

DETERMINANTES DA ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS DE IDENTIFICAÇÃO E GESTÃO EM CONFINAMENTOS DE BOVINOS DE CORTE NO BRASIL

DETERMINANTS OF THE ADOPTION OF IDENTIFICATION AND MANAGEMENT TECHNOLOGIES IN BEEF CATTLE FEEDLOTS IN BRAZIL

Autor(es) Gustavo da Silva Gonçalves; Leticia Caroline da Silva David; Marcela de Mello Brandão Vinholis; Hildo Meirelles De Souza Filho

Filiação: DEP/UFSCar; PPGE-DEP/UFSCar; Embrapa Pecuária Sudeste; PPGE-DEP/UFSCar

E-mail: gustavosg@estudante.ufscar.br; leticiadavid@estudante.ufscar.br; marcela.vinholis@embrapa.br; hildo@dep.ufscar.br

Grupo de Trabalho (GT): GT03. Evolução, estrutura, competitividade e dinâmica das cadeias agroindustriais

Resumo

Este artigo analisou os fatores determinantes para a adoção de softwares de identificação eletrônica animal e gestão operacional em confinamentos de gado de corte no Brasil. Supõe-se que essas duas tecnologias apresentam alto grau de complementaridade e que sua adoção conjunta traz efeitos positivos na gestão dos confinamentos. Dados de 106 confinamentos brasileiros foram analisados por meio de estatística descritiva e modelo de regressão logística (*logit*). Hipóteses sobre o efeito de oito variáveis nas decisões dos pecuaristas foram testadas. Os resultados mostraram que a idade e a escolaridade dos pecuaristas, bem como a capacidade estática do confinamento, tiveram efeito positivo e estatisticamente significativo na adoção, enquanto a idade dos confinamentos teve efeito negativo. Os resultados sugerem que as variáveis relacionadas à escala de produção e ao capital humano estão associadas à adoção das tecnologias investigadas, podendo contribuir para o desenvolvimento de estratégias para acelerar a difusão, aumentar a eficiência na pecuária e promover a sustentabilidade.

Palavras-chave: identificação animal, tecnologia digital, software, confinamento bovino, sustentabilidade.

Abstract

This paper examined the determining factors for the adoption of electronic animal identification and operational management software in beef cattle feedlots in Brazil. It is assumed that these two technologies have a high degree of complementarity, and their joint adoption brings positive effects on feedlot management. Data from 106 Brazilian feedlots were analyzed using descriptive statistics and a logistic regression model (logit). Hypotheses on the effect of eight variables on livestock farmers' decisions were tested. The results showed that the age and education of farmers, as well as the static capacity of the feedlot, had a positive and statistically significant effect on adoption, while the age of the feedlots had a negative effect. The results suggest that the variables related to production scale and human capital are associated with the adoption of the technologies investigated and can contribute to the development of strategies to accelerate the diffusion, increase efficiency in livestock farming and promote sustainability.

Key words: electronic animal identification, digital technologies, software, cattle feedlots, sustainability.

1. Introdução

O Brasil tem um rebanho de bovinos estimado de 238,6 milhões de animais (IBGE, 2023). Em 2024, o Brasil foi marcado pelo auge dos abates do ciclo pecuário, atingindo uma produção de 10,91 milhões de toneladas, atingindo um recorde na série histórica registrada pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2025). Além disso, também foi o

maior exportador mundial de carne bovina, alcançando o maior valor da história, de US\$ 12,8 bilhões em 2024, um valor 22% maior que o ano anterior (ABIEC, 2024). A consolidação do Brasil como maior player no mercado mundial de carne bovina está fortemente associada à difusão de inovações tecnológicas em toda a cadeia produtiva (MARTHA JR. et al., 2012; MALAFAIA et al., 2021).

A Política Nacional de Incentivo à Agricultura e Pecuária de Precisão no Brasil (BRASIL, 2022) é um dos principais impulsos para a pesquisa e a adoção de tecnologias digitais na produção agropecuária brasileira. A aplicação de tecnologias da informação e comunicação (TIC) têm ocupado espaço notório em diversas atividades econômicas, incluindo a produção pecuária intensiva em sistemas de confinamento (FAROOQ, 2022). No caso da pecuária bovina, a coleta e análise de um conjunto de dados do ambiente e do animal em tempo real auxiliam em um melhor manejo dos animais, o que pode resultar em decisões mais assertivas, melhorias nos coeficientes zootécnicos e ganhos de eficiência da produção (CARRER et al., 2023), além de avanços na condição físico-funcional e afetiva dos animais (BERCKMANS, 2017). A conexão entre sensores com múltiplas plataformas digitais capazes de armazenar dados em nuvem e analisar dados por meio de algoritmos pode trazer soluções para desafios complexos (DINEVA; ATANASOVA, 2021; STOYANOV et al., 2018), estabelecendo uma comunicação eficiente entre o mundo físico e os recursos de gestão.

