenzie*, 22(1), 191-209. doi: 10.5935/1808-2785/rem.v22n1p.191-209

Recebido em: 14/11/2024

Aprovado em: 24/3/2025

Resumo

Com base no nível de produção agrícola brasileira e na real dependência da limitação da área utilizada para o cultivo, explicados pela falta dificuldade de expansão da fronteira agrícola e pela condição legal sancionada pelo Código Florestal de 2012, o presente trabalho tem como objetivo verificar a relação entre a produção agrícola brasileira e os fatores explicativos da limitação, especificamente a utilização de novas áreas para cultivo no período entre 2015 e 2020, com o uso de dados em painel dos 26 estados e do Distrito Federal. Os resultados indicam que a produção agrícola brasileira cresce a taxas decrescentes, o que sugere uma queda intensiva de produtividade, mas que a limitação do uso de novas terras altera significativamente o nível da produção na região da Amazônia Legal.

Palavras-chave: Amazônia Legal; área cultivável; limitação de terras agricultáveis; novo Código Florestal; produção agrícola.

Classificação *JEL*: D24, Q10, Q18.

INTRODUÇÃO

O setor agrícola brasileiro se beneficia de grandes quantidades produzidas. Grande parte desse nível de produção é explicada pelo aumento da produtividade. Segundo a série histórica da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), de 1992 a 2016, a produção saltou de aproximadamente 68 milhões para 242 milhões de toneladas de grãos, um aumento de 266%.

Contudo, as questões relacionadas ao uso da terra para a atividade agrícola tornam-se uma pauta de discussão, principalmente no que concerne à dificuldade de encontrar novas áreas para produção. As regiões Sul e Sudeste do Brasil enfrentam dificuldades de expansão, além das restrições legais impostas

pelo Código Florestal de 2012, que destina 20% da área para preservação ambiental em locais de mata nativa onde há atividade agrícola. Na Amazônia Legal, esse percentual aumenta para 80%. Nessas circunstâncias, a produção pode perder fôlego caso sua produtividade não se sustente no futuro.

Conforme o estudo “Projeções do agronegócio 2018/2019 a 2028/2029 – Projeções de Longo Prazo” da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (2018), a área cultivada crescerá cerca de 10%, devido ao uso de áreas degradadas e pastagens naturais, mas não pela expansão da fronteira agrícola. Além disso, há uma preocupação com a limitação da área cultivada no Brasil, uma vez que, se a produtividade for menor que o volume necessário para atender à demanda, surgirá um problema de crescimento da produção, tornando o país menos competitivo (Saath & Fachinello, 2018).

Diante de tais circunstâncias, como a limitação da expansão das áreas cultiváveis afeta a produção agrícola brasileira? Dessa forma, a pesquisa tem por objetivo avaliar a produção de grãos em relação aos fatores de produção, como o capital e o trabalho, entre 2015 e 2020, incorporando em sua análise uma condição legal que limita a expansão da área agricultável: as áreas destinadas à preservação, conforme o novo Código Florestal de 2012. Além desta introdução, o trabalho apresenta o arcabouço teórico, a metodologia, a discussão dos resultados e as considerações finais.

1

ARCABOUÇO TEÓRICO

Nas últimas décadas, a produção agrícola brasileira apresenta uma tendência crescente, explicada em parte pelo aumento da área cultivada. Desde o início do século atual, esse aumento deve-se especialmente ao cultivo da soja. Segundo Brandão et al. (2006), essa expansão é baseada na conversão de pastagens. Os autores afirmam que a expansão agrícola do período foi em torno de 22%.

Na segunda década do século XXI, o crescimento expressivo no cultivo e na produção de soja evidencia a expansão de área agricultável pela rota centro-noroeste do país, concentrada nos estados de Mato Grosso, Tocantins e Rondônia, e alcançando a região amazônica, o que antes era improvável. No entanto, a taxa de expansão agrícola nesse período foi menor do que no início dos anos 2000, segundo Freitas e Mendonça (2016). Uma explicação para

essa diminuição relativa é a limitação de novas áreas agricultáveis e das pastagens para fins agrícolas.

Portanto, percebe-se que, considerando a possibilidade de não substituição das pastagens pela produção agrícola, a expansão da área cultivada torna-se cada vez mais escassa, devido à sua finitude. De acordo com Garcia e Romeiro (2021), a persistência do avanço da fronteira agrícola, em termos marginais, só será possível pelo uso intensivo de capital físico, pela especialização do capital humano, pela diminuição da mão de obra não especializada e pelo uso de tecnologia que permita o aumento da produção agrícola, com uma contribuição cada vez maior na produtividade total dos fatores.

