

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS

Darlei Anziliero

**AGRICULTURA 4.0 NA CONECTIVIDADE PARA APLICAÇÃO
LOCALIZADA DE AGROTÓXICOS:
ANÁLISE ECONÔMICA**

Palmeira das Missões, RS
2022

Darlei Anziliero

**AGRICULTURA 4.0 NA CONECTIVIDADE PARA APLICAÇÃO LOCALIZADA
DE AGROTÓXICOS:
ANÁLISE ECONÔMICA**

Dissertação apresentada ao Curso/Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), campus de Palmeira das Missões, RS, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronegócios.

Orientador: Prof. Dr. João Pedro Velho

Palmeira das Missões, RS
2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Anziliero, Darlei
AGRICULTURA 4.0 NA CONECTIVIDADE PARA APLICAÇÃO
LOCALIZADA DE AGROTÓXICOS: ANÁLISE ECONÔMICA / Darlei
Anziliero.- 2022.
79 p.; 30 cm

Orientador: João Pedro Velho
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Campus de Palmeira das Missões, Programa de Pós
Graduação em Agronegócios, RS, 2022

1. Smart farm 2. Big data 3. Internet das coisas 4.
Agricultura 5. Pulverização I. Velho, João Pedro II.
Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, DARLEI ANZILIERO, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Darlei Anziliero

**AGRICULTURA 4.0 NA CONECTIVIDADE PARA APLICAÇÃO LOCALIZADA
DE AGROTÓXICOS:
ANÁLISE ECONÔMICA**

Dissertação apresentada ao Curso/Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), campus de Palmeira das Missões, RS, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronegócios.

Aprovado em 01 de junho de 2022:

João Pedro Velho, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Nilson Luiz Costa, Dr.
(Universidade Federal de Santa Maria- UFSM)

Samir Paulo Jasper, Dr.
(Universidade Federal do Paraná- UFPR)

Palmeira das Missões, RS
2022

RESUMO

AGRICULTURA 4.0 NA CONECTIVIDADE PARA APLICAÇÃO LOCALIZADA DE AGROTÓXICOS: ANÁLISE ECONÔMICA

AUTOR: Darlei Anziliero

ORIENTADOR: João Pedro Velho

A revolução digital afetou a agricultura com a evolução para agricultura 4.0. Fazendas inteligentes ou *smart farms* executam o conceito de manejo integrado de pragas (MIP) implementando inovação no monitoramento digital da variabilidade espacial da lavoura utilizando *internet* das coisas (IoT), telemetria e *big data* para a coleta, transferência, transformação, análise e aplicação dos dados no campo. Observa-se aumento global no uso de agrotóxicos, e como a distribuição das plantas daninhas, pragas e doenças não são homogêneas nas áreas agrícolas, além de causarem perdas de produtividade, a pulverização em área total sem monitoramento e manejo adequado pode representar aumento nos custos para o agricultor. O objetivo do estudo foi realizar uma revisão na literatura em artigos científicos das principais bases *web* entre os anos de 2015 e 2021 e fazer a análise econômica de quatro fazendas localizadas no Cerrado brasileiro que utilizam dois sistemas de agricultura 4.0 no monitoramento de pragas e plantas daninhas para pulverização de agrotóxicos de maneira localizada na safra 2019/2020. Os dados quantitativos de área aplicada e área onde foi economizado a aplicação foram analisados em planilha de *Excel* para mensurar a estatística descritiva de redução na área pulverizada, economia no uso de agrotóxicos e de água na pulverização de soja primeira safra, algodão e milho de segunda safra, analisando a viabilidade econômica dos investimentos através dos cálculos de *payback*, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Benefício-Custo (B/C). O estudo oferece benefícios no entendimento de uma nova tecnologia aplicada na prática com a finalidade de verificar o seu desempenho econômico. Analisando as áreas onde foi possível aplicar as tecnologias para pulverização localizada de agrotóxicos, identifica-se a distribuição de pragas e plantas daninhas com características de variabilidade espacial. Nesse contexto, as hipóteses do estudo foram corroboradas com benefícios econômicos dos dois sistemas estudados, sendo a característica de distribuição heterogênea de pragas e plantas daninhas requisito essencial para a aplicação localizada de agrotóxicos sem perdas de produtividade causada por dano ou competição com as culturas. No caso de alto índice de infestação de pragas e plantas daninhas em determinado talhão, o risco de dano na cultura não permite que a pulverização seja feita de maneira localizada, por esse motivo a aplicação é realizada em área total.

Palavras-chave: *Smart farm. Big data. Internet* das coisas.

ABSTRACT

AGRICULTURE 4.0 IN CONNECTIVITY FOR LOCALIZED APPLICATION OF PESTICIDES: ECONOMIC ANALYSIS

AUTHOR: Darlei Anziliero
ADVISOR: João Pedro Velho

The digital revolution has impacted agriculture with the evolution to agriculture 4.0. Smart farms or smart farms implement the concept of integrated pest management (IPM) implementing innovation in the digital monitoring of the spatial variability of the crop using the internet of things (IoT), telemetry and big data for the collection, transfer, transformation, analysis, and application of the data in the field. There is a global increase in the use of pesticides and as the distribution of weeds, pests and diseases are not homogeneous in agricultural areas, in addition to causing productivity losses, spraying in a total area without proper monitoring and management can represent an increase in costs for the farmer. The objective of the study was to carry out a literature review in scientific articles from the main web bases between the years 2015 and 2021 and to make an economic analysis of four farms located in the Brazilian Savannah that use two 4.0 agriculture systems to monitor pests and weeds. for localized spraying of pesticides in the 2019/2020 harvest. The quantitative data of the applied area and the area where the application was saved were analyzed in an Excel spreadsheet to measure the descriptive statistics of reduction in the sprayed area, pesticide, and water savings in the spraying of first crop soybean, cotton and second crop corn, analyzing the economic viability of investments through payback, Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Benefit-Cost (B/C) calculations. The study offers benefits in understanding a new technology applied in practice in order to verify its economic performance. Analyzing the areas where it was possible to apply the technologies for localized spraying of pesticides, the distribution of pests and weeds with characteristics of spatial variability is identified. In this context, the hypotheses of the study were supported by the economic benefits of both systems, with the characteristic of heterogeneous distribution being an essential requirement for the localized application of pesticides without loss of productivity caused by damage or competition with crops. In the case of a high rate of infestation of pests and weeds in each plot, the risk of damage to the crop does not allow for the spraying to be carried out in a localized way, for this reason the application is carried out in the total area.

Keywords: Sustainability. Big data. Internet of things.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Teoria da Virtualização de Processos (PVT).....	12
Figura 2 - Teoria da Virtualização de Processos (PVT).....	13
Figura 3 - Cadeia de big data e a sequência de atividades de PVT	16
Figura 4 - Sistema de detecção de plantas e pulverização localizada	63
Figura 5 - Sistema A na dessecação de plantas daninhas	64
Figura 6 - Severidade de lagarta (helioverpa armigera) na cultura do algodão em diferentes municípios da Índia	66
Figura 7 - Sistema B na aplicação localizada de agrotóxicos.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área total dos talhões pulverizados.....	26
Tabela 1 - Área total dos talhões pulverizados.....	36
Tabela 2 - Produtividade média das safras	52
Tabela 3 - Teoria da Virtualização de Processos e o impacto da tecnologia na organização	54
Tabela 4 - Área não pulverizada.....	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 REFERENCIAL TEÓRICO	10
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	17
3.1 REVISÃO SISTEMATIZADA	18
3.1.1 Desenho de investigação	18
3.1.2 Período do estudo	18
3.1.3 Critérios de inclusão	19
3.1.4 Critérios de exclusão	19
3.2 ESTUDO ECONÔMICO	19
3.2.1 Desenho de investigação	20
3.2.2 Área de estudo	21
3.2.3 Período do estudo	22
3.2.4 Origem dos dados	22
3.2.5 Natureza da pesquisa	24
3.2.6 Análise dos dados	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
Agricultura 4.0 na conectividade para aplicação localizada de agrotóxicos: análise econômica	29
4.1 Monitoramento e conectividade	51
4.2 <i>Integrated Pest Management (IPM)</i>	53
4.3 Economia no uso de agrotóxicos	54
4.4 Economia financeira	56
4.5 Economia de água	58
4.6 Estrutura de custos e receitas	60
4.7 Análise de viabilidade econômica	62
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	68

REFERÊNCIAS	72
--------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

Agricultura 4.0 caracteriza-se pelo uso de tecnologias digitais e da conectividade para automação e troca de dados dos processos nas fazendas agrícolas, utilizando máquinas e implementos agrícolas conectados na *internet*. Esse conceito se destaca pela evolução da agricultura 3.0, que possui como principais atributos Agricultura de Precisão, gerenciamento de dados e telemetria, passando para o conceito de agricultura 4.0, incrementando os conceitos de *internet das coisas* (IoT), *big data* e agricultura digital (BONGOMIN *et al.*, 2020).

