

AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE ADOÇÃO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO NO BRASIL

RESUMO

Agricultura de precisão é um sistema dual, tecnológico e de manejo agrícola, resultante da convergência entre máquinas/implementos e tecnologias de informação e comunicação. O grande número de produtos e serviços sob tal denominação, variedade de conceitos e medidas de adoção, entre outros fatores, dificultam identificar o nível de adoção em um país. Pretende-se fazer essa avaliação no Brasil valendo-se das informações disponíveis na literatura e de entrevistas com agentes relevantes nesse processo. A hipótese central é que está entre baixo e médio, em tendência crescente, mas concentrado em algumas culturas agrícola (soja, cana-de-açúcar, milho) e propriedades de maior porte.

Palavras-chave: agricultura de precisão, adoção de inovação tecnológica, tecnologias digitais na agricultura

INTRODUÇÃO

As tecnologias de informação e comunicação (TICs) têm uma tendência a uma adoção não linear ou irregular. Isso porque, dada a sua flexibilidade de usos, a aquisição de um equipamento que porte certo tipo de tecnologia não assegura o uso total ou parcial de seus recursos. Algumas tecnologias de agricultura de precisão (AP), p. ex., o uso do *global positioning system* (GPS) ou sistema de posicionamento global em tratores, podem ou não ser ativadas caso não haja insumos informacionais que orientem seu uso e trabalhadores qualificados para lidar com essas informações. Outro fator contextual a ser considerado é a singularização da produção agrícola proporcionada pela AP, em oposição à massificação advinda da Revolução Verde. Isso permite a volta do conhecimento local do agricultor tradicional, mas com uso intensivo de dados para a decisão agrônômica, somado ao potencial de mitigar os efeitos ambientais da atividade agropecuária oferecido pelas TICs.

Existe uma demanda relativamente recente de levantamento de informações sobre o nível de adoção de AP no Brasil (Molin, 2014):

Não são disponíveis dados estatísticos confiáveis quanto aos níveis de adoção de AP no Brasil. No entanto observa-se um mercado ativo e com número crescente de empresas buscando oferecer produtos e serviços e conectando-os à AP. Porém é necessário que levantamentos sejam executados e dados sejam divulgados visando ao entendimento da adoção por parte dos agricultores, das limitações e das tendências do mercado de AP. (p. 7)

Nessa confluência, este trabalho de cunho exploratório é uma tentativa de identificar o nível de adoção de AP no Brasil a partir de informações disponíveis na literatura e entrevistas com lideranças técnicas da área envolvidas no processo de adoção de AP no País.

REFERENCIAL TEÓRICO E CONTEXTO

A modelagem de adoção tecnológica começa justamente na agricultura, com o estudo seminal de Griliches (1957) sobre uma variedade de milho híbrido. A área das propriedades rurais alcançadas pela inovação quantifica sua adoção (p. 506). Esta é a primeira forma encontrada para medir adoção na agricultura e, como será visto adiante, a chamada curva S é ainda bastante influente (Vieira Filho & Silveira, 2012, p. 726, nota de rodapé 8). O milho híbrido teve velocidades distintas de adoção nos diversos estados norte-americanos, pois é

resultado de tentativas de adaptação às condições locais (Griliches, 1957, p. 506). Seu modelo não mostrou correlações relevantes para o nível de vida como determinante do índice de aceitação da nova tecnologia (p. 517–518), pois variáveis sociológicas e econômicas se cancelariam mutuamente no longo prazo (p. 522). Griliches (1980) faz uma autocrítica posterior, em que incorpora itens de outras teorias e reconhece o limite máximo de adoção como móvel no tempo, mas, de modo geral, mantém as outras assunções aqui postas.

De modo geral, a perspectiva evolucionária contesta teorias que tendem a focar em custos e em que o contexto social em que se desenvolvem as tecnologias não influencie sua adoção. Para Rosenberg (1976), o desenvolvimento de técnicas de produção complementares e melhorias da velha e da nova tecnologia em paralelo são parte do processo de aprendizado. Esse jogo de concorrência e complementaridade convida à análise não mais de cada inovação isoladamente, mas do que esse autor chama de “aglomerados de inovações” (*cluster of innovations*) (p. 67), com base no que Schumpeter (1935, p. 6) afirma sobre a mudança de direção a partir de inovações já existentes. Em nível mais macro, Freeman e Pérez (1988, p. 45–47) identificam modalidades de inovação integradas no processo de geração e de adoção de tecnologias, das quais se destacam os *novos sistemas tecnológicos*: constelações de inovações radicais e incrementais que se relacionam entre si técnica e economicamente.

Ainda na mesma linha, especificamente quanto à evolução dos sistemas agrícolas e a apropriação que fazem das tecnologias de informação e comunicação (TICs), Rodrigues (2013, p. 25) propõe uma abordagem sistêmica da adoção tecnológica, com o objetivo de explicar a evolução das tecnologias baseadas em TICs por meio das complexas relações entre os diversos atores operando no sistema agrícola, seus processos de aprendizado e a evolução das instituições. Tal abordagem parece mais adequada para analisar a diversidade de situações presentes em países em desenvolvimento, onde produtos e serviços baseados em TICs mais avançadas tendem a ser restritos a poucos polos dinâmicos.

Uma vez que o nível de coordenação entre as diversas tecnologias consideradas como agricultura de precisão (AP) tende a ser algo pouco delimitado, a Tabela 1 é uma tentativa de organizar esses *aglomerados de inovações* que compõem esse *sistema tecnológico*. Para tanto, agrupa as ferramentas de AP em três categorias funcionais, as duas primeiras trazidas por McBride e Daberkow (2003, p. 24) e a última incluída por Silva (2019, p. 42-43), com base nas três etapas do ciclo de AP postulados por Inamasu e Bernardi (2011, p. 23 e 29): 1) diagnóstico (ou leitura), constituído de métodos de coleta de dados e de análise da

variabilidade espacial e outras variáveis; 2) aplicação (ou atuação), que implementam decisões de aplicação sítio-específica de insumos utilizando dispositivos controlados por computador, que variam as aplicações conforme as máquinas se movem pelo campo; 3) gestão (ou interpretação e planejamento), que se valem das informações geradas tanto no diagnóstico como durante a aplicação e que podem ser reutilizadas no aperfeiçoamento do processo de decisão econômica e agrônômica.