Uma forma alternativa de manter o nível crescente da produção é a expansão nas regiões florestais, como a Amazônia. Atualmente, o debate sobre a expansão da fronteira agrícola nessa região é caracterizado pelo avanço gradativo no cultivo da soja. O cultivo nessa região mais ao norte do país tem substituído o bioma local, o que tem preocupado entidades públicas e privadas devido ao desmatamento desenfreado e à perda de biodiversidade (Domingues & Bermann, 2012).

Diversos autores afirmam que o avanço da fronteira agrícola nas regiões florestais, como a Amazônia, é um delicado problema em relação à preservação ambiental e à sustentabilidade, principalmente no que se refere ao desmatamento e à degradação. Conforme Domingues e Bermann (2012), Garcia e Romeiro (2021) e Fearnside (2022), apesar do avanço tecnológico, do uso intensivo de capital e da capacidade especializada da mão de obra, a atividade agrícola na região amazônica degradou consideráveis porções de área predominantemente florestal, sem a possibilidade de reversão ou recuperação.

Uma condição legal para reverter a tendência da degradação de áreas foi a criação de uma política governamental direcionada à preservação das florestas em regiões em que ocorrem as produções agrícola e pecuária, que é o novo Código Florestal, que entrou em vigor em 2012, como um reforço dos códigos florestais já existentes.

Para essa “nova” legislação, o código obriga os produtores em áreas florestais amazônicas a preservar 80% de sua área, e, em áreas não amazônicas, o percentual é de 20%. Segundo a pesquisa realizada por Santos et al. (2017), caso o código seja rigorosamente respeitado, a área cultivada e a produção agrícola diminuirão, afetando os indicadores de produção, como o Produto Interno Bruto (PIB), principalmente da Amazônia Legal e, em especial, o estado de Mato Grosso.

No que concerne ao comportamento conjuntural da produção agrícola brasileira, destacam-se os fatores comuns geradores para qualquer processo produtivo, como capital físico e a mão de obra, já que esta é mantida pela incorporação tecnológica e pela extensão do capital, sendo cada vez menos utilizada para a geração do produto. A combinação dos fatores, com o avanço tecnológico, permite o crescimento da produção, explicada pela produtividade total de seus fatores.

Em contraste, a produção agrícola enfrenta a restrição da fronteira que, pela escassez de áreas agricultáveis, tende a explorar regiões ambientalmente críticas, como a Amazônia Legal, e isso, a partir de uma mudança na legislação do novo Código Florestal de 2012, torna-se mais rigoroso para a utilização de terras para o exercício agrícola. A próxima seção apresentará a metodologia desta pesquisa.

2

METODOLOGIA

De forma sequencial, apresentam-se nesta seção a descrição das variáveis e as fontes de dados, a formalização da função de produção orientada à produção agrícola brasileira sob a dependência da restrição de áreas cultiváveis e o processo para a estimativa dos parâmetros do modelo, sob a perspectiva dos dados em painel.

■ 2.1 Descrição das variáveis e fontes de dados

O procedimento adotado é a estimação de uma função de produção utilizando dados em painel, cuja dimensão espacial são os estados do Brasil, entre 2015 e 2020. A variável dependente representada no modelo será a quantidade de grãos produzidos, classificada como produção (*Produção_{it}*). A unidade de medida será em milhões de toneladas produzidas. Para essa variável, sob a perspectiva de modelos dinâmicos, é obtida a variável defasada da produção (*Produção_{it-1}*). A proposição dessa variável será discutida na subseção “Modelagem para dados em painel”. Os dados utilizados serão retirados da Conab.

Em relação ao capital físico, será utilizada a variável que quantifica o estoque de tratores e colheitadeiras em determinado estado, para cada ano (*CapitalFísico_{it}*). A unidade de medida será o estoque de tratores e colheitadeiras

em um estado para determinado ano. Utilizou-se a metodologia de Barros et al. (1979) sobre a série histórica do número de tratores e colheitadeiras para projeção de estoque, tomando-se por referência a quantidade de tratores do censo agropecuário por estado.

A aderência paramétrica para as estimativas dos anos posteriores do censo ocorreu a partir da média e da variância das vendas por estado de tratores e colheitadeiras, cujos dados estão disponíveis na Associação Nacional de Veículos Automotores (Anfavea), estimando o estoque a partir da fórmula proposta pelos autores, até o ano de 2020, período final da disponibilidade dos dados. Portanto, as observações estão dispostas entre 2015 e 2020.

