



DETERMINANTES DA ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO: UMA REVISÃO DE ESTUDOS EMPÍRICOS

DETERMINANTS OF THE ADOPTION OF PRECISION AGRICULTURE TECHNOLOGIES: A REVIEW OF EMPIRICAL STUDIES

Carlos Ivan Mozambani

Doutorando do Dep. de Engenharia de Produção – Universidade Federal de São Carlos
cmozambani@ig.com.br

Hildo Meirelles de Souza Filho

Prof.º Titular do Dep. de Eng. de Produção – Universidade Federal de São Carlos
hildo@dep.ufscar.br

Marcela de Mello Brandão Vinholis

Pesquisadora - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)
marcela.vinholis@embrapa.br

Grupo de Pesquisa: Pesquisa, inovação e extensão rural

Resumo: O objetivo deste artigo foi identificar os principais fatores determinantes da adoção de tecnologias de agricultura de precisão (AP) descritas na literatura. Neste sentido, foi realizada uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) em três bases de dados (*Scopus*, *Web of Science* e *Scielo*), combinando os termos *Adoption*, *Determinant* e *Precision Agriculture*. A busca retornou mais de 800 documentos que foram submetidos a filtros de exclusão pré-estabelecidos. Como resultado destes filtros, 20 artigos foram selecionados para análise, o que permitiu identificar dois contextos de análise: *ex post* e *ex ante* a adoção de AP. No primeiro caso estão relacionadas as pesquisas sobre avaliação da adoção de tecnologia, enquanto que no contexto *ex ante* os estudos referem-se à intenção de uso das mesmas. Os resultados mostram que a facilidade de uso e a utilidade percebida são os principais aspectos que influenciam na intenção de uso de tecnologias de AP. Por outro lado, as variáveis relacionadas as características do produtor e da propriedade são as principais determinantes de adoção ligadas ao contexto *ex post*.

Palavras-chave: Adoção de tecnologia; fatores determinantes; Agricultura de Precisão; Revisão Bibliográfica Sistemática.

Abstract: This paper aimed to identify the main adoption determinants of precision agriculture (PA) technologies described in the literature. In this sense, a Systematic Bibliographic Review (SBR) was carried out in three databases (*Scopus*, *Web of Science* and *Scielo*), combining the terms *Adoption*, *Determinant* and *Precision Agriculture*. The search returned more than 800 documents that were submitted to a pre-set exclusion filters. As a result of these filters, 20 papers were selected for analysis, which allowed to identify two contexts of analysis: *ex post* and *ex ante* for the adoption of AP. In the first context are related the research on evaluation of technology adoption, while in the *ex ante* context the studies refer to the intention to use them. The results show that the ease of use and the perceived utility are the main aspects that influence the intention of using AP technologies. On the other hand, the variables related to the characteristics of the producer and the property are the main determinants of adoption linked to the *ex post* context.

Key words: Adoption of technology; Determinant factors; Precision agriculture; Systematic Bibliographic Review.



1 INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira avançou como nenhuma outra na direção da sustentabilidade. Nos últimos 40 anos, o país foi capaz de tropicalizar diversos sistemas de cultivos e de produção animal; transformou grandes extensões de terras pobres e ácidas em terras férteis e produtivas; foi capaz de desenvolver uma plataforma de práticas sustentáveis como a fixação de nitrogênio, o controle biológico, o plantio direto e os sistemas integrados. Os desafios continuam no sentido de solucionar problemas relacionados com as mudanças climáticas, descarbonização da economia, sistemas integrados para aumentar a eficiência, uso mais racional da água, sistemas que permitam a utilização de insumos de forma inteligente, dentre tantos outros (BERNARD *et al.*, 2014).

Observam-se que há tecnologias e práticas que possibilitam ao produtor bons resultados econômicos, além de processos agrícolas mais eficientes, responsáveis e rastreáveis, demandantes de mão de obra qualificada e, conseqüentemente, promotores de produção mais sustentável (MOLIN, 2004). Esse é o caso da Agricultura de Precisão (AP), que, de acordo com a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão, constitui-se de “um conjunto de ferramentas e tecnologias aplicadas para permitir um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva, visando ao aumento de retorno econômico e a redução do impacto ao ambiente” (BRASIL, 2013, p.1). Dentre esse conjunto, encontram-se as técnicas de coleta de dados por sensores, os mapeamentos, as amostragens georreferenciadas, os sistemas de informação geográficas, bem como todas as máquinas e equipamentos de aplicação a taxa variada (pulverização, adubação, plantio, correção e irrigação).

Nos Estados Unidos (EUA), Canadá e países europeus, as práticas de AP vêm sendo adotadas com maior intensidade. Os EUA são os que mais utilizam AP e a mais tempo (LAMBERT; DeBOER; 2000). Por se tratarem de inovações ainda incipientes na agricultura brasileira, não há informações relacionadas à sua adoção em bases de dados secundárias, à exemplo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Existem, no entanto, estudos pontuais sobre o tema. Molin (2017), por exemplo, em um estudo realizado em 2013 com 992 produtores de soja e milho de três regiões do país (sul, cerrado e a região conhecida como MATOPIBA), concluiu que 45% dos entrevistados utilizaram alguma técnica de AP na propriedade. Entretanto, o autor afirma que apenas 15,3%, do total de entrevistados realmente utilizaram técnicas de amostragens que considerassem a variabilidade espacial dos atributos de fertilidade do solo.

Alguns estudos demonstraram os benefícios da utilização de tecnologias de AP, como a redução dos custos de produção, a aplicação de insumos de maneira mais eficiente, o aumento da produtividade global da lavoura, o aumento na quantidade de informações possibilitando melhor tomada de decisão, e a redução do impacto ambiental (FEDER *et al.*, 1985; GRIFFIN *et al.*, 2005). Todavia, o conjunto de fatores determinantes da adoção de tecnologias de AP pode ser bem maior, incluindo aspectos relacionados às características dos produtores e das propriedades. Assim, o objetivo do presente trabalho é identificar os principais fatores determinantes da adoção de tecnologias de AP abordados na literatura. Para isso realizou-se uma revisão bibliográfica sistemática (RBS) em 3 bases de dados (*Scopus*, *Web of Science* e *Scielo*). O método utilizado na revisão é melhor detalhado na segunda seção. Na terceira e quarta seções apresentam-se os determinantes de adoção segundo dois contextos das análises empíricas: *Ex ante* e *ex post* à adoção da tecnologia. Isto é, análises sobre a



intenção de uso da tecnologia ou potenciais adotantes e análises que envolvem produtores que já adotaram a tecnologia. Por fim, são apresentadas as principais conclusões.