Tabela 1

Produtos e serviços de agricultura de precisão por tipo de instrumento

<u>Diagnóstico</u>	<u>Aplicação</u>	<u>Gestão</u>
Sistemas de satélite por GPS/GIS e imageamento	Piloto automático: guiado por satélite ou por mapas de solo	Softwares de transmissão em tempo (quase) real e integração de dados
Amostragem e mapeamento de condutividade elétrica, composição do solo, produtividade, colheita etc.	Implementos e máquinas de taxa variável: irrigação, plantio, colheita e alimentação animal	Softwares de suporte à decisão e prescrição de práticas agrônômicas por glebas específicas
Monitores de plantio, produtividade, colheita e animais individuais	Controle seletivo de pragas	Correções e prescrições por gleba ou orientado por satélite
Sensores de atributos de solo e plantas	VANTs, <i>drones</i>	Sensoriamento remoto de telemetria: temperatura, umidade e gotejamento

VANTs, *drones*

Fonte: elaboração própria, com base em Scaramuzza, Vélez e Villaroel (2016, p. 17), European Innovation Partnership, Agricultural Productivity and Sustainability (2014, p. 4) e classificação adaptada de McBride e Daberkow (2003).

Notas: GPS: global positioning system (sistema de posicionamento global); GIS: global information system (sistema de informação global); VANTs: veículos aéreos não tripulados.

McBride e Daberkow (2003, p. 24) entendem que a adoção de ferramentas diagnósticas não implica a das de aplicação, pois campos com baixa variabilidade podem não justificar a opção pela AP; o mesmo raciocínio se estende para ferramentas de gestão, pois a propriedade pode não estar pronta quanto a custos e competências dos operadores para lidar com o volume de informações gerado pelas ferramentas das outras categorias.

Essa breve reflexão sobre adoção tecnológica e AP é um extrato da discussão encontrada em Silva (2019, p. 52), que resultou nos seguintes e importantes conceitos:

- Adoção tecnológica: sequência de decisões que começa com a escolha e termina com a efetiva instalação da tecnologia (Enos & Park, 1986, citado por Furtado, 2005, p. 187), da qual resultam padrões de propriedade e uso da tecnologia (Stoneman & Battisti, 2010, p. 735) realizado pelos agentes envolvidos em sua adoção, condicionados pelo ambiente tecnológico, institucional e de mercado em que estão inseridos (Rodrigues, 2013, p. 25);
- AP: sistema tecnológico baseado em TICs e de manejo agropecuário que proporciona a otimização dos recursos concomitante com ganhos em sustentabilidade e que permite se valer das variabilidades espaciais, temporais e de cultura;
- A adoção da AP na propriedade se dá em estágios, primeiro com instrumentos de diagnósticos, depois de aplicação e, por fim, de gestão da propriedade.

São achados da revisão realizada por Silva (2019) menções à adoção e evidências mais consistentes. Tendo em vista a Tabela 1, alguns autores posicionam o nível de adoção de AP no Brasil no nível de diagnóstico, ou seja, o mais baixo, em que os agricultores tentam resolver a maior parte dos problemas com mapas de produtividade e de fertilidade (Zonta, Brandão, Medeiros, Sana, & Sofiatti, 2014, p. 596; Dalchiavon, Carvalho, Andreotti, & Montanari, 2012, p. 454) e estão solucionando questões relacionadas com sua implementação (Dalchiavon, Carvalho, Montanari, & Andreotti, 2013, p. 46). Já a Tabela 2 apresenta artigos com mensurações mais consistentes desse nível de adoção, em que se desenvolveram uma metodologia e questionários com tomadores de decisão de propriedades agrícolas; devem ser interpretados com a seguinte ressalva: suas amostras são limitadas principalmente em termos geográficos e de culturas agrícolas.

Há autores que afirmam o alto nível de mecanização na cultura da cana-de-açúcar, mas sem utilização de AP (Magalhães & Cerri, 2007, p. 1; Silva et al., 2008, p. 232), devido à escassez de estudos, métodos e equipamentos e altos custos, o que não ocorreria apenas nessa cultura, mas também em café, citros e algodão (Ferraz et al., 2015, p. 347; Sana et al., 2014, p. 994; Zonta et al., 2014, p. 595; Balestreire, 2001, citado por Silva et al., 2008, p. 232; Molin & Mascarin, 2007, p. 260).

Também na matéria de culturas, os artigos da Tabela 2 trazem outros aspectos. Por exemplo, Silva, Moraes e Molin (2011), a partir de uma amostra significativa, indica um

nível importante de adoção para cana-de-açúcar no estado de São Paulo, especialmente em propriedades de maior porte. Essa tendência de adoção de AP em propriedades maiores também é observada em Bernardi e Inamasu (2014), mas as diversas culturas mencionadas são aquelas existentes nas propriedades adotantes (soja, trigo, feijão, cana-de-açúcar, sorgo, algodão, gado de corte e leite, arroz, café, milho, frutas, aveia, cevada e girassol, hortaliças e plantas ornamentais), não as em que efetivamente se adota, sendo a porcentagem média da área da propriedade que utiliza AP de 65,4% (p. 569). Soares Filho e Cunha (2015) é o único que atribui um estágio de adoção (“inicial”) entre produtores de grãos no sudoeste de Goiás. Os resultados de Leite, Castro, Jabbour, Batalha e Govindan (2014) indicam um nível de adoção mais alto também para grãos no sudoeste de São Paulo. Contudo, não foi encontrada uma escala que atribua valores ou percentuais a níveis de adoção da AP.