Em relação à mão de obra ou trabalho (*Trabalho_i*), será considerada a quantidade de indivíduos que residem na área rural e realizam atividades remuneradas no setor. A unidade de medida é a soma dos indivíduos em cada estado em um período. Os dados relacionados à mão de obra foram extraídos da base da Pesquisa Nacional de Amostra Domiciliar (Pnad) Contínua dos indivíduos maiores de 16 anos que trabalham na zona rural.

Para verificar uma possível relação limitante da produção em relação à terra, serão utilizadas informações sobre a quantidade de área de cultivo que foi protegida no período, conforme o Código Florestal de 2012. Essa medida será o total de área declarada ao Código Florestal em áreas de cultivo dos 27 estados da Federação, cuja unidade de medida é quilômetros quadrados (km²) (*ÁreasCondicionadas_i*). O objetivo teórico é verificar a interação com a produção como um fator gerador de dependência. A base de dados que compõe essa variável é do Projeto MapBiomass, sobre a cobertura e o uso da terra para conservação, por estado, entre os anos de 2015 e 2020.

Sob o recorte geográfico de Perz e Skole (2003) e Grau e Aide (2008) da Amazônia Legal, composta por nove estados – Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Maranhão, Mato Grosso, Rondônia, Roraima e Tocantins –, será criada a variável binária (*AmazôniaLegal_i*), que será codificada em 0 para os estados que não compõem a Amazônia Legal e 1 para os estados que pertencem ao recorte da Amazônia Legal. Também será construída uma variável interativa entre a (*AmazôniaLegal_i*) e a área restrita de produção, para captar sua participação na produção agrícola (*AmazôniaLegal * ÁreasCondicionadas_i*). Para a classe de estimativas de efeitos fixos, serão construídas as variáveis binárias de tempo (*Ano*), para os anos de 2015 a 2019, com o intuito de verificar a evolução período a período.

■ 2.2 A função de produção

O referencial teórico utilizado neste trabalho para obter os resultados das participações dos fatores na produção de grãos no Brasil é a função de produção, da teoria microeconômica. Segundo Silberberg (2001), a representação teórica da função de produção para um conjunto de argumentos é sistematizada matematicamente por:

$$q = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

Em que x_1, x_2, \dots, x_n são os fatores de produção. Para o caso do trabalho, os fatores de produção que contribuem para seu aumento, na teoria microeconômica, são o capital físico (K) e o trabalho (L). Os fatores coadjuvantes que podem ser incorporados de maneira aditiva são aqueles justificados por especificidade literária. Especificamente para esta pesquisa, será incorporada a quantidade de áreas condicionadas ao cultivo, em virtude do novo Código Florestal de 2012, que legalmente direciona uma parcela da área da produção agrícola à preservação. Essa variável será declarada pela letra (P). Dessa forma, a Equação (1) é descrita por:

$$q = f(K, L, P) \quad (2)$$

Dada a função de produção, é necessário compreender sua forma funcional para determinar a contribuição dos fatores na produção de maneira sistemática. Varian (1992) e Nicholson e Snyder (2005) descrevem as principais formas funcionais de produção, como a de proporções fixas e elasticidade de substituição constante. Porém, a forma funcional Cobb-Douglas se destaca pelas suas características informacionais. Sistemáticamente, é possível escrever a função (2) na forma proposta por Cobb-Douglas, da seguinte maneira:

$$q = A(K^\alpha, L^\beta, P^\gamma) \quad (3)$$

Em que α , β e γ são números que indicam a força da participação do fator na produção. Por exemplo, considerando o fator capital e mantendo constantes outros fatores, quanto maior o número α , maior a participação desse fator na produção. Quando a um mesmo nível do fator, o somatório de α , β e γ indica a escala da produção. Basicamente, se a soma for maior que uma unidade, a escala será crescente (Varian, 1992; Nicholson & Snyder, 2005).

Aplicando logaritmo na Equação (3), após manipulações algébricas, tem-se a seguinte forma:

$$\ln(q) = A^* + \alpha(\ln(K)) + \beta(\ln(L)) + \gamma(\ln(P)) \quad (4)$$

Dada a forma funcional, o objetivo quantitativo é estimar os números α , β e γ para verificar a participação de cada fator na produção agrícola, conforme a escala. A descrição logarítmica da função de produção permite avaliar a variação percentual do fator em relação à variação percentual da produção. De outra forma, tal medida da participação do fator na produção é conhecida como elasticidade. Na próxima subseção, será descrita a modelagem utilizada para a realização do método de estimação de tais números.