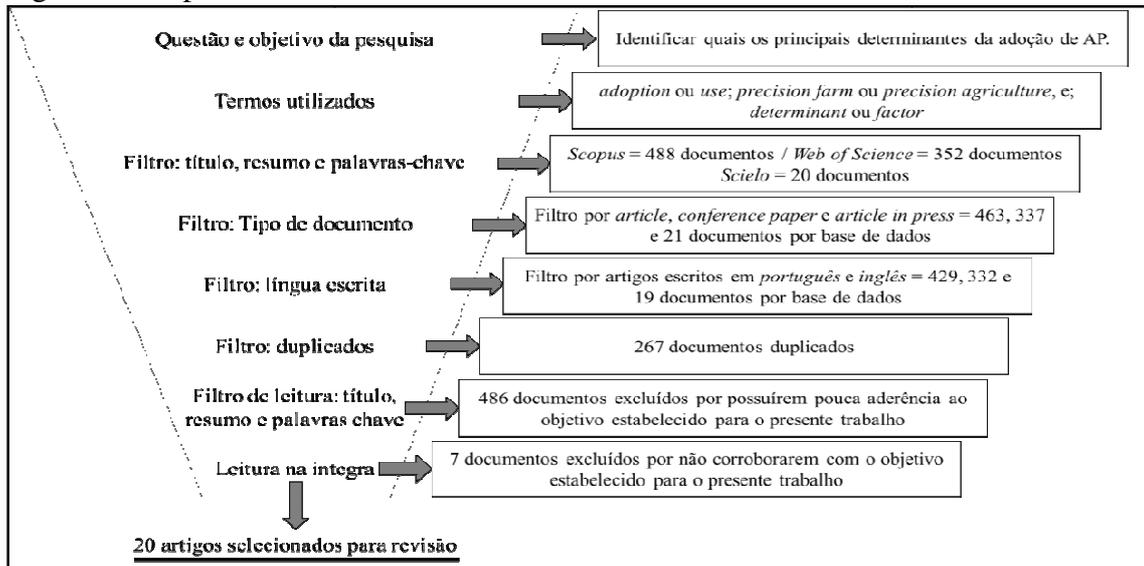
2 MÉTODO UTILIZADO

Realizou-se uma busca em três bases de dados – *Scopus*, *Web of Science* e *Scielo* – a fim de identificar os principais determinantes da adoção de AP descritos na literatura. Nas três bases de dados foram utilizadas as mesmas combinações de termos: “*adoption* ou *use*; *precision farm* ou *precision agriculture*, e; *determinant* ou *factor*”. Os trabalhos foram filtrados primeiramente por título, resumo e palavras-chave resultando em 488 documentos pela base *Scopus*, 352 pela *Web of Science* e 21 pela *Scielo*. Sequencialmente, com intuito de obter apenas trabalhos revisados por pares foi realizado um filtro por tipo de documento. Nesta etapa os tipos *article*, *conference paper* e *article in press* foram selecionados reduzindo a pesquisa para 463, 337 e 21 documentos por base de dados, respectivamente. A escolha por dois idiomas (inglês e português) foi outro crivo de seleção efetuado, restando 429 documentos da base *Scopus*, 332 da *Web of Science* e 19 da *Scielo*. Dos 780 documentos selecionados, 267 apareceram em duas ou até três bases, sendo classificados como duplicados e excluídos da revisão.

Conforto, Amaral e Silva (2011) sugerem que o primeiro filtro de leitura a ser realizado em uma RBS é a leitura do *title*, *abstract* e *keywords*. Assim, foram rejeitados nesta etapa 486 documentos, por entender que o assunto tratado em tais artigos possuía pouca aderência aos objetivos estabelecidos para o presente trabalho. Pode-se citar a não abordagem sobre fatores determinantes de adoção de tecnologia; a não abordagem sobre adoção de tecnologias por produtores rurais; a comparação de eficiência de máquinas e equipamentos de AP com os de agricultura tradicional; a não abordagem sobre tecnologias de AP, e; ferramentas específicas de AP como práticas sustentáveis como sendo os principais motivos de exclusão destes artigos. Por fim, 27 documentos passaram para a fase de leitura completa. Nesta etapa, 7 artigos foram excluídos por não aderirem aos objetivos estabelecidos para presente revisão. Na Figura 1 torna-se mais fácil a visualização das etapas desenvolvidas para seleção dos artigos.



Figura 1 - Etapas RBS



Fonte: autores (2018)

Os autores, o ano e outras informações sobre os artigos são descritos na Tabela 1. Nota-se que os primeiros artigos sobre adoção de AP encontrados na revisão datam de 2003 e 2004. Considerando que o termo “Agricultura de Precisão” data de 1990, pode-se afirmar que houve um período de 13 anos desde as primeiras definições de AP até os primeiros estudos sobre sua adoção. Outra importante observação sobre os artigos é a presença marcante de estudos realizados nos Estados Unidos, principalmente com a cultura do algodão. Dos 20 artigos encontrados, 10 foram realizados em solo Americano sendo 8 com algodão.

Os EUA podem ser considerados como o “berço” da AP no mundo (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015). A concentração de estudos com a cultura do algodão pode ser explicada por meio da observação dos autores e o local em que foram realizadas as pesquisas referentes a esses artigos. Percebe-se que se tratam de estudos de um mesmo grupo de pesquisadores dedicados ao entendimento da adoção de AP por produtores de algodão no sudeste dos EUA.



Tabela 1 – Descrição dos estudos analisados na revisão

Contexto	Autores	Ano	Método de análise utilizado	Número da amostra	País/Região de estudo	Questionário respondido por	Número de variáveis
Ex ante	Rezaei-Moghaddam & Salehi	2010	Modelagem de equações estruturais	249	Khuzestan e Far / Irã	Especialistas do setor	7
Ex ante	Kutter <i>et al</i>	2011	Análise qualitativa dos dados	49	Alemanha (30); República tcheca (5); Dinamarca (6); Grécia (6); Outros países Europeus (2)	Especialistas do setor	5
Ex ante	Abdullah, Ahmad & Ismail	2012	Método de regressão gradual	119	Malásia	Produtores de Arroz	3
Ex ante	Aubert, Schroeder & Grimaudo	2012	Análise de correlação	438	Canadá	Produtores diversos	4
Ex ante	Bagheri & Bordbar	2014	Estatística descritiva	117	Irã	Especialistas do setor	18
Ex ante	Far & Rezaei-Moghaddam	2017	Modelagem de Equações estruturais	183	Provincia de Fars / Irã	Especialistas do setor	6
Ex ante / ex post	Pierpaoli <i>et al</i>	2013	Revisão de literatura	13 ex post 7 ex ante			3 ex ante 8 ex post
Ex post	Daberkow & McBride	2003	Logit binário	786	EUA	Produtores diversos	9
Ex post	Sevier & Lee	2004	Probit binário	135	Flórida / EUA	Produtores de Cítrus	8
Ex post	Torbett <i>et al</i>	2007	Logit ordenado	144	Sul dos EUA	Produtores de algodão	16
Ex post	Walton <i>et al</i>	2008	Probit	827 (335 adotantes e 492 não adotantes)	Sudeste dos EUA	Produtores de algodão	12
Ex post	Larson <i>et al</i>	2008	Logit binário	98	Sudeste dos EUA	Produtores de algodão	11

