

CONDICIONANTES E EFEITO TRATAMENTO DA ADOÇÃO DE SISTEMA PLANTIO DIRETO (SPD) NA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA

DETERMINANTS AND TREATMENT EFFECTS OF NO-TILLAGE SYSTEM (NTS) ADOPTION IN BRAZILIAN AGRICULTURE

Heverton Eustáquio Pinto

Professor Adjunto no Mestrado em Desenvolvimento Regional – Centro Universitário
Alves Faria - UNIALFA

heverton.eustaquio@unialfa.com.br

Alcido Elenor Wander

Pesquisador na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

Professor no Programa de Pós-Graduação em Agronegócios PPGAGRO - UFG

alcido.wander@embrapa.br

Marcelo Dias Paes Ferreira

Professor Adjunto no Departamento de Economia Rural – Universidade Federal de
Viçosa – UFV

marcelo.ferreira@ufv.br

GT12. Impactos socioambientais das novas tecnologias no agronegócio

Resumo

O incentivo ao uso do Sistema de Plantio Direto (SPD) tem sido a principal política de manejo sustentável do solo no Brasil, em vista de seus benefícios econômicos e ambientais para a sustentabilidade da produção agropecuária brasileira. O presente trabalho tem como objetivo compreender os condicionantes da adoção e o impacto econômico da expansão do SPD no Brasil. Como estratégia empírica, estimou-se um modelo *logit*, para encontrar os condicionantes da adoção e método de efeito tratamento para encontrar o impacto econômico da adoção do SPD. Foram utilizados dados do Censo Agropecuário de 2017 do IBGE em nível municipal para as estimativas. Verificou-se que a despesas, atividade pecuária e variáveis climáticas são fatores que contribuem com a probabilidade da adoção do SPD no Brasil. Há evidências de que o SPD afeta positivamente o desempenho econômico das atividades agropecuárias nos municípios brasileiros para diferentes níveis de proporção de área com SPD sobre a área agricultável.

Palavra-chave: Agricultura conservacionista; Desempenho econômico; Adoção tecnológica; Agropecuária brasileira;

Abstract

The promotion of the No-Tillage System (NTS) has been a key policy for promoting sustainable soil management in Brazil, due to its economic and environmental benefits for the country's agricultural production. This study seeks to analyze the factors influencing the adoption of NTS and its economic impact in Brazil. Using a logit model, we identified the determinants of

adoption and applied a treatment effect method to assess the economic impact of NTS adoption. Data from the 2017 Agricultural Census of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) at the municipal level were utilized for our analysis. Our findings indicate that expenses, livestock activity, and climatic variables play a significant role in the likelihood of NTS adoption in Brazil. Additionally, we found evidence that NTS has a positive impact on the economic performance of agricultural activities in Brazilian municipalities, regardless of the level of NTS area proportion over arable land.

Keywords: Conservation agriculture; Economic performance; Technological adoption; Brazilian agriculture.

1. INTRODUÇÃO

Garantir a segurança alimentar e ser mais uma alternativa de fonte de energia, respeitando a sustentabilidade dos recursos naturais, é o que se espera da agropecuária mundial. Combinar desempenho econômico e difusão de práticas sustentáveis de produção agrícola é o grande desafio dos formuladores de políticas públicas para aumentar a oferta de alimentos utilizando menos recursos e minimizando impactos ambientais. Entre as práticas agrícolas sustentáveis o Sistema Plantio Direto (SPD) tem desempenhado importantes papéis, conservar solos diante da pressão do mercado para aumentar a produção de alimentos e ser ferramenta para redução dos gases efeito estufa (GEE). (KEIL, D'SOUZA; MC DONALD 2015; ARYAL; SAPKOTA; BISHNOI, 2015; FUENTES-LLANILLO et. al., 2018; DOS SANTOS SOARES et. al., 2019; DARYANTO; WANG; JACINTHE, 2020; SAINJU, 2020; EL-SHATER, MUGERA E YIGEZU, 2020; KAWA, 2021; VERESOGLOU ET. AL., 2023)

O SPD está entre as principais práticas incentivadas no Brasil através do programa governamental Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono (PLANO ABC+), que se encontra na sua segunda fase. O Plano ABC+ está entre as estratégias setoriais brasileira que compõem a Política Nacional sobre Mudanças do Clima – PNMC (Lei nº 12.187/2009), que visa reduzir as emissões de GEE's na economia brasileira. (FREITAS, 2018; GIANETTI, 2018; FUENTES- LLANILLO et. al., 2018)

Dado a importância estratégica do SPD para políticas públicas de mitigação de emissões de GEE, da conservação dos solos e da pressão sobre florestas, é necessário compreender os determinantes da adoção do SPD no Brasil, pois sua adoção, ainda que estimulada via financiamento, e assim como qualquer inovação produtiva, depende de fatores institucionais, ambientais e da percepção do produtor frente aos benefícios operacionais que a técnica pode proporcionar para a agropecuária brasileira (RUTTAN; HAYAMI, 1984; FOSTER; ROSENZWEIG, 2012; FUENTES-LLANILLO et al, 2018;). Neste sentido, observar-se-ia um duplo-dividendo encontrado na literatura em defesa da adoção da técnica que, em suma, além de ser melhor para o meio-ambiente, o dinheiro investido por programas governamentais pode promover ganhos produtivos.

