Análise da adoção de Sistemas Informatizados de Gestão da Fazenda (FMIS) por produtores de cana-de-açúcar do estado de São Paulo

Exploring the adoption of Farm Management Information Systems (FMIS) by sugarcane farmers of São Paulo state, Brazil

Autor(es): **Marcela de Mello Brandão Vinholis; Marcelo José Carrer; Hildo Meirelles de Souza Filho; Carlos Ivan Mozambani**
Filiação: Embrapa Pecuária Sudeste; PPGEP-DEP/UFSCar; PPGEP-DEP/UFSCar; PPGEP-DEP/UFSCar
E-mail: marcela.vinholis@embrapa.br; marcelocarrer@dep.ufscar.br; hildo@dep.ufscar.br; cmozambani@gmail.com

Grupo de Trabalho (GT): GT12. Temas emergentes no agronegócio

Resumo
Os Sistemas Informatizados de Gestão da Fazenda (FMIS – *Farm Management Information Systems*) têm sido adotados pelos agricultores para melhorar o processo de tomada de decisão e a eficiência econômica na produção rural. Esses sistemas fazem parte da revolução tecnológica da agricultura digital, também chamada de Agricultura 4.0. Este artigo avalia os determinantes das decisões de adoção de FMIS por produtores de cana-de-açúcar do estado de São Paulo. Entrevistas pessoais com 131 produtores de cana-de-açúcar forneceram microdados transversais para o ano-safra de 2018/19. Os dados foram analisados por meio de um modelo econométrico logit. As estimativas do modelo mostram que as decisões de adoção de FMIS são afetadas positivamente pela escolaridade dos agricultores, acesso à assistência gerencial privada, intensidade no uso do crédito rural, diversificação de renda e tamanho da propriedade. Por outro lado, a propensão ao risco dos agricultores e o uso do mercado spot nas transações de cana-de-açúcar apresentaram impactos negativos nas decisões de adoção de FMIS. Esses resultados são importantes para estimular a difusão do FMIS na agricultura. Nossos achados empíricos podem subsidiar estratégias de Idadentes de apoio das cadeias agroindustriais e políticas públicas de difusão tecnológica.
Palavras-chave: Sistemas Informatizados de Gestão da Fazenda (FMIS); agricultura digital; adoção de tecnologia; tomada de decisão; cana-de-açúcar.

Abstract
Farm Management Information Systems (FMIS) have been adopted by farmers to improve decision-making process and farms economic efficiency. These systems are part of digital farming technological revolution, also called Agriculture 4.0. This paper evaluates the determinants of FMIS adoption decisions by sugarcane farmers of the state of São Paulo, Brazil. In person interviews with 131 sugarcane farmers provided cross-sectional farm level data for the 2018/19 crop year. Data was analyzed by means of a logit econometric model. The model estimates show that FMIS adoption decisions are positively affected by farmers' education, access to private managerial assistance, intensity in rural credit use, income diversification and size of farm. On the other hand, the farmers' risk propensity and use of spot market in sugarcane transactions presented negative impacts on FMIS adoption decisions. These results are important to stimulate the diffusion of FMIS in Brazilian sugarcane farming. Our empirical findings can support strategies of support agents of agro-industrial chains and public policies of technological diffusion.
Key words: Farm Management Information Systems (FMIS); digital farming; technology adoption; decision-making; sugarcane.

1. Introdução

Desde meados dos anos 1980, os avanços da Tecnologia da Informação (TI) têm permitido um conjunto de inovações em tecnologias aplicadas à gestão da produção rural (CARRER et al., 2017; MICHELS et al., 2019; ZHAI et al., 2020). O termo Agricultura Digital (AD) foi empregado para descrever um novo paradigma tecnológico da agropecuária. A AD pode ser definida como um pacote de tecnologias digitais que se utilizam de ciência dos dados, georreferenciamento por sensores, sistemas de armazenamento, processamento e transmissão de informações e automação de processos no campo. A ideia central da AD é captar e integrar informações minuciosas dos diferentes processos produtivos e gerenciais da propriedade rural. Essas informações integradas devem, então, subsidiar o processo de tomada de decisão nas propriedades rurais, otimizando o uso dos fatores de produção e, consequentemente, promovendo ganhos de produtividade na agropecuária (CARRER et al., 2015; TUMMERS et al., 2019).