Dessa forma, as fazendas inteligentes ou *smart farms* utilizam dados para aumentar a produtividade e reduzir os custos de produção, com o objetivo de se tornarem mais produtivas e sustentáveis. Destarte, a utilização de aplicativos para coletar dados de plantas daninhas e pragas na agricultura 4.0 para a tomada de decisão mais assertiva pode ser feita mesmo em grande escala de produção, como é o caso de grandes fazendas, por meio de banco de dados na tentativa de aumentar a lucratividade da empresa (JAKKU *et al.*, 2019). Nesse contexto, a virtualização dos processos diminui a interação entre pessoas e aumenta a interação entre pessoas, *hardware* e *software* (OVERBY, 2008).

O emprego desses aplicativos de monitoramento faz parte do conceito de agricultura 4.0 que é considerada tecnologia disruptiva¹, proveniente do desenvolvimento tecnológico da indústria, chamada de indústria 4.0, mas, no contexto dos agronegócios, ainda está em fase inicial com poucas aplicações nas áreas agrícolas. Observa-se a necessidade de manter pesquisas constantes nesse setor para aumentar a aplicação e difundir essa tecnologia para mais áreas agrícolas (BONGOMIN *et al.*, 2020). Essas pesquisas são destacadas por Liang *et al.* (2007), com a necessidade de mensurar custos e benefícios econômicos dos investimentos em aplicativos móveis. Nesse contexto, com essas tecnologias na cadeia de valor primária, transforma-se a maneira como as atividades são realizadas, trazendo inovação aos processos produtivos (BHARATI; CHAUDHURY, 2006), por meio de *softwares* para auxílio no uso dos insumos de forma eficiente e direcionada (SCHUT *et al.*, 2018).

O uso mundial de agrotóxicos nos últimos anos teve crescimento, chegando a 5,9 milhões de toneladas e registrando um mercado global de US\$ 36 bilhões em 2018 (FAO, 2021). Esse aumento, pode impactar diretamente na saúde humana, segundo a *World Health Organization (WHO) and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*, um em cada cinco suicídios no mundo está relacionado com a intoxicação causada por agrotóxicos

¹ É aquela que impulsiona de maneira significativa a solução que era anteriormente utilizada ou simplesmente cria um mercado, produto ou serviço.

(FAO; WHO, 2019), podendo originar efeitos sociais nos trabalhadores agrícolas (ILO, 2019). Além disso, as plantas daninhas estão ficando resistentes aos herbicidas, sendo necessário o incremento de tecnologia no controle para melhorar a sustentabilidade dessa técnica. Nesses casos, apenas aumentar a dose e aplicar em área total pode resultar em aumento de custos para os produtores (WESTWOOD *et al.*, 2018).

Apesar do aumento no uso de agrotóxicos, Deutsch *et al.* (2018) destacam que o dano na produtividade motivado por pragas de insetos nas principais safras de grãos pode ficar entre 5 e 20%, e é agravado pelo fenômeno do aquecimento global que provoca o aumento populacional e mudanças metabólicas nos insetos, causando significativo aumento de perdas nas colheitas. Nesse contexto, o ponto central que suscita a razão da investigação que se pretende, reflete na seguinte questão: o monitoramento com tecnologia de agricultura 4.0 contribui para a economia de volume e recursos gastos com agrotóxicos, acarretados pelo controle da aplicação localizada, com viabilidade financeira dos investimentos no contexto dos agronegócios?

Além da perda de produtividade e aumento no volume dos agrotóxicos aplicados, percebe-se aumento dos custos relacionados à aplicação de agrotóxicos (fungicida, herbicida, inseticida). Segundo o Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária (IMEA), o custo da aplicação de agrotóxicos para soja transgênica passou de R\$ 779,84 por hectare na safra de 2018/2019 para R\$ 937,48 na safra 2020/2021, e existe a estimativa de aumento para R\$ 1437,80 por hectare na próxima safra 2021/2022 (IMEA, 2021). Segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Produtos Para Defesa Vegetal (SINDIVEG), os gastos do produtor rural brasileiro com agrotóxicos no primeiro semestre de 2021 cresceram 13% em relação ao mesmo período de 2020, passando de R\$ 25,188 bilhões para R\$ 28,462 bilhões (SINDIVEG, 2021).

Estudos demonstram que o aumento no uso de agrotóxicos é um fator preocupante tanto para o orçamento de produção quanto para a manutenção de níveis saudáveis do solo. Ainda, o manejo das plantas daninhas e pragas de forma eficiente pode contribuir para a redução no uso de herbicida e inseticida (HEINE-FUSTER; ARÁNGUIZ-ACUÑA; RAMOS-JILIBERTO, 2017), o que se pretende investigar mais detalhadamente neste trabalho, pois os herbicidas e inseticidas equivalem a 48 e 21% dos agrotóxicos aplicados respectivamente (SINDIVEG, 2021). Nesse sentido, o uso de plataformas *On-Line* pode contribuir na tomada de decisão (FOUNTAS *et al.*, 2015).

Diante do cenário apresentado, são enumeradas as proposições decorrentes da análise prévia de autores como Partel *et al.* (2019), que buscam explicar ou determinar a possibilidade de solução do problema apresentado:

- a) a distribuição das plantas daninhas e pragas nas áreas agrícolas são desuniformes, e causam dificuldade no manejo e prejuízos econômicos quando se utiliza o procedimento de pulverização convencional em área total;
- b) o mapeamento e virtualização dos processos para aplicação localizada de agrotóxicos pode levar a diminuição no uso desses produtos e nos custos, com viabilidade econômica dos investimentos;
- c) sistemas inteligentes detectam alvos para pulverização localizada de agrotóxicos;
- d) influência na variável dependente, economia no uso de agrotóxicos e de água, podendo ser explicada pela variável independente: processos de monitoramento da lavoura de maneira virtual com a capacidade de executar o trabalho com controle e sincronismo das operações.

A pesquisa na área pretendida auxilia no enfrentamento ao problema ambiental, com o objetivo de mitigar os efeitos à natureza por conta do aumento gradativo no uso de agrotóxicos. Destarte, a realização de estudo agrícola, dentro de um cenário econômico, com dados empíricos relacionados à tomada de decisão de uma empresa, com o objetivo de minimizar os custos e aumentar a lucratividade, manifesta a relevância social estabelecida pela investigação em pauta (STERNS *et al.*, 1998).

O problema ambiental dos agrotóxicos afeta diretamente a sustentabilidade da agricultura e deve ser encarado como item central, confirmando a importância dos estudos nessa área, cuja criação de estratégias agroecológicas e tecnologia de proteção de plantas que permitam a redução no uso de agrotóxicos (LEFÈVRE *et al.*, 2020).

Reafirma-se o viés social por meio da expectativa de inovação que tem por intuito aprimorar aspectos para alcançar a melhoria contínua de uma ação, com a possibilidade de evitar problemas indesejados. As inovações geralmente são agregadas de forma lenta e gradativa e observa-se a necessidade de difundir as tecnologias para que sejam empregadas mais rapidamente evitando efeitos negativos (ROGERS, 1995).