Tabela 2

Principais autores que avaliam o nível de adoção de agricultura de precisão no Brasil

<u>Artigos</u>	<u>N. de respondentes</u>	<u>Período da aplicação</u>	<u>Avaliação quantitativa</u>
Soares Filho e Cunha (2015)	43 ¹	Jul./2012 a jul./2013	6,67% da área sob AP
Bernardi e Inamasu (2014)	301	Set. e nov./2012	53,16% dos entrevistados adotam AP, com áreas em média 140% maiores do que os que não adotam
Leite et al. (2014)	53	2º sem./2013	49% de implementação de AP e 30% com implementação considerável ou completa
Silva, Moraes e Molin (2011)	87/205	2º sem./2008	56% das empresas adotam AP, cuja área é, em média, 60% maior e a produção, quase 80% maior do que aquelas que não adotam

Fonte: elaborado pelos autores.

¹Universo de produtores de soja em Goiás e Distrito Federal, conforme o Censo Agropecuário de 2006.

Essas culturas condicionam as ferramentas selecionadas pelos agricultores, que serão agora tratadas conforme suas categorias funcionais. Quanto às ferramentas de diagnóstico, tem-se observado uma tendência de redução dos quadrantes da amostragem de 5 ha na cultura de cana-de-açúcar (Nanni et al., 2011, p. 387) para 4 ha em soja e também cana (Demattê,

Ramirez-Lopez, Marques, & Rodella, 2017, p. 8). A amostragem georreferenciada também seria uma realidade (Cherubin et al., 2015, p. 169), inclusive para orientar a taxa variável na calagem do solo (Bottega et al., 2014, p. 1142), com grades amostrais de 1 ha para apenas 11,9% e ~50% entre 3-5 ha na amostra de Bernardi e Inamasu (2014). Para diversas culturas ainda há problemas de custo de oportunidade na redução dos quadrantes (Bottega, Queiroz, Pinto, Valente, & Souza, 2017, p. 676; Demattê et al., 2017, p. 8; Machado & Lanças, 2016, p. 646; Gebler, Grego, Vieira, & Kuse, 2015, p. 1161; Kramer et al., 2014, p. 1192; Nanni et al., 2011, p. 387). O uso de sensores óticos de colheita para determinar a taxa variável de fertilizantes estaria em fase inicial de desenvolvimento (Bragagnolo et al., 2013, p. 1290).

A prática mais comum entre as ferramentas de aplicação é o uso da taxa variável na dosagem de corretivos e fertilizantes (Bottega, Pegoraro, Guerra, Oliveira Neto, & Queiroz, 2016, p. 1108), predominando ainda formas tradicionais de aplicação devido à escassez de pesquisas (Demattê, Demattê, Alves, Barbosa, & Morelli, 2014, p. 116). O potencial de AP no controle de pragas é promissor, mas incipiente (Camicia et al, 2015, p. 366).

A Tabela 3 apresenta as tecnologias mencionadas segundo os autores.

Tabela 3

Ferramentas mencionadas por autores que avaliam o nível de adoção de agricultura de precisão no Brasil

<u>Artigos</u>	<u>Diagnóstico</u>	<u>Aplicação</u>	<u>Gestão</u>
Pinto, Ferreira e Teixeira (2017) ¹	Amostra de solo em grade, mapa de produtividade, sensoriamento remoto	Tecnologias de aplicação a taxa variável, barra de luz	
Borghi et al. (2016)	Amostragem de solo em grade, mapas de colheita com SIG, imagens por satélite/aéreas, mapeamento de condutividade elétrica do solo, sensores de solo para mapeamento, sensores proximais	Orientação por GPS com controle manual/barra de luz, orientação por GPS com controle automático/direção automática, GPS para gerenciar logística de veículos, máquinas e implementos	Telemetria
Soares Filho e Cunha (2015)	Amostragem do solo em grade, monitor de colheita e monitoramento, imagens de satélite, fotografias aéreas, mapeamento de condutividade elétrica do solo	Tecnologia de aplicação em taxa variável, piloto automático, sistema de orientação por barra de luz, semeadura de precisão, irrigação de precisão	
Bernardi e Inamasu	Análise de solo, mapas ou imagem aérea para gestão da	Semeadora/adubadora a taxa variável, barra de luz,	

(2014)	propriedade, colhedora com sensor de colheita	adubadora/calcareadora a taxa variável, piloto automático
Silva, Moraes e Molin (2011)	Imagens de satélite, fotografia aérea, amostragem de solo georreferenciada, monitor e mapeamento de colheita, outras tecnologias	Piloto automático, tecnologia de taxa variável, aplicação de calcário em taxa variável, sistema de direção por satélite, aplicação de gesso em taxa variável, aplicação de fósforo em taxa variável, aplicação de potássio em taxa variável

Fonte: elaborado pelo autor.

Notas: SIG: sistema de informação geográfica; GPS: *global positioning system* (sistema de posicionamento global).

¹Tecnologias que constituem a maior parte das práticas adotadas no Brasil (Molin, Amaral, & Colaço, 2015, citado por Pinto, Ferreira, & Teixeira, 2017).

Destacam-se as tecnologias de amostragem de solo, bem como as de taxa variável. Também despontam tecnologias de orientação, em especial o piloto automático. Também merecem destaque as tecnologias com menor nível de adoção, com apenas uma menção à telemetria na categoria de gestão. É possível, entretanto, que o viés majoritário tenha sido o do trabalho de McBride e Daberkow (2003), que identifica apenas ferramentas de diagnóstico e aplicação como AP, diferentemente do conceito utilizado neste artigo, que também considera ferramentas de gestão.

METODOLOGIA

Este trabalho de cunho exploratório se propõe a avaliar o nível de adoção da agricultura de precisão (AP) no Brasil, confrontando o que foi encontrado na literatura com as entrevistas realizadas com líderes das redes de AP durante o último Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão (ConBAP 2018), um dos fóruns de discussão mais importantes sobre o tema no País, que reúne os membros proeminentes da comunidade.

O roteiro de entrevistas consiste em uma pergunta principal (“Como você avalia o nível de adoção de AP no Brasil? Baixo, médio ou alto?”), com uma escala do tipo Likert simplificada, e outra complementar (“Por quê? Mencione culturas e tipos de tecnologias.”).