Neste contexto, o presente estudo buscou contribuir para a literatura sobre a adoção do SPD no Brasil respondendo dois questionamentos: (i) quais os condicionantes (socioeconômicos, institucionais e climáticos) da adoção do SPD no Brasil? (ii) os municípios nos quais há presença do SPD na produção agrícola apresentam resultado econômico superior?

O artigo segue, a partir desta introdução, com as definições e o uso do SPD no Brasil, seguido da apresentação da estratégia empírica utilizada no trabalho, análise descritiva dos dados e variáveis, resultados das estimativas e, por fim, as conclusões.

2. SISTEMA PLANTIO DIRETO (SPD): DEFINIÇÃO E SEU USO NO BRASIL

O Sistema Plantio Direto (SPD) está entre as inovações mais importantes para o aumento da produtividade da agricultura no Brasil, pelo tanto que a técnica representou e representa para o manejo e conservação do solo e da água, bem como sua contribuição para o aumento da produtividade dos fatores, que culminou na viabilidade de duas safras de grãos por ano agrícola, e na implementação técnica e econômica da integração lavoura-pecuária na região tropical (DENARDIN et al., 2012; REBELLO; TURETTA, 2017).

De forma sintética, o SPD pode ser definido como ferramenta da agricultura conservacionista capaz de viabilizar, em termos econômicos e eficiência operacional, o ato de produzir sem preparo prévio do solo, safra após safra de modo contínuo. Além disso, o SPD potencialmente elimina a erosão, melhora o uso de fertilizantes, aumenta a floculação e a agregação do solo e reduz a decomposição da matéria orgânica, estabelecendo sincronismo entre a disponibilidade de nutrientes e o crescimento das formas de vida presentes no solo (EMBRAPA, 2020; FEBRAPDP, 2020).

O SPD, quando comparado às práticas convencionais, como à aração, à escarificação e à gradagem do solo, o que diminui a emissão de GEE, isso se dá pelo fato da técnica conservacionista limitar a mobilização de solo à linha de semeadura, promover menor consumo de combustíveis fósseis; ao manter os restos de cultura na superfície do solo, ao reduzir as taxas de decomposição da palha e de oxidação da matéria orgânica do solo; outras razões estão no fato de, ao abrandar as perdas por erosão e minimizar a imobilização de certos nutrientes pelos minerais de argila, e em razão da mobilização intensa do solo, possibilita redução do consumo de fertilizantes industrializados; e ao requerer sistemas de produção diversificados, por sua vez, prenuncia redução do uso de agrotóxicos industrializados.

O SPD faz parte dos complexos tecnológicos que compõe os compromissos firmados pelo Brasil na COP – 15 (15ª Conferência das Partes da Convenção do Clima das Nações Unidas), que vislumbram a redução das emissões de gases de efeito estufa estimada para 2020,

entre 36,1% e 38,9%. Esses valores projetam reduções de um bilhão de toneladas de CO₂ equivalente. Sendo assim, a contribuição do SPD na mitigação de gases de efeito estufa (GEEs) virá pelo aumento da expansão da adoção (DENARDIN et al., 2012).

Nos últimos anos, o poder público e entidades privadas brasileiras têm se desdobrado para ampliar a adoção do SPD no Brasil. Por meio de crédito para financiar adoção de tecnologias que visam a mitigação de GEEs na produção agropecuária, o programa Plano ABC é principal política pública brasileira de estímulo à adoção e difusão do SPD no Brasil. O programa teve como meta estimular a adoção do SPD em 8 milhões de hectares na sua primeira fase do período de vigência (2010 a 2020), o que foi superado em 125% entre os anos de 2010 a 2016 com uma estimativa de 9,97 milhões de hectares produzindo sobre SPD.

O Plano ABC+, que se encontra na sua segunda fase (2020-2030), tem como meta estimular a adoção em 12,5 milhões de hectares, o que gera um potencial de -12,99 milhões de CO₂eq. Ressalta-se que o SPD é o segundo destino entre as tecnologias contemplados pelo programa, quanto a finalidade dos recursos, chegando a 28% em do total de recursos aplicados entre 2013 a 2016 (ASSAD et al., 2019; FREITAS, 2018; GIANETTI, 2018).

3. METODOLOGIA

3.1 FONTE DOS DADOS E VARIÁVEIS UTILIZADAS

O modelo empírico utilizou base de dados em nível municipal do Censo Agropecuário de 2017. As variáveis utilizadas para investigar os determinantes da adoção do SPD, de modo geral, são variáveis ligadas às disponibilidades de recursos econômicos e naturais, opções tecnológicas, informações e habilidades, infraestrutura e instituições.

Tabela 1 – Descrição das variáveis que compõem o modelo

Variável	Unidade	Descrição
Sistema Plantio Direto (SPD)		Variável dependente – Diz respeito a presença ou não de adoção de SPD no município. Também é utilizada como proporção para os níveis de dose para a resposta sobre o VBP agropecuária.
Valor da produção	R\$ em mil	Valor da produção animal e vegetal por municípios.
Trabalho	Unidades	Pessoal ocupado em estabelecimentos agropecuários por municípios.
Terra	ha	Área total das propriedades da microrregião decrescidas de: áreas cobertas por água e caminhos; áreas impróprias para a agricultura; áreas de florestas naturais destinadas à reserva legal e áreas de preservação permanentes.