Este avanço tecnológico acompanha a tendência da produção agrícola sustentável e com menor impacto ambiental. O uso mais eficiente dos recursos naturais e dos insumos agrícolas implica em mudanças na forma de gestão da propriedade rural e requer a introdução de sistemas de monitoramento e de informações das atividades agrícolas mais sofisticadas (SORENSEN et al., 2010). No fim dos anos 80, surgiu o conceito de Agricultura de Precisão (PF) com o objetivo de monitorar a variabilidade temporal e espacial no campo e adaptar o uso dos insumos e de recursos naturais, como a água, às reais necessidades do solo e das plantas. Para isso, grandes quantidades de dados são geradas automaticamente a partir de diferentes dispositivos tecnológicos como sensores IoT, veículos aéreos não tripulados (UAV) ou drones, sistema de posicionamento global (GPS) etc. Esta massa de dados é coletada, armazenada, processada e transformada em informações úteis para o gerenciamento da atividade rural (VECCHIO et al., 2020). Estas etapas são facilitadas por softwares avançados.

O avanço nos dispositivos tecnológicos para a geração e coleta de dados associados a internet estimulou a evolução nas ferramentas de gestão da atividade rural. Os softwares baseados em computadores com dados inseridos manualmente evoluíram para versões conectadas e mais sofisticadas (GIUA et al., 2020). Sorensen et al. (2010) chamaram esse sistema de gestão mais complexo de Sistemas Informatizados de Gestão da Fazenda (FMIS – *Farm Management Information Systems*) e o definiram como *um sistema planejado para a coleta, processamento, armazenamento e disseminação de dados na forma de informações necessárias para realizar as funções operacionais da fazenda*. Adota-se essa definição no presente estudo.

No Brasil, o avanço tecnológico no campo pode ser percebido a partir de dados do Censo Agropecuário. Em 2006, apenas 4,54% (183.623 propriedades) das propriedades rurais possuíam computadores e 1,87% (75.407 produtores) dos agricultores brasileiros acessavam a internet em suas propriedades. Em 2017, percebe-se uma mudança significativa nesse cenário. Neste ano, aproximadamente 1,4 milhão de estabelecimentos rurais (28% do total) tinham condições de acesso à internet, seja por banda larga, dispositivo móvel ou discada por linha – crescimento de 1.756,6% em relação a 2006. Em que pese esse indicativo de mudança no padrão de adoção de tecnologias de AD no Brasil, estudos empíricos que detalham os determinantes da adoção das diferentes tecnologias digitais ainda são bastante escassos no país, particularmente a adoção de FMIS. Mendes et al. (2014) argumentam que a adoção de tecnologias para a gestão das propriedades rurais ainda é bastante heterogênea no Brasil e sugerem investigação mais detalhada sobre fatores de adoção dessas tecnologias por produtores rurais brasileiros.

Esse artigo tem o objetivo de identificar os fatores determinantes da adoção de FMIS por produtores de cana-de-açúcar do estado de São Paulo, Brasil. Para tal, aplica-se um modelo

logit para analisar a tomada de decisão de 131 produtores rurais, dos quais 48 adotaram FMIS e 83 não adotaram. O estado de São Paulo é o principal estado produtor de cana de açúcar, responsável por 52% de toda a cana produzida no Brasil (UNICA, 2020). De acordo com dados da Conab (2020), as despesas com fertilizantes, defensivos e máquinas agrícolas representam 19%, 11% e 7% do custo de produção da cana em São Paulo, respectivamente. A adoção de FMIS para o acompanhamento financeiro e das operações agrícolas, o mapeamento das características do solo-planta-clima e a otimização do uso de insumos possibilita decisões mais assertivas com potencial de ganhos econômicos e ambientais na produção.

Além desta introdução, o estudo está dividido em mais 4 seções. A próxima seção apresenta a abordagem teórica e uma revisão dos estudos empíricos sobre adoção de FMIS. A terceira seção apresenta a metodologia adotada. Os resultados são apresentados e discutidos na seção 4. Conclusões e implicações estão na seção 5.

2. Revisão de literatura

A análise dos fatores que afetam a decisão da adoção de novas tecnologias por produtores rurais é um tema recorrente e amplamente discutido na literatura (SOUZA FILHO et al., 2011). A teoria microeconômica neoclássica postula que a adoção de uma inovação resulta de um processo decisório individual com incerteza, no qual os benefícios marginais esperados a partir da adoção da tecnologia devem superar seus custos marginais. Portanto, ao tomar a decisão de adotar uma tecnologia, o produtor rural pretende maximizar a sua utilidade esperada. A decisão de adotar a nova tecnologia ocorrerá quando a utilidade esperada da adoção (*Ua*) superar a utilidade esperada da não adoção (*Un*), isto é, $Ua > Un$. Os parâmetros dessa decisão são geralmente não observados, mas podem ser definidos por uma variável latente, *Ui* (FOSTER e ROSENZWEIG, 2010).