A identificação individual eletrônica dos animais é uma ferramenta crucial na pecuária de precisão. Normalmente, o sistema de identificação por radiofrequência (RFID) é associado a outros sensores (ARSLAN et al., 2014; SHEN et al., 2019), combinado com outros dispositivos, como sensores para medir o consumo de ração ou balanças de auto pesagem. As informações coletadas são convertidas em informações úteis para a gestão do confinamento (HERLIN et al., 2021). Além disso, a utilização de softwares especializados na análise dos dados permite aos tomadores de decisão melhores estratégias de planejamento e controle da produção, melhorando a alocação e o uso dos recursos (MADURANGA; ABEYSEKERA, 2020; CARRER et al., 2023). A adoção consistente dessas ferramentas facilita o acompanhamento das atividades operacionais em tempo real e a previsão de eventos produtivos e dificuldades econômicas associadas (WOLFERT, 2017). A falta de integração entre máquinas, sensores e sistemas é apontada como uma das maiores falhas para esse tipo de gestão de informação, podendo ser resolvido de maneira simples com a tecnologia atual (OLIVEIRA et al., 2021).

Este estudo tem o objetivo de identificar os fatores determinantes da adoção de tecnologias de identificação eletrônica de animais em conjunto com softwares/sistemas de gerenciamento operacional por produtores de bovinos de corte. O estudo acrescenta novas descobertas à literatura ao identificar fatores que podem ser determinantes na adoção da identificação eletrônica de animais e software de gerenciamento operacional em bovinos de corte no Brasil, bem como na identificação de barreiras à adoção. Os resultados são relevantes para o desenvolvimento de novos produtos e para a definição de melhores estratégias de transferência da tecnologia.

2. Referencial teórico

Os conceitos de invenção, inovação, adoção e difusão tecnológica são essenciais para este estudo. A invenção é o ato de desenvolver um novo produto ou processo, que ainda não está disponível no mercado. A inovação, por sua vez, refere-se à invenção colocada em prática e enfim disponibilizada no mercado (SCHUMPETER, 1997). Uma inovação é reconhecida como um método, ideia, prática ou produto/serviço considerado como novo por um indivíduo ou firma em um mercado. A percepção da novidade pelo indivíduo é crucial para identificar uma inovação. Se parece nova ao indivíduo, pode ser considerada uma

inovação. As características de uma determinada inovação e a capacidade de persuasão vai influenciar na decisão de adoção pelos indivíduos (ROGERS, 1983).

A adoção de uma nova tecnologia é influenciada por diversos fatores específicos que podem acelerar, retardar ou até mesmo impedir a adoção por determinados grupos de empresas ou indivíduos (SUNDING; ZILBERMAN, 2001). Na agricultura, um conjunto de diversos fatores, tais como condicionantes sistêmicos, institucionais, características dos agricultores e das propriedades rurais, explicam as diferenças no processo de adoção de tecnologias (CARRER et al., 2017; BARNES et al., 2019; BENITEZ- ALTUNA et al., 2021).

Estudos demonstram que o gerenciamento da produção rural vem sofrendo fortes mudanças em alta velocidade através do desenvolvimento de tecnologias digitais (também chamadas 4.0) (GIUA et al., 2020; CARRER et al., 2022). Ademais, o processo de adoção dessas tecnologias ainda é muito heterogêneo entre os produtores, o que resulta em disparidades de desempenho consideráveis (BARNES et al., 2019; CARRER et al., 2022). A incorporação e a aplicação das novas tecnologias provenientes da revolução 4.0 demandam diversos graus de engajamento por parte dos usuários, necessitando de novas competências e conhecimentos técnicos distintos para quem irá utilizá-las (BENTIVOGLIO, 2021). A análise dos dados coletados por dispositivos de tecnologia digital coloca os tomadores de decisão em posições de vantagem, permitindo que sejam traçadas melhores estratégias a respeito de custos com fornecedores, da redução de desperdícios e da maximização dos retornos de produção, evidenciando importância da sua utilização para melhor administrar fazendas de pecuária de precisão (MADURANGA & ABEYSEKERA, 2020).

As particularidades da propriedade rural e do produtor apresentam um papel fundamental na aceitação de novas tecnologias de precisão. No que se refere à situação da posse da terra, arrendatários e parceiros tendem a ter um planejamento mais de curto prazo, o que pode afetar a aceitação de determinadas tecnologias. O tamanho da propriedade rural mostra-se ser um fator muito relevante na adoção de tecnologias digitais por produtores rurais, assim como disponibilidade de mão de obra qualificada. O nível educacional e experiência na agropecuária por parte do produtor também têm se mostrado cruciais para determinar a adoção de tecnologias digitais. A instrução formal do produtor não apenas se relaciona com a habilidade de adquirir e analisar dados, mas também com a aplicação de novos métodos de administração da fazenda (SOUZA FILHO et al., 2011; CARRER et al., 2017; MENDES et al., 2023).