■ 2.3 Modelagem para dados em painel

Optou-se pela modelagem em dados em painel, pois, segundo Greene (2003), para o conjunto de dados que variam no tempo e no espaço (nesse caso, os estados), ela permite um maior número de observações, maior grau de liberdade e a redução da multicolineariedade. Algebricamente, a Equação (4) pode ser representada da seguinte forma.

$$y_{it} = x_{it} \beta + u_{it} \quad (5)$$

$$u_{it} = z_i \delta + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

$$\varepsilon_{it} = \rho_{it} \sum_{j=1}^p \varepsilon_{it-j} + v_{it} \quad (7)$$

Tomando a igualdade $\alpha = z_i \delta$, a Equação (5) pode ser reescrita:

$$y_{it} = \alpha_i + x_{it} \beta + u_{it} \quad (8)$$

Em que y_{it} refere-se às informações da produção agrícola para o determinado estado em um ano, x_{it} representa as informações das variáveis que representam os fatores de produção (capital, trabalho e as áreas condicionadas ao cultivo) e u_{it} é o termo de erro. O parâmetro α_i representa os efeitos fixos ou aleatórios não observados nos estados que teoricamente não variam em relação ao tempo. O parâmetro ρ é o número que mede a autocorrelação serial. Considerando as variáveis binárias de tempo para verificação dos efeitos de cada ano e sob o recorte geográfico da Amazônia Legal, Equação (8) é representada da seguinte forma:

$$y_{it} = \alpha_i + x_{it} \beta + D_{it} \gamma + u_{it} \quad (9)$$

Considerando a interação do recorte geográfico com a Amazônia Legal, o modelo estendido se assemelha à Equação (9), com a adição do seguinte termo $x_{it} * D_{it}$:

$$y_{it} = \alpha_i + x_{it} \beta + D_{it} \gamma + x_{it} * D_{it} \mu + u_{it} \quad (10)$$

O objetivo da Equação (10) é estimar os coeficientes dos fatores de produção, como capital e trabalho, a contribuição da limitação de áreas de cultivo à produção e, também, o efeito das regiões da Amazônia Legal na formação da produção de grãos do Brasil entre 2015 e 2020.

O conjunto de estimativas utilizará a abordagem em painel: o modelo *pooled*, de efeitos fixos sem e com a inclusão de variáveis binárias em relação ao tempo para verificar a mudança temporal da produção, e de efeitos aleatórios, sendo o último pelo método de mínimos quadrados generalizados.

A representação dinâmica da Equação (11) é descrita por:

$$y_{it} = \alpha_i + y_{it-1}\gamma_i + x_{it}\beta + u_{it} \quad (11)$$

O modelo dinâmico da Equação (8) tem suas estimativas pelos métodos em relação às diferenças (GMM-DIF) e em sistemas (GMM-SYS), utilizando o estimador de Arellano-Bond, tomando as primeiras diferenças. Considerando um painel com período curto ($T = 6$) e com espaço dos estados longo ($N = 27$), o modelo GMM-DIF pode não ser adequado, uma vez que muitas observações podem ser perdidas. Assim, é mais conveniente utilizar o estimador GMM-SYS.

A *priori*, os testes de estacionariedade de Hadri (2000) e Maddala & Wu (1999) foram aplicados. Segundo Gomes e Braga (2008), os objetivos dos testes permitem analisar o processo gerador das séries em relação à estabilidade das variâncias para o controle da autocorrelação e correlação contemporânea. Na próxima seção, serão apresentados os resultados obtidos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

■ 3.1 Estatísticas descritivas

Os dados da Tabela 1 mostram que a produção, em milhões de toneladas, possui média igual a 8.518,3 milhões e desvio padrão de R\$ 14.605,6 milhões. A amplitude entre o valor máximo e o mínimo indica a heterogeneidade entre os dados relacionados à produção, explicada pelas características de cada estado, como a disponibilidade de terras e a cultura do cultivo.

Tabela 1

Estatísticas descritivas

Variáveis	Unidade de medida	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	N
Produção	Milhões de toneladas	8518,3	14605,6	4	73.986	162
Trabalho	Indivíduos	1476,8	991,7	94	5.245	162
Capital	Número de tratores e colheitadeiras	1504,5	2157,9	1	8.910	162
Área condicionada	km ²	6552304	1682345	15.672	11.020.138	162
Amazônia Legal	Binária	0,3	0,4	0	1	162

Fonte: Elaborada pelos autores.