De acordo com diversos estudos empíricos (SOUZA MONTEIRO e CASWELL, 2009; TIFFIN e BALCOMBE, 2011; D'ANTONI et al., 2012; CARRER et al., 2017; BARNES et al., 2019), essa variável latente (*Ui*) está em função de um conjunto de fatores (*Xi*) pessoais como a escolaridade e o acesso à informação (ALVAREZ e NUTHALL, 2006; KNUTH et al., 2018; PIVOTO et al., 2019; SOUZA MONTEIRO e CASWELL, 2009; VECCHIO et al., 2020), comportamentais como a capacidade de inovação (MICHELS et al., 2020) e sociais como a participação em cooperativas e associações de produtores rurais (BARNES et al., 2019; DILL et al., 2015; VINHOLIS et al., 2016), bem como fatores relacionados às características da tecnologia (GIUA et al., 2020; JUNIOR et al., 2019), características da propriedade rural como seu tamanho (ALVAREZ e NUTHALL, 2006; KNUTH et al., 2018; PIVOTO et al., 2019) e fatores do ambiente institucional como o acesso às políticas de crédito e extensão rural (ALVAREZ e NUTHALL, 2006; CARRER et al., 2017; DILL et al., 2015).

O conjunto de fatores supracitados tem potencial de afetar a utilidade esperada na adoção de uma nova tecnologia, alterando, consequentemente, a estrutura de incentivos e a probabilidade do agricultor entre adotar ou não a tecnologia. Matematicamente, pode-se expressar a escolha do produtor com relação à adoção de uma nova tecnologia da seguinte forma:

$$U_i^* = f\,(\beta; X_i) \qquad i = 1, 2, \dots, N \qquad (1)$$

em que U^*_i é a utilidade esperada pelo produtor *i* com a adoção da(s) tecnologia(s) investigada(s) e β é um vetor de parâmetros que mostram os efeitos dos fatores *Xi*, acima mencionados, sobre a probabilidade da adoção da(s) tecnologia(s). Estudos empíricos adotam diferentes métodos econométricos para estimar os parâmetros β da equação (1). Os métodos que serão utilizados nesse projeto são apresentados na seção 3.

3. Metodologia

3.1. Amostra

A produção da cana-de-açúcar no estado de São Paulo ocorre a partir de dois modelos de negócio: produção verticalizada pelas usinas e produtores independentes. A produção verticalizada é concentrada em 88 grupos industriais e representou 56% da produção do estado na safra 2018/19. A produção não verticalizada, ou seja, aquela realizada por produtores rurais independentes, é dispersa entre 12.004 produtores rurais e representou 44% do total produzido no estado (ORPLANA, 2019). A estrutura de tomada de decisão é distinta entre os dois modelos de negócio. Os grupos industriais possuem recursos humanos e físicos dedicados à adoção de tecnologias digitais na produção de cana, enquanto no grupo dos produtores rurais independentes das usinas a adoção é mais heterogênea. Este estudo concentra a investigação sobre a adoção de FMIS entre os produtores independentes de cana-de-açúcar.

Dentre as funções dos FMIS descritas por Fountas et al. (2015), o uso de softwares de gestão abordado nesse estudo visa prioritariamente às seguintes atividades:

(i) gestão de operações de campo: registro das atividades agrícolas para auxílio na otimização da produção agrícola, planejamento de atividades futuras e monitoramento da execução das tarefas planejadas);

(ii) Gestão financeira: estimativas e controle de custos de produção e do desempenho econômico da atividade);

(iii) Gestão de dados da operação: mapeamentos de características específicas da terra com o objetivo de otimizar o uso de insumos agrícolas e aumentar a produção), e;

(iv) Gestão de maquinários e demais equipamentos: planejamento e controle do fluxo logístico na produção e distribuição.

As análises empíricas deste artigo são baseadas em dados transversais coletados de 131 produtores de cana-de-açúcar para a safra 2018/19. Os entrevistadores aplicaram um questionário estruturado entre setembro e dezembro de 2019 em diferentes regiões produtoras de cana-de-açúcar do estado de São Paulo, Brasil. As fazendas da amostra estão distribuídas em 47 municípios do estado de São Paulo.

Dentre os 131 agricultores da amostra, 48 adotaram o FMIS e 83 não adotaram. Para cada adotante, um agricultor não adotante próximo foi escolhido aleatoriamente. Essa técnica de amostragem diminuiu os custos de transporte dos entrevistadores, mas também reduziu o escopo de heterogeneidades observáveis entre adotantes e não adotantes em termos de suas características ambientais (tipos de solo, terreno, topografia, abastecimento de água e clima).