Por sua vez, o acesso à informação desempenha um papel fundamental na adoção de tecnologia pelos produtores. A disponibilidade de informações influencia a seleção de práticas que proporcionem redução de tempo e esforço de trabalho, além de aumento de produtividade e eficiência dentro das propriedades rurais. Elas são cruciais para que os tomadores de decisão possam agir de maneira mais autônoma e segura, possibilitando o funcionamento efetivo de qualquer negócio, influenciando assim na produtividade do sistema e em melhores cenários de retorno do investimento (ODERA, 2020). A qualidade de serviços que disponibilizam informações, por organizações governamentais e não-governamentais ou empresas privadas, exercem um papel crucial no sucesso da adoção de novas técnicas. Variáveis que afetam o acesso à informação foram utilizadas em modelos econômicos que tentam identificar os condicionantes da adoção de novas tecnologias em países em desenvolvimento (FEDER & UMALI, 1993).

Silvi et al. (2021) realizaram um estudo sobre a percepção dos fazendeiros na adoção de tecnologias de precisão em fazendas leiteiras no Brasil e apontaram que a utilização dessas ainda é considerada baixa em todo o país. Os motivos para a baixa adesão estão ligados principalmente à falta de conhecimento dos pecuaristas a respeito dessas ferramentas,

principalmente no que tange à integração dos dados, a gestão financeira e afinidade com as próprias ferramentas de gestão.

Pritchard (1993) mostrou que o registro das informações do consumo de ração em softwares operacionais é importante para identificar possíveis problemas relacionados à dieta do animal. Através dos relatórios gerados, é possível elaborar diagnósticos de intoxicação alimentar e determinar rações de engorda mais eficientes, uma vez que a composição de dietas específicas requer uma gestão acertada de recursos.

Derks et al. (2004) realizaram um estudo que identificava os fatores que levavam fazendeiros a utilizarem softwares de gestão de rebanhos na Holanda. A utilização dessa e outras tecnologias de precisão mostrava-se mais presente em fazendas com maiores capacidades de produção, destacando a importância dessas ferramentas para auxiliar a tomada de decisão em fazendas de maior porte.

Carrer et al. (2017) conduziram um estudo a respeito dos fatores que influenciaram a adoção de Sistemas de Informação de Gestão Agrícola (Farm Management Information Systems – FMIS) por produtores de citros no Brasil. No artigo, os autores destacaram a importância de se considerar os fatores pessoais, sociais e econômicos na adoção de tecnologias de gestão na agricultura. Encontrou-se que o tamanho da propriedade, a escolaridade do produtor, o acesso à internet e a confiança na tecnologia foram determinantes para a decisão de adotar.

Souza Filho et al. (2023) identificaram fatores que influenciam a adoção de FMIS por produtores brasileiros de cana-de-açúcar. Os fatores com influência positiva foram a idade do agricultor, o tamanho da propriedade, o acesso à internet e as informações técnicas. Contudo, lacunas no conhecimento técnico e incentivos governamentais insuficientes dificultam a adoção.

Finalmente, Carrer et al. (2022) investigaram os fatores que influenciam a adoção de tecnologias de agricultura de precisão (TAPs) e seus efeitos na eficiência técnica e na lacuna tecnológica em propriedades de produção de cana-de-açúcar em São Paulo. No estudo, ficou evidente que a utilização de TAPs é favorecida pelo acesso ao crédito, tamanho da propriedade e pela experiência do produtor. A adoção dessas tecnologias apresentou impacto positivo e estatisticamente relevante na eficiência técnica das fazendas estudadas, contribuindo também para a redução da lacuna tecnológica. Esses achados podem orientar os agricultores na alocação de recursos e auxiliar os responsáveis pelas políticas agrícolas na disseminação das TAPs.

3. Materiais e métodos

3.1 Quadro analítico

De acordo com a teoria microeconômica neoclássica, a adoção de tecnologias resulta de um processo decisório individual influenciado por um conjunto de fatores que afetam a percepção do indivíduo sobre a utilidade esperada da mesma (SUNDING; ZILBERMAN, 2001; SOUZA FILHO et al., 2011; CARRER et al., 2017). Desta forma, quando a utilidade marginal esperada decorrente da adoção for maior do que os custos marginais esperados, o produtor tende a aceitar a tecnologia.

Pesquisas científicas apontam certas particularidades acerca do produtor e da propriedade rural que podem impactar essa percepção e influenciar diretamente na escolha de adotar ou não as tecnologias (MICHELS et al., 2020; CARRER, 2022). Dentre esses potenciais fatores determinantes da adoção de tecnologias digitais, o presente estudo testou os seguintes: grau de escolaridade do produtor, idade do produtor, participação em grupos formalmente organizados, propensão ao risco do produtor, proporção de colaboradores com ensino superior completo na propriedade rural, capacidade produtiva da fazenda, tempo de

existência da propriedade e diversificação de atividades produtivas na fazenda. Foram utilizadas estatísticas descritivas e um modelo de regressão logística para investigar os efeitos desses fatores nas escolhas de adoção das tecnologias de identificação eletrônica de animais e software para gestão operacional do rebanho, de forma conjunta.