(continua)

Tabela 1 – Descrição dos estudos analisados na revisão (continuação)

Contexto	Autores	Ano	Método de análise utilizado	Número da amostra	País/Região de estudo	Questionário respondido por	Número de variáveis
Ex post	Cirani & Dias de Moraes	2010	Logit binário	87	Estado de São Paulo	Indústrias sucroalcooleiras	7
Ex post	Walton <i>et al</i>	2010	Probit binário	827	Sudeste dos EUA	Produtores de algodão	14
Ex post	Paxton <i>et al</i>	2011	Poisson e distribuição binomial	892	Sudeste dos EUA	Produtores de algodão	10
Ex post	Jenkins <i>et al</i>	2011	Probit multinomial	959	Sudeste dos EUA	Produtores de algodão	9
Ex post	D'Antoni, Mishra & Joo	2012	Logit multinomial	469	Sudeste dos EUA	Produtores de algodão	11
Ex post	Watcharaanantapong <i>et al</i>	2013	Tobit	1088	Sudeste dos EUA	Produtores de algodão	21
Ex post	Allahyari, Mohammadzadeh & Nastis	2016	Estatística descritiva e Engeo Valor	133	Caspian Sea / Irã	Especialistas do setor	11
Ex post	Paustian & Theuvsen	2016	Logit binário	227 (68 adotantes e 159 não adotantes)	Alemanha	Produtores diversos	11

Fonte: autores (2018)



3 DETERMINANTES DA ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS DE AP

A Tabela 1 permite identificar dois contextos de análise: *ex ante* e *ex post*. No primeiro caso, os trabalhos concentram-se na análise de aceitação tecnológica, ou seja, os autores buscaram identificar quais os potenciais adotantes de AP e o que influencia a intenção de uso da inovação. A coleta de dados nesses trabalhos, em sua maioria, foi realizada por meio de entrevistas com especialistas do setor (agrônomos, consultores, empresas de máquinas e equipamentos, pesquisadores, entre outros). Procurou-se identificar fatores explicativos utilizando-se o modelo de aceitação tecnológica (TAM – *Technology Acceptance Model*).

No segundo conjunto de artigos, os autores concentraram suas investigações em um contexto *ex post* a adoção, isto é, buscaram identificar os motivos ou razões pelas quais determinados produtores adotaram a AP, quais as características desses produtores/propriedades, quais fontes de informação utilizaram, que tipo de assistência técnica possuem, entre outras características. Teorias de difusão de tecnologia foram predominantemente utilizadas como fundamentação. Modelos de regressão foram utilizados nas análises de dados coletados, principalmente, com produtores que utilizavam ou realizaram alguma prática de AP. Em alguns casos, o método de análise incluiu dados de não adotantes. As duas seções que se seguem buscam explorar e apresentar os principais determinantes de adoção de tecnologias de AP identificados na revisão sistemática a partir de cada contexto.

3.1 Contexto ex ante

Esta seção busca compreender o contexto *ex ante* da adoção de AP. Os artigos filtrados na RBS que compõe esta seção tiveram como objetivo principal identificar os determinantes que influenciam na tomada de decisão da adoção de AP. Tais determinantes estão relacionados com a intenção e atitude comportamental do produtor em usar uma nova tecnologia, neste caso a AP. Como apresentado na Tabela 1, sete artigos da revisão enquadram-se neste contexto. Rezaei-Moghaddam e Salehi (2010), Aubert, Schroeder e Grimaudo (2012), Pierpaoli *et al.* (2013) e Far e Rezaei-Moghaddam (2017) utilizaram o Modelo de Aceitação Tecnológica adicionando algumas variáveis ao modelo original para investigar a intenção e atitude na adoção de AP. Abdullah, Ahmad e Ismail (2012) relacionaram atitude, conhecimento e competência como determinantes necessários aos produtores na adoção AP. Kutter *et al.* (2011) observaram o papel da comunicação na intenção de se adotar AP, e Bagheri e Bordbar (2014) analisaram determinantes socioeconômicas na tentativa de encontrar soluções para acelerar a difusão da AP entre produtores de arroz.

O Modelo de Aceitação Tecnológica (TAM – *Technology Acceptance Model*) foi desenvolvido inicialmente por Davis (1986) e aperfeiçoado em dois artigos posteriores, Davis (1989) e Davis e Venkatesh (1996). A ideia do TAM é que utilidade percebida e facilidade de uso percebida são dois determinantes que podem influenciar na intenção de uso e, sequencialmente, na decisão de adoção de uma nova tecnologia. Na utilidade percebida, os indivíduos tendem a usar ou não uma nova tecnologia à medida que acreditam que ela possa melhorar o desempenho do trabalho. Em outras palavras é a probabilidade do usuário



potencial utilizar a nova tecnologia visando aumentar o desempenho do seu trabalho (DAVIS, 1989).

Assim, considerando o determinante de utilidade percebida um produtor tende a adotar tecnologias de AP quando ele percebe que a inovação pode aumentar a produtividade e/ou lucratividade em sua lavoura (AUBERT; SCHROEDER; GRIMAUDDO, 2012; REZAI-MOGHADDAM; SALEHI, 2010). A atitude de confiança, também influencia na utilidade percebida, isto é, a confiança de um produtor em aprender e utilizar determinada tecnologia de AP impacta diretamente na percepção quanto a sua utilidade (AUBERT; SCHROEDER; GRIMAUDDO, 2012; FAR; REZAI-MOGHADDAM, 2017; PIERPAOLI *et al.*, 2013; REZAI-MOGHADDAM; SALEHI, 2010). Para Abdullah, Ahmad e Ismail (2012) atitude refere-se a como as pessoas reagem a certas circunstâncias e como elas se comportam em geral. Portanto, a percepção de utilidade das tecnologias de AP dependerá da atitude do produtor frente a certas circunstâncias cotidianas relacionadas com as operações agrícolas.