3.2. Modelo econométrico

A adoção de FMIS pelos produtores de cana-de-açúcar pode ser representada por uma variável dummy (Yi), tal que:

$Y_i = 1$ se $U_a > U_n$

$Y_i = 0$ caso contrário.

A probabilidade de adoção de FMIS pode então ser expressa como:

$$P[Y_i = 1\,] = P(e_i > -X_i\beta) = 1 - F(-X_i\beta) = F(X_i\beta) \qquad (2)$$

Em que F é uma função de distribuição cumulativa e os parâmetros β podem ser estimados por procedimentos de máxima verossimilhança. A escolha de uma função de distribuição cumulativa logística para F determina o modelo logit, enquanto uma função de distribuição normal determina o modelo probit. Neste estudo, adotamos um modelo logit, que é expresso por (Greene, 2003):

$$P_i = P[Y_i = 1] = \frac{e^{x_i\beta}}{1+e^{x_i\beta}} \qquad (3)$$

A estimação dos parâmetros β mostra o efeito (positivo ou negativo) das variáveis *Xi* na adoção do FMIS. Também podemos calcular os efeitos marginais de cada variável *Xi* sobre a probabilidade de adoção do FMIS, *ceteris paribus*:

$$\frac{\Delta p_i}{\Delta x_i} = \frac{\partial p_i}{\partial x_i} = \beta_i \frac{1}{1+e^{-x_i\beta}} \times \frac{e^{-x_i\beta}}{1+e^{x_i\beta}} \quad (4)$$

Na seção de resultados, apresentamos as estimativas β e os efeitos marginais de cada variável utilizada. As variáveis utilizadas na análise econométrica são apresentadas na Tabela 1. As variáveis independentes do modelo podem ser divididas em cinco categorias: (i) aspectos pessoais: escolaridade e idade; (ii) aspectos comportamentais: inovação e propensão ao risco; (iii) características gerenciais da fazenda: uso de assistência gerencial privada, intensidade no uso do crédito rural, disponibilidade de outras fontes de renda e uso do mercado spot como principal estrutura de governança para comercialização da cana-de-açúcar; (iv) aspectos estruturais da fazenda: escala de produção de cana-de-açúcar; e (v) ambiente institucional: acesso à política de extensão. Essas variáveis foram especificadas com base em revisão de literatura de estudos empíricos que investigaram a adoção de tecnologias digitais por produtores rurais (SOUZA MONTEIRO e CASWELL, 2009; TIFFIN e BALCOMBE, 2011; D'ANTONI et al., 2012; CARRER et al., 2017; BARNES et al., 2019; PIVOTTO et al., 2019; MICHELS et al., 2020).

Tabela 1. Descrição das variáveis de análise.

Variável	Descrição	Média	Desvio padrão
Variável dependente			
FMIS (*Y*)	Variável dummy que assume valor 1 caso o agricultor tenha adotado sistemas de informação gerencial da fazenda (FMIS); 0 caso contrário	0,366	0,484
Variáveis independentes			
Escola (X_1)	Variável dummy que assume 1 se o agricultor possui ensino superior completo; 0 caso contrário	0,336	0,474
Idade (X_2)	Idade do agricultor	52,65	12,06
Risco (X_3)	Índice de propensão ao risco (de 1 a 3); quanto mais próximo de 3, maior a propensão ao risco*	2,725	0,481
Inova (X_4)	Indicador da capacidade inovadora do agricultor assumindo valores de 0 a 1; 0 para a menor capacidade e 1 para a maior	0,843	0,188
Extensão (X_5)	Número de visitas que o agricultor recebeu de extensionistas públicos durante a safra 2018/19	0,160	0,742
Assist (X_6)	Variável binária que assume 1 se o agricultor acessou assistência gerencial privada; 0 caso contrário	0,145	0,353
Spot (X_7)	Percentual da produção de cana-de-açúcar comercializada no mercado spot na safra 2018/19	0,305	0,415
Credito(X_8)	Índice de intensidade na utilização do crédito rural. Obtido pela divisão do volume de crédito rural acessado nas três últimas safras (2016/17, 2017/18 e 2018/19) pela área da fazenda.	1,791,5	2,191,5
Renda (X_9)	Variável dummy que assume 1 se o agricultor tiver fontes de renda não rurais; 0 caso contrário	0,420	0,495
Tamanho (X_{10})	Log da área da fazenda com produção de cana-de-açúcar no ano-safra 2018/19 (hectares)	5,316	1,530

Nota: * A variável *Risco* é um indicador de propensão ao risco, construída a partir da concordância do agricultor (likert de 1 – discordo, 2 – não discordo nem concordo e 3 – concordo) com relação à seguinte afirmativa: "Confio na minha intuição na hora de tomar decisões sobre os meus negócios".