3.2 Amostra

Os microdados utilizados neste artigo são oriundos da pesquisa Expedição Confinar Brasil, realizada pela empresa Scot Consultoria no ano de 2023. A pesquisa Confinar Brasil abrangeu diversas regiões brasileiras com tradição na produção de bovinos de corte, selecionando propriedades rurais que utilizam sistemas intensivos, como confinamento ou semiconfinamento, para a engorda dos animais. As informações reunidas englobam variados aspectos da produção intensiva de bovinos, incluindo o perfil do gestor, características da estrutura de confinamento, manejo, sanidade, nutrição, logística, sustentabilidade e aplicação de tecnologias digitais. Foram realizadas 179 entrevistas com gestores de confinamentos. Contudo, alguns produtores não responderam todas as questões apresentadas. Portanto, neste estudo foi utilizada uma amostra de 106 confinamentos.

A Tabela 1 descreve as variáveis do estudo. A variável dependente refere-se à adoção conjunta da identificação eletrônica do animal e software para gestão operacional do rebanho. Trata-se de uma variável que assume valor 1 para os confinamentos adotantes dessas tecnologias digitais e 0 para os não adotantes. Há evidências empíricas que permitem pressupor complementaridades importantes entre essas duas tecnologias: a identificação individual eletrônica é importante para coletar dados, enquanto os softwares organizam, armazenam e processam esses dados para subsidiar o processo de tomada de decisão na propriedade rural (BERNARDI et al., 2017). Assim, acredita-se que a tomada de decisão dos produtores seja mais eficiente quando ambas as tecnologias são adotadas em conjunto. As variáveis independentes das análises contemplam as características do gestor e do confinamento. A transformação logarítmica foi utilizada nas variáveis de idade do tomador de decisão, no tempo de existência do confinamento e na capacidade estática buscando reduzir possíveis vieses causados por outliers e aumentar a precisão na comparação entre diferenças relativas, almejando a melhora do modelo ajustado.

Tabela 1 – Descrição das variáveis do estudo

Variáveis	Descrição
Adoção de tecnologia (y)	Variável binária que assume valor 1 se o confinamento adota identificação eletrônica do animal e software para gestão operacional do rebanho, 0 caso contrário.
<i>Características do gestor do confinamento:</i>	
Idade (x_1)	Logaritmo natural da idade do tomador de decisão, em anos.
Escolaridade do gestor (x_2)	Variável binária que assume valor 1 se o gestor possui nível superior ou pós-graduação, 0 caso contrário.
Propensão ao risco (x_3)	Grau de aversão ao risco do produtor em função da resposta em escala Likert (1, discordo totalmente; 2, discordo; 3, indiferente; 4, concordo; 5, concordo totalmente) à declaração: “Confio na minha intuição para as decisões na fazenda.”.
<i>Características do confinamento:</i>	
Acesso a consultoria (x_4)	Variável binária que assume valor 1 se recebe algum serviço de consultoria para assessorar as atividades do confinamento, 0 caso contrário.
Capacidade estática (x_5)	Logaritmo natural da capacidade estática do confinamento em 2023, em número de animais.
Tempo de existência do confinamento (x_6)	Logaritmo natural do tempo de existência do confinamento, em anos.

Atividade principal (x_7)

Variável binária que assume valor 1 se a pecuária é a principal fonte de renda do fazendeiro, 0 caso contrário.

Escolaridade de colaboradores (x_8)

Quociente do número de colaboradores exclusivos do confinamento com ensino superior completo pelo total de colaboradores exclusivo do confinamento.

Fonte: Autoria própria

3.3 Modelo *logit*

A regressão logística (*logit regression*) foi aplicada para identificar fatores que influenciam a decisão dos pecuaristas em adotar a identificação individual eletrônica dos animais junto com os softwares operacionais para a gestão dos seus confinamentos.

Essa regressão é utilizada para estimar os coeficientes de modelos onde a variável resposta Y_i é binária. A variável resposta assume valor $Y_i = 1$ para os pecuaristas de cada confinamento i que adotaram a identificação individual eletrônica dos animais e software operacional, e $Y_i = 0$ para os pecuaristas que não adotaram essas tecnologias.