A relevância da pesquisa e as lacunas existentes são destacadas por Creswell John W. e Creswell John D. (2021), diante do mapeamento das plantas daninhas apresentado por Barroso; McCallum e Long (2017), cuja conclusão, proveniente do mapeamento da lavoura estudada pelos autores, remete à necessidade de mais estudos e de que seja executada a pulverização em

taxa variável. Perante esse cenário a inovação pode trazer mais competitividade para a cadeia de valor com a digitalização e automação dos processos dentro da porteira, aumentar a sustentabilidade econômica da produção, tornar as culturas mais produtivas e diminuir os custos de produção (BONGOMIN *et al.*, 2020).

Destarte, o objetivo geral dessa dissertação debruçou-se em analisar o aspecto econômico quando utilizada a tecnologia de agricultura 4.0 no monitoramento da lavoura para pulverização de maneira localizada com controle de aplicação via sinal de satélite. Foram desenvolvidas etapas representadas pelos objetivos específicos do estudo, com a finalidade de atingir o objetivo geral proposto, na seguinte conformidade:

- a) explorar e descrever a técnica de monitoramento da lavoura para verificar os processos utilizando agricultura 4.0;
- b) medir dados primários gerados pelo monitoramento georreferenciado com intuito de identificar a variabilidade espacial de plantas daninhas e pragas, para posterior aplicação de agrotóxicos de maneira localizada;
- c) avaliar o resultado quantitativo do uso de agrotóxico, após o georreferenciamento, mensurando a viabilidade econômica dos investimentos;

A dissertação está estruturada em seis seções iniciadas pela introdução. Na segunda seção é apresentado o referencial teórico com o embasamento do estudo utilizando a Teoria da Virtualização de Processos (PVT) e a Teoria do Desenvolvimento Econômico, aprofundando a discussão em torno dos conceitos de agricultura 4.0 inserida no contexto dos agronegócios. Na terceira seção são apresentados os procedimentos metodológicos para cumprir os objetivos do estudo. Na quarta seção são apresentados os resultados e discussão gerais do estudo, onde apresenta-se o artigo integrado, com os estudos das teorias, conceitos e indicadores para as culturas (soja, milho e algodão), analisando os indicadores econômicos das duas tecnologias separadamente, englobando os dados das três culturas, na quinta seção, apresenta-se as considerações finais, e, por fim, na sexta seção as referências bibliográficas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A teoria utilizada nesse estudo é a Teoria da Virtualização de Processos (PVT), desenvolvida por Overby (2008), que foi utilizada para estudar a virtualização dos processos em uma sociedade cada vez mais virtual, mensurando empiricamente os efeitos que essa transformação pode causar. Nessa teoria ocorre a mudança de processos físicos para processos

virtuais, como é o caso da tecnologia de IoT, *big data* e agricultura digital, onde os objetos enviam dados virtualmente pela *internet*. O autor destaca ainda que a limitação da teoria está na sua aplicação em um contexto organizacional, pois a teoria não se aplica aos processos que operam em diversos contextos. A teoria não tem o objetivo de destacar qual processo é melhor para determinada aplicação, físico ou virtual, e tem sua delimitação de pesquisa na migração do processo físico para o virtual e não o contrário.

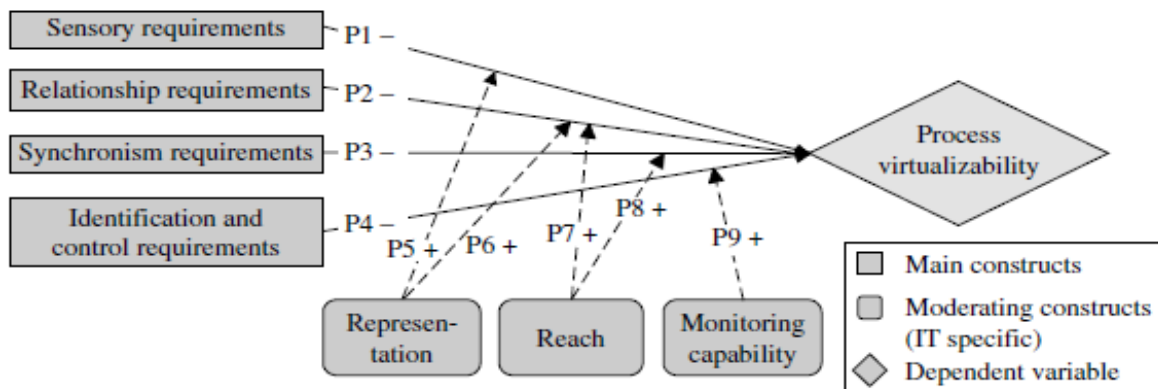
Esse fenômeno vem acontecendo em diversos contextos e nos agronegócios isso não é diferente, com a chegada de aplicativos e máquinas conectadas na *internet* no campo, ganhando alcance e capacidade de monitoramento, com a evolução da agricultura 3.0 para a agricultura 4.0 para aumentar a eficiência produtiva e melhorar a qualidade do setor produtivo (BONGOMIN *et al.*, 2020).

Essa teoria foi estudada por Thomas, Costa e Oliveira (2015), que destacam a influência na variável dependente, economia no uso de agrotóxicos e de água com utilização de *hardware* e *software* para a tomada de decisão, podendo ser explicada pela variável independente: processos de monitoramento da lavoura de maneira virtual com a capacidade de executar o trabalho com controle, sincronismo das operações e envio de dados fidedignos para a central de análise de dados e transferência dos dados para o pulverizador. Os autores destacam também que a implementação de processos e práticas virtualizadas melhoram a sustentabilidade do negócio. Nesse contexto, a PVT vem sendo aplicada em diversos segmentos onde ocorre a virtualização dos processos e é indicada para estudos diversos onde transcorre a transição do processo físico para o eletrônico.

A PVT visa explicar as hipóteses de benefícios da migração dos processos físicos para o ambiente virtual, principalmente na área da tecnologia de informação, como é o caso dos conceitos de *IoT*, *big data* e agricultura digital, podendo ser aplicada em estudos empíricos, a fim de comprovar os resultados na prática, aprofundando os estudos de comprovação dos resultados de uma determinada tecnologia e melhorando o entendimento da teoria (OVERBY; KONSZYNSKI, 2010).

Na Figura 1, para clareza expositiva da teoria, o autor declara a possibilidade de aplicar a teoria em estudo empírico e define os graus de confiança para o sucesso na aplicação de virtualização de um processo segundo Overby (2008):

Figura 1 - Teoria da Virtualização de Processos (PVT)



Fonte: Overby (2008).

- Requisitos sensoriais: necessidade de os participantes desfrutarem de uma experiência sensorial com outros participantes. Na proposição P1, quanto maior a necessidade sensorial, menor será o sucesso da virtualização.

- Requisitos de relacionamento: necessidade de interações físicas face a face para conhecimento, confiança e experiências. Na proposição P2, quanto maior a necessidade de relacionamento menor será o resultado da virtualização do processo. Na preposição 6, quanto maior a representação, menor será a necessidade de interações físicas face a face.

- Requisitos de sincronismo: possibilidade de o processo ser conduzido de forma síncrona ou assíncrona. Na proposição P3, quanto maior a necessidade síncrona, menor será o sucesso da virtualização.

- Alcance: capacidade de alcançar representatividade nos processos. A proposição P7 atua positivamente na necessidade de interações face a face. Na proposição P8, o alcance modera positivamente o sincronismo.