Aubert, Schroeder e Grimaudo (2012) acrescentam que quanto maior a compatibilidade das tecnologias de AP com os equipamentos, rotinas e operações existentes na propriedade, maior será a probabilidade de o produtor percebê-la como útil. Quanto mais compatível for uma tecnologia com outras já existentes na propriedade maior será a chance de o produtor adotar a nova tecnologia. Assim, a adoção de uma nova tecnologia será realizada se o produtor possuir ou conhecer algo relacionado a ela. Estes autores ainda afirmam que a disponibilidade, qualidade e valor da informação impactam positivamente a utilidade percebida. O trabalho de Kutter *et al.* (2011) corrobora com a importância da informação e sua relevância para investimentos em AP. Para eles, as fontes de informação (literatura profissional, dias de campo, feiras, workshops, internet, etc.); as instituições de apoio (empresas de tecnologia agrícola, consultoria privada, serviços de extensão, institutos de pesquisa, centros educacionais, cooperativas/associações); e a localização da propriedade impactam diretamente na intenção do produtor em adotar tecnologias de AP. Por fim, Far e Rezaei-Moghaddam (2017) argumentam que a capacidade inovadora também impacta na utilidade percebida, ou seja, quanto maior a disposição de um produtor em experimentar uma nova tecnologia maior será a probabilidade de adotar tecnologias de AP.

O segundo determinante do modelo TAM, facilidade de uso percebida, refere-se ao grau de dificuldade ou de esforço para utilização ou compreensão de uso de uma nova tecnologia. Pelo próprio modelo, a facilidade de uso percebida pelos usuários de uma nova tecnologia influencia na utilidade percebida por eles (DAVIS, 1989; DAVIS; VENKATESH, 1996). Assim, a percepção do produtor em relação a facilidade de utilizar tecnologias de AP influencia diretamente na intenção de adotar a nova tecnologia, como também por meio da sua utilidade percebida. A capacidade de teste foi um dos determinantes identificados na revisão como impactante na facilidade de uso percebida. A capacidade de teste reflete a habilidade do usuário em usar a inovação antes de sua adoção, isto é, a probabilidade do produtor testar a tecnologia de AP em uma pequena parcela de sua propriedade. Os estudos sugerem que a facilidade pela qual uma tecnologia de AP pode ser testada influenciará na probabilidade de sua adoção (AUBERT; SCHROEDER; GRIMAUDDO, 2012; PIERPAOLI *et al.*, 2013; REZAI-MOGHADDAM; SALEHI, 2010).

A visibilidade é outro determinante que impacta positivamente na facilidade de uso percebida. A visibilidade refere-se a medida pela qual um potencial adotante observa os resultados oriundos da inovação. Assim, quanto mais “visível” for a inovação, mais



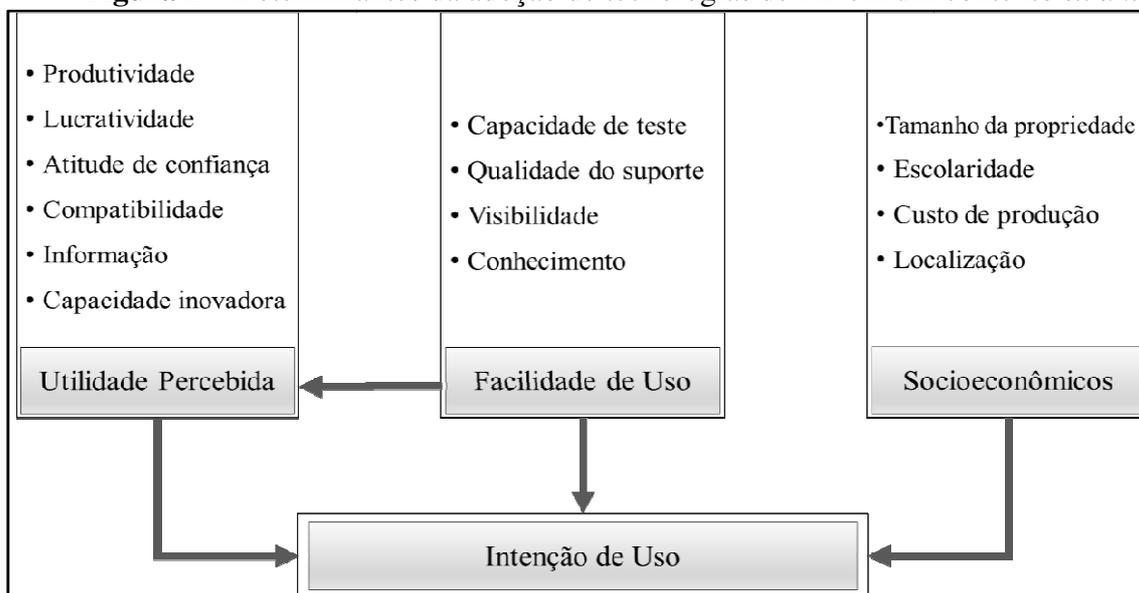
facilmente pessoas ao redor se sentirão estimuladas a se tornarem usuários da mesma (REZAI-MOGHADDAM; SALEHI, 2010). Aubert, Schroeder e Grimaudo (2012) e Kutter *et al.* (2011) afirmam que a acessibilidade, rapidez e habilidade do suporte para novas tecnologias também impactam na facilidade de uso percebida. Estas variáveis podem ser descritas como qualidade do suporte, assim, a impressão do produtor quanto a facilidade de uso de tecnologias de AP é influenciada pela qualidade do suporte oferecido, podendo esse ser oferecido por diversas fontes (associações/cooperativas, revendas de máquinas e equipamentos, consultores privados, extensão governamental, entre outras).

Alinhado à qualidade do suporte encontra-se o conhecimento. Essa variável representa o grau de entendimento que o adotante (produtor, gestor da propriedade ou até mesmo funcionários) possui sobre as tecnologias de AP. Portanto, quanto mais conhecimento um adotante possui sobre tecnologias de AP, mais provavelmente ele irá percebê-la como de fácil uso e, conseqüentemente, maior será sua intenção de uso (AUBERT; SCHROEDER; GRIMAUDO, 2012; PIERPAOLI *et al.*, 2013; REZAI-MOGHADDAM; SALEHI, 2010).

Além da facilidade de uso e da utilidade percebida, foram também identificados outros determinantes de caráter socioeconômico: o tamanho da propriedade; a escolaridade do produtor; a localização da propriedade; e os custos de produção. Esses determinantes, embora não estejam diretamente ligados ao modelo TAM, também impactam na intenção de um produtor em usar ou não tecnologias de AP (ABDULLAJ; AHMAD; ISMAIL, 2012; BAGHERI; BORDBAR, 2014).

A Figura 2 sintetiza os determinantes examinados nos artigos revisados que impactam na intenção de uso de tecnologias de AP.

Figura 2 – Determinantes da adoção de tecnologias de AP em um contexto *ex ante*



Fonte: autores (2018)

3.2 Contexto *ex post*

Esta seção pretende descrever os principais determinantes encontrados no conjunto de artigos com contexto *ex post* apresentados na Tabela 1. Nestes artigos, os dados coletados referem-se a produtores que adotam ou já adotaram alguma tecnologia de AP. Tamanho da



propriedade foi a variável mais citada influenciando a adoção de tecnologias de AP, presente em 11 dos 14 artigos. A perspectiva é que quanto maior a propriedade, maior será a probabilidade de adoção de tecnologias de AP (D'ANTONI; MISHRA; JOO, 2012; DABERKOW; McBRIDE, 2003; WALTON *et al.*, 2010). Há suposição de que glebas de terra maiores estão associadas a maior flexibilidade para testar novas tecnologias e maior facilidade de acesso ao crédito rural.