A probabilidade da adoção da tecnologia pode ser definida pela equação:

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

Onde F é a função de distribuição cumulativa logística e β são os parâmetros a serem estimados por meio de procedimentos de máxima verossimilhança. O modelo *logit* assume uma função de ligação logística que pode estimar efeitos das variáveis X_i na probabilidade da adoção das tecnologias digitais pelos produtores. O modelo *logit* pode ser expresso pela equação (GREENE, 2003):

$$P_i = P[Y_i = 1] = \frac{e^{x_i\beta}}{1 + e^{x_i\beta}} \quad (2)$$

Após estimar os parâmetros β , os quais podem ser utilizados para verificar a significância estatística e a direção do efeito (positivo ou negativo) de cada variável x_i sobre a probabilidade de adoção das tecnologias, os efeitos marginais de cada variável, ou seja, o efeito de pequenas mudanças em uma variável x_i na propensão de adoção das tecnologias, *ceteris paribus*, também pode ser calculado por meio de:

$$\frac{\Delta p_i}{\Delta x_i} = \frac{\partial p_i}{\partial x_i} = \beta_i \frac{1}{1 + e^{-x_i\beta}} \times \frac{e^{-x_i\beta}}{1 + e^{x_i\beta}} \quad (3)$$

O software estatístico utilizado para as análises dos dados foi o R (R Core Team, 2024).

4. Resultados e discussões

A Tabela 2 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis independentes para os dois grupos de produtores rurais: adotantes e não adotantes da identificação individual eletrônica dos animais e software para gestão operacional do confinamento. Permitindo uma comparação das características dos dois grupos de produtores.

A Tabela 3 apresenta os resultados do modelo econométrico *logit* e os efeitos marginais das variáveis sobre a probabilidade de adoção das tecnologias digitais. O teste de razão de máxima verossimilhança permite rejeitar a hipótese nula de que todos os coeficientes do modelo são estatisticamente iguais a zero. A variável de “propensão ao risco” foi analisada

comparando o aumento na chance da adoção do respondente quando comparado ao respondente que escolheu o nível mais baixo (1- discordo totalmente).

Tabela 2 – Estatística descritiva das variáveis da análise econométrica.

Variável	Adotantes (N = 50)			Não adotantes (N = 56)		
	Média	Mediana	D.P	Média	Mediana	D.P.
Idade (x_1)	41,41	41,00	10,543	41,48	37,5	13,018
Escolaridade do gestor (x_2)	0,929	1	0,260	0,800	1	0,404
Propensão ao risco (x_3)	3,482	4	1,191	3,400	4	1,355
Acesso a consultoria (x_4)	0,232	0	0,426	0,300	0	0,463
Capacidade estática (x_5)	9659,43	5050	13487,96	3841,60	2400	4035,697
Tempo de existência do confinamento (x_6)	10,893	9	9,242	13,20	9	10,270
Atividade principal (x_7)	0,393	0	0,493	0,400	0	0,495
Escolaridade de colaboradores (x_8)	0,286	0,167	0,296	0,241	0,163	0,347

Nota: mesmo que os logaritmos das variáveis “idade”, “capacidade estática” e “tempo de existência da propriedade” sejam utilizados no modelo *logit*, a Tabela 2 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis sem a transformação logarítmica.

Fonte: Autoria própria

Tabela 3 – Resultados do modelo *logit*: determinantes para adoção da identificação individual eletrônica dos animais e software para gestão operacional do confinamento por pecuaristas.

Variável	β	Efeito marginal	p-valor	
Intercepto	-12,712	-	0,007	
Idade (x_1)	1,740	4,697	0,062	*
Escolaridade do gestor (x_2)	1,307	2,695	0,078	*
Propensão ao risco (x_3) 2-1	1,124	2,077	0,259	
Propensão ao risco (x_3) 3-1	0,872	1,392	0,302	
Propensão ao risco (x_3) 4-1	1,010	1,746	0,232	
Propensão ao risco (x_3) 5-1	0,901	1,462	0,302	
Acesso a consultoria (x_4)	0,042	0,043	0,934	
Capacidade estática (x_5)	0,646	0,907	0,002	***
Tempo de existência do confinamento (x_6)	-0,425	-0,346	0,096	*
Atividade principal (x_7)	0,142	0,153	0,759	
Escolaridade de colaboradores (x_8)	0,144	0,155	0,834	
Log-likelihood	-63,085	-	-	
p-valor	0,040	-	-	
McFadden's R2	0,139	-	-	
AUC	0,748	-	-	

Nota: Estatisticamente significativa *** para $p < 0,01$; ** para $p < 0,05$; * para $p < 0,10$.

Fonte: Autoria própria

Dentre as oito variáveis utilizadas para identificar os determinantes da adoção de identificação individual eletrônica dos animais e software para gestão operacional do confinamento, quatro mostraram-se estatisticamente significantes ao nível de pelo menos 10%: idade, escolaridade do gestor, capacidade estática e o tempo de existência do confinamento.