A Tabela 2 apresenta uma análise preliminar, descritiva e comparativa das variáveis independentes para os agricultores que adotaram e não adotaram FMIS.

Tabela 2. Estatísticas descritivas de variáveis independentes para adotantes e não adotantes de FMIS.

	Grupo 1: Adotantes de FMIS 48 produtores		Grupo2: Não adotantes de FMIS 83 produtores		
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Valor-p[a]
Escola (X_1)	0,541	0,503	0,217	0,415	0,000
Idade (X_2)	51,02	11,53	53,59	12,32	0,233
Risco (X_3)	2,562	0,542	2,819	0,417	0,005
Inova (X_4)	0,909	0,137	0,805	0,202	0,000
Extensão (X_5)	0,104	0,721	0,193	0,756	0,507
Assist (X_6)	0,312	0,468	0,048	0,215	0,000
Spot (X_7)	0,238	0,385	0,344	0,429	0,147
Credito (X_8)	2,610,8	2,848,9	1,317,8	1,530,36	0,004
Renda (X_9)	0,521	0,504	0,361	0,483	0,080
Tamanho (X_{10})[b]	1,187,99	1,939,68	293,56	483,37	0,002

Notas: a) Os valores-p referem-se a testes t para comparar as médias (das variáveis contínuas) e as frequências (das variáveis binárias) entre os dois grupos.
b) Apresentamos a estatística descritiva do tamanho da fazenda em hectares. No entanto, no modelo econométrico, logaritmizamos essa variável para evitar problemas de multicolinearidade e heterocedasticidade.

4. Análise dos resultados

A Tabela 3 apresenta a estimação do modelo logit para identificar os fatores que determinam a adoção de FMIS pelos produtores de cana-de-açúcar. O teste da razão de verossimilhança permite a rejeição da hipótese de que todos os coeficientes estimados das variáveis explicativas sejam iguais a zero ao nível de significância de 1%. Além disso, o modelo prevê corretamente as escolhas de 75,6% dos agricultores amostrados, com 67% de sensibilidade (adotantes previstos corretamente) e 80,7% de especificidade (não adotantes previstos corretamente). Assim, o modelo estimado apresenta uma qualidade de ajuste aceitável.

Tabela 3. Fatores que determinam a adoção do FMIS pelos produtores de cana-de-açúcar.

Variável	Coeficiente	Erro padrão	Efeito marginal
Constant	-3,607	2,576	-
Escola (X_1)	1,117**	0,586	0,143
Idade (X_2)	0,007	0, 022	0,000
Risco (X_3)	-1,688***	0,578	-0,200
Inova (X_4)	1,496	1,842	0,177
Extensão (X_5)	-0,182	0,383	-0,021
Assist (X_6)	1,507**	0,791	0,205
Spot (X_7)	-1,267*	0,682	-0,150
Credito (X_8)	0,003***	0,000	0,000
Renda (X_9)	1,422**	0,555	0,174
Tamanho (X_{10})	0,778***	0,232	0,092
Log-likelihood	-49,0291		
Chi-squared	74,0805		

Significance (p-value)	0,0000	
McFadden's R^2	0,4303	
Hosmer-Lemeshow chi-squared	6,6921	P-value 0,4615
Predicted corrected values	75,57%	

* Estatisticamente significativo ao nível de 10%; ** estatisticamente significativo ao nível de 5%; *** estatisticamente significativo ao nível de 1%.

Os estimadores de sete variáveis independentes (explicativas) incluídas no modelo logit foram estatisticamente significativos ao nível de 10% ou menos: *Escola*, *Risco*, *Tamanho*, *Renda*, *Spot*, *Credito* e *Assist*.

Aspectos pessoais e comportamentais do produtor de cana apresentaram efeito significativo na adoção de FMIS. Os resultados mostram que a probabilidade de adoção de FMIS aumenta em 14% quando o agricultor possui nível superior completo, *ceteris paribus*. Esse resultado corrobora com outros achados empíricos que a escolaridade é um fator de enorme relevância para explicar a adoção de FMIS e outras tecnologias digitais por agricultores de diferentes países (ALVAREZ e NUTHALL, 2006; TIFFIN e BALCOMBE, 2011; CARRER et al., 2017; GIUA et al. 2020; MICHELS et al., 2020). Conforme apontado por Carrer et al. (2017), os agricultores com maior escolaridade tendem a demandar mais informações e são capazes de avaliar melhor os benefícios do uso de FMIS. Além disso, eles poderiam interpretar melhor as informações do FMIS para melhorar o processo de tomada de decisão na fazenda. Ademais, a propensão ao risco do agricultor (*Risco*) tem efeito negativo e estatisticamente significativo sobre a probabilidade de adoção de FMIS. Indivíduos mais propensos ao risco tendem a confiar mais na sua intuição para tomar decisões e teriam uma avaliação de utilidade esperada do uso de FMIS menor do que indivíduos mais avessos ao risco. Estes últimos sentiriam mais confiantes para tomar decisões com mais informações e, portanto, estariam mais propensos a adotar FMIS.