A escolaridade e a idade do produtor também foram muito citadas. No primeiro caso, a relação é positiva, isto é, quanto maior o nível de escolaridade do produtor, maior a chance de ele adotar tecnologias de AP (PAXTON *et al.*, 2011; WALTON *et al.*, 2008). O maior grau de escolaridade está relacionado ao maior conhecimento e habilidade para interpretar informação e dados de AP. Porém, a idade apresenta uma relação inversamente proporcional; quanto mais jovem for o produtor, maiores são as chances de ele adotar tecnologias de AP (SEVIER; LEE, 2004; WATCHARAANANTAPONG *et al.*, 2013). Os jovens tendem a ser menos avessos ao risco e mais familiarizados com tecnologias da informação (TI). Algumas ferramentas de AP requerem algum conhecimento de TI para uso e tomada de decisão. Além destas variáveis, a localização da propriedade, a condição fundiária, o uso de computador para gestão da propriedade, a renda domiciliar, a produtividade por hectare, as fontes de informação e a percepção do produtor foram fatores muito citados pelos trabalhos como influenciadores na adoção de tecnologias de AP. Outros fatores foram menos citados nos artigos selecionados.

Considerando a grande quantidade de fatores citados, convém agrupá-los em categorias. No presente trabalho, o agrupamento seguirá o modelo proposto por Souza Filho *et al.* (2011), que identificaram quatro conjuntos de fatores condicionantes da adoção de tecnologias na agricultura: características socioeconômicas e condições do produtor; características da produção e da propriedade rural; características da tecnologia, e; fatores sistêmicos.

3.2.1 Características socioeconômicas e condições do produtor

A utilização de computador e de aplicativos de celular para gestão da propriedade são duas das variáveis agrupadas como características socioeconômicas e condições do produtor. Em ambas o sinal esperado é positivo, assim, o produtor que utiliza computador e/ou aplicativos de celular para gestão da propriedade possui maior probabilidade de adotar tecnologias de AP quando comparados com os que não utilizam tais equipamentos de gestão (WALTON *et al.*, 2010; WATCHARAANANTAPONG *et al.*, 2013). Em grande medida, o computador e os aplicativos aumentam a eficiência dos produtores em coletar, armazenar, transmitir e interpretar a grande quantidade de dados geradas pelas práticas de AP. No mesmo sentido, a renda domiciliar apresentou impacto positivo na probabilidade de adoção de tecnologias de AP (PAXTON *et al.*, 2011; WALTON *et al.*, 2008; WATCHARAANANTAPONG *et al.*, 2013). Isto pode ser justificado pelo fato de os produtores com renda elevada serem mais propensos a investir em uma nova tecnologia, bem como obterem informações sobre elas.

A experiência na atividade rural é um fator que apresenta controvérsias. Por um lado, alguns estudos mostraram haver uma relação positiva entre experiência e adoção de AP (ALLAHYARI; MOHAMMADZADEH; NASTIS, 2016; PAUSTIAN; THEUVSEN, 2016), o que pode ser explicado pelo fato de os produtores com maior experiência terem mais “*know how*” para avaliar os benefícios de uma inovação. Por outro lado, a experiência está



diretamente relacionada com a idade. Assim, produtores mais jovens e com menos experiência no manejo de culturas teriam um horizonte de planejamento mais longo e, portanto, estariam mais dispostos a correrem os riscos associados à inovação.

Um outro aspecto relacionado ao horizonte de planejamento é a sucessão na gestão da propriedade, referindo-se a segurança que o produtor tem em relação a sua sucessão para gerenciar a propriedade (por exemplo um filho predisposto a assumir os negócios da família). Neste caso, também foi observado relação positiva quanto a adoção de AP (PAUSTIAN; THEUVSEN, 2016). A suposição aqui é que o produtor terá mais incentivo em investir, pois vê na sua sucessão uma expectativa para obter retornos no longo prazo.

O grau de organização dos produtores também foi apontado nos estudos como tendo impacto positivo na adoção de práticas e tecnologias de AP (CIRANI; DIAS de MORAES; 2010; JENKINS *et al.*, 2011). A participação do produtor em organizações do tipo cooperativa e associações tem impacto direto tanto sobre a eficiência do uso dos recursos como na capacidade de produção dos produtores. Desta forma, em muitos casos, a organização dos produtores permite alcançar escalas mínimas exigidas para viabilizar a adoção de determinadas inovações, bem como pode viabilizar a obtenção de mais e melhor qualidade de informações. Por fim, a idade e escolaridade do produtor, já mencionadas no início desta seção, também foram agrupadas como características socioeconômicas.

3.2.2 Características da produção e da propriedade rural

Para Souza Filho *et al.* (2011) o tamanho da propriedade, sua produtividade e localização são variáveis caracterizadoras da produção e propriedade rural. Os autores complementam que a escala de operação, a modernização e as mudanças nos sistemas de produção são determinantes da adoção de novas tecnologias. Adicionalmente, produtores localizados em regiões com agroindústria, estradas, serviços e mercados desenvolvidos possuem maior possibilidade de adotar novas tecnologias. Este fato vai ao encontro dos estudos analisados pelo presente trabalho. Assim, produtores com maior produtividade e “bem” localizados possuem maior probabilidade de adotar tecnologias de AP em suas propriedades (DABERKOW; McBRIDE, 2003; JENKINS *et al.*, 2011; LARSON *et al.*, 2008; WALTON *et al.*, 2010).

Encontram-se agrupadas ainda nesta seção os fatores que indicam a condição fundiária, a variabilidade espacial do solo e a distribuição de uso do solo. No primeiro caso, a análise mais comumente encontrada e que foi significativa em vários dos artigos analisados é a questão de proprietários e arrendatários em relação a adoção da inovação. Os trabalhos analisados sugerem que arrendatários e parceiros possuem menor probabilidade de adoção de tecnologias de AP quando comparados com proprietários de terra (DABERKOW; McBRIDE, 2003; TORBETT *et al.*, 2007; WATCHARAANANTAPONG *et al.*, 2013). O que se supõe aqui é que produtores que arrendam terras ou trabalham sob forma de parceria têm um horizonte de planejamento mais curto do que proprietários da terra. A expectativa de não receber dos benefícios que a inovação pode proporcionar leva os arrendatários e parceiros não investirem na adoção de novas práticas ou tecnologias de produção.

