



Estimativas de plantio direto no Brasil: dados integrados para aferição econométrica

Estimates of no-tillage practices in Brazil: integrated data for econometric assessment

Luís Eduardo Pacifici Rangel

Ministério da Agricultura e Pecuária; Universidade de Brasília. Brasília, DF, Brasil

Ricardo Carmona

Universidade de Brasília. Brasília, DF, Brasil

GT04 — Meio ambiente, agroecologia, sustentabilidade e mudanças climáticas

Resumo: O Plantio Direto (PD) é prática central da agricultura conservacionista, com impactos relevantes na conservação do solo e mitigação de emissões. A ausência de séries anuais contínuas, porém, limita o monitoramento climático. Este estudo propõe metodologia econométrica para estimar a adoção anual do PD no Brasil, utilizando o Censo Agropecuário de 2017 como benchmark estrutural e integrando proxies tecnológicas via regressão Ridge com restrição física agrônômica, assegurando coerência biofísica. Os resultados indicam associação entre PD e intensidade tecnológica, não mera expansão de área. A ferramenta contribui para monitoramento de políticas de agricultura de baixa emissão e avaliação de metas climáticas.

Palavras-Chave: Sistema Plantio Direto; Modelagem Econométrica; Agricultura Sustentável

Abstract: No-Tillage (NT) is a key conservation agriculture practice with significant implications for soil preservation and greenhouse gas mitigation. However, the lack of continuous annual data constrains climate monitoring. This study proposes an econometric methodology to estimate annual NT adoption in Brazil, using the 2017 Agricultural Census as a structural benchmark and integrating technological proxies through Ridge regression with agronomic physical constraints to ensure biophysical consistency. Results indicate that NT expansion is associated with technological intensity rather than mere land expansion. The model provides a robust tool for monitoring low-carbon agriculture policies and assessing climate commitments in the agricultural sector.

Keywords: No-Till System; Econometric Modeling; Sustainable Agriculture

1. Introdução

A mensuração de práticas conservacionistas na agricultura brasileira permanece um desafio estatístico e metodológico. A inexistência de séries anuais contínuas e harmonizadas para práticas como o Plantio Direto (PD) limita análises temporais e comparações regionais. O Censo Agropecuário de 2017 constitui a principal referência empírica consolidada, porém com periodicidade decenal (Fuentes-Llanillo, 2021).

A econometria do uso da terra demonstra que padrões territoriais e práticas agrícolas podem ser inferidos a partir da integração de proxies produtivas, tecnológicas e biofísicas, quando inexistem séries observacionais completas (Chakir & Le Gallo, 2021). Simulação e modelagem espacial evidenciam que variáveis associadas à intensidade tecnológica e à estrutura produtiva com elevado poder explicativo (Plantinga & Lewis, 2014). Evidências empíricas reforçam que decisões de uso da terra respondem de forma sistemática a vetores estruturais e tecnológicos (Punzo et al., 2022).

A participação da soja na área agrícola, o uso de herbicidas sistêmicos (especialmente glifosato e 2,4-D), a presença de culturas de cobertura e a intensidade da segunda safra constituem vetores técnicos associados à adoção do PD e nesse sentido propomos estimar sua área por meio de um modelo econométrico calibrado no benchmark censitário de 2017.

2. Metodologia

A estratégia metodológica parte do princípio de que a adoção do PD pode ser inferida a partir da integração de vetores tecnológicos e estruturais da agricultura. A metodologia atualmente utilizada pelo MAPA, adota fator fixo de 0,8 sobre a área de soja como proxy para PD e implica supor homogeneidade tecnológica interestadual.

Diante da ausência de séries anuais observadas, utilizou-se o Censo Agropecuário de 2017 como ponto de calibração (benchmark) para quatro estados representativos: Mato Grosso (MT), Paraná (PR), Rio Grande do Sul (RS) e Goiás (GO). A variável dependente foi definida como a participação do PD na área agrícola total estadual:

$$SPD_{share_{it}} = \frac{SPD_{it}}{AreaTotal_{it}}$$

A especificação empírica assume que essa participação é função da estrutura produtiva e da intensidade tecnológica associada ao sistema. Foram incluídas como variáveis explicativas: (i) participação da soja na área total (IBGE), (ii) intensidade de herbicidas associados ao PD (glifosato + 2,4-D)(IBAMA), (iii) disponibilidade de sementes de plantas de cobertura (MAPA) e (iv) intensidade de segunda safra (CONAB). As variáveis foram expressas em logaritmos ou taxas relativas, reduzindo assimetrias e aproximando elasticidades. Os dados foram obtidos de bases oficiais do governo brasileiro.