Quanto à variável área condicionada, a quantidade média de floresta desmatada por estado foi de 6.552.304 km²/ano, com um nível de dispersão de 1.682.345 km², o que é considerado elevado. Isso decorre, em parte, da desigual disposição de terras para preservação em relação aos estados do Brasil, conforme o Código Florestal de 2012, e à heterogeneidade territorial. Uma informação relevante é que os estados do recorte geográfico da Amazônia Legal possuem a maior proporção de áreas destinadas ao cultivo agrícola em relação à destinação ao Código Florestal, com mais de 60% do total.

A considerável amplitude dos fatores trabalho e capital fica evidenciada, especialmente, quando observado o valor mínimo do número de trabalhadores e de tratores e colheitadeiras em relação ao seu valor médio. Uma justificativa é que estados com pequena porção territorial, incluindo o Distrito Federal, não têm como característica a produção agrícola em larga escala.

■ 3.2 Estimação da função de produção

As estimativas dos métodos de painéis estatísticos (*pooled*, efeitos fixos e efeitos aleatórios) estão dispostas a seguir (Tabela 2).

Tabela 2

Resultados das estimativas pelos métodos *pooled*, efeitos fixos e aleatórios da Equação (8) para a produção agrícola dos estados brasileiros entre 2015 e 2020

Variável dependente: logaritmo da produção				
Variáveis independentes	<i>Pooled</i>	EF (1)	EF (2)	EA
Constante	-4,433*	3,646	4,472	-0,617
ln(capital)	1,163*	-0,008	-0,006	0,114*
ln(trabalho)	-0,368*	-0,657*	-0,261	-0,332*
ln(areaacondicionada)	0,531*	0,479**	0,289***	0,735*
Amazônia	14,845*			10,079
Amazônia* ln(areaacondic)	-0,986*	0,542	0,109	-0,855**
Ano(2015)			-0,466*	
Ano(2016)			-0,298*	
Ano(2017)			-0,128**	
Ano(2018)			-0,125**	
Ano(2019)			-0,005	
Corr (α , $X\beta$)	0,000	-0,793	-0,531	0,000
Fração da variância devido a u_i	-	0,995	0,933	0,959
Teste de Hausmann				0,000

Nota. (*) Denota nível de significância a 1%, (**) denota nível de significância a 5% e (***) denota nível de significância a 10%; forma funcional duplo logaritmo; são utilizadas variáveis binárias correspondentes à descrição de região. Painel balanceado com 162 observações.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Entre as estimativas dos painéis que não consideram a defasagem da produção, isto é, os painéis estáticos, aplicou-se o teste de Hausmann para verificar qual é o método mais adequado, efeitos fixos ou efeitos aleatórios para o mesmo conjunto de variáveis explicativas. A um nível de significância de 5%, rejeitou-se a hipótese nula sob a ótica da diferença não sistemática dos coeficientes

estimados; dessa forma, as estimativas dos painéis fixos são as mais adequadas, isto é, o modelo “EF(1)”. Em relação aos diagnósticos sob a heterocedasticidade, o teste de White aplicado à forma funcional duplo logaritmo possui significância estatística. Para as estimativas da Tabela 1, rejeitou-se a hipótese nula. Em relação à possibilidade de autocorrelação serial, a hipótese nula afirma que os erros em primeira e segunda ordens estão correlacionados no tempo. A um nível de significância de 5%, a não rejeição evidencia a hipótese.

Observa-se, nos modelos *pooled* e de efeitos aleatórios, que o fator capital contribui positivamente para a produção, dado o sinal da estimativa, porém de forma menos que proporcional, levando em consideração a estimativa de efeitos aleatórios. Para o curto prazo, observa-se a característica extensiva do fator, conforme mencionam Afonso (2017), Saath e Fachinello (2018) e Garcia e Romero (2021) sobre a importância do capital na agricultura, principalmente no uso dos equipamentos complexos, como os tratores.

O fator trabalho contribui negativamente para a produção agrícola no período, de tal maneira que o decrescimento desse fator condiciona um impacto mais do que proporcional à produção agrícola. Segundo Afonso (2017), uma das explicações está na substituição que ocorre entre o uso extensivo do capital e a força de trabalho na mudança de horizonte de tempo. De outra forma, a modernização da agricultura trouxe inovações tecnológicas poupadoras de mão de obra (Bragagnolo & Barros, 2015).