Capital	Unidades	Soma do número de tratores e implementos agropecuários existentes nos estabelecimentos de cada município.
Despesas	R\$ em mil	Total de despesas das propriedades em cada município com: adubos e corretivos; sementes e mudas; defensivos agrícolas; medicamento para animais; sal, rações e outro suplementos para animais; energia elétrica; e combustíveis e lubrificantes.
Pecuária	Unidade animal	Número equivalente a cabeças de gado calculado pela unidade animal.
Temperatura e precipitação	°C e mm	Temperatura e precipitação média dos últimos 20 anos nos municípios, bem como seus desvios e termos quadráticos.
Idade do produtor	proporção	Proporção de produtores com menos de 25 anos e mais de 55 anos
Nível educacional	proporção	Proporção de produtores que tem ensino médio e superior
Associado	proporção	Proporção de produtores que participa de alguma cooperativa ou associação

Fonte: Censo Agropecuário 2017

3.2 MODELO DE ESCOLHA BINÁRIA (LOGIT) E *PROPENSITY SCORE MATCHING* (PSM)

Para responder os questionamentos propostos neste trabalho, avaliar o impacto econômico nos municípios brasileiros da adoção do SPD, é necessário comparar municípios nos quais há diversificação por meio do SPD com aqueles municípios em que SPD não é utilizado. Na avaliação do impacto econômico do SPD do município em que há adoção, deve-se considerar a ocorrência de um viés de seleção, em outras palavras, a agropecuária brasileira apresenta estrutura produtiva heterogênea, algumas regiões altamente produtivas e tecnificadas, e outras com baixos níveis tecnológicos empregados na produção. Portanto, é necessário levar em conta este argumento, já que heterogeneidade tecnológica da estrutura produtiva agrícola brasileira é considerada um entrave para o desenvolvimento agrário brasileiro, no avanço na adoção e difusão tecnológica (FORNAZIER; VIEIRA FILHO, 2013; VIERA FILHO; SANTOS; FORNAZIER, 2013; GASQUES et al., 2014).

Entender como ocorre o processo de adoção de tecnologias pode fornecer indicadores para políticas públicas e estratégias privadas para uma maior difusão tecnológica. Sendo assim, a metodologia utilizada neste trabalho se baseou numa tentativa de eliminação (ou mesmo redução) desse viés, através do método *Propensity Score Matching*.

Supondo que, inicialmente, y_{1i} seja o termo referente a presença de SPD na atividade agropecuária no município i , igualmente, y_{0i} denota a ausência da adoção de SPD no município. A diferença entre os ganhos obtidos pelos dois diferentes municípios, $y_{1i,t} - y_{0i,t}$, é

definida como o impacto econômico que a adoção do SPD tem sobre os municípios nos quais essa técnica de produção agrícola é adotada.

Tecnicamente, para avaliar o impacto da adoção, foi estimado o Efeito do Tratamento Médio sobre o Tratado – ETM: $ETM = E(y_{1i} - y_{0i} | D = 1)$ (1) em que $E(y_{1i} - y_{0i})$, o qual refere-se à expectativa do efeito do tratamento; e $D = 1$ que denota a adoção do SPD. Sendo assim, é necessário utilizar como variável de controle um grupo de municípios nos quais SPD não tenham sido adotado, mas que guardam características similares aos municípios que possuem áreas cultivadas sob SPD. Portanto, define-se um contrafactual que possibilite avaliar o ganho médio dos municípios nos quais há agricultores que se diversificaram a sua produção adotando SPD, caso eles não tivessem nenhuma área dedicada a técnica.

A obtenção do contrafactual é feito através da técnica de *Propensity Score Matching* (PSM), proposta por Rosenbaum e Rubin (1983). Segundo os autores, o escore de propensão definido é definido como a probabilidade condicional de receber o tratamento, dadas as características pré-estabelecidas. Espera-se teoricamente que os agricultores decidam adotar SPD quando a utilidade esperada (mas não observada) da adoção ($D=1$) for maior que a utilidade da não adoção ($D=0$). A adoção do SPD é observável como uma escolha dicotômica:

$$D_i^* = Z_i\beta + \varepsilon_i, \text{ sendo } D_i = 1, \text{ então } D_i^* > D_0^*, \text{ ao contrário } D_i = 0 \quad (1)$$

onde Z representa uma matriz das variáveis explicativas, β é o vetor de parâmetros a serem estimados e ε_i é o termo de erro normalmente distribuído com média zero e variância constante.

Sendo assim, estima-se o escore de propensão, através do modelo *logit*, definido como a probabilidade condicional de receber o tratamento, dadas as características pré-estabelecidas:

$$p(W) \equiv \Pr(D = 1 | W) = E(D | W) \quad (2)$$

em que $D = (1)$ é a *dummy* indicadora de utilização do SPD (tratamento) e W , o vetor multidimensional de características antes do tratamento (tipos de solos, temperatura e precipitação, fatores demográficos, socioeconômicos e estruturais dos municípios).