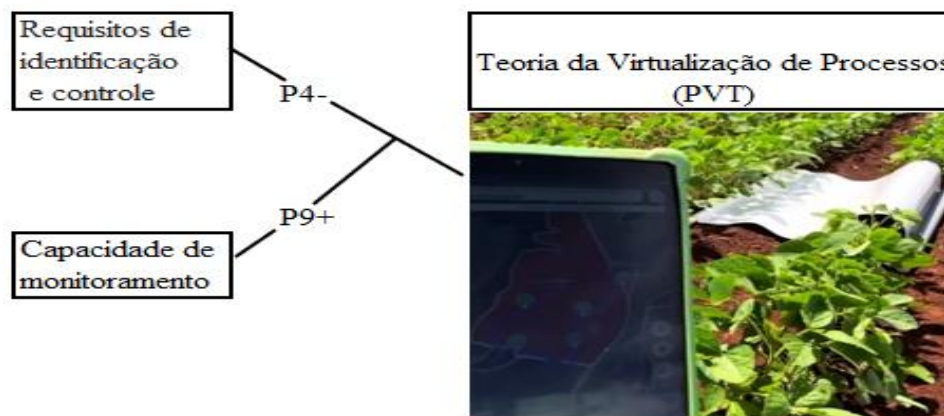
- Representação: capacidade de apresentar informações relevantes para um processo na forma virtual. A proposição P5 modera positivamente os requisitos sensoriais. A proposição P6 modera positivamente os requisitos de relacionamento.

- Requisitos de identificação e controle: necessidade de participantes únicos em determinado processo. Na proposição P4, quanto maior a necessidade de identificação pessoal no processo menor será o sucesso da virtualização.

- Capacidade de monitoramento: capacidade da tecnologia de informação enviar dados fidedignos do mundo real. Na proposição P9, quanto maior a capacidade de monitoramento melhor será o desempenho da virtualização, diminuindo a necessidade de participantes únicos. Na Figura 2, estão os dois pontos focais da pesquisa, requisitos de identificação e controle, que

atua negativamente no processo de virtualização e a capacidade de monitoramento da tecnologia para redução de custos. A capacidade de monitoramento modera positivamente no resultado da virtualização dos processos no momento da coleta de dados na execução do conceito IPM para mapeamento de pragas e plantas daninhas, pois tem a capacidade de substituir o *know-how* de uma coleta de dados manual feita por atores únicos.

Figura 2 - Teoria da Virtualização de Processos (PVT)



Fonte: adaptado de Overby (2008).

A teoria foi utilizada por Macharia (2020) para entendimento de como os agricultores utilizam as tecnologias digitais para práticas de manejo em suas propriedades rurais, empregando a virtualização dos processos. Nesse estudo, todos os agricultores utilizavam a virtualização dos processos agrícolas e destacaram a facilidade no uso e a mudança na maneira de realizar as tarefas e o manejo das culturas agrícolas, diminuindo o tempo de monitoramento das safras, com benefícios perceptíveis das tecnologias digitais. Segundo Zaza *et al.* (2018), o avanço da tecnologia permite a migração do processo físico de monitoramento para o processo digital, em plataformas de controle analítico On-Line.

A teoria foi aplicada também por Czarnecki, Winkelmann e Spiliopoulou (2010), com o objetivo de verificar as barreiras de entrada da virtualização dos processos para tomada de decisão e os efeitos dessa tecnologia nas diferentes camadas da organização na prática. Os autores destacam que, a virtualização dos processos é aplicada de acordo com a estratégia da empresa e conforme a tomada de decisão em relação aos benefícios da tecnologia para os *stakeholders* na diferenciação de seus produtos.

A Tabela 2, reforça o arcabouço da pesquisa com o estudo de Bongomin *et al.* (2020) que demonstram a inovação da agricultura 4.0, com a transição para dispositivos inteligentes

conectados na *internet* ou *internet* das coisas (IoT), sensores e atuadores com conectividade em tempo real, agricultura digital e *big data*.

Quadro 1 - Transição de tecnologias na agricultura

Conceito	Agricultura 3.0	Agricultura 4.0
Tecnologia	Telemetria	Agricultura digital
	Gerenciamento de dados	Big data
	Agricultura de Precisão	IoT
Período	1990 a 2010	2010 até hoje

Fonte: adaptado pelo autor, Bongomin *et al.* (2020).

Destarte, um estudo feito por Berg *et al.* (2020) em 194 países, evidencia problemas do ponto de vista social e ambiental, referente à exposição das pessoas aos agrotóxicos e resíduos nos alimentos. A pesquisa mostra que a implementação de métodos para redução do uso de produtos químicos na agricultura é de grande importância e que o manejo integrado de pragas e vetores tem sido ineficiente em todas as regiões.

Zagórda *et al.* (2017) fazem uma leitura sobre as dimensões que corrobora a pesquisa diante da percepção de que a implementação de inovação como o sistema de corte de seção para cada bico ou ponta de pulverização, permite o tratamento químico de 0,5 m de barra, desligando e ligando a eletroválvula responsável por acionar cada ponta via sinal de posicionamento por *Global Positioning System (GPS)*. Além disso, utilizando sensores que captam a reflectância das plantas, é possível identificar diferentes parâmetros de coloração e acionar a eletroválvula de cada bico ou ponta de pulverização independentemente (KARTHIKEYAN *et al.*, 2020).

Ainda Rodríguez-Lizana *et al.* (2021) tratam das decorrências instaladas com uso de agrotóxicos, remonta aspectos apresentados na problemática que se pretende estudar, relacionando-se ao estudo proposto quanto à pulverização em taxa variável com mapa de prescrição variável para aplicação de maneira localizada ou seletiva e a percepção de que o assunto recebe pouca atenção de estudos para mensurar a redução de agrotóxicos.

2.1 ESTRUTURA CONCEITUAL

O manejo integrado de pragas e plantas daninhas passa, obrigatoriamente, pelo processo de monitoramento da variabilidade espacial da lavoura para tomada de decisão e controle via pulverização. O monitoramento é o primeiro passo para o manejo integrado de pragas e plantas daninhas, onde é feito uma estimativa de população e, nesse aspecto, o tamanho

da amostra coletada em campo é de grande importância para melhorar a eficiência e reduzir a aplicação de agrotóxicos (SANDLER, 2010).

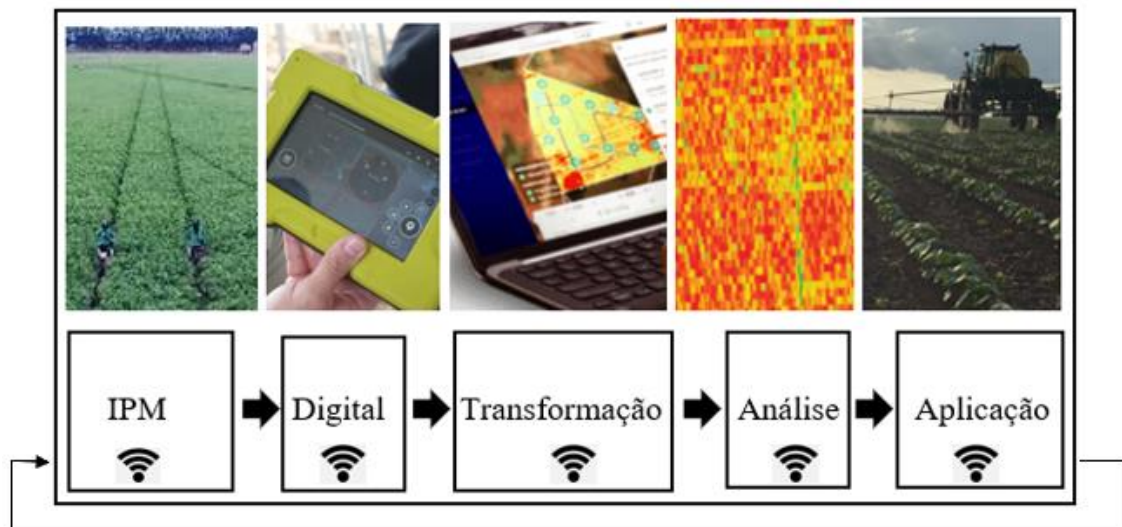
Segundo Barzman *et al.* (2015) o monitoramento baseado em dados é uma fase importante do manejo integrado de pragas (MIP), e do manejo integrado de plantas daninhas (MIPD), conhecidos internacionalmente como *integrated pest management (IPM)*, com vantagens para o ecossistema (FAO, 2019; WHO, 2019) e para a redução da exposição dos trabalhadores aos produtos químicos (ILO, 2019). O processo deve ser executado em intervalos regulares e deveria ser adotado por todos os agricultores, sendo necessário a implantação de sistemas para a tomada de decisão, mas isso não condiz com a realidade mundial da agricultura, com exceção de uma minoria de países da Europa e do Reino Unido, que possuem controle rígido na aplicação de agrotóxicos, com médias de aplicação abaixo de 5kg/ha. Nesse contexto destaca-se também os Estados Unidos da América (EUA), com aplicação média de 2,54 kg/ha de agrotóxicos (FAO, 2021).