A variável *Assist* tem influência positiva e significativa na adoção de FMIS, reforçando a importância do acesso à informação para a adoção e uso de tecnologias digitais na agricultura. A contratação de consultor privado por produtores de cana aumenta em 20,5% a probabilidade de adoção de FMIS, *ceteris paribus*. Em estudos anteriores (DILL at al., 2015, CARRER et al., 2017; KNUTH et al., 2018; BARNES et al., 2019), o acesso a consultores privados também foi identificado como um fator relevante na adoção de tecnologias digitais para gerenciamento de fazendas. De fato, esta é uma fonte de informação especializada, customizada e capaz de prover dados e intepretações aprofundados sobre as novas tecnologias. A informação do consultor particular tende a ser adequada ao perfil do produtor e do sistema de produção. De forma geral, trata-se de uma orientação técnica continuada no tempo e que auxilia o produtor rural no planejamento estratégico das atividades agrícolas. Por outro lado, *Extensão*, outra fonte de informação, não afetou significativamente as decisões de adoção de FMIS pelos produtores da amostra. Tey e Brindal (2012) argumentam que os serviços públicos rurais são destinados ao consumo de massa. O foco e a disponibilidade do técnico são limitados para atender uma fazenda específica. A adoção de tecnologias modernas é mais provável entre os agricultores que contratam consultores. Essa condição é particularmente relevante no Brasil, onde os governos reduziram consideravelmente os investimentos em serviços públicos de extensão rural.

O índice de intensidade no uso de crédito rural (*Credito*) apresentou efeito positivo e estatisticamente significativo sobre a probabilidade de adoção de FMIS. Dentre as exigências do contrato de crédito rural, incluem-se as garantias, que podem variar desde a fazenda até o penhor da produção ou da máquina agrícola que estão sendo financiados. A adoção de FMIS aumenta o controle e monitoramento da produção agrícola, o que reduz os riscos operacionais e de mercado. Consequentemente, a chance de perdas de garantias e os custos de transação ex

post para renegociações de dívidas são reduzidos. Assim, pode-se compreender a utilização do crédito rural e a adoção de FMIS como instrumentos complementares.

O coeficiente da variável *Spot* mostrou-se negativo e estatisticamente significativo. Portanto, quanto maior o volume da produção de cana-de-açúcar comercializado por meio do mercado spot, menor a probabilidade de adoção de FMIS. De fato, os contratos a termo possuem cláusulas com requisitos de volume e/ou de qualidade da cana. Falhas na estratégia de produção podem comprometer o cumprimento destas clausulas. Assim, produtores que utilizam contratos de venda têm maior incentivo para adotar ferramentas de planejamento e controle gerencial. Ainda, é importante ressaltar que existe especificidade locacional na produção de cana. Há um limite de distância que viabiliza técnica e economicamente o transporte da cana da fazenda até a indústria. Isto implica na existência de poucos compradores para um determinado produtor rural. O não cumprimento do contrato de produção por falhas gerenciais pode comprometer sua reputação e dificultar transações futuras com esses compradores.

Os resultados dos coeficientes das variáveis *Tamanho* e *Renda* indicam que a escala de produção e a diversificação da renda são determinantes na adoção de FMIS pelos produtores de cana. Estes resultados confirmam os achados de outros estudos de que o gerenciamento de grandes fazendas demanda um maior volume de informações e apresenta maior nível de complexidade para o monitorar e controlar as operações agrícolas (ALVAREZ e NUTHALL, 2006; CARRER et al., 2017; PIVOTO et al., 2019; GIUA et al., 2020). Portanto, a utilidade marginal decorrente da adoção de FMIS tende a ser alta para grandes produtores. Ademais, os r custos associados aos investimentos em automação e FMIS são diluídos em maiores escalas de produção (TEY e BRIDAL, 2012). Ou seja, há efeitos de economias de escala. Ainda, grandes fazendas tendem a gerar maior renda, o que indica maior capacidade de investir em novas tecnologias (BARNES et al., 2019).