Considerando cada município i , se o escore de propensão, $p(W)$, é conhecido, então o efeito tratamento sobre os tratados (ETM) pode ser estimado da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} ETM_1 &= \{y_{1i} - y_{0i} | D_i = 1\} \\ &= [E\{y_{1i} - y_{0i} | D_i = 1, p(W)\}] \end{aligned}$$

$$= [E\{y_{1i}|D_i = 1, p(W)\} - E\{y_{0i}|D_i = 0, p(W)\}|D_i = 1 \}] \quad (3)$$

Para a estimação do escore de propensão $p(W_i)$ deve ser utilizado um modelo de probabilidade, $\Pr(D_i = 1 | W_i) = F\{h(W_i)\}$. Neste trabalho, utilizou-se o modelo Logit, de modo que $F(\cdot)$ é a distribuição normal, onde indica-se a ocorrência ou não de determinado evento, no caso do presente estudo, se há adoção do SPD no município ou não. Tal modelo vem sendo utilizado em várias investigações empíricas sobre adoção tecnológica (WINSTEAD et al., 2010; ROBERTSON et al., 2012; LAMBERT et al., 2015).

Adicionalmente, para a construção do grupo de comparação a partir dos municípios não tratados (sem SPD), o presente trabalho empregou o método do vizinho mais próximo (*Nearest Neighbor Matching*), para cada elemento do grupo dos tratados, n indivíduos do grupo de controle (os valores de n neste trabalho são 5 e 1) são selecionados considerando que sejam o mais próximo possível com base no valor do escore de propensão. Quando ocorre esse tipo de pareamento, cada observação de controle somente será utilizada uma vez na comparação com tratados.

A literatura que versa sobre adoção tecnológica aponta um conjunto de fatores condicionantes que determinam a adoção de alguma tecnologia ou prática/processo produtivo. Algumas variáveis são frequentemente apontadas, como: o papel da aversão a riscos (mercadológico e edafoclimáticos), tamanho de propriedade, comercialização, infraestrutura física e institucional, capital humano, qualidade do ambiente, tecnologia disponível, variáveis demográficas, características ou formas de gestão, arrendamento, nível educacional, entre outros. Tais fatores explicam a adoção através do caráter comportamental do agente produtor/empreendedor no mercado. Em outras palavras, a decisão de adotar é dada pela utilidade percebida dos fatores produtivos e de seus preços (RYN; GROSS, 1943; GRILICHES, 1957; MANSFIELD, 1961; RUTTAN; HAYAMI, 1984; ZILBERMAN, 1985; FEDER; UMALI, 1993; ROGERS, 2010; ROSENBERG, 2014).

Nesses trabalhos, o objetivo é modelar os fatores e condicionantes que aumentam a probabilidade de uso de tecnologias, ou seja, buscam entender o que vem contribuindo para a adoção ou não de determinada inovação tecnológica ou procedimento produtivo. A probabilidade logística de y assumir 0 ou 1 é função das variáveis explicativas representadas pelo vetor x cujos parâmetros expressam a decisão de adotar ou não.

3.2.1 Propensity Score Matching Generalizado (PSG) – Função Dose-Resposta

A estratégia empírica do presente trabalho busca comparar municípios brasileiros com características suficientemente similares, mas com diferentes intensidades de tratamento,

proporção da área agricultável sobre SPD, com o objetivo de construir um cenário de quase experimento.

Imbens (2000) e Hirano e Imbens (2004) propõem a estimação de uma função dose-resposta, que se baseia na estimação da probabilidade de recebimento de cada nível de tratamento, onde:

$$Ti = t, \text{ dado por } r(t, X) \quad (4)$$

Os autores demonstram que, condicional à probabilidade de recebimento do tratamento t , o status de tratamento independe do resultado potencial na ausência da intervenção. À essa propriedade, análoga à hipótese do modelo PSM, é dado o nome de ignorabilidade fraca.

$$Y(t) \perp 1[T = t] \mid r(t, X), \forall t \quad (5)$$

Para estimar $r(t, X)$, assume-se que o tratamento tenha uma distribuição normal, condicional nas variáveis de controle, isto é, $Ti | X \sim N(\beta_0 + \beta_1 X_i, \sigma^2)$. Após estimar os parâmetros β , é possível obter o valor da função densidade de probabilidade associado ao valor observado da variável de tratamento.

$$\hat{f}_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi\hat{\sigma}^2}} \exp\left(-\frac{1}{2\hat{\sigma}^2} (Ti - f(\hat{\beta}, Xi))^2\right) \quad (6)$$

Para obter a relação condicional $Y|r(t, X)$ regride-se o resultado sobre o tratamento para definir os *propensity scores* generalizados.

$$E[Y_i | Ti, \hat{f}_i] = \alpha_0 + \alpha_1 f(Ti) + \alpha_2 f(Ti)^2 + \alpha_3 \hat{f}_i + \alpha_4 \hat{f}_i^2 + \alpha_5 f(Ti) \hat{f}_i \quad (7)$$

A equação acima informa a relação entre o resultado observado, o tratamento e a probabilidade de receber cada nível de tratamento. Uma vez estimados os coeficientes α_i , pode-se avaliar os resultados potenciais para cada nível de tratamento.