Para esse controle e monitoramento, com auxílio dos dados, a ciência de *big data*² pode contribuir com a coleta, armazenamento, transferência, análise e gerenciamento dos dados das tecnologias utilizadas nas fazendas inteligentes ou *smart farms* (WOLFERT *et al.*, 2017). As quatro fases da cadeia de *big data* são descritas por Chen, Mao e Liu (2014), onde a geração de dados é feita durante a execução do conceito MIP, a aquisição dos dados é feita de maneira digital e o armazenamento e a análise são feitos por um analista de dados para a utilização na aplicação localizada de agrotóxicos. Nesse contexto, o uso de *big data* representa melhorias no âmbito social e econômico.

Na Figura 3, é possível verificar uma sequência de atividades na cadeia de *big data* que pode contribuir, conforme relatado na PVT, com a hipótese de diminuição de custos na aplicação de agrotóxicos, mas destaca-se a necessidade de uma análise econômica para os investimentos nessas tecnologias. A seta retornando o processo ao início indica que o ciclo se renova com a necessidade de monitoramento constante na lavoura.

² Processo de análise e interpretação de grande volume de dados armazenados remotamente.

Figura 3 - Cadeia de big data e a sequência de atividades de PVT



Fonte: adaptado pelo autor, Chen, Mao e Liu (2014), Overby (2008).

Após abordar as teorias e conceitos de uso das tecnologias na prática, o estudo transcorre para a Teoria do Desenvolvimento Econômico, que apresenta subsídios e indicadores para que seja possível analisar e resolver um problema prático, destacando o empresário inovador, que é considerado o agente econômico utilizador de um novo produto ou prática mais eficientes com maior tecnologia, desencadeando nesse processo de inovação tecnológica uma mudança econômica de um determinado setor. Nesse contexto, o estudo trata da categoria de introdução no mercado de um novo produto inovador que ainda não é utilizado, melhorando a qualidade de um equipamento já existente, com o objetivo de alterar quantitativamente o consumo de um produto. Nesse aspecto, o tecnológico e o econômico confrontam-se intensamente, e o ponto de vista econômico concretiza a tomada de decisão de qual método possui maior coeficiente de viabilidade (SCHUMPETER, 1985). Nessa conjuntura, um modelo para realizar essa análise se torna imprescindível para mensurar os resultados, e pode ser realizado facilmente com um comparativo entre o investimento da inovação e o aspecto econômico, a fim de identificar os benefícios líquidos do sistema para a empresa (SCHUHBAUER; SUMAILA, 2016).

Todas essas tecnologias devem ser apoiadas nos aspectos econômicos do seu investimento, sendo possível, dessa forma, mensurar o tempo de retorno de um investimento, o *Payback* simples, utilizado para um investimento inovador que pode trazer economia para a empresa, apresentando como resultado o ponto de equilíbrio, ou seja, o momento em que o investimento tem o retorno total (ONSARIGO; ADAMTEY, 2020). Nesse sentido, a avaliação econômica da viabilidade do investimento deve contemplar também o Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR), que devem ter indicadores positivos acima da

expectativa de retorno do investimento para serem aceitos. Por fim, o indicador de Benefício-Custo (B/C) deve apresentar índice igual ou superior a 1 para ser viável economicamente (NEWMAN, 1988).

No conceito dos agronegócios, ocorre uma especialização da agricultura para a produção de commodities, utilizando novos dispositivos desenvolvidos para facilitar o trabalho no campo e diminuir o tempo de cada tarefa, como, por exemplo, o arado de aiveca, a combinada e o descaroçador de algodão, que se tornaram inovações significativas para impulsionar a agricultura ao futuro promissor, rumo ao progresso para uma agricultura mecanizada. A gestão da água e o controle de doenças e insetos se tornam relevantes no contexto dos agronegócios com o aumento do investimento em insumos agrícolas (DAVIS; GOLDBERG, 1957). Uma grande fazenda agroindustrial no contexto dos agronegócios contribui para perda da biodiversidade, poluição da água e do ar, uso acentuado de agrotóxicos e destruição ambiental generalizada. Contudo, suas operações são similares a uma fábrica, com maior facilidade de aplicar a PVT, incorporando facilmente tecnologia de agricultura digital e *big data* em suas operações de tomada de decisão (KIMBRELL, 2002). Nesse sentido, Schumpeter (1985) ressalta que um agricultor pode efetuar sua tomada de decisão baseada em intuição, por força da tradição ou com experiências herdadas, mas, por outro lado, o agricultor pode realizar os processos similar a uma grande indústria.

Ratificando a relevância profissional denota-se que os agronegócios tem contribuído consideravelmente para o PIB brasileiro, empregando novas tecnologias e um expressivo aumento de produtividade, corroborando a sua significativa colaboração econômica para o país na balança comercial agrícola. Esse modelo de negócio se tornou eficiente em seus processos produtivos com emprego de inovação e Agricultura de Precisão para garantir o gerenciamento de grandes áreas de terra com qualidade (VALENTE, 2008).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nessa seção, são apresentados o itinerário metodológico do estudo, a revisão da literatura, a coleta e análise dos dados. Segundo Klerkx, Jakku e Labarthe (2019), uma pesquisa de agricultura digital, *big data e IoT* deve ser feita de maneira interdisciplinar para que seja possível analisar os efeitos das inovações digitais no contexto que elas estão sendo utilizadas na prática, tornando-se uma excelente oportunidade de demonstrar os benefícios dessas tecnologias. Os autores destacam ainda a importância da adoção, uso e adequação de

tecnologias digitais na fazenda e das questões econômicas da gestão de sistemas de produção agrícola digitalizados.

3.1 REVISÃO SISTEMATIZADA

Em um primeiro momento, o planejamento ocorre com a busca de dados primários e uma análise exploratória sobre o tema, teorias e conceitos de agricultura 4.0 na aplicação localizada de agrotóxicos, para trazer ao pesquisador embasamento e desenvolver o conhecimento prévio sobre o conteúdo de estudo, auxiliando nos próximos passos da pesquisa. Os estudos encontrados durante o planejamento são utilizados como base para a definição das palavras-chave e das bases de dados *web* que serão pesquisadas na revisão da literatura.

A condução da pesquisa ocorre com a seleção de material bibliográfico relevante, com os objetivos, palavras-chave, questões a serem respondidas, problemática, escolha das bases de dados e critérios de inclusão e exclusão dos artigos. Na fase de extração de dados, ocorre a coleta de dados secundários de maneira mais assertiva utilizando a busca direcionada de informações para uma visão aprofundada.

3.1.1 Desenho de investigação

Para a revisão da literatura utilizou-se como critérios de busca definidos em artigos científicos das bases web *Scopus*, *Web Of Science*, CAPES e Repositório Científico de Acesso Aberto de Portugal (ACAAP), revisados por pares, utilizando para a pesquisa as seguintes palavras-chave: *WeedSeeker*, *Cropwise Protector*, *strider*, *Field-IQ*, *digital mapping*, *control sprayer boom*, *agrotag*, *weed it*, *variable-rate sprayer*, *variable rate treatments*, *sprayer overlap control*, *precision weeding*, *grid sprayer*.