Os próprios produtores ou responsáveis por propriedades não foram incluídos, pois, apesar de serem eles os adotantes, seu foco tende a estar em suas propriedades ou entorno,

não na avaliação sistêmica do nível de adoção de AP. Restaram assim agentes de organizações com uma visão mais holística da questão: institutos de pesquisa agropecuária e universidades e escolas técnicas, que têm entre suas funções validar tecnologias, qualificar pessoas e refletir sobre processos macros, e também representantes de fabricantes de maquinário e de consultorias e prestadores de serviço, naturalmente interessados em como se comporta seu universo de vendas. Buscou-se três entrevistados para um dos quatro setores (universidades e escolas técnicas; institutos de pesquisa de agropecuária; empresas de maquinários e implementos; e empresas de consultoria e prestação de serviços), o que não foi possível para os agentes de institutos de pesquisa agropecuária, tendo sido realizadas apenas duas entrevistas. O número de entrevistas permitiu deduções relevantes sobre as questões postas e, como será visto na próxima seção, há uma variedade importante de reflexões e convergências que não geraram impasses ao menos até o momento. A Tabela 4 mostra o perfil dos onze agentes entrevistados.

Tabela 4

Lista de entrevistados (entrevistas realizadas durante o Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão 2018)

<u>Data da entrevista</u>	<u>Classe de agente</u>	<u>Setor do agente</u>	<u>Nível</u>	<u>Posição do entrevistado</u>	<u>Código</u>
2 out.	Ensino e Pesquisa	Universidades e escolas técnicas	Estadual	Professor Associado	1A
2 out.	Mercado	Maquinário e implementos	Nacional	Coordenador de Marketing de Produto	1M
2 out.	Mercado	Consultoria e prestação de serviços	Nacional	Diretor	1CS
2 out.	Mercado	Consultoria e prestação de serviços	Multi-nacional	Coordenador Comercial Regional	2CS
2 out.	Mercado	Maquinário e implementos	Nacional	Gerente de Projetos	2M
3 out.	Ensino e Pesquisa	Instituto de pesquisa agropecuária	Nacional	Pesquisador	1I
3 out.	Ensino e Pesquisa	Instituto de pesquisa agropecuária	Estadual	Pesquisador	2I

3 out.	Ensino e Pesquisa	Universidades e escolas técnicas	Estadual	Professor Titular	2A
3 out.	Ensino e Pesquisa	Universidades e escolas técnicas	Estadual	Professor	3A
3 out.	Mercado	Consultoria e prestação de serviços	Nacional	Gerente de Produto	3CS
12 dez.	Mercado	Maquinário e implementos	Multi-nacional	Especialista em AP	3M

Fonte: elaborado pelo autor.

Observações: AP: agricultura de precisão. Todas as entrevistas foram realizadas com gravador durante o ConBAP 2018, sem o estabelecimento de contato anterior, exceção feita a 3M, que solicitou sua realização por e-mail, tendo havido conversa prévia explicando a natureza da pesquisa. A fim de assegurar sua liberdade de emitir opiniões, o nome dos entrevistados e de suas respectivas organizações não foi revelado. As entrevistas estão disponíveis aos pesquisadores interessados, desde que assinem termo de não-divulgação e não haja risco de ferir a privacidade dos entrevistados em relação ao *compliance* de instituições e empresas.

Esta pesquisa foi concebida de modo interpretativo, que sistematicamente constrói conhecimento científico como interpretações de “segunda ordem” baseadas em análise indutiva ou abdutiva de conceitos, ações e aceções reais que sejam de senso comum ou “primeira ordem” para os membros das organizações sob estudo (Gephart Jr., 2018, p. 34-5).

A análise do conteúdo foi inspirada pelas fases elencadas por Bardin (1977, p. 95), as quais denomina “três polos cronológicos”:

1. Pré-análise: constituiu-se um *corpus* de conteúdo a partir das fontes primárias (entrevistas) a ser cotejada com as fontes secundárias (literatura);
2. Exploração do *corpus*: são estabelecidas as avaliações do nível de adoção;
3. Interpretação dos resultados: problematização dos resultados a partir do cotejo entre fontes primárias e secundárias.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Avaliação do nível geral de adoção da agricultura de precisão no Brasil

A análise do conteúdo das entrevistas evidencia percepções divergentes sobre o nível de adoção da agricultura de precisão (AP) no Brasil. Há também uma série de argumentos para justificar o nível de adoção percebido.

No grupo de Ensino e Pesquisa, as opiniões oscilam em torno de médio. O agente 1I entende que o sistema tecnológico da AP pode ter um nível de adoção alto, enquanto a AP propriamente dita, ou seja, o sistema de manejo, tem nível de adoção baixo.

do meu conhecimento, eu estou fazendo uma estimativa de cabeça aqui, eu diria que 70% das máquinas colheitadeiras que têm sensor de produtividade, **os sensores não são nem ligados.** (Agente 1I, 2018, grifo nosso)

Já 1A indica haver uma comunidade de usuários e apresenta um número de 15 a 20% de agricultores que usam tecnologias do “centro da agricultura de precisão”; entretanto, vale o questionamento sobre do que se trata esse “centro da AP”. Essa opinião é corroborada parcialmente por 2A quando se trata de culturas de grãos, mas concorda com 1I com relação ao sistema de manejo. Por outro lado, os agentes 2I e 3A, valendo-se de uma variação do modelo de Griliches (1957), emitem avaliações distintas: para o primeiro, sem diferenciar sistema tecnológico e de manejo, o Brasil estaria no meio da curva de adoção, em processo de massificação, enquanto 3A concorda quase que totalmente com 1I, especulando que as tecnologias de manejo (gestão) de AP já teriam atingido 15% das propriedades e as de pronto uso (diagnóstico e aplicação) já estariam em um nível alto, de 40 a 60%.