A idade dos pecuaristas (p-valor = 0,062) exerce um efeito positivo na propensão de adotar as tecnologias. Com auxílio da estatística descritiva presente na Tabela 2, a mediana indica que metade dos pecuaristas possuem idade superior a 41 anos no grupo dos adotantes. Esse resultado pode estar relacionado à maior experiência dos tomadores de decisão com maior idade, reconhecendo nas tecnologias de interesse uma oportunidade para aprimorar o seu confinamento. No estudo de Pivoto et al. (2019) em fazendas de grãos no Brasil, também foi encontrada relação positiva entre a idade dos fazendeiros e a adoção de tecnologias de precisão. No entanto, a literatura aponta diferentes resultados em relação a idade do

pecuarista, ao verificar fatores determinantes na adoção de tecnologias no campo, podendo variar, sobretudo, devido ao país onde foi coletada a amostra (TAMIRAT et al., 2018) e o tipo de tecnologia investigada (KONRAD et al., 2019).

A escolaridade dos tomadores de decisão (p -valor = 0,078) também possui um efeito positivo na probabilidade de adoção das tecnologias digitais. Em média, 92,9% dos pecuaristas adotantes possuem ao menos o ensino superior completo, contra 80% do grupo dos não adotantes. Como esperado, esse resultado pode indicar a necessidade de gestores mais qualificados para a utilização de algumas tecnologias digitais associadas ao uso de informações para a gestão do confinamento. Os achados vão em consonância com o encontrado na literatura, onde admite-se relação positiva entre educação e adoção de tecnologias, uma vez que maiores níveis educacionais possuem o potencial de aumentar faculdades dos tomadores de decisão em processar informações e tomar decisões (CARRER et al., 2017; RIDDEL & SONG, 2017). Essa estatística reforça a importância do investimento em recursos humanos que promove a difusão das tecnologias 4.0.

A capacidade estática do confinamento mostrou-se estatisticamente significativa (p -valor = 0,002) possuindo um efeito positivo na probabilidade de adoção das tecnologias. Observa-se, também, que a média de cabeças de gado entre os adotantes é de 9.659,34, valor expressivamente maior que o grupo dos não adotantes, com uma média de 3.841,6 cabeças de gado. Pode-se sugerir que isso ocorre, pois, fazendas maiores possuem um sistema de controle e gerenciamento mais complexo, aderindo à identificação individual eletrônica de rebanhos e aos softwares operacionais para realizar o monitoramento de rebanhos de maneira mais acertada. O mesmo resultado também foi observado por Lambert et al. (2015) em fazendas produtoras de algodão, onde tomadores de decisão com maiores operações adotaram uma maior quantidade de tecnologias de precisão. Esses achados também confirmam outras descobertas que indicam que fatores vinculados à escala de produção têm uma associação positiva com a implementação de tecnologias digitais em várias práticas agropecuárias (CARRER et al., 2022; GROHER et al., 2020; MOZAMBANI et al., 2023; VINHOLIS et al., 2017).

Por fim, produtores que possuíam confinamentos mais novos, mostraram-se mais propensos à adoção das tecnologias digitais analisadas nesse estudo. Esse resultado se explica pela estrutura de produção e gerenciamento mais modernas nesses confinamentos, o que inclui as tecnologias digitais.

As demais variáveis do modelo “propensão ao risco”, “acesso a consultoria”, “atividade principal” e “escolaridade dos colaboradores” não apresentaram significância estatística a um nível de pelo menos 10%.

5. Conclusões

Este estudo objetivou identificar fatores determinantes na adoção de identificação eletrônica de animais e software para a gestão de confinamentos no Brasil. Dados de 106 confinamentos foram analisados por meio de estatísticas descritivas e regressão logística.

Os resultados indicaram que variáveis associadas a característica do produtor, escala de produção e características do confinamento são essenciais para a adoção de tecnologias digitais, são elas: (i) idade maior dos tomadores de decisão, (ii) maior nível de escolaridade dos pecuaristas, tendo ao menos ensino superior completo, (iii) maior capacidade estática e (iv) confinamentos mais novos.

Estes resultados têm implicações para o setor, como o desenvolvimento de estratégias para evitar a exclusão de pecuaristas de menor escala de produção da transformação digital no campo e estratégias para a capacitação da mão de obra em tecnologias digitais. Políticas de capacitação e estratégias para a retenção de mão de obra qualificada no campo são

fundamentais para alavancar a difusão das tecnologias digitais e aumentar ainda mais a produtividade dos fatores na pecuária brasileira.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem à Scot Consultoria e Embrapa pelo apoio técnico-científico ao desenvolvimento do artigo (cooperação técnica SAIC 2360022/0019-0) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo auxílio financeiro (projetos 2023/16008-2 e 2023/14466-3 vinculado ao projeto 2022/02967-5).

Referências

ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Estatísticas: Série histórica das exportações de carne bovina em 2024. Disponível em: <https://www.abiec.com.br/exportacoes/>. Acesso em 29 de março de 2025.

ARSLAN, A. C.; AKAR, M.; ALAGÖZ, F. 3D cow identification in cattle farms. In: **2014 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)**. IEEE, p. 1347-1350, 2014.