3.1.2 Período do estudo

Para a revisão da literatura, a coleta de dados entre os anos de 2015 e 2021 pode expressar o potencial das tecnologias de monitoramento, tendo em vista que aplicativos sensores e atuadores de agricultura 4.0 sofrem constante atualização e modernização. Pesquisas anteriores ao ano de 2015 enfrentaram problemas de falta de conectividade e sistemas

analógicos de transferência de dados pela falta de portais conectados virtualmente com a frota de máquinas agrícolas.

3.1.3 Critérios de inclusão

O estudo é incluído na pesquisa quando apresentar a utilização de um dispositivo móvel com aplicativo de georreferenciamento para mapeamento agrícola e posteriormente ocorrer a pulverização da área de maneira automatizada e localizada com pulverizador de barras. Para a pesquisa serão aceitos artigos escritos nas línguas portuguesa, inglesa e espanhola, sem limitação de nacionalidade.

3.1.4 Critérios de exclusão

O estudo é excluído da pesquisa quando apresentar monitoramento por satélite, Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), *drone* ou *Enable Autonomous Vehicle (UAV)* e pulverização feita com drone, avião ou atomizador sem o sistema de corte de seção automática, destacado por Zagórda *et al.* (2017), que permite o tratamento químico de 0,5 m de barra, desligando e ligando a eletroválvula responsável por acionar cada ponta.

3.2 ESTUDO ECONÔMICO

Apesar de haver um modelo teórico específico para explicar o fenômeno da virtualização de processos, o modelo geral pode ser direcionado e adaptado para diversas áreas onde se utiliza a PVT, com possibilidade de investigar e explicar a ocorrência de um fato para diversos tipos de tecnologias (OVERBY, 2008). Nesse aspecto de virtualização de processos, no oeste dos EUA, Barroso, McCallum e Long (2017) identificaram a necessidade econômica de um sensor georreferenciado que identifica a clorofila das plantas daninhas para mapeamento da variabilidade espacial na lavoura de trigo no pós-colheita, para posterior controle químico com pulverização em taxa variável. Os resultados das aplicações de cada talhão foram apresentados em um histograma com as diferentes percentagens no uso de agrotóxicos com a utilização dessa tecnologia. Além dos resultados das aplicações, destaca-se no estudo econômico a necessidade de tratamento dos dados para identificar a viabilidade econômica para

responder o problema de pesquisa que aborda a redução de agrotóxicos e o retorno financeiro dos investimentos nas tecnologias de agricultura 4.0.

Do ponto de vista dos procedimentos do estudo econômico em relação ao custo operacional da aplicação de agrotóxicos, as avaliações foram feitas seguindo os critérios de Mialhe (1974):

- a) apesar de não existir uma forma padronizada de apresentar os dados, os gráficos são utilizados de maneira clara e sucinta;
- b) divisão do trabalho em etapas ou talhões;
- c) cada talhão deve apresentar os dados individualmente de cultura, tipo de aplicação, dosagem e custos;
- d) as aplicações de agrotóxicos devem ser feitas de maneira aleatória, ordenada e sequencial;

3.2.1 Desenho de investigação

A realização de um estudo econômico, na tentativa de identificar como é feita a aplicação de agrotóxicos com sensores e atuadores de agricultura 4.0, e a viabilidade do investimento realizado em dois sistemas descritos por Westwood *et al.* (2018) como visão de máquina para detecção de culturas, plantas daninhas e pragas, com incremento da PVT nos processos de pulverização das lavouras utilizando pulverizador autopropelido para aplicação localizada de agrotóxicos. Com base em evidências, para que seja possível o melhor entendimento do fenômeno e a ação da virtualização dos processos. Nesse contexto, o planejamento representa uma importante ferramenta para verificar antecipadamente a origem dos dados coletados, os detalhes operacionais e a coleta inescusável das informações necessárias, eliminando variáveis que não possuem significado (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

Mialhe (1974) destaca que os estudos nessa área devem abordar um dos principais problemas encontrados no campo: estudo orientado para minimizar perdas de produto, incorporando processos de manejo e controle operacional. O autor aborda ainda que, do ponto de vista didático, o estudo econômico abrange a economia operacional de uma determinada tarefa. Outro fator levado em consideração no estudo é a produtividade média das culturas de safra e segunda safra, levando-se em consideração apenas o uso da tecnologia de informação e

comunicação (TIC) para apresentação dos dados primários coletados. As demais variáveis que podem influenciar a produtividade das culturas não serão abordadas.

3.2.2 Área de estudo

As fazendas da companhia iniciaram no ano de 2019 um projeto focado em sustentabilidade, que possui como pilares o ESG (environmental, social and governance) e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), aplicando diversas ferramentas de gestão e controle das operações nas unidades do grupo espalhadas em diferentes estados brasileiros. Uma dessas ferramentas é a agricultura 4.0, que tem como meta levar a conectividade para todas as fazendas do grupo até o ano de 2022. Nesse contexto, a companhia aplica seus investimentos em equipamentos para redução no uso de agrotóxicos e de água, destacando que a produtividade está diretamente associada com a digitalização, conectividade e inovação no campo (SLC AGRÍCOLA S.A, 2019).

Dessa forma, como modelo de estudo econômico, a pesquisa foi conduzida com a coleta de dados em quatro fazendas de uma empresa no contexto dos agronegócios com área total de 59.089 hectares localizada em Batavo, município de Balsas no estado do Maranhão, região Nordeste do Brasil, na Latitude 08°33'17,078" S e Longitude 46°51'34,477" W, no bioma Cerrado, com clima tropical quente e úmido (Aw), com duas estações delimitadas: verão chuvoso (outubro a abril) e inverno seco (maio a setembro), temperatura média anual de 27,1° C, com precipitação média anual de 1175 mm e 243 m de altitude média (PASSOS *et al.*, 2017).

Como o estudo foi conduzido em uma região específica, com características bastante particulares como clima, solo, cultura, relevo e outros, para que seja possível generalizar os resultados para outras regiões, o fenômeno de variabilidade espacial de pragas e plantas daninhas deve obrigatoriamente ocorrer. Obviamente, essa variável possui alteração de acordo com a região e cultura, por esse motivo, a utilização dos resultados para outras regiões deve ser cuidadosamente analisada (SINGH, 2018; BARROSO; MCCALLUM; LONG, 2017; ALBARRACIN; TRIAPITSYN; VIRLA, 2017; PARTEL *et al.*, 2019; AIGNER *et al.*, 2017).

Para esse fenômeno Schumpeter (1985) destaca a ocorrência de mudanças espontâneas nos dados criando cenários econômicos positivos ou negativos entre custos e receitas. Outra limitação do estudo está relacionada ao comparativo entre os sistemas A e B, como foram aplicados em contextos diferentes e culturas diferentes, o comparativo entre os indicadores de

viabilidade financeira não pode ser considerado, os indicadores de viabilidade econômica devem ser analisados individualmente.

3.2.3 Período do estudo

O período de coleta dos dados primários foi determinado como a primeira e a segunda safra de 2019/2020, sendo possível assim efetuar o tratamento estatístico dos dados brutos. No caso dos dados sobre as médias de produtividade de soja, milho e algodão, um comparativo entre a safra de 2018/2019 sem o uso da tecnologia e 2019/2020 com o uso da tecnologia é suficiente para uma verificação das influências do fenômeno analisado. Obviamente aqui precisa-se destacar que a produtividade apenas complementa a pesquisa, pois as ferramentas de agricultura 4.0 isoladamente não possuem condições de explicar esse dado.

A semeadura da soja primeira safra foi realizada no mês de outubro de 2019 e a colheita no mês de fevereiro de 2020. A segunda safra de milho e algodão foi semeada no mês de fevereiro de 2020 e colhida em junho e julho de 2020, respectivamente. A primeira pulverização para a soja primeira safra foi feita no dia 01/11/2019 e a última aplicação no dia 01/02/2020. No caso da segunda safra de milho, a primeira aplicação foi feita no dia 18/02/2020 e a última no dia 01/04/2020 e para o algodão a primeira pulverização foi executada no dia 14/02/2020 e a última no dia 13/03/2020.