No grupo de Consultores e Prestadores de Serviço não há unanimidade, tendo sido observado que os três entrevistados têm uma visão parcial da questão, talvez considerando o mercado que de fato atendem e que não corresponde ao quadro geral. O agente 1CS admite explicitamente essa parcialidade, contudo classifica de forma aproximada a 1A, sem distinguir os sistemas tecnológico e de manejo assim como 2I; arrisca um nível de adoção entre 12 e 15%, mas com tendência de franco crescimento devido a um recente entendimento do valor da AP pelo agricultor. Já 2CS não faz uma avaliação direta, mas observa uma demanda constante de serviços para sua empresa e atribui isso em parte à mudança geracional na gestão da propriedade, a ser realizada por jovens com ensino superior e acesso constante à internet. Por fim, 3CS avalia de forma aparentemente contraditória, afirmando um nível de adoção alto, mas sendo ainda necessário comprovar o valor da AP entre os agricultores, que ainda apresentam dificuldades em detectar suas próprias necessidades e usar os dados gerados a partir das ferramentas de diagnóstico e aplicação na gestão das propriedades. É possível, contudo, que isso reflita um entendimento próximo a 1I e 3A, em que as tecnologias de diagnóstico e aplicação estão bem disseminadas, ou seja, o sistema tecnológico ou infraestrutura de AP, e as ferramentas de gestão são o próximo ponto a ser alcançado.

Os fabricantes de maquinário, por sua vez, são unânimes ao avaliar como baixo o nível de adoção da AP no Brasil. O agente 1M problematiza essa avaliação, do que se infere dois pontos principais: 1) qual indicador a ser utilizado, que seja aceito pelos diversos agentes envolvidos, dados os diversos produtos e serviços de perfis distintos; 2) uso da AP completa, sistema tecnológico mais sistema de manejo. Ademais, os agentes 1M e 2M compartilham da preocupação com as barreiras ao pequeno e médio agricultores, pois estes ainda não veem o valor da AP da mesma forma que os grandes, enquanto 3M não justifica sua resposta.

Na comparação com outros países, a posição de liderança dos Estados Unidos em relação ao Brasil não é contestada, mas há nuances. Para o agente 1I a grande referência é a Austrália: entende que lá a AP se dá em seu ciclo completo, ou seja, no sistema de manejo; para ele, a tecnologia de ponta é desenvolvida e bastante utilizada nos Estados Unidos, mas não necessariamente seu sistema de manejo. Por sua vez, 1A vê o Brasil à frente de vários países europeus, mas atrás dos norte-americanos. Coerentemente com sua avaliação do nível de adoção, 3A entende que o Brasil tem um bom nível de adoção das tecnologias de pronto uso em relação aos outros países, mas não menciona diretamente um país de referência.

Entre os Prestadores de Serviço e Consultores, 1CS apresenta uma grande distância entre Brasil e Estados Unidos especificamente em seu mercado, de análise de solo. Por sua vez, 2CS entende que não estamos tão ultrapassados em relação aos Estados Unidos, pois mesmo que parte considerável da tecnologia tenha sido importada desse país, há uma demanda constante por adaptação e validação das tecnologias para as condições brasileiras.

Comparando apenas com a Argentina, 1M nota um desenvolvimento mais rápido da AP nesse país desde a década de 1990, com o uso de tecnologias como sensores de vegetação, mas que estagnou em decorrência de suas dificuldades econômicas. Em relação ao Brasil, devido a suas dimensões, a evolução é naturalmente mais lenta. A partir de uma abordagem sistêmica de adoção, Pamplona e Silva (2019) corrobora com essa análise. O agente 2M tem como referências Estados Unidos e Austrália, que estariam bastante à frente do Brasil no nível de adoção. Já 3M concorda com a posição dos Estados Unidos à frente do Brasil, assim como a Europa, uma discordância parcial com 1A, colocando o Brasil em um segundo escalão, com Argentina, Paraguai e outros países em desenvolvimento.

Este primeiro passo nas avaliações do nível de adoção não traz uma indicação única do nível de adoção de AP no País. A maior parte das afirmações é baseada em impressões e vivências práticas dos agentes. Sem embargo, a despeito das diversas variáveis a serem

consideradas, é possível vislumbrar que há contextos de alto e outros de baixo nível de adoção de ferramentas de AP, sendo razoável supor que “pontos cegos” ainda abundam. A comparação do Brasil com outros países, que conta apenas com as entrevistas como fonte, apresenta alguma convergência no sentido de países como Estados Unidos e Austrália à frente e a Argentina próxima, mas provavelmente atrás.

Adoção de tecnologias de agricultura de precisão no Brasil por categoria funcional

As menções a ferramentas entre os entrevistados são poucas e variadas, permitindo poucas conclusões. Isso talvez tenha ocorrido por terem sido espontâneas, também cabendo em roteiros posteriores uma listagem das categorias funcionais, subcategorias tecnológicas ou ferramentas. Também se deve ressaltar que o agente 3A faz a diferenciação explícita entre as tecnologias de pronto uso, incluindo diagnóstico e aplicação, e as de gestão.

Os entrevistados mencionam diversas ferramentas diagnósticas: geostatística (geração de mapas de solo, produtividade etc.) (2I), sensoriamento (2I), GPS (2I), monitor de colheita (2A), amostragem de solo (2A), estação climática (3CS), monitoramento de pragas (3CS). Enquanto isso, a categoria de aplicação é a única que contém tecnologias mencionadas por dois entrevistados ou mais: piloto automático (2I, 2A, 3A, 1M, 2M, 3M); aplicação de insumo/ controlador em taxa variável (2A, 1M, 3M); controlador de seções/vazão (3A, 3M).