Sob a condição da área cultivada, as estimativas mostram uma relação positiva com a produção agrícola, uma vez que o sinal do coeficiente estimado é positivo. O relacionamento da variável com a produção agrícola em termos de razão da variação percentual (elasticidade) é semelhante às estimativas do fator capital.

Justifica-se a contribuição positiva da restrição de área para produção pela hipótese do aumento da produtividade, seja da totalidade dos fatores ou de forma parcial, permitindo a manutenção do aumento do nível da produção maior do que o aumento da área total de cultivo, o que corrobora as pesquisas de Bragagnolo e Barros (2015) e Benevides et al. (2017). Quando se relacionam as áreas condicionadas para o recorte da Amazônia Legal, o coeficiente estimado é negativo, e isso permite conjecturar que a restrição da fronteira agrícola é uma barreira para a produção nessa região, o que impacta a produtividade.

A seguir, estão os resultados das estimativas dinâmicas da função de produção agrícola sob as condições restritivas do cultivo da área. Os métodos utilizados foram de momentos generalizados em diferenças e em sistema, para os estados brasileiros entre 2015 e 2020 (Tabela 3).

Tabela 3

Resultados das estimativas pelo GMM em diferenças e pelo GMM em sistema, da Equação (9) para a produção agrícola dos estados brasileiros entre 2015 e 2020

Variável dependente: logaritmo da produção				
Variáveis independentes	GMM DIF (1)	GMM DIF (2)	GMM SYS (1)	GMM SYS (2)
Constante	-1,134	4,789***	5,767**	-0,062
ln(capital)	0,134	0,091***	0,103***	0,114**
ln(trabalho)	-0,009	-0,326**	-0,423**	-0,009
ln(restarea)	0,163	-0,076*	0,240*	0,181
Amazônia	7,160**			4,391
Amazônia* ln(areacondic)	-0,425*	-0,076	-0,339***	-0,317***
Ano(2015)				
Ano(2016)		-0,151*		0,004
Ano(2017)		-0,032		0,073
Ano(2018)		-0,095*		-0,049
Ano(2019)		-0,025		0,025
Produção _{t-1}	0,733*	0,284	0,399*	0,665*
Teste de Sargan-Hansen	0,863	0,900	1,000	1,000
Teste Arellano-Bond (AR- 1)	-0,871	-0,823	-2,885	-2,488
Teste de significância da correlação de primeira ordem dos resíduos	0,413	-0,400	0,000	-0,010
Teste Arellano-Bond (AR- 2)	-0,495	-0,527	-1,440	0,966
Teste de significância da correlação de segunda ordem dos resíduos	0,671	0,600	0,153	0,338

Nota. Estimativas em dois estágios com correção para heterocedasticidade; desvio padrão robustos entre 1% (*). Denota nível de significância a 1%, (**) denota nível de significância a 5% e (***) denota nível de significância a 10%; forma funcional duplo logaritmo; são utilizadas variáveis binárias correspondentes à descrição de região; variáveis instrumentadas: Produção_{t-1}, áreas condicionadas. Painel balanceado com 162 observações.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para verificar a validade dos instrumentos utilizados, como a produção defasada em um período, aplicou-se o teste de Sargan cuja hipótese nula é que as restrições de sobreidentificação são válidas em um nível de significância de 5%. O resultado possui significância estatística, ou seja, para os modelos estimados, há validade sobre as variáveis instrumentais para as estimativas dos modelos em sistemas e em diferenças.

Em relação ao comportamento passado da produção (Produção_{t-1}), dada a significância estatística, o sinal obtido é positivo e menor do que uma unidade, indicando a evolução da produção, o que corrobora a crescente dinâmica da produção. No entanto, as taxas de crescimento são decrescentes, conforme destacado por Saath e Fachinello (2018). Quando se leva em consideração a sua expansão, ela se torna menor devido à limitação de terras cultiváveis no Brasil, ou seja, no período houve a diminuição marginal na fronteira agrícola.

Quanto às estimativas relacionadas às áreas condicionadas, o sinal obtido é positivo e menor do que 1, o que sugere uma contribuição positiva para a produção. Isso ocorre porque, no período, houve um aumento de reservas legais em áreas agricultáveis. Assim, é possível conjecturar que, a partir da promulgação do novo Código Florestal de 2012, não houve um obstáculo para o crescimento da produção, o que corrobora as observações de Ferreira Filho et al. (2015), indicando uma relação direta entre o aumento das áreas preservadas de florestas e o aumento da produção agrícola, direcionando o crescimento da produção em razão da produtividade.