A estimação foi realizada por regressão Ridge (regularização L2), com seleção do parâmetro de penalização via Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV), sendo adicionalmente imposta restrição de não negatividade aos coeficientes. Após a estimação, as séries foram ancoradas ao benchmark de 2017 por meio de reescalonamento das estimativas para coincidência com os valores observados no ano-base.

Por fim, impôs-se restrição física estrutural, garantindo que a área estimada sob PD não exceda a área potencialmente elegível:

$$SPD_{it} \leq Soja_{it} + \theta \cdot Sec_{it}$$

com $\theta=1$, assegurando que a área estimada de PD não ultrapasse a base produtiva potencial elegível.

A abordagem integra proxies tecnológicas com consistência estrutural e ancoragem empírica, sendo adequada para inferência em contextos com limitação de dados observados.

3. Resultados

A seleção do parâmetro de regularização indicou $\alpha = 1,2155$ como valor ótimo segundo o procedimento de validação cruzada leave-one-out (LOOCV). O erro médio absoluto fora da amostra (MAE LOOCV) foi de 0,0390 na variável participação (share), evidenciando bom desempenho preditivo mesmo sob restrição amostral severa. As métricas in-sample para o ano base de 2017 foram RMSE = 0,0149 e MAE = 0,0116, indicando elevado grau de aderência aos valores observados e melhora substancial em relação à especificação preliminar.

Os coeficientes padronizados indicam contribuição positiva concentrada em dois vetores principais: a participação da soja na área total ($\beta = 0,0355$) e a intensidade de culturas de cobertura ($\beta = 0,0326$). A variável associada à intensidade de uso de herbicidas apresentou coeficiente praticamente nulo ($\beta = 0,0003$), enquanto a variável relacionada à segunda safra foi reduzida a zero pela regularização. Esses resultados sugerem que, na base de calibração atualizada, a adoção do Sistema Plantio Direto está mais fortemente associada à estrutura produtiva (especialmente a presença da soja) e a práticas diretamente relacionadas à cobertura do solo, com menor relevância marginal de proxies químicos e de intensificação via segunda safra.

Esse resultado evidencia de forma consistente a interpretação de que a adoção do PD, nas estimativas obtidas, responde predominantemente a sinais de intensificação tecnológica compatível com a agricultura conservacionista, e não apenas à expansão da base agrícola. A dinâmica estadual revelou padrões coerentes com a heterogeneidade regional do sistema produtivo. O Rio Grande do Sul apresentou os maiores níveis relativos de PD e a trajetória mais elevada ao longo da série; Paraná e Goiás situaram-se em patamares intermediários e

maior variabilidade temporal, com oscilações temporais, mas sem rupturas estruturais; e Mato Grosso apresentou níveis intermediários de adoção, compatíveis com sua elevada escala produtiva e heterogeneidade tecnológica.

Tabela 1. Evolução da Área Estimada de PD (hectares)

Estado	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
GO	3.232.084	3.924.213	4.454.475	3.680.195	3.842.255	2.920.254	3.561.195
MT	8.269.000	11.040.000	10.660.000	10.950.000	14.480.000	12.180.000	14.580.000
PR	4.207.237	4.392.128	5.292.715	4.277.327	5.973.708	3.857.798	3.219.381
RS	5.788.084	6.523.135	6.640.042	6.260.543	5.541.527	5.095.261	5.010.025

4. Conclusões

A integração econométrica de proxies tecnológicas calibradas mostrou-se alternativa metodologicamente mais consistente do que fatores fixos ou extrapolações lineares univariadas para estimar práticas conservacionistas. O modelo reduz instabilidade de coeficientes, evita superestimações estruturalmente inviáveis e preserva coerência biofísica nas projeções, mesmo com amostra reduzida no ano-base.

A abordagem proposta estima a área efetivamente cultivada sob PD, considerando a área colhida como referência empírica. Embora não substitua levantamentos diretos, o método oferece um instrumento mais adequado com comparação interestadual e viabilidade de avaliação de políticas públicas, podendo ser aprimorado tanto na especificação econométrica quanto na ampliação do conjunto de indicadores utilizados.

6. Referências

- CHAKIR, Raja; LE GALLO, Julie. Spatial autocorrelation in econometric land use models: an overview. *Advances in contemporary statistics and econometrics: festschrift in honor of Christine Thomas-Agnan*, p. 339-362, 2021.
- FUENTES-LLANILLO, Rafael et al. Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture in Brazil. *Soil and Tillage Research*, v. 208, p. 104877, 2021.
- PLANTINGA, Andrew J.; LEWIS, David J. Landscape simulations with econometric-based land-use models. chap, 2014.
- PUNZO, Gennaro; CASTELLANO, Rosalia; BRUNO, Emma. Exploring land use determinants in Italian municipalities: comparison of spatial econometric models. *Environmental and Ecological Statistics*, v. 29, n. 4, p. 727-753, 2022.