BARNES, A. P. et al. Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers. **Land Use Policy**, v. 80, p. 163-174, 2019.

BENITEZ-ALTUNA, F. et al. Factors affecting the adoption of ecological intensification practices: A case study in vegetable production in Chile. **Agricultural Systems**, v. 194, p.103283, 2021.

BENTIVOGLIO, Deborah et al. A theoretical framework on network's dynamics for precision agriculture technologies adoption. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 60, p. e245721, 2021.

BERCKMANS, D. General introduction to precision livestock farming. **Animal Frontiers**, v. 7, n. 1, p. 6-11, 2017.

BERNARDI, A. C. C. et al. Potencial de uso das tecnologias de agricultura e pecuária de precisão e automação. São Carlos, SP: **Embrapa Pecuária Sudeste**, 2017.

BRASIL. Lei nº 14.475, de 13 de dezembro de 2022. Política Nacional de Incentivo à Agricultura e Pecuária de Precisão. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Brasília, DF, p. 1, 14 dez. 2022.

CARRER, M. J.; DE SOUZA FILHO, H. M.; BATALHA, M. O. 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.; VINHOLIS, M. M. B.; MOZAMBINI, C. I. Precision agriculture adoption and technical efficiency: An analysis of sugarcane farms in Brazil. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 177, p. 121510, 2022.

CARRER, M. J.; TORRES, E. A. M.; VINHOLIS, M.M.B. et al. Impactos da adoção de softwares de gestão financeira e operacional na eficiência técnica de confinamentos de bovinos de corte no Brasil. **Anais do 51º Encontro Nacional de Economia, Associação Nacional dos Programas de Pós-graduação em Economia (ANPEC)**, Rio de Janeiro – RJ, 2023.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). Produção de carnes ultrapassa 31 milhões de toneladas em 2024 e atinge novo recorde na série histórica. Brasília, DF: CONAB, 2024. Disponível em:

<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5906-producao-de-carne-ultrapassa-31-milhoes-de-toneladas-em-2024-e-atinge-novo-recorde-na-serie-historica>. Acesso em: 29 de março de 2025.

DERKS, M.; VAN WERVEN, T.; HOGEVEEN, H.; KREMER, W. D. Veterinary herd health management programs on dairy farms in the Netherlands: use, execution, and relations to farmer characteristics. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 3, p. 1623-1637, 2013.

DINEVA, K.; ATANASOVA, T. Design of scalable IoT architecture based on AWS for smart livestock. **Animals**, v. 11, n. 9, p. 2697, 2021.

FAROOQ, M. S. et al. A survey on the role of IoT in agriculture for the implementation of smart livestock environment. **IEEE Access**, v. 10, p. 9483-9505, 2022.

FEDER, G.; UMALI, D. L. The adoption of agricultural innovations: a review. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 43, n. 3-4, p. 215-239, 1993.

GIUA, C.; MATERIA, V. C.; CAMANZI, L. Management information system adoption at the farm level: evidence from the literature. *British Food Journal*, v. 123, n. 3, p. 884-909, 2020.

GREENE, W.H. Economic Analysis. 5ª Edição. New Jersey: **Prentice Hall**. 2003.

GROHER, T.; HEITKÄMPER, K.; UMSTÄTTER, C. Digital technology adoption in livestock production with a special focus on ruminant farming. **Animal**, v. 14, n. 11, p. 2404-2413, 2020.

HERLIN, A.; BRUNBERG, E.; HULTGREN, J.; HÖGBERG, N.; RYDBERG, A.; SKARIN, A. Animal welfare implications of digital tools for monitoring and management of cattle and sheep on pasture. **Animals**, v. 11, n. 3, p. 829, 2021.

IBGE. Pesquisa da Pecuária Municipal. Brasil: IBGE, 2023. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em 29 de março de 2025.

KONRAD, M. T.; NIELSEN, H. Ø.; PEDERSEN, A. B.; ELOFSSON, K. Drivers of farmers' investments in nutrient abatement technologies in five Baltic Sea countries. **Ecological economics**, v. 159, p. 91-100, 2019.

MADURANGA, M. W. P.; ABEYSEKERA, R. Machine learning applications in IoT based agriculture and smart farming: A review. **Int. J. Eng. Appl. Sci. Technol**, v. 4, n. 12, p. 24-27, 2020.

MALAFIA, G. C.; DE VARGAS MORES, G.; CASAGRANDA, Y. G.; BARCELLOS, J. O. J.; COSTA, F. P. The Brazilian beef cattle supply chain in the next decades. **Livestock Science**, v. 253, p. 104704, 2021.

MARTHA JR, G. B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Land-saving approaches and beef production growth in Brazil. **Agricultural Systems**, v. 110, p. 173-177, 2012.

MDODA, L.; MDIYA, L. Factors affecting the using information and communication technologies (ICTs) by livestock farmers in the Eastern Cape province. **Cogent Social Sciences**, v. 8, n. 1, p. 2026017, 2022.