3.2.4 Origem dos dados

Quanto à coleta de dados, as fontes de evidências comprobatórias e empíricas foram coletadas no formato de variáveis numéricas contínuas provenientes diretamente de registros em arquivos extraídos do *software* de gerenciamento virtual e documentos de controle de aplicações fornecidos pela empresa. Nesse contexto, Mialhe (1974) destaca que o documento de controle operacional deve conter os seguintes dados:

- a) local: código do talhão onde foi realizado a pulverização;
- b) código da operação: número ou letra que codifica a operação ou ordem de serviço;
- c) implemento: tipo de implemento que realiza a operação;
- d) área: área trabalhada;
- e) data: dia, mês e ano da operação;
- f) operação: tipo de operação realizada;

No que se refere aos dois sistemas estudados, as aplicações localizadas de herbicidas com o sistema A para dessecação de plantas daninhas foram executadas nas fazendas na cultura do algodão segunda safra com o uso de um sensor que atua diretamente na abertura e fechamento da ponta de pulverização, um sensor de detecção de plantas daninhas para pulverização seletiva.

O sistema é instalado nas barras de pulverização e utiliza diodos de emissão de luz que produzem uma combinação de luzes infravermelha invisível e vermelha visível, que são projetadas em um alvo com aproximadamente 60 cm de altura da barra até o solo (KARTHIKEYAN *et al.*, 2020). O custo de instalação do sistema no pulverizador foi de R\$ 840.000,00 e, além desse valor, foram contabilizados os custos de manutenção do sistema durante toda a safra.

Outra maneira de coleta de dados das aplicações pós semeadura nas culturas de soja primeira safra e algodão e milho segunda safra foi possível de ser feita utilizando a ferramenta de monitoramento das lavouras com processos virtuais (sistema B), um dispositivo móvel com georreferenciamento. O aplicativo de monitoramento móvel produz mapas georreferenciados ou mapas de calor, também conhecido como zonas de manejo das plantas daninhas e pragas, na execução do conceito *integrated pest management (IPM)* para a tomada de decisão.

Uma amostra foi feita para cada 7 hectares e os dados foram enviados via *internet* para a central virtual de análise de dados e posteriormente geraram um arquivo no formato *shapefile* para uso no pulverizador autopropelido com corte de seções automaticamente, fazendo a aplicação somente nos locais predeterminados. O arquivo *shapefile* é um formato de armazenamento de dados com georreferenciamento e atributos. O custo de utilização da ferramenta é cobrado pela empresa fornecedora anualmente, com valor de R\$ 20,00 por hectare.

A coleta de dados das pulverizações do sistema A de detecção de plantas daninha para pulverização seletiva aborda 13 repetições aleatórias onde o sistema foi aplicado em 13 diferentes talhões para o controle de plantas daninha em pré-semeadura e nos estágios iniciais de desenvolvimento da cultura do algodão pós-emergência. No caso do sensor B, sistema de monitoramento da lavoura por dispositivo móvel com georreferenciamento, foi realizada com um número de 255 repetições aleatórias separadas em 76 talhões pulverizados durante todo o ciclo das culturas, nos estágios de pós-emergência. Foram feitas 255 pulverizações de diferentes tipos de agrotóxicos para diferentes tipos de pragas e plantas daninhas. Para mensuração da viabilidade econômica foi utilizado os dados de uma safra e estimado o fluxo de caixa para mais 4 safras, totalizando 5 anos de análise de fluxo de caixa.

3.2.5 Natureza da pesquisa

A pesquisa exploratória foi realizada com coleta de dados de pulverizações com o monitoramento utilizando georreferenciamento, demonstrando ser um estudo fidedigno para uma pesquisa de agricultura 4.0 em que se utiliza *software* para o gerenciamento de dados de maneira virtual (OYINBO *et al.*, 2019). Além disso, a investigação de campo foi retirada da área contemplando dados reais, especialmente por se tratar de grande área agrícola, com vantagens para a pesquisa (DIEK *et al.*, 2019).

Os pulverizadores das fazendas são do tipo autopropelido, com sistema de corte de seção que controla a eletroválvula individualmente em cada ponta de pulverização (corte bico a bico) (ZAGÓRDA *et al.*, 2017). A empresa possui nove pulverizadores com essa tecnologia de pulverização localizada aplicada nas lavouras de soja primeira safra, algodão e milho de segunda safra, alvos da investigação.

Na pesquisa quantitativa, com um *approach* econômico, no intuito de verificar os custos das duas ferramentas em relação à economia no uso de agrotóxicos aplicados em uma safra, mensurado estatisticamente em cada talhão a área aplicada, a área que foi economizada a aplicação e a quantidade de água economizada na pulverização, analisando a relação entre as variáveis (CRESWELL J.W.; CRESWELL J.D., 2021). Em segundo plano, ocorre a apresentação das médias de produtividade das culturas, pois trata-se de um dado que depende de diversos fatores, apesar de apresentar correlação com a aplicação de agrotóxicos para pragas e plantas daninhas, existem outros fatores com maior correlação que não serão abordados no estudo, como, por exemplo, clima, solo, adubação, dentre outros.

3.2.6 Análise dos dados

No que tange os custos produtivos dos agrotóxicos, Schumpeter (1985) destaca que os custos são os bens de consumo destinados para produção. Dessa forma, todo modelo de produção compreende escolhas que interferem nos custos, e é preciso considerar outras formas de emprego dos bens de produção. Nesse contexto, os custos interferem diretamente os valores líquidos de produção, por tanto, deve-se levar em consideração as diferenças nos valores de custos dos diferentes métodos de produção, ou seja, o excedente de custos caso fosse produzido de outra forma.

Os dados das aplicações de agrotóxicos foram inseridos em planilhas de *Excel*, com a possibilidade de quantificar para cada cultura anual semeada na propriedade a área aplicada, a área sem aplicação, o custo das aplicações, o tipo de aplicação (herbicida, inseticida e acaricida) e os litros de agrotóxicos que deixaram de ser aplicados, comparando os dois sistemas, A e B, utilizados pela empresa. Outro ponto que foi levado em consideração no que tange a questão ambiental é a economia de água para as áreas que não foram aplicados os agrotóxicos, considerando o volume de calda determinado para todas as pulverizações de 50 litros por hectare. Na Equação 1, observa-se a análise dos dados primários com o objetivo de gerar a base de resultados entre as culturas e entre as duas tecnologias estudadas, contabilizando as diferenças entre área aplicada total, área onde foi economizado a aplicação e a dosagem dos agrotóxicos utilizados por hectare.

$$EA = (AT - AA)L \quad (1)$$

Onde:

EA: economia no uso de agrotóxicos;

AT: área total do talhão em hectares;

AA: área pulverizada em hectares;

L: dosagem de litros por hectare

Para o cálculo de viabilidade econômica, para cada aplicação, foi quantificado a economia dos custos nas aplicações de agrotóxicos utilizando a Equação 2, contabilizando as diferenças entre área aplicada total, área onde foi economizado a aplicação e o custo por hectare.

$$EF = (AT - AA)C \quad (2)$$

Onde:

EF: economia financeira;

AT: área total do talhão em hectares;

AA: área pulverizada em hectares;

C: custo por hectare;

No que tange a economia de água, na Equação 3, o cálculo para cada aplicação foi realizado contabilizando as diferenças entre área aplicada total, área onde foi economizado a aplicação e o total de calda utilizada por hectare.

$$EAg = (AT - AA)50 \quad (3)$$

Onde:

EAg: economia de água;

AT: área total do talhão em hectares;

AA: área pulverizada em hectares;

50: calda por hectare;

Na Tabela 1, pode-se observar a média de área das amostras estudadas de 302,74 ha, totalizando 268 amostras e uma área total tratada de 81.134,59 ha, pulverizada em taxa variável e de maneira localizada, após o monitoramento das pragas e plantas daninhas.