Duas tecnologias de gestão são mencionadas como de baixo nível de adoção: sistemas e inteligência artificial (2I) e tecnologias para tomada de decisão (3A), o que condiz com as informações encontradas na literatura. Outras duas tecnologias de diagnóstico também chamam a atenção, especialmente ao interagir com o comentário do agente 1I (grifo nosso):

acabou de ser enfatizado aqui na palestra do professor americano [Ken Sudduth] e talvez agora vire moda no Brasil, porque precisa vir alguém de fora falar para a gente acreditar, **é a condutividade elétrica** [...]. [Os mapas de condutividade elétrica] já são uma realidade na Austrália de muito tempo, [...] você tinha o próprio produtor já colhendo, já usando o equipamento [...]. **E a condutividade elétrica e a produtividade são mapas essenciais para você orientar o que eu chamo de AP, que é otimização da amostragem de solo e a geração de zonas de manejo.**

A tendência à redução da grade amostral na análise de solos apresentada no Quadro Teórico também é problematizada pelo agente 1I, especialista em solos, pois entende que as ferramentas diagnósticas são utilizadas de modo equivocado para caracterizar a AP:

Você está fazendo um mapa de atributos de solo, uma grade amostral de 1 ha, que ninguém faz porque é muito cara, [...] agora se faz 2 ha, 3 ha. [...] Você tem uma distância de 100 m de uma amostra para a outra e está querendo caracterizar atributos de solos. Tem uma dependência espacial muitas vezes menor do que 100 m. Então como é que você vai enxergar uma variação menor do que 100 m se a tua amostragem é maior do que 100 m? Então você não está falando de fato de agricultura de precisão.

Tendo em vista que a análise de solo é um dos serviços centrais dentro do nível de diagnóstico, a importância da distância entre Brasil e Estados Unidos na amostragem de solo (agente 1CS) é possivelmente maior do que pareceria à primeira vista, bem como a oportunidade de expansão desse mercado, desde que haja queda dos preços da amostragem.

Tecnologias de orientação com barra de luz e piloto automático são citados por seis entrevistados, o que denota um nível de adoção provavelmente mais alto. Entretanto, os agentes 2I e 2A contestam rapidamente sua caracterização como parte da AP, por não estarem relacionadas com as variabilidades espacial, temporal e de cultura, ao mesmo tempo que é mencionada por três dos cinco integrantes da classe de Ensino e Pesquisa e é unânime entre os Fabricantes de Maquinário, provavelmente por compor seu portfólio de produtos. Essas tecnologias serão contempladas, contudo, uma vez que o conceito de AP adotado neste artigo abrange tecnologias que trazem otimização de recursos com ganhos de sustentabilidade.

O hiato entre Brasil e Austrália mais Estados Unidos em ferramentas diagnósticas básicas para o sistema de manejo de AP é um indicativo importante de que ainda faltam condições mínimas para que as ferramentas de aplicação alcancem seu potencial máximo, bem como para as tecnologias de gestão. De outro modo, a adoção da AP segundo as categorias funcionais da Tabela 1 ocorreria como um “sistema de eclusas”: um certo número de tecnologias e um certo nível de adoção de cada tecnologia é necessário para que se acesse o próximo nível (p. ex., algum tipo de mapeamento viabiliza o uso do piloto automático ou a análise de solo e outros mapas são necessários para a aplicação adequada em taxa variável, que pode armazenar informações que servirão a uma plataforma de suporte à decisão).

Adoção da agricultura de precisão no Brasil por cultura

Os entrevistados encontram algum eco na literatura quanto à adoção de AP na soja e na cana-de-açúcar, mas não no algodão. A liderança brasileira nas três culturas (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2018; Nova Cana, 2018; Associação Brasileira dos Produtores de Algodão, 2016) –, com áreas maiores de cultivo e principalmente maiores

investimentos, são fatores explicativos que podem confirmar as três culturas como principais adotantes de AP. A Tabela 5 apresenta as avaliações dos entrevistados por cultura.

Tabela 5

Culturas agrícolas no Brasil e nível de adoção de agricultura de precisão conforme os entrevistados

<u>Culturas</u>	<u>Entrevistados que mencionam</u>	
	<u>Nível importante</u>	<u>Baixo, inicial, potencial ou incerto</u>
Soja	1I, 2I, 3A, 1CS, 2CS, 3CS, 2M, 3M	--
Milho	1CS, 2CS, 2M, 3M	--
Cana-de-açúcar	2I, 1A, 3A, 1M, 2M, 3M	--
Algodão	1I, 2I, 1A, 1CS, 2CS, 2M	3A
Grãos	2I, 1A, 2A	--
Cereais	1M	--
Café	1CS, 3CS	2I, 3A
Citros	1CS, 3CS	2I
Frutas	3A	3A, 2M
Feijão	2CS	--
Florestal	3A	2I
Estufas	3A	--
Pecuária	--	2I
Pastagens	--	2I, 2CS, 2M

Fonte: elaborado pelos autores.

Como padrão entre classes de agentes, todos de Maquinário e Implementos, apoiados por dois membros da classe de Ensino e Pesquisa radicados em áreas importantes para a cana-de-açúcar (Paraná e São Paulo), destacaram essa cultura. Somando-se aos resultados da cultura individual a categoria “grãos”, a soja foi unânime entre os entrevistados, sendo provavelmente a cultura para a qual se mobilizam mais recursos dos agentes envolvidos na AP, e o milho se torna também bastante relevante. As poucas menções às outras culturas são de mais difícil interpretação e podem retratar uma realidade mais específica do agente do que uma situação mais generalizável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A agricultura de precisão (AP) é um sistema tecnológico e de manejo ao qual se incorporam ferramentas e processos irregularmente no tempo, respondendo às necessidades dos usuários e às oportunidades reconhecidas pelos agentes empresariais. A grande variedade de culturas agrícolas, condições edafoclimáticas, modelos fundiários e de gestão agrícola transformam a adoção da AP no Brasil em um processo pouco uniforme e com diferenças relevantes. A partir da literatura e das percepções dos agentes entrevistados, não obstante o caráter qualitativo da pesquisa, é possível apresentar uma multiplicidade de aspectos que permitem identificar e sistematizar o que é essencial na adoção da AP no País.

Uma limitação desta pesquisa é também oportunidade de desdobramento futuro: uma escala tipo Likert de três níveis poderia ser utilizada para avaliar o nível de adoção de AP nas principais culturas agrícolas e para as principais ferramentas de cada categoria funcional. Ademais, ainda não há uma referência quantitativa do que seria um nível de adoção alto, médio ou baixo, mas os entrevistados oferecem alguns indícios nesse sentido.