MENDES, J. J.; CARRER, M. J.; VINHOLIS, M. M. B.; SOUZA FILHO, H. M. Adoption and impacts of messaging applications and participation in agricultural information-sharing groups: an empirical analysis with Brazilian farmers. **Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies**, 2023.

MICHELS, M.; FECKE, W.; FEIL, J. H.; MUSSHOF, O.; PIGISCH, J.; KRONE, S.I. Smartphone adoption and use in agriculture: empirical evidence from Germany. **Precision Agriculture**, v. 21, p. 403-425, 2020.

MOZAMBANI, C. I., SOUZA FILHO, H. M., VINHOLIS, M. M. B., CARRER, M. J.

Adoption of precision agriculture technologies by sugarcane farmers in the state of São Paulo, Brazil. **Precision Agriculture**, v. 24, n. 5, p. 1813-1835, 2023.

ODERA, D. Wefarm: Providing Information, the Cornerstone of Agribusiness. A Global Coalition for Sustainable **Agricultural Development**. 2020.

OLIVEIRA, L. FP; MOREIRA, A. P.; SILVA, M. F. Advances in agriculture robotics: A state-of-the-art review and challenges ahead. **Robotics**, v. 10, n. 2, p. 52, 2021

PIVOTO, D.; BARHAM, B.; WAQUIL, P. D.; FOGUESATTO, C. R.; CORTE, V. F. D., ZHANG, D.; TALAMINI, E. Factors influencing the adoption of smart farming by Brazilian grain farmers. **International Food and Agribusiness Management Review**, v. 22, n. 4, p. 571-588, 2019.

PRITCHARD, R. H. Bunk management. In: **Land O'Lakes Beef Seminar, Cedar Rapids, IA, Columbus, NE, and Storm Lake, IA**. Land O'Lakes Inc., St. Paul, MN. p 4-15. 1993.

RIDDELL, W. C.; SONG, X. The role of education in technology use and adoption: Evidence from the Canadian workplace and employee survey. **ILR Review**, v. 70, n. 5, p. 1219-1253, 2017.

ROGERS, E. M. Diffusion of innovations. 3. ed. New York: **The Free Press**, 1983.

SCHUMPETER, J. A teoria do Desenvolvimento Econômico: uma investigação sobre os lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico. São Paulo. Editora Nova Cultural, 1997.

SHEN, W. et al. Individual identification of dairy cows based on convolutional neural networks. **Multimedia Tools and Applications**, v. 79, p. 14711-14724, 2020.

SECEX. Secretaria de Comércio Exterior. COMEX Stat. Base de Dados. Disponível em <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acesso em 19 de maio de 2024.

SILVI, R.; PEREIRA, L. G. R.; PAIVA, C. A. V.; TOMICH, T. R.; TEIXEIRA, V. A.; SACRAMENTO, J. P.; DÓREA, J. R. R.. Adoption of precision technologies by Brazilian dairy farms: The farmer's perception. **Animals**, v. 11, n. 12, p. 3488, 2021.

SOUZA FILHO, H. M.; BUAINAIN, A. M.; da SILVEIRA, J. M. F. J.; VINHOLIS, M. D. M. B. Condicionantes da adoção de inovações tecnológicas na agricultura. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, 28(1), 223-255, 2011.

SOUZA FILHO, H. M. et al. Adoption of farm management information systems (FMIS): The case of Brazilian sugarcane farmers. **Information Development**, p. 02666669231177864, 2023.

STOYANOV, S.; OROZOVA, D.; POPCHEV, I. Internet of things water monitoring for a smart seaside city. In: 2018 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA). **IEEE**, p. 1-3, 2018.

SUNDING, David; ZILBERMAN, David. The agricultural innovation process: research and technology adoption in a changing agricultural sector. Handbook of agricultural economics, v.1, p. 207-261, 2001.

TAMIRAT, T. W.; PEDERSEN, S. M.; LIND, K. M. Farm and operator characteristics affecting adoption of precision agriculture in Denmark and Germany. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science**, v. 68, n. 4, p. 349-357, 2018.

VINHOLIS, M. M. B.; CARRER, M. J.; SOUZA FILHO, H. M. Adoption of beef cattle traceability at farm level in São Paulo State, Brazil. **Ciência Rural**, v. 47, p. e20160759, 2017.

VINHOLIS, M. M. B.; SAES, M. S. M.; CARRER, M. J.; SOUZA FILHO, H. M. The effect of meso-institutions on adoption of sustainable agricultural technology: A case study of the Brazilian Low Carbon Agriculture Plan. **Journal of Cleaner Production**, v. 280, p. 124334, 2021.

WOLFERT, S.; GE, L.; VERDOUW, C.; BOGAARDT, M. J. Big data in smart farming—a review. **Agricultural systems**, v. 153, p. 69-80, 2017.