Entretanto, isso não ocorre na região da Amazônia Legal, uma vez que, em todas as estimativas, o sinal obtido foi negativo, o que mostra que, para esse recorte, as áreas condicionadas para o cultivo, em detrimento da preservação, justificadas principalmente pelas restrições legais, podem ser um empecilho à produção nessa região, o que corresponde à pesquisa realizada por Santos et al. (2017). Outra suposição é que a produtividade nessa região não é alta quando comparada aos estados que não pertencem à Amazônia Legal.

Em termos de contribuição no período observado entre 2015 e 2020, Bragagnolo e Barros (2015) concluem em sua pesquisa que, especificamente na década de 2000, embora a produtividade continuasse a manter o nível da produção, ela não cresceu a taxas crescentes, uma vez que a diminuição da fronteira agrícola pode ser o fator explicativo, observado nas estimativas das variáveis binárias para cada ano com sinal negativo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento da produção agrícola brasileira entre 2015 e 2020, em função dos fatores capital, trabalho e a adição de uma condição de área que levou em consideração o novo Código Florestal e as possíveis implicações para a restrição da fronteira agrícola, principalmente na região da Amazônia Legal.

As estimativas foram realizadas utilizando dados em painel na forma estática, pelos modelos de efeitos aleatórios e fixos, para os fatores supracitados, e dinâmico, com a obtenção dos coeficientes nos modelos em diferenças (GMM-DIF) e em sistema (GMM-SYS), levando em consideração a produção defasada.

O resultado obtido sobre os fatores corrobora o estudo de Bragagnolo e Barros (2015), segundo o qual o avanço tecnológico fez com que a substituição do trabalho pelo capital permitisse a expansão da produção. Em relação à dinâmica da produção, para o recorte temporal da pesquisa, ela ocorre de forma crescente, porém a taxas decrescentes.

Sob o condicionamento da área de cultivo, que delimita a fronteira agrícola, é permissível dizer que a diminuição marginal ainda não é um entrave para o crescimento. No entanto, nas regiões em que a escala de produção é absoluta, em termos do uso de área plantada, como Paraná, Goiás e Mato Grosso do Sul (regiões que não pertencem à Amazônia Legal), essa diminuição pode se tornar um desafio. Segundo as conclusões de Saath e Fachinello (2018) que apenas 7,8 milhões de área estão disponíveis para expansão, preocupa o crescimento em longo prazo.

O segundo ponto está relacionado aos fatores e aos processos de substituição em longo prazo. Conforme as estimativas obtidas pela pesquisa, o setor agrícola é intensivo em capital e o trabalho contribui negativamente, o que indica a substituição entre os fatores. Ainda assim, o fator trabalho é de suma importância para a produção e deverá ser levado em consideração na formação da produtividade, de tal forma que a especialização da mão de obra possa ser orientada a solucionar os possíveis problemas futuros sobre a expansão da fronteira agrícola.

Para trabalhos futuros, a sugestão é realizar uma pesquisa sobre os fatores que determinam a produtividade total dos fatores, nos quais os controles estão associados às condições do uso da terra, principalmente na Amazônia Legal, região de destaque nas questões de preservação, conforme a distribuição proporcional do Código Florestal de 2012. Espera-se avaliar como os fa-

tores que determinam a produtividade dos fatores impactam a produção agrícola nessa região.

DYNAMICS OF AGRICULTURAL PRODUCTION IN BRAZIL UNDER LAND USE RESTRICTIONS

Abstract

Given the level of Brazilian agricultural production and the real dependency on limiting the area used for cultivation – explained by the difficulty in expanding the agricultural frontier and the legal conditions sanctioned by the 2012 Forest Code – this study aimed to examine the relationship between Brazilian agricultural production and explanatory factors for this limitation, specifically the use of new areas for cultivation between 2015 and 2020, using panel data from the twenty-seven states. The results indicate that Brazilian agricultural production grows at decreasing rates, suggesting an intensive drop in productivity, but that the limitation on the use of new lands significantly alters production levels in the Legal Amazon region.

Keywords: Agricultural production; cultivable area; Legal Amazon; limitation of agricultural land; new Forest Code.