O resultado da variável *Renda* sobre a adoção de FMIS pode ser explicado a partir de dois efeitos. Por um lado, a diversificação da renda confere maior flexibilidade ao agricultor para testar novas tecnologias em sua produção. Por outro lado, o tempo de dedicação do agricultor às atividades agrícolas da fazenda é reduzido. A adoção de FMIS permite o controle e o monitoramento da atividade agrícola à distância ou com menor necessidade da presença do gestor na fazenda.

5. Conclusões

A cana-de açúcar é importante matéria prima para a produção de alimento, biocombustível e bioeletricidade. O etanol de cana-de-açúcar é o biocombustível com menor pegada de carbono do mundo e amplamente utilizado nos veículos brasileiros, seja na mistura obrigatória com a gasolina na proporção de 27% ou em veículos de combustível duplo (*dual-fuel vehicle*). Esse estudo avaliou os determinantes da adoção de FMIS por produtores de cana-de-açúcar do estado de São Paulo, Brasil. As FMIS estão no centro da 4ª revolução tecnológica da agricultura, também conhecida como Agricultura 4.0. Essas tecnologias gerenciais são importantes para a tomada de decisão e otimização no uso dos fatores de produção.

Os estimadores do modelo logit indicaram que características pessoais e comportamentais dos agricultores, bem como aspectos gerenciais e estruturais das fazendas afetaram a adoção de FMIS. Os fatores que afetaram positivamente as decisões de adoção de FMIS foram: escolaridade dos agricultores, acesso à assistência gerencial privada, intensidade no uso do crédito rural, diversificação de renda e escala de produção. A propensão ao risco dos agricultores e o uso do mercado spot para vender cana-de-açúcar tiveram efeitos negativos nas decisões de adoção.

Nossos resultados são importantes para subsidiar decisões de agricultores, formuladores de políticas e empresas privadas interessadas na difusão de FMIS. Primeiro, encontramos uma

relação negativa entre a propensão ao risco e a adoção do FMIS. Esses sistemas são úteis para reduzir os riscos de mercado e de produção. Assim, os agricultores que já gerenciam esses riscos (por exemplo, usando contratos futuros ou adotando estratégias de diversificação de renda) têm incentivos adicionais à adoção do FMIS. Efeitos de complementaridade entre essas ferramentas foram observados.

Em segundo lugar, evidenciou-se a importância da escolaridade dos agricultores e do acesso às informações de especialistas contratados para adoção do FMIS. De fato, o uso eficiente de dados e outras funcionalidades fornecidas pelo FMIS depende fortemente das capacidades gerenciais das fazendas. Políticas e estratégias destinadas a treinar agricultores e consultores são bem-vindas.

Terceiro, encontramos evidências de que a intensidade no uso do crédito rural cria incentivos para melhorias na gestão das fazendas. Os riscos de perdas de garantias e reputação e os custos de transação ex post explicam este resultado. Finalmente, os agricultores maiores são mais propensos a adotar o FMIS devido à maior utilidade marginal, melhor acesso a recursos financeiros e economia de escala. Ações coletivas entre pequenos agricultores poderiam superar essas barreiras de escala. O governo pode incentivar ações coletivas por meio de políticas públicas.

O desenvolvimento de novos estudos utilizando dados em painel e incorporando conjuntos de dados maiores é importante para estimular a difusão do FMIS na agricultura brasileira. A investigação dos impactos do FMIS no desempenho das fazendas de cana-de-açúcar também pode ser muito interessante.

Referências

Alvarez, J., & Nuthall, P. (2006). Adoption of computer based information systems: The case of dairy farmers in Canterbury, NZ, and Florida, Uruguay. Computers and Electronics in Agriculture, 50(1), 48-60.

Barnes, A. P., Soto, I., Eory, V., Beck, B., Balafoutis, A., Sánchez, B., ...& Gómez-Barbero, M. (2019). Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers. Land use policy, 80, 163-174.

Carrer, M. J.; Souza Filho, H. M. ; Batalha, M. O. (2017). Factors influencing the adoption of Farm Management Information Systems (FMIS) by Brazilian citrus farmers. Computers and Electronics in Agriculture, v. 138, p. 11-19, 2017.

Carrer, M. J., Souza Filho, H. M., Batalha, M. O., & Rossi, F. R. (2015). Farm Management Information Systems (FMIS) and technical efficiency: An analysis of citrus farms in Brazil. Computers and Electronics in Agriculture, 119, 105-111.

Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, CEPEA. PIB do agronegócio brasileiro. Available at https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx Acessed 09 Mar 2021.

Cherubin, M.R., Carvalho, J.L.N., Cerri, C.E.P., Nogueira, L.A.H., Souza, G.M., Cantarella, H. (2021) Land use and management effects on sustainable sugarcane-derived bioenergy. Land, 10(1), 72.