Tabela 1 - Área total dos talhões pulverizados

<i>Total ha</i>	
Média	302,7410075
Erro padrão	6,460147483
Mediana	308,01
Modo	443,45
Desvio padrão	105,7571722
Variância da amostra	11184,57948
Curtose	1,163555171
Assimetria	0,516645408
Intervalo	603,1
Mínimo	31,9
Máximo	635
Soma	81134,59
Contagem	268

Fonte: produção própria.

No *Payback* simples (Equação 4), divide-se o custo do equipamento pela economia no uso de agrotóxicos na safra 2019/2020, para verificar em quanto tempo ocorre o retorno do investimento. Nesse caso, o *payback* mostra o tempo de retorno do investimento, ou seja, o momento em que a economia de agrotóxico se torna igual ao valor do investimento na instalação do sistema no pulverizador (BUXTON; HANNEY, 1996). Para o sistema A, como o investimento é feito uma única vez, o *payback* é considerado aceito se apresentar resultado de retorno menor que 5 anos. No caso do sistema B, como os pagamentos são feitos anualmente

para a empresa fornecedora da tecnologia, o *payback* pode ser aceito com resultado menor que um ano.

$$Payback = \frac{CI}{EA} \quad (4)$$

Onde:

EA : economia de agrotóxicos;

CI : capital investido;

A importância da pesquisa no que tange a viabilidade econômica dos investimentos transcorre também nas análises de Valor Presente Líquido (VPL) (Equação 5) e Taxa Interna de Retorno (TIR) (Equação 6), calculados através de uma projeção de fluxo de caixa, considerando como período inicial o valor do investimento negativo, servindo como base para cálculo de VPL e TIR, considerando como expectativa de ganho do investido a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 6% ao ano. Nesse sentido, considera-se os investimentos oriundos de capital próprio rentáveis, quando os indicadores ficarem positivos e acima da taxa de retorno estipulada pela empresa (GOMES, 2013; VORPAGEL, 2017).

$$VPL = -CF_0 + \sum \frac{CF_j}{(1+TMA)^j} > 0 \quad (5)$$

Onde:

CF₀ : valor do investimento;

CF_j : valores do fluxo de caixa;

TMA: taxa mínima de atratividade;

$$\text{Taxa Interna de Retorno (TIR) } VPL = -CF_0 + \sum \frac{CF_j}{(1+TIR)^j} = 0 \quad (6)$$

Onde:

CF₀ : valor do investimento;

CF_j : valores do fluxo de caixa;

TIR: taxa interna de retorno;

No caso da análise Benefício-Custo (B/C) o indicador permite identificar os ganhos por unidade de capital investido, calculando através da razão da soma do fluxo de receitas e a soma

dos custos, atualizados a uma taxa de juros adequada (neste caso, 6% ao ano), conforme pode ser observado na Equação 7.

$$\text{Benefício – Custo (B/C)} = \frac{VR}{VC} \quad (7)$$

Onde:

B/C : índice benefício-custo;

VR: valor presente do fluxo de receitas;

VC: valor presente do fluxo de custos;

Para cada cultura do estudo apresenta-se os gráficos e a estatística descritiva dos dados coletados no formato de artigos integrados na pesquisa. Os gráficos e a estatística descritiva geral de todas as culturas apresentam-se no capítulo geral de resultados e discussão, exibindo os seguintes resultados de cada cultura: média, mediana, desvio padrão, variância, soma e intervalo de confiança. Na conclusão geral da pesquisa de todas as culturas e sistemas de agricultura 4.0 utilizados, apresenta-se os resultados estatísticos estimando a redução do uso de agrotóxicos das tecnologias e a viabilidade econômica do investimento.

Schumpeter (1985) destaca que cada período produz indicadores para uso no próximo período, e assim sucessivamente. Nesse contexto, a estrutura de custos e receitas utilizada para calcular a viabilidade financeira foi a relação entre o custo dos investimentos financeiros aplicados nas tecnologias e a receita proveniente da diminuição de dispêndio financeiro resultante da diminuição de área tratada e conseqüentemente redução no uso de agrotóxicos durante todo o período da safra 2019/2020. Os demais custos operacionais não foram considerados no estudo, pois no processo de aplicação localizada não ocorre alteração no que tange a operação do pulverizador.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção, apresenta-se o artigo englobando todas as culturas, soja, milho e algodão, destacando as duas tecnologias estudadas, sistemas A e B, e os resultados e discussão gerais do estudo.

Agricultura 4.0 na conectividade para aplicação localizada de agrotóxicos: análise econômica

Agriculture 4.0 in connectivity for localized application of pesticides: economic analysis

Darlei Anziliero^I, João Pedro Velho^{II}, Nilson Luiz Costa^{III}, Samir Paulo Jasper^{IV}

**Darlei Anziliero, Me, UFSM
João Pedro Velho, Dr., UFSM
Nilson Luiz Costa, Dr., UFSM
Samir Paulo Jasper, Dr. UFPR**

RESUMO

A agricultura 4.0 afetou a forma de monitorar a lavoura utilizando conectividade, software e hardware para o gerenciamento e tomada de decisão. O conceito de agricultura 4.0 é usado na coleta, transferência, transformação, análise e aplicação dos dados no campo. O uso de agrotóxicos tem aumentado globalmente nos últimos anos causando aumento nos custos para o agricultor, nesse cenário, o objetivo do estudo foi fazer uma análise exploratória econômica quantitativa para utilização de tecnologia de monitoramento de pragas e plantas daninhas na pulverização de agrotóxicos de maneira localizada na safra 2019/2020, analisando a viabilidade econômica através dos cálculos de *payback*, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Benefício-Custo (B/C). Os dados quantitativos foram coletados de quatro fazendas e tratados em planilha de *Excel* para mensurar a estatística descritiva de redução na área tratada, economia no uso de agrotóxicos e viabilidade financeira do investimento na cultura da soja, milho e algodão. O estudo oferece benefícios no entendimento de uma nova tecnologia aplicada na prática com a finalidade de quantificar o seu desempenho econômico. As hipóteses do estudo foram corroboradas demonstrando economia no uso de agrotóxicos onde as áreas apresentaram variabilidade espacial na distribuição de pragas e plantas daninhas, requisito essencial para a aplicação localizada de agrotóxicos, com viabilidade financeira dos investimentos.

Palavras-chave: monitoramento; pulverização; agricultura.

ABSTRACT

Agriculture 4.0 has affected the way to monitor the crop using connectivity, software and hardware for management and decision making. The concept of digital agriculture is used in the collection, transfer, transformation, analysis, and application of data in the field. The use of pesticides has increased globally in recent years with increasing costs for the farmer related to pesticides. The objective of the study was to carry out a quantitative economic exploratory analysis for the use of pest and weed monitoring technology in the spraying of pesticides in a localized way in the 2019/2020 harvest, analyzing the economic viability through payback calculations, Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Benefit-Cost (B/C). Quantitative data were collected from four farms in the context of agribusiness and processed in an Excel spreadsheet to measure the descriptive statistics of reduction in the treated area, savings in pesticides and financial viability of the investment in soybean cultivation. The study

offers benefits in understanding a new technology applied in practice to quantify its economic performance. The study hypotheses were corroborated, demonstrating the economy of pesticides where the areas presented spatial variability in the distribution of pests and weeds, an essential requirement for the localized application of pesticides, with economic viability of the investment.

Keywords: Sustainability. Big data. Internet of things.

INTRODUÇÃO

Agricultura 4.0 caracteriza-se pelo uso da conectividade para automação e troca de dados nas fazendas agrícolas, utilizando máquinas e implementos agrícolas conectados na *internet*. Esse conceito se destaca pela evolução da agricultura 3.0, que utiliza como principais atributos Agricultura de