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS

Inicialmente, são apresentadas as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas no modelo, ou seja, as características socioeconômicas, as variáveis climáticas e fatores institucionais nos municípios brasileiros (Tabela 2). Essa análise exploratória tem como objetivo fornecer informações gerais para o entendimento dos resultados do efeito de tratamento que será apresentado na próxima seção.

Os dados demonstram que 13% da área agricultável média nos municípios brasileiros estão produzindo sobre SPD. Dos 5.572 municípios considerados na pesquisa, 4.857 foram identificados pelo Censo Agropecuário de 2017 como tendo áreas cultivadas com uso do SPD. E há apenas 13% que não apresentam valores de área agricultável sobre SPD (Tabela 2).

Tabela 2. Análise descritiva das variáveis

Variáveis	Média	Desvio-padrão	Min	Max
VPB (2017)	R\$ 83.203,01	169513,5	16	3.248.127,00
Uso do SPD	0,132053	0,2423	0	3,6
Pessoal Ocupado	2.718,213	2.945,04	6	48246
Terra agricultável	50.088,55	103.697,80	3	3.411.216
Menos 25 anos	0,0742964	0,0408706	0	1
Mais de 55 anos	0,7443748	0,0874916	0	1
Capital	374,8	583,9684	0	7401
Despesas	31.559,04	74.211,15	73	1.423.489,00
Ensino Méd	0,1771893	0,076631	0	1
Ensino Sup.	0,091814	0,0869855	0	0,5714286
Associado	0,3824817	0,213185	0,0017301	1
Precipitação	1333,256	572,2901	147,4	3197,8
Desvio da Precipitação	-79,24361	288,9245	-1401,582	728,52
Temperatura	22,61923	3,16881	14,7875	31,8408
Desvio da Temperatura	1,87e+16	1,39e+18	-2,0649	1,04e+20

Fonte: Dados da pesquisa – Censo Agropecuário 2017

Em termos absolutos, o censo agropecuário de 2017 revela que a área média em hectare de municípios que produz sobre SPD é de 7.615 hectares. A proporção média de produtores com menos de 25 anos nos municípios brasileiros é de 7%, enquanto produtores acima de 55 anos são 74%. A proporção de produtores com ensino médio e superior estão em média 18% e 9%, respectivamente. Espera-se que a proporção de jovens produtores e produtores com níveis educacionais contribuam positivamente com a probabilidade de adoção do SPD. É esperado também uma relação positiva entre capital e despesas, que são considerados os indicadores econômicos afetados pela adoção, já que alguns estudos revelam que SPD otimiza o uso de maquinários e consequentemente, os gastos operacionais. (KEIL, D'SOUZA; MC DONALD 2015; ARYAL; SAPKOTA; BISHNOI, 2015; FUENTES- LLANILLO et. al., 2018; DOS SANTOS SOARES et. al., 2019; DARYANTO; WANG; JACINTHE, 2020; SAINJU, 2020; EL-SHATER, MUGERA E YIGEZU, 2020; KAWA, 2021; VERESOGLOU ET. AL., 2023)

A variáveis climáticas utilizadas foram precipitação e temperatura, na sua forma linear e quadrática, e os seus desvios à média. Espera-se uma relação positiva entre tais variáveis e a probabilidade da adoção do SPD, já que a prática de cobertura do solo mitiga o impacto das quedas de gotas no solo, evitando erosão e uma melhor cobertura térmica.

Pode-se observar que 38% dos produtores agropecuários nos municípios participam, em média, de alguma associação ou cooperativa. Tais formas de organização são consideradas redes de informação importante para a difusão e engajamento para adoção de tecnologias ou práticas agropecuárias. Sendo assim, espera-se também uma relação positiva entre a variável associação e a probabilidade de adoção do SPD.

4.2 ANÁLISE DOS CONDICIONANTES ASSOCIADOS À DECISÃO DE UTILIZAÇÃO DO SPD

Neste tópico são demonstradas as estimativas do modelo Logit, que visa explicar os fatores associados à decisão de adoção do SPD (Tabela 3). Tal procedimento tem como objetivo responder a primeira questão de pesquisa deste trabalho e é, ao mesmo tempo, o procedimento inicial para a comparação dos municípios que possuem áreas agricultáveis sobre SPD e aqueles nos quais esse sistema não está presente (Modelo de Efeito de Tratamento). Esse procedimento permitirá responder concretamente a segunda questão de interesse nesta pesquisa, qual seja, municípios brasileiros em que há adoção do SPD apresenta um resultado econômico superior àqueles que não apresenta adoção?