Apesar das ressalvas, segue um quadro de síntese, com algumas hipóteses mais específicas e uma hipótese central de que o nível geral de adoção no Brasil está entre baixo e médio, em tendência crescente, com maior concentração em torno de propriedades de maior porte e culturas como soja, cana-de-açúcar, milho e algodão, sendo esta última um “ponto cego” da literatura. Austrália, pela disseminação do sistema de manejo combinada com uma infraestrutura de AP adequada, e Estados Unidos, por sua liderança tecnológica, estariam à frente do Brasil em nível de adoção, enquanto haveria países europeus abaixo, bem como provavelmente a Argentina, cuja distância é ainda difícil de definir. Embora contestada como tecnologia de precisão, o piloto automático é a mais mencionada entre os entrevistados e na literatura, mas há adoção importante de análise de solos, mapeamento, aplicação de insumos em taxa variável etc., restando as ferramentas de gestão ainda em fase muito inicial e deficiências em tecnologias diagnósticas básicas essenciais para o sistema de manejo.

São contribuições deste artigo: a possibilidade de o roteiro de entrevista ser utilizado em uma pesquisa de abordagem quantitativa; o conceito de adoção tecnológica adequado a uma abordagem sistêmica de adoção de inovações na agricultura; o conceito abrangente de AP, adequado à medição de sua adoção; a ideia de “sistema de eclusas” para a adoção de AP.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira dos Produtores de Algodão (2016). Algodão no Mundo. Retrieved from <https://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-mundo.aspx>.
- Bardin, L. (1977). *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70.
- Bernardi, A. C. C., & Inamasu, R. Y. (2014) Agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. C. et al. (Eds.). *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar* (pp. 21-33). Brasília: Embrapa. Retrieved from <https://goo.gl/slXnrg>
- Borghi, E., Avanzi, J. C., Bortolon, L., Luchiarini Junior, A., & Bortolon, E. S. O. (2016). Adoption and use of precision agriculture in Brazil: perception of growers and service dealership. *Journal of Agricultural Science*, 8(11), 89–104. <https://doi.org/10.5539/jas.v8n11p89>
- Bottega, E. L., Pegoraro, C., Guerra, N., Oliveira Neto, A. M. de, & Queiroz, D. M. de. (2016). Spatial and temporal distribution of weeds in no-tillage system. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(12), 1107–1111. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n12p1107-1111>
- Bottega, E. L., Queiroz, D. M. de, Pinto, F. A. C., Oliveira Neto, A. M. de, Vilar, C. C., & Souza, C. M. A. de. (2014). Sampling grid density and lime recommendation in an Oxisol. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(11), 1142–1148. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n11p1142-1148>
- Bottega, E. L., Queiroz, D. M. de, Pinto, F. de A. de C., Valente, D. S. M., & Souza, C. M. A. de. (2017). Precision agriculture applied to soybean crop: Part II - Temporal stability of management zones. *Australian Journal of Crop Science*, 11(6), 676–682. <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.06.p382>
- Bragagnolo, J., Amado, T. J. C., Nicoloso, R. da S., Jasper, J., Kunz, J., & Teixeira, T. de G. (2013). Optical crop sensor for variable-rate nitrogen fertilization in corn: I - Plant nutrition and dry matter production. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 37(5), 1288–1298. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000500018>
- Camicia, R. F. M., Maggi, M. F., Souza, E. G., Jadoski, S. O., Camicia, R. G. M., & Menechini, W. (2015). Selection of grids for weed mapping. *Planta Daninha*, 33(2),

365–373. Retrieved from

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84937027219&doi=10.1590%2F0100-83582015000200023&partnerID=40&md5=578e220f2626dbb4689b684e04e06f5b>

Cherubin, M. R., Santi, A. L., Eitelwein, M. T., Amado, T. J. C., Simon, D. H., & Damian, J. M. (2015). Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(2), 168–177. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000200009>

Dalchiavon, F. C., Carvalho, M. de P. e, Montanari, R., & Andreotti, M. (2013). Strategy of specification of management areas: rice grain yield as related to soil fertility. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 37(1), 45–54.

<https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100005>

Dalchiavon, F. C., Carvalho, M. de P., Andreotti, M., & Montanari, R. (2012). Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. *Revista Ciência Agronômica*, 43(3), 453–461.

<https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000300006>

Demattê, J. A. M., Demattê, J. L. I., Alves, E. R., Barbosa, R. N., & Morelli, J. L. (2014). Precision agriculture for sugarcane management: a strategy applied for brazilian conditions. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 36(1), 111–117.

<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v36i1.17664>

Demattê, J. A. M., Ramirez-Lopez, L., Marques, K. P. P., & Rodella, A. A. (2017). Chemometric soil analysis on the determination of specific bands for the detection of magnesium and potassium by spectroscopy. *Geoderma*, 288, 8–22.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.11.013>

European Innovation Partnership, Agricultural Productivity and Sustainability (2015).

EIP-Agri Focus Group Precision Farming, Final Report. Retrieved from

<https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/publications/eip-agri-focus-group-precision-farming-final>

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2018). Soja em números (safra 2017/2018).