O mesmo ocorre com os produtores que se dedicam à criação de gado e ao cultivo agrícola, concomitantemente. Tais produtores possuem menor probabilidade de adotar tecnologias de AP em suas lavouras do que os produtores que se dedicam exclusivamente ao



cultivo agrícola (WALTON *et al.*, 2008; WALTON *et al.*, 2010; WATCHARAANANTAPONG *et al.*, 2013). A dedicação do tempo de gestão nas duas atividades reduz o tempo e a atenção que poderiam ser empregados exclusivamente na atividade agrícola. Tal fato resulta no adiamento da adoção de novas tecnologias que seriam destinadas apenas as práticas agrícolas. Já os produtores que identificam e compreendem a variabilidade espacial do solo tendem a adotar tecnologias de AP em suas propriedades, o que revela uma relação positiva entre a variável e a tecnologia (PAUSTIAN; THEUVSEN, 2016; PAXTON *et al.*, 2011).

3.2.3 Características da tecnologia

A adoção de uma inovação é em grande medida influenciada pelas incertezas que as cercam. A tomada de decisão para adoção de uma nova prática ou tecnologia é cercada por riscos, mesmo quando os resultados são conhecidos. Nesta direção a avaliação subjetiva do produtor tende a impactar diretamente a adoção ou não de uma inovação. Essa avaliação tem sido empiricamente obtida por meio de variáveis que procuram medir a percepção do produtor quanto a aspectos da inovação, tais como lucratividade, produtividade e sustentabilidade ambiental. Cinco destes aspectos apresentaram relação positiva com a adoção de tecnologias de AP: a percepção do produtor de que a adoção de AP aumenta a lucratividade; a percepção do produtor a adoção de AP reduz danos ao ambiente; a percepção do produtor de que a AP será uma tecnologia de extrema importância para atividade em cinco anos; a percepção do produtor de adoção de AP reduz a aplicação de insumos em sua propriedade; e a percepção do produtor de que a adoção de AP aumenta a qualidade do produto. Já a percepção do produtor de que a AP tem custo elevado apresenta relação negativa com a adoção, ou seja, quanto maior for a percepção de que a tecnologia de AP é cara, menor a probabilidade de adoção (ALLAHYARI; MOHAMMADZADEH; NASTIS, 2016; PIERPAOLI *et al.*, 2013; WALTON *et al.*, 2010; WATCHARAANANTAPONG *et al.*, 2013).

Adicionalmente, os estudos têm demonstrado que o produtor que adota práticas e tecnologias de AP conta com grande quantidade de máquinas e equipamentos; e realiza as práticas de AP de forma particular, ou seja sem a contratação de serviços terceirizados (ALLAHYARI; MOHAMMADZADEH; NASTIS, 2016; D'ANTONI; MISHRA; JOO, 2012; JENKINS *et al.*, 2011; LARSON *et al.*, 2008; PAUSTIAN; THEUVSEN, 2016; WALTON *et al.*, 2010).

3.2.4 Fatores sistêmicos

Souza Filho *et al.* (2011) sugerem que os fatores sistêmicos são influenciados pelo contexto institucional e econômico, podendo ser representado por variáveis como políticas públicas, disponibilidade e acesso a informação, serviços de assistência técnica e extensão rural. Desta forma, dois principais grupos de fatores foram revelados na revisão: o primeiro refere-se às fontes de informação e o segundo refere-se à disponibilidade de recursos. Em ambos os casos a relação encontrada entre os fatores com a possibilidade do produtor adotar tecnologias de AP foi positiva. Como fontes de informação foram citadas as variáveis: consultores privados; extensão rural; internet; revendedores de máquinas e equipamentos agrícolas; outros produtores; feiras agropecuárias, e; jornais e revistas (LARSON *et al.*, 2008; PIERPAOLI *et al.*, 2013; SEVIER; LEE, 2004; WALTON *et al.*, 2008; WATCHARAANANTAPONG *et al.*, 2013). Embora a decisão de adoção de uma nova

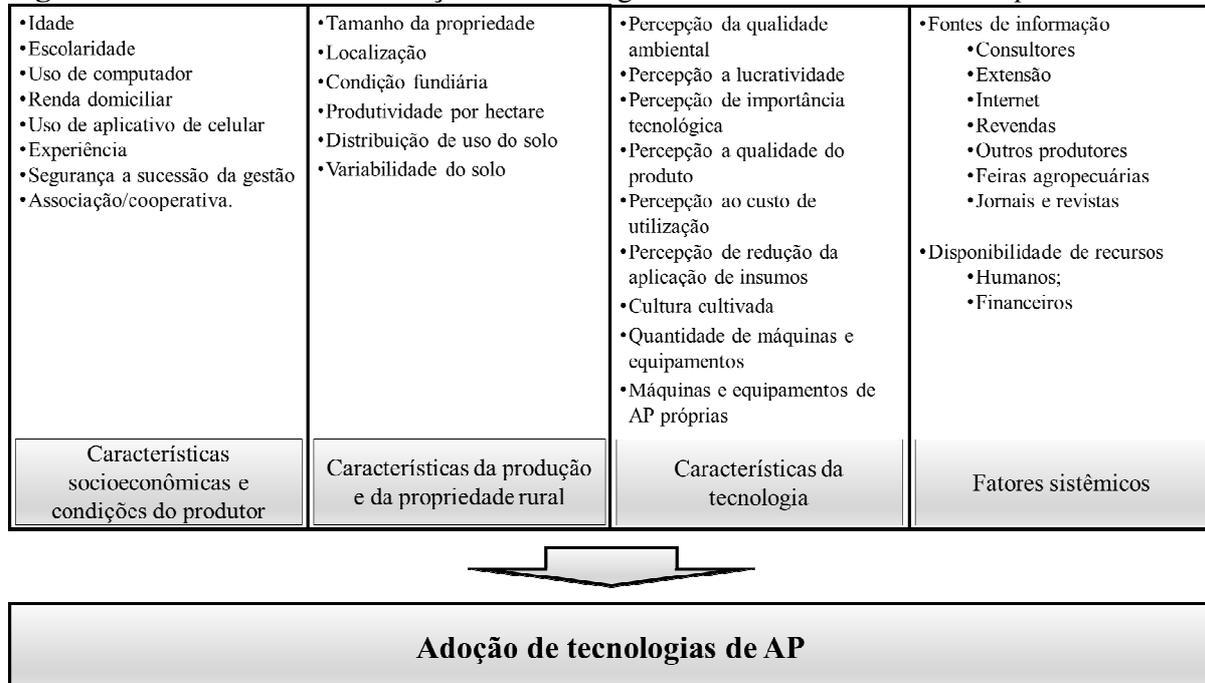


tecnologia seja mediada pela disponibilidade de terra, crédito, capital e outros recursos, de nada adianta se não houver informações suficientes disponíveis. O acesso a informação permite aos produtores uma escolha que possibilita redução de esforço físico, de tempo dispendido, ao passo que permite aumentar a produtividade e eficiência.