Companhia Nacional de Abastecimento, CONAB. Planilhas de custos de produção - culturas semi-perenes, 2020. Available at https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao Acessed 10 Mar 2021

D'Antoni, J. M., Mishra, A. K., & Joo, H. (2012). Farmers' perception of precision technology: The case of autosteer adoption by cotton farmers. Computers and Electronics in Agriculture, 87, 121–128.

Dill, M. D., Emvalomatis, G., Saatkamp, H., Rossi, J. A., Pereira, G. R., & Barcellos, J. O. J. (2015). Factors affecting adoption of economic management practices in beef cattle production in Rio Grande do Sul state, Brazil. Journal of Rural Studies, 42, 21-28.

Fountas, S., Carli, G., Sørensen, C. G., Tsiropoulos, Z., Cavalaris, C., Vatsanidou, A., ... & Tisserye, B. (2015). Farm management information systems: Current situation and future perspectives. Computers and Electronics in Agriculture, 115, 40-50.

Foster, A. D., & Rosenzweig, M. R. (2010). Microeconomics of technology adoption. Annu. Rev. Econ., 2(1), 395-424.

Giua, C., Materia, V. C., &Camanzi, L. (2020). Management information system adoption at the farm level: evidence from the literature. British Food Journal.

Junior, C. H., Oliveira, T., & Yanaze, M. (2019). The adoption stages (Evaluation, Adoption, and Routinisation) of ERP systems with business analytics functionality in the context of farms. Computers and Electronics in Agriculture, 156, 334-348.

Knuth, U., Amjath-Babu, T. S., &Knierim, A. (2018). Adoption of Farm Management Systems for Cross Compliance–An empirical case in Germany. Journal of environmental Management, 220, 109-117.

Michels, M., Fecke, W., Feil, J. H., Musshoff, O., Pigisch, J., & Krone, S. (2020). Smartphone adoption and use in agriculture: empirical evidence from Germany. Precision Agriculture, 21(2), 403-425.

Organização de Associações de Produtores de Cana do Brasil, ORPLANA. Perfil segmentado do produtor de cana: safra 2018/2019. Disponível em: <http://www.orplana.com.br/prog-segmenta>. Acesso em: 09 dez. 2020.

Pivoto, D., Waquil, P. D., Talamini, E., Finocchio, C. P. S., Dalla Corte, V. F., & de Vargas Mores, G. (2018). Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. Information processing in agriculture, 5(1), 21-32.

Pivoto, D., Barham, B., Dabdab, P., Zhang, D., & Talamin, E. (2019). Factors influencing the adoption of smart farming by Brazilian grain farmers. International Food and Agribusiness Management Review, 22(1030-2019-2946), 571-588.

Rossi, F. R., de Souza Filho, H. M., Miranda, B. V., & Carrer, M. J. (2020). The role of contracts in the adoption of irrigation by Brazilian orange growers. Agricultural Water Management 233, 106078.

Souza Filho, H. M., Buainain, A. M., da Silveira, J. M. F. J., & Vinholis, M. D. M. B. (2011). Condicionantes da adoção de inovações tecnológicas na agricultura. Cadernos de Ciência & Tecnologia, 28(1), 223-255.

Souza Monteiro, D. M., & Caswell, J. A. (2009). Traceability adoption at the farm level: An empirical analysis of the Portuguese pear industry. Food Policy, 34(1), 94-101.

Tey, Y. S., & Brindal, M. (2012). Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications. Precision Agriculture, 13(6), 713-730.

Tiffin, R., & Balcombe, K. (2011). The determinants of technology adoption by UK farmers using Bayesian model averaging: The cases of organic production and computer usage. Australian Journal of Agricultural and Resource Economics, 55(4), 579-598.

Tummers, J., Kassahun, A., & Tekinerdogan, B. (2019). Obstacles and features of Farm Management Information Systems: A systematic literature review. Computers and Electronics in Agriculture, 157, 189-204.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – ÚNICA. MoIdadem de cana-de-açúcar e produção de açúcar e etanol - safra 2018/2019. Acesso em 13/01/2020. Disponível em: http://unicadata.com.br

Vecchio, Y., Agnusdei, G. P., Miglietta, P. P., & Capitanio, F. (2020). Adoption of precision farming tools: the case of Italian farmers. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(3), 869.

Vinholis, M. M. B., Souza Filho, H. M., Carrer, M. J., & Chaddad, F. R. (2016). Determinants of recognition of TRACES certification as valuable opportunity at the farm level in São Paulo, Brazil. Production, 26, 78-90.