Referências

- Afonso, J. F. (2017). *Convergência espacial da produtividade total dos fatores da agricultura brasileira: Implicações dos investimentos em infraestrutura de armazenamento, pesquisa, capital humano e crédito rural*. [Tese de doutorado não publicada]. Universidade Estadual de Maringá.
- Associação Nacional de Veículos Automotores (n. d.). Séries históricas. <https://www.anfavea.com.br/estatisticas>
- Barros, G. S. C., Camargo, E. J. J. D., & Carmo, A. J. B. (1979). *Demanda de tratores: Relatório do estudo nacional de máquinas agrícolas*. Ipea.
- Benevides, A. A., Silva, F. A., Mayorga, F. D. O., & Mesquita, K. H. C. (2017). Produtividade total dos fatores e desenvolvimento do agronegócio brasileiro: Uma análise em relação aos maiores produtores agropecuários. *XXIII Encontro Regional de Economia*. Banco do Nordeste do Brasil, Fortaleza-CE.

Bragagnolo, C., & Barros, G. S. (2015). Impactos dinâmicos dos fatores de produção e produtividade da função de produção agrícola. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 53(1), 31–50. <http://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-9479005301002>

Brandão, A. S. P., Rezende, G. C., & Costa Marques, R. W. (2006). Crescimento agrícola no período 1999–2004, explosão da área plantada com soja e meio ambiente no Brasil. *Revista de Economia Aplicada*, 10(2), 249–266. <https://doi.org/10.1590/S1413-80502006000200006>.

Companhia Nacional de Abastecimento (2020). Boletim das safras 2020. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>

Domingues, M. S., & Bermann, C. (2012). O arco de desflorestamento na Amazônia: Da pecuária à soja. *Ambiente & Sociedade*, 15, 1-22. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2012000200002>

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2018). 2018/2019 a 2028/2029 – *Projeções de Longo Prazo*.

Fearnside, P. M. (2022). O cultivo da soja como ameaça para o meio ambiente na Amazônia brasileira (pp. 55–80). In P. M. Fearnside (Ed.), *Destruição e conservação da floresta Amazônica* (356 p.). Editora do INPA.

Ferreira Filho, J. B. S. F., Ribeiro, L. A., & Horridge, J. M. (2015). The control of deforestation and the expansion of agricultural supply in Brazil. *American Journal of Agricultural Economics*, 97(2), 587-601. <https://doi.org/10.1093/ajae/aav004>

Freitas, R. E., & Mendonça, M. A. A. (2016). Expansão agrícola no Brasil e a participação da soja: 20 anos. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 54, 497-516. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790540306>.

Garcia, J. R., & Romeiro, A. R. (2021). Agricultura brasileira: Desafios frente à restrição ambiental. *Terceira Margem Amazônia*, 7(17), 33-53. <http://dx.doi.org/10.36882/2525-4812.2021v7i17>.

Gomes, S. C., & Braga, M. J. (2008). Determinantes da produtividade total dos fatores na Amazônia Legal: Uma aplicação de dados em painel. *Amazônia: Ciências & Desenvolvimento*, 3(6), 127-146. <http://doi:10.5338/amaz.ciend.2008.03.06.127-146>.

Grau, H. R., & Aide, M. (2008). Land use transition in Latin America. *Ecology and Society*, 13, 1-10.

Greene, W. H. (2003). *Econometric analysis* (5th ed.). Prentice Hall.

Hadri, K. (2000). Testing for stationarity in heterogeneous panel data. *Econometrics Journal*, 3, 148-161. <https://doi.org/10.1111/1368-423X.00043>

<https://doi.org/10.1111/1468-0084.0610s1631>

Maddala, G. S., & Wu, S. (1999). A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(S1), 631-652.

Nicholson, W., & Snyder, C. (2005). *Microeconomic theory: Basic principles and extensions* (10th ed.). South-Western & Thomson Learning.

Perz, S. G., & Skole, D. L. (2003). Secondary forest expansion in the Brazilian Amazon and the refinement of forest transition theory. *Society and Natural Resources*, 16(3), 277-294. <https://doi.org/10.1080/08941920390178856>.

Projeto MapBiomias (2024). Coleção 9 da Série Anual de Mapas da Cobertura e Uso do SolodoBrasil. <https://data.mapbiomas.org/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.58053/MapBiomias/VEJDZC>

Saath, K. C. O., & Fachinello, A. L. (2018). Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 56(2), 195-212. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560201>

Santos, M. A., Ferreira Filho, J. B. S., Vieira Filho, J. E. R., & Ywata, A. X. C. (2017). *Setor agropecuário brasileiro pós-novo Código Florestal: Uma simulação de impactos econômicos* (Texto para Discussão No. 2320). Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/8039>

Silberberg, E. (2001). *The structure of economics: A mathematical analysis* (3rd ed.). McGraw-Hill.

Varian, H. R. (1992). *Microeconomic analysis* (3rd ed.). W. W. Norton & Company.