Já a disponibilidade de recursos refere-se aos fatores que o produtor possui acesso, podendo ser subdividido em recursos humanos e financeiros. O primeiro grupo pode ser caracterizado pelas variáveis assistência técnica; revendas de máquinas e equipamentos destinados a AP; consultorias especializadas em AP e cursos e/ou eventos destinados a AP. Enquanto que a disponibilidade de recursos financeiros pode ser representada por variáveis que representam o acesso ao crédito e os tipos de fonte de renda. (ALLAHYARI; MOHAMMADZADEH; NASTIS, 2016; DABERKOW; McBRIDE, 2003; PIERPAOLI *et al.*, 2013).

A Figura 3 sintetiza as variáveis apontadas como determinantes na adoção de tecnologias de AP.

Figura 3 - Determinantes da adoção de tecnologias de AP em um contexto *ex post*.



Fonte: autores (2018)

4 CONCLUSÃO

O propósito do presente artigo foi identificar os principais determinantes de adoção de tecnologias de AP presentes na literatura. Para isso, utilizou-se de uma combinação de termos – *Adoption, Determinant e Precision Agriculture* - nos principais portais de busca (*Scopus, Web of Science e Scielo*). Destaca-se que o objetivo não foi esgotar as discussões sobre o assunto, mas sim, compreende-lo e analisa-lo.

O resultado da busca demonstrou que crescem as discussões acerca do tema Agricultura de Precisão. Retornaram, no primeiro filtro desta busca, diversos estudos que testaram e compararam a eficiência de máquinas e equipamentos de AP; que apresentaram



novas ferramentas; e que comprovaram a viabilidade econômica e ambiental destas tecnologias. No entanto, apenas 20 estudos tiveram como objetivo identificar os fatores determinantes da sua adoção. A leitura destes artigos permitiu identificar dois contextos de análise: *ex post* e *ex ante* à adoção AP. É evidente que as pesquisas sobre avaliação da atual adoção (*ex post*) são mais comuns do que as pesquisas sobre intenção de uso (*ex ante*). No primeiro caso, produtores que adotam ou adotaram tecnologias de AP são questionados sobre suas principais características e motivos que os influenciaram adotar tecnologias de AP. Já os especialistas (consultores, pesquisadores e agrônomos), questionados em um contexto *ex ante*, apontaram as principais razões que afetam a intenção de uso das tecnologias de AP por produtores rurais.

A facilidade de uso e a utilidade percebida são os principais aspectos que influenciam na intenção de uso de tecnologias de AP. A capacidade de os produtores testarem as tecnologias de AP antes mesmo da sua adoção, somado ao conhecimento sobre as mesmas, tornam-nas mais fáceis de usar aumentando a probabilidade de adotá-las. A percepção dos produtores quanto a utilidade das tecnologias de AP é principalmente influenciada por ganhos de desempenho. Assim, a busca por maior produtividade e/ou lucratividade, bem como, a confiança do produtor em aprender e utilizar uma tecnologia de AP terá impacto direto na percepção quanto a sua utilidade. Adicionalmente, quanto maior for a compatibilidade entre os equipamentos de AP e maior for a disponibilidade, qualidade e valor da informação sobre estes equipamentos, maior será a utilidade percebida da tecnologia.

Percebeu-se que os estudos empíricos que analisaram fatores relacionados com a facilidade de uso e a utilidade percebida alinham-se com as abordagens teóricas da Visão Baseada em Recursos (VBR) e das Capacidades Dinâmicas (CD). A VBR propõe que a “expansão” da firma é determinada pelos recursos que ela já possui (PENROSE, 1959). Já a abordagem CD, enfatiza o papel chave da gestão estratégica em adaptar, integrar e reconfigurar habilidades, recursos e competências funcionais internas e externas a firma (TEECE; PISANO; SHUEN, 1997). Assim, torna-se uma pretensão futura examinar a adoção de tecnologias de AP, utilizando como base teórica a VBR e CD.

As características do produtor e da propriedade são os principais determinantes de adoção ligados ao contexto *ex post*. Jovens produtores, com elevado nível educacional e extensas propriedades são mais propensos a adoção de tecnologias de AP. Soma-se a esses os produtores com renda familiar elevada, que utilizam computador para gerenciar suas atividades e possuem maior quantidade de terras próprias do que arrendadas. Contribui também a propriedade estar localizada em regiões com agroindústrias, estradas, serviços e mercados desenvolvidos. Embora menos citados, os determinantes relacionados as características da tecnologia possuem sua importância e influência na adoção de tecnologias de AP. Verifica-se que os adotantes de AP acreditam na tecnologia como forma de redução da aplicação de insumos. A quantidade de máquinas e equipamentos disponíveis na propriedade, bem como a adequação destas máquinas aos serviços de AP impactam positivamente sua adoção. Não menos importante a disponibilidade de recursos financeiros e as diversas fontes de informação são variáveis que influenciam a adoção de tecnologias de AP.

Espera-se que estes resultados possam contribuir em estudos sobre adoção de tecnologias de AP, proporcionando a possibilidade de formulação de hipóteses sobre os principais determinantes apresentados pela literatura. De uma forma mais singela contribuir



também ao setor privado e setor público, demonstrando as características de potenciais adotantes destas tecnologias.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, J.; AHMAD, S.; ISMAIL, I.A. Attitude, knowledge and competency towards precision agricultural practice among paddy farmers. **Pertanika Journal of Social Science and Humanities**, v.20, p. 391-403, 2012
- ALLAHYARI, M. S.; MOHAMMADZADEH, M.; NASTIS, S. A. Agricultural experts attitude towards precision agriculture: Evidence from Guilan Agricultural Organization, Northern Iran. **Information Processing in Agriculture**, v.3, p. 183-189, 2016.
- AUBERT, A.; SCHROEDER, A.; GRIMAUDO, J. IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers'adoption decision of precision agriculture technology. **Decision Support Systems**, v.54, p. 510-520, 2012.
- BAGHERI, N.; BORDBAR, M. Solutions for fast development of precision agriculture in Iran. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, v.16, p. 119-123, 2014.
- BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. [ed. Técnicos]. **Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília – DF, Embrapa, 596 p., 2014.
- BIOLCHINI, J. C. A., et al. Scientific research ontology to support systematic review in software engineering. **Advanced Engineering Informatics**, v.21, n.2, p.133-151, 2007.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. **Boletim Técnico – Agricultura de Precisão**. Brasília, 36 p., 2013.
- CIRANI, C. B. S.; DIAS de MORAES, M. A. F. Inovações na indústria sucroalcooleira paulista: Os determinantes da adoção das tecnologias de agricultura de precisão. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.48, p.543-565, 2010.
- CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. Roteiro para revisão sistemática bibliográfica: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. **8º congresso brasileiro de gestão de desenvolvimento de produtos**, Porto Alegre – RS, 2011.
- D'ANTONI, J. M.; MISHRA, A. K.; JOO, H. Farmers' perception of precision technology: The case of autosteer adoption by cotton farmers. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.87, p. 121-128, 2012.
- DABERKOW, S. G.; McBRIDE, W. D. Farm and operator characteristics affecting the awareness and adoption of precision agriculture technologies in the US. **Precision Agriculture**, v.4, p. 163-177, 2003.
- DAVIS, F.D. **Technology acceptance model for empirical lytesting new end-user information systems theory and results**. 1986. Tese (Doutorado) — Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Massachusetts,USA, 1969.
- DAVIS, F.D. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. **MIS Quart**, v.13, n.3, p.319–340, 1989.