Retrieved from <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>

- Freeman, C., & Pérez, C. (1988). Structural crises of adjustment, business cycles and investment behaviour. In *Technical Change and Economic Theory* (pp. 38–66). Retrieved from <http://www.carlotaperez.org/pubs?s=tf&l=en&a=structuralcrisesofadjustment>
- Furtado, A. (2005). Difusão tecnológica: um debate superado? In V. Pelaez, & T. Szmrecsányi (Orgs.). *Economia da inovação tecnológica*. São Paulo: Hucitec.
- Gebler, L., Grego, C. R., Vieira, A. L., & Kuse, L. da R. (2015). Spatial influence of physical and chemical parameters on management zone definition in apple orchards. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering Eng. Agric*, 35(6), 1160–1171. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n6p1160-1171/2015>
- Gephart Jr., R. P. (2018). Qualitative research as interpretive social science. In C. Cassell, A. Cunliffe, & G. Grandy (Eds.). *The Sage Handbook of Qualitative Business and Management Research Methods: history and traditions*. Londres: Sage.
- Griliches, Z. (1957). Hybrid corn: An exploration in the economics of technological change. *Econometrica*, 25(4), 501–522. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/1905380>.
- Griliches, Z. (1980). Hybrid corn revisited: A reply. *Econometrica*, 48(6), 1463–1465. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/1912818>.
- Inamasu, R. Y., & Bernardi, A. C. C. (2011). Agricultura de Precisão. In A. C. C. Bernardi et al. (Eds.). *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar* (pp. 21-33). Brasília: Embrapa.
- Kramer, L. F. M., Müller, M. M. L., Tormena, C. A., Genú, A. M., Michalovicz, L., & Vicensi, M. (2014). Atributos químicos do solo associados à produtividade do trigo em um talhão com diferentes potenciais produtivos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(4), 1190–1199. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000400015>
- Leite, A. E., Castro, R. de, Jabbour, C. J. C., Batalha, M. O., & Govindan, K. (2014). Agricultural production and sustainable development in a Brazilian region (Southwest, Sao Paulo State): motivations and barriers to adopting sustainable and ecologically friendly practices. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 21(5), 422–429. <https://doi.org/10.1080/13504509.2014.956677>

- Machado, T. M., & Lanças, K. P. (2016). Prototype for soil mechanical resistance measurement with chisel plow automated control. *Engenharia Agrícola*, 36(4), 646–655. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n4p646-655/2016>
- Magalhães, P. S. G., & Cerri, D. G. P. (2007). Yield monitoring of sugar cane. *Biosystems Engineering*, 96(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.10.002>
- McBride, W. D., & Daberkow, S. G. (2003). Information and the Adoption of Precision Farming Technologies. *Journal of Agribusiness*, 21(Spring), 21–38. Disponível em: <https://ageconsearch.umn.edu/record/14671/>.
- Molin, J. P. (2014). Agricultura de precisão no Brasil: estado atual, avanços e principais aplicações. In *13º Curso Internacional de Agricultura de Precisión con agregado de valor de origen, 2014 (recopilación de presentaciones técnicas)*. Manfredi (Argentina): INTA. Retrieved from http://www.agriculturadeprecision.org/downloadItem.asp?item=/13roCursoAgPrec/Libro/a2_Libro13Curso AP2014.pdf.
- Molin, J. P., & Mascarin, L. S. (2007). Colheita de citros e obtenção de dados para mapeamento da produtividade. *Engenharia Agrícola*, 27(1), 259–266. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000100020>
- Nanni, M. R., Povh, F. P., Demattê, J. A. M., Oliveira, R. B. de, Chicati, M. L., & Cezar, E. (2011). Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. *Scientia Agrícola*, 68(3), 386–392. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162011000300017>
- Nova Cana (2018). Ultrapassando 31 milhões de toneladas, Índia se torna maior produtor global de açúcar, diz FCStone. Retrieved from <https://www.novacana.com/n/acucar/mercado/ultrapassando-31-milhoes-toneladas-india-maior-produtor-global-acucar-fcstone-080518>.
- Pamplona, J. B., & Silva, M. A. R. (2019). Adoção e difusão da agricultura de precisão na América do Sul: o estado da arte em Argentina, Brasil e Colômbia. *Gestão & Regionalidade, Edição Especial – Gestão & Inovação na América Latina* (Não publicada).

- Pinto, H. E., Ferreira, M. D. P., & Teixeira, S. M. (2017). Adoção de tecnologias em agricultura de precisão por produtores de soja em Goiás e Distrito Federal. *Espacios*, 38(31), 33–47. Retrieved from <http://www.revistaespacios.com/a17v38n31/17383133.html>
- Rodrigues, M. (2013) The evolutionary approach applied to ICT and agriculture technological systems in Latin America: a survey. In M. Rodrigues, & A. Rodríguez (Orgs.). *Information and communication technologies for agricultural development in Latin America: trends, barriers and policies* (pp. 17–48). Santiago: ECLAC. Retrieved from <https://www.cepal.org/en/publications/35400-information-and-communication-technologies-agricultural-development-latin-america>
- Rosenberg, N. (1976). Factors affecting the diffusion of technology. In *Perspectives on technology* (pp. 189–210). Cambridge (UK): Cambridge University Press.
- Scaramuzza, F., Vélez, J. P., & Villaroel D. (2016) Adopción de la agricultura de precisión en Argentina: evolución en los principales segmentos. In M. Bragachini (Ed.). *Recopilación de presentaciones técnicas: 15° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de precisión con agregado de valor de origen* (pp. 16–21). Manfredi (Argentina): INTA.
- Schumpeter, J. A. (1935). The analysis of economic change. *The Review of Economics and Statistics*, 17(4), 2–10. <https://doi.org/10.2307/1927845>
- Silva, C. B., Moraes, M. A. F. D. de, & Molin, J. P. (2011). Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil. *Precision Agriculture*, 12, 67–81. <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9155-8>
- Silva, F. M. da, Souza, Z. M. de, Figueiredo, C. A. P. de, Vieira, L. H. de S., & Oliveira, E. de. (2008). Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. *Ciência e Agrotecnologia*, 32(1), 231–241. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000100034>
- Silva, M. A. R. (2019) *Medidas de adoção da agricultura de precisão no Brasil* (Dissertação de mestrado não publicada). Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo.

Soares Filho, R., & Cunha, J. P. A. R. da. (2015). Agricultura de precisão: particularidades de sua adoção no sudoeste de Goiás – Brasil. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*, 35(4), 689–698.

<https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n4p689-698/2015>

Stoneman, P., & Battisti, G. (2010). The diffusion of new technology. In K. J. ARROW & M. D. Intriligator. *Handbook in Economics*. v. 2. Oxford: North-Holland.

Vieira Filho, J. E. R., & Silveira, J. M. F. J. da. (2012). Mudança tecnológica na agricultura: uma revisão crítica da literatura e o papel das economias de aprendizado. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 50(4), 722–742.

<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032012000400008>

Zonta, J. H., Brandão, Z. N., Medeiros, J. da C., Sana, R. S., & Sofiatti, V. (2014).

Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com algodoeiro no Cerrado do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(6),

595–602. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000600005>