Tabela 3 – Estimativas do modelo Logit de determinação da probabilidade de adotar SPD no Brasil

Variáveis	Coeficientes	Erro padrão	P>z
Pessoal Ocupado	7,63E-06	0,0000238	0,748
Terra agricultável	-3,78-6	2,53e-06	0,135
Menos 25 anos	-3,412441	5,605029	0,491
Mais de 55 anos	-0,6290183	2,368807	0,791
Capital	0,0008137	0,0005717	0,155
Despesas	0,0000259	7,60e-06	0,001
Pecuária	7,13e-06	4,04e-06	0,077
Ensino Méd	0,1787427	1,399595	0,898
Ensino Sup.	0,2323429	1,889641	0,902
Associado	0,3310891	0,3175089	0,297
Precipitação	0,0022502	0,0001927	0,000
Desvio da Precipitação	-0,0013464	0,0003643	0,000
Temperatura	-0,2030416	0,0438214	0,000
Desvio da Temperatura	0,1353235	0,1438853	0,347
Constante	3,972338	2,497293	0,112
LR chi2(14)	835,17		
Prob > chi2	0,0000		

R2

0,3220

Fonte: Resultado da pesquisa

Quanto aos ajustes das estimativas, os resultados do modelo levaram 7 interações para ser estimado. O LR chi2 indica que os coeficientes são conjuntamente significativos para explicar a probabilidade da adoção do SPD em nível municipal. O valor da estatística Prob>Chi permite rejeitar a 1% hipótese que todos os coeficientes sejam iguais a zero. O Pseudo R2 revela que 32% da variação da variável dependente (adotar ou não SPD), pode ser explicado pelas variáveis independentes do modelo.

As variáveis Pessoal Ocupado e Terra agricultável não apresentam coeficientes estatisticamente significante, em outras palavras, não são fatores determinantes da adoção do SPD. As variáveis relacionadas as idades do produtor, escolaridades e associado não apresentaram coeficientes com significância estatística para explicar a adoção do SPD nos municípios brasileiros. O que não era esperado, já que produtores jovens, associados, maior nível de despesas e escolaridades segundo a literatura, são fatores determinantes na adoção de tecnologias agrícolas. A variável capital, que se refere ao número de maquinários e implementos agrícolas, revela uma relação positiva e, porém, não significativa com a probabilidade de adoção do SPD.

As variáveis climáticas que compõe o estudo, a temperatura e precipitação apresenta significância estatística, o que era esperado. Maiores níveis de precipitação aumenta a probabilidade de adoção do SPD. Tal resultado traz indício importante para a questão climática, talvez os produtores percebam a técnica como ferramenta para adaptação climática.

A partir das considerações a respeito dos condicionantes da adoção do SPD no Brasil, avaliou-se as diferenças de desempenho agropecuário através da variável VBP (Valor Bruto da Produção) nos municípios com e sem uso do SPD, como observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Impacto sobre o VBP de municípios com e sem uso do SPD

	Coeficiente	z	P>z
ATE	R\$ 82.587,75	17,00	0,000
ATET	R\$ 98.477,97	17,27	0,000

Fonte: Dados da pesquisa.

Na Tabela 4 pode-se observar o efeito tratamento (AET) e o efeito tratamento médio sobre os tratados (ATET) que o VBP nos municípios com uso do SPD foi superior ao dos municípios nos quais essa técnica não é utilizada. As diferenças calculadas são estatisticamente significativas a 1% de probabilidade. Esses resultados indicam que em municípios que

apresentam SPD, o VBP pode chegar até R\$ 98.477,97 reais. Tais resultados revelam que há indícios de que SPD tem contribuído com o VBP agropecuária no país, em vista dos benefícios econômicos e ambientais que a prática proporciona.

4.3 PSG e Efeito Dose-Resposta

Esta seção apresenta os resultados obtidos pelas estimações do *propensity score* generalizado (PSG) e da função dose-resposta. Foram avaliados os efeitos dos diferentes níveis proporção do SPD sobre a área agricultável dos municípios utilizando o método PSG.

A análise do efeito dose se inicia por volta de R\$ 100 mil, em VBP. Os efeitos crescentes iniciais podem indicar que uma associação positiva entre a presença do SPD e maiores níveis de VBP agropecuária nos municípios brasileiros.

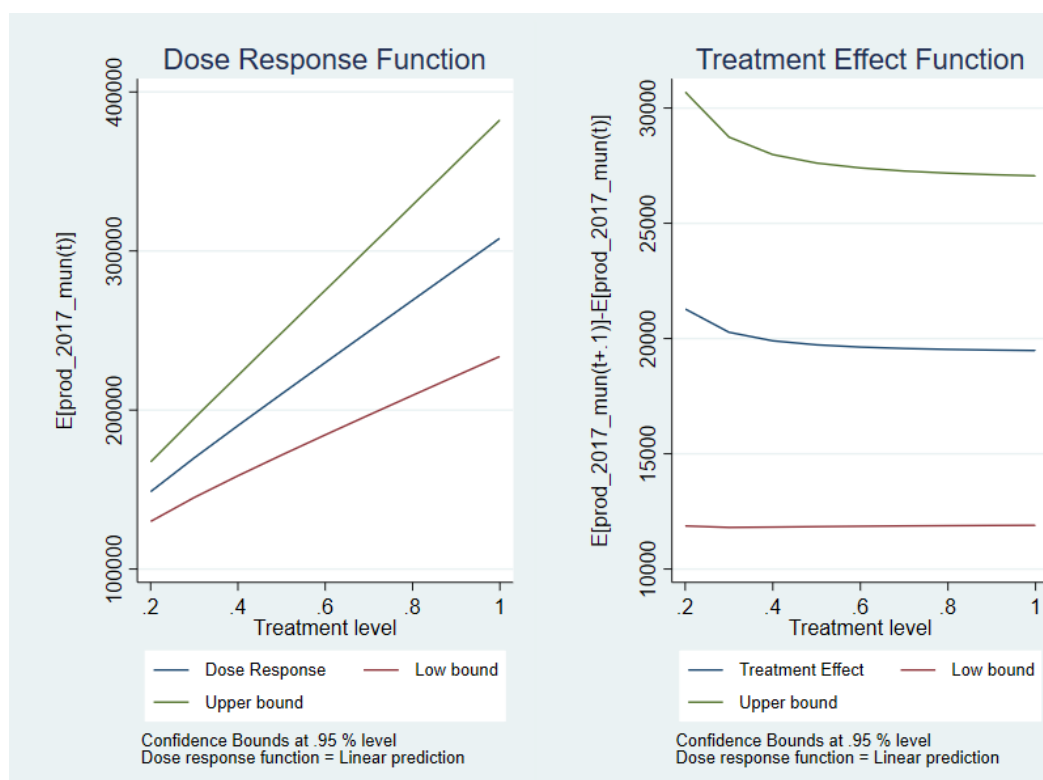


Figura 1 – Dose-resposta e efeito tratamento do SPD sobre VBP agropecuária

Fonte: Dados da pesquisa

O método de dose-resposta indica que o efeito variou conforme o a proporção do SPD sobre a área agricultável nos municípios brasileiros. Na Figura 1, percebe-se que o efeito tratamento por níveis de proporção do SPD é decrescente na proporção. Em outras palavras, o efeito se reduz à medida que se verifica maiores níveis de proporção do SPD sobre a área

agricultável, o que poderia indicar que o impacto do SPD nos diferentes níveis de adoção não mudaria tanto o VBP agropecuários nos municípios brasileiros.

Em suma, a função dose-resposta encontrada pelo PSG apresenta evidências de que os níveis do SPD estão relacionados positivamente com maiores níveis de VBP da agropecuária nos municípios brasileiros. Entretanto, o impacto sobre a renda da atividade agropecuária municipal em resposta a maiores níveis do SPD é menor a medida da expansão da técnica sobre a área.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do estudo permitem concluir que a adoção do SPD no Brasil é condicionada pelas condições econômicas e climáticas dos municípios. Adicionalmente, o fato de o padrão histórico precipitação e temperatura influenciar na escolha dessa técnica de manejo agrícola reforça a ideia de que seu processo de escolha esteja ligado à sua utilização como medida adaptativa às mudanças climáticas.

As estimativas de efeito tratamento revelam impacto positivo e significativo sobre o VBP agropecuária nos municípios brasileiros, porém, na análise de dose-resposta, constatou-se que a contribuição do SPD a partir dos níveis de proporção sobre a área agricultável nos municípios contribui de forma decrescente, à medida que SPD avança sobre a terra agricultável no município, o impacto econômico diminui, porém, mantém-se positivo.

É possível concluir, também que os SPD guarda potencial de elevar o valor bruto da produção agropecuária dos municípios, além de tornar a produção agropecuária menos vulnerável ao clima. Diante dessa constatação do processo de adoção do SPD, recomenda-se como agenda de pesquisa mais estudos relacionados ao impacto do SPD como medida adaptativa climática, além de as proposições da técnica, bem como os benefícios a ela associados.

É fundamental ressaltar a necessidade de fornecer melhores condições de crédito para a implementação do SPD para que incentivem os produtores ao método de produção mais sustentável em relação as condições do solo. Para isso deve contar com assistência técnica e informação sobre a prática de manejo e seus benefícios que possam ser obtidos. O incentivo a adoção do SPD deve ser estimulado em vista do potencial aumento da produção agropecuária em bases sustentáveis, além de ter a possibilidade de ampliar os rendimentos provenientes do bom desempenho dos solos, além de estar em alinhado com os acordos climáticos internacionais firmados pelo país.

Sinteticamente, os resultados desse trabalho sugerem que, dado o ainda restrito à participação média da adoção do SPD na área agricultável no Brasil, a utilização desses sistemas seja incentivada, dado o duplo dividendo entre ganhos econômicos e ambientais. É preciso observar as condições econômicas e financeira para que haja maior investimento por unidade de área, uma vez que esse recurso marginal pode representar grande ganho de eficiência viabilizado pela prática. O referido “esforço adicional” visaria o oferecimento, principalmente, de assistência técnica aos produtores, de modo a dotá-los do conhecimento adequado para o uso do SPD. É importante ressaltar que esses avanços somente serão obtidos num ambiente de evolução das políticas públicas e do sistema de extensão rural.

Um dos principais argumentos econômicos em defesa do uso da técnica está na sua capacidade de otimização de recursos na produção agropecuária, sendo assim, a estimativa revela que a técnica tem potencial de reduzir o risco do produtor contra quebras de safras, além de novas adaptações decorrentes de veranicos mais intensos, possibilitando ainda ao produtor beneficiar-se da produção da safrinha. Portanto, e em modo geral, o SPD potencialmente pode elevar o crescimento e a competitividade do agronegócio brasileiro de forma sustentável, em conformidade com os fundamentos da “agricultura inteligente face ao clima” (*climate-smart agriculture*).

REFERÊNCIAS

ARYAL, Jeetendra Prakash et al. On-farm economic and environmental impact of zero-tillage wheat: a case of North-West India. **Experimental Agriculture**, v. 51, n. 1, p. 1-16, 2015.

DARYANTO, Stefani; WANG, Lixin; JACINTHE, Pierre-André. No-till is challenged: Complementary management is crucial to improve its environmental benefits under a changing climate. **Geography and Sustainability**, v. 1, n. 3, p. 229-232, 2020.

DOS SANTOS SOARES, Daiane et al. How diversity of crop residues in long-term no-tillage systems affect chemical and microbiological soil properties. **Soil and Tillage Research**, v. 194, p. 104316, 2019.

EL-SHATER, Tamer; MUGERA, Amin; YIGEZU, Yigezu A. Implications of adoption of zero tillage (ZT) on productive efficiency and production risk of wheat production. **Sustainability**, v. 12, n. 9, p. 3640, 2020.

FUENTES-LLANILLO, Rafael et al. Profitability of no-till grain production systems. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, n. 1, p. 77-86, 2018.

DENARDIN, José Eloir; KOCHHANN, Rainoldo Alberto; FAGANELLO, Antônio; SANTI, Anderson; DENARDIN, Norimar D'Ávila; WIETHÖLTER, Sírio. Diretrizes do Sistema

Plantio Direto no contexto da agricultura conservacionista. Passo Fundo: Embrapa Trigo, p. 15, 2012.

DE RESENDE, Alvaro Vilela. O sistema plantio direto proporciona maior eficiência no uso de fertilizantes. Embrapa Milho e Sorgo-Documents (INFOTECA-E), 2011.

DE SA, M. A. C.; SANTOS JUNIOR, J.; FRANZ, CAB. Manejo e conservação do solo e da água em sistema de plantio direto no Cerrado. Embrapa Cerrados-Documents (INFOTECA-E), 2009.

DOS SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. Aspectos biológicos na elevação do rendimento de grãos de cereais de inverno em plantio direto In: SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T. (Ed.). Sistemas de produção para cereais de inverno sob plantio direto no sul do Brasil. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010.

EL-SHATER, Tamer; YIGEZU, Yigezu A.; MUGERA, Amin; PIGGIN, Colin; HADDAD, Atef; KHALIL, Yaseen; LOSS, Stephen; AW-HASSAN, A. Does Zero Tillage Improve the Livelihoods of Smallholder Cropping Farmers? Journal of Agricultural Economics, v. 67, n. 1, p. 154-172, 2016.

FEBRAPDP. O que é Sistema de Plantio Direto (SPD)? Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação. Acessado em: 28/04/2020.

FOSTER, Andrew D.; ROSENZWEIG, Mark R. Microeconomics of technology adoption. Annu. Rev. Econ., v. 2, n. 1, p. 395-424, 2010.

FUENTES-LLANILLO, Rafael; TELLES, Tiago Santos; VOLSI, Bruno; SOARES JUNIOR, Dimas; CARNEIRO, Sergio Luiz; GUIMARÃES, Maria de Fátima. Profitability of no-till grain production systems. Semina: Ciências Agrárias, v. 39, n. 1, p. 77-86, 2018.

GASQUES, José Garcia; BASTOS, E. T; VALDES, C.; BACCHI, M. R. P. Produtividade da agricultura: resultados para o Brasil e estados selecionados. Revista de Política Agrícola, v. 23, n. 3, p. 87-98, 2014.

GIANETTI, Giovanni William. O Plano e Programa ABC: uma avaliação da execução e distribuição dos recursos. Tese de Doutorado – Departamento Economia Aplicada. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2018.

KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; DERPSCH, R. Global spread of conservation agriculture. International Journal of Environmental Studies, v. 76, n. 1, p. 29-51, 2019.

KAWA, Nicholas C. A “Win-Win” for Soil Conservation? How Indiana Row-Crop Farmers Perceive the Benefits (and Trade-offs) of No-Till Agriculture. **Culture, Agriculture, Food and Environment**, v. 43, n. 1, p. 25-35, 2021.

KEIL, Alwin; D’SOUZA, Alwin; MCDONALD, Andrew. Zero-tillage as a pathway for sustainable wheat intensification in the Eastern Indo-Gangetic Plains: does it work in farmers’ fields?. **Food Security**, v. 7, n. 5, p. 983-1001, 2015.

RUTTAN, Vernon W.; HAYAMI, Yujiro. Toward a theory of induced institutional innovation. The Journal of development studies, v. 20, n. 4, p. 203-223, 1984.

ROSENBAUM, P. R. e RUBIN D. B. The Central role of the Propensity Score in observational studies for causal effects. Biometrika, v. 70, n. 1, p. 41-55, 1983.

VERESOGLOU, SD, CHEN, J., DU, X. *et al.* O plantio direto supera o preparo convencional em condições áridas e após a fertilização. *Solo Eco. Deixe* 5, 137–141, 2023.

VIERA FILHO, José Eustáquio Ribeiro; SILVEIRA, José Maria Ferreira Jardim da. Competências organizacionais, trajetória tecnológica e aprendizado local na agricultura. *Economia e Sociedade*, Campinas, v. 25, n.3 (58), p. 599-629, dez, 2016.