- DAVIS, F.D.; VENKATESH, V. A critical assessment of potential measurement biases in the technology acceptance model: three experiments. **International Journal of Human-Computer Studies**, London, v.45, n.1, p.19-46, 1996.
- FAR, T. S.; REZAEI-MOGHADDAM, K. Determinants of Iranian agricultural consultants intentions toward precision agriculture: Integrating innovativeness to the technology acceptance model. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 16, p. 280-286, 2017.
- FEDER, G.; JUST, R.; ZILBERMAN, D. Adoption of agricultural innovations in developing countries: a survey. **Economic Development and Cultural Change**, v.33, n.2, p.255-298, 1995.
- GIL, A. **Como elaborar projetos de pesquisa**. Atlas: São Paulo, 2007.
- GRIFFIN, T.; LAMBERT, D.; LOWENBERG-DeBOER, J. **Economics of lightbar and autoguidance GPS navigation technologies**. West Lafayette. In: Department of Agricultural Economics, Site Specific Management Center, Purdue University, 2005.
- JENKINS, A.; VELANDIA, M.; LAMBERT, D. M.; ROBERTS, R. K.; LARSON, J. A.; ENGLISH, B. C.; MARTIN, S. W. Factors influencing the selection of precision farming information sources by cotton producers. **Agricultural and Resource Economics Review**, v.40, p. 307-320, 2011.
- KUTTER, T.; TIEMANN, S.; SIEBERT, R.; FOUNTAS, S. The role of communication and co-operation in the adoption of precision farming. **Precision Agriculture**, v.12, p. 2-17, 2011.
- LAMBERT, D., LOWENBERG-DEBOER, J. **Precision Agriculture Profitability Review**. Site specific Management Center School of Agriculture, 2000, Purdue University.
- LARSON, J. A.; ROBERTS, R. K.; ENGLISH, B. C.; LARKIN, S. L.; MARRA, M. C.; MARTIN, S. W.; PAXTON, K. W.; REEVES, J. M. Factors affecting farmer adoption of remotely sensed imagery for precision management in cotton production. **Precision Agriculture**, v.9, p. 195-208, 2008.
- MOLIN, J. P. Tendências da agricultura de precisão. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 1, Piracicaba, 2004. **Anais...** ESALQ/USP – ConBAP, p. 1-10, 2004.
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, F. A. Agricultura de precisão. São Paulo: **Oficina de Textos**, 238 p., 2015.
- MOLIN, J. P. Agricultura de Precisão: número do mercado brasileiro. **Agricultura de Precisão**, Boletim Técnico 03, LAP, 2017.
- PAUSTIAN, M.; THEUVSEN, L. Adoption of precision agriculture technologies by German crop farmers. **Precision Agriculture**, p. 1-16, 2016.
- PAXTON, K. W.; MISHRA, A. K.; CHINTAWAR, S.; ROBERTS, R. K.; LARSON, J. A.; ENGLISH, B. C.; LAMBERT, D. M.; MARRA, M. C.; LARKIN, S. L.; REEVES, J. M.; MARTIN, S. W. Intensity of precision agriculture technology adoption by cotton producers. **Agricultural and Resource Economics Review**, v.40, p. 133-144, 2011.
- PENROSE, E. T. The theory of the growth of the firm. **New York**: Sharpe, 1959.



PIERPAOLI, E.; CARLI, G.; PIGNATTI, E.; CANAVARI, M. Drivers of Precision Agriculture Technologies Adoption: A Literature Review. 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE, FOOD AND ENVIRONMENT (HAICTA 2013), v.8, p. 61-69, 2013.

REZAEI-MOGHADDAM, K.; SALEHI, S. Agricultural specialists' intention toward precision agriculture technologies: Integrating innovation characteristics to technology acceptance model. **African Journal of Agricultural Research**, v.5, p. 1191-1199, 2010.

SEVIER, B. J.; LEE, W. S. Precision agriculture in citrus: A probit model analysis for technology adoption. **ASAE Annual International Meeting 2004**, p. 697-709, 2004.

SOUZA FILHO, H. M.; BUAINAIN, A. M.; SILVEIRA, J. M. J.; VINHOLIS, M. M. B. Condicionantes da adoção de inovações tecnológicas na agricultura. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.28, n.1, p. 228-255, 2011.

TEECE, D. J.; PISANO, G.; SHUEN, A. Dynamic capabilities and strategic management. **Strategic management journal**, v. 18, n. 7, p. 509-533, 1997.

TENKORANG, F.; LOWENBERG-DeBOER, J. On-farm profitability of remote sensing in agriculture. **Journal of Terrestrial Observation**, v.1, n.1, p.50-59, 2008.

TORBETT, J. C.; ROBERTS, R. K.; LARSON, J. A.; ENGLISH, B.C. Perceived importance of precision farming technologies in improving phosphorus and potassium efficiency in cotton production. **Precision Agriculture**, v.8, p. 127-137, 2007.

WALTON, J. C.; LAMBERT, D. M.; ROBERTS, R. K.; LARSON, J. A.; ENGLISH, B. C.; LARKIN, S. L.; MARTIN, S. W.; MARRA, M. C.; PAXTON, K. W.; REEVES, J. M. Adoption and abandonment of precision soil sampling in cotton production. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, v.33, p. 428-448, 2008.

WALTON, J. C.; ROBERTS, R. K.; LAMBERT, D. M.; LARSON, J. A.; ENGLISH, B. C.; LARKIN, S. L.; MARTIN, S. W.; MARRA, M. C.; PAXTON, K. W.; REEVES, J. M. Grid soil sampling adoption and abandonment in cotton production. **Precision Agriculture**, v.11, p. 135-147, 2010

WARCHARAANANTAPONG, P.; ROBERTS, R. K.; LAMBERT, D. M.; LARSON, J. A.; VELANDIA, M.; ENGLISH, B. C.; REJUSUS, R. M.; WANG, C. Timing of precision agriculture technology adoption in US cotton production. **Precision Agriculture**, v.15, p. 427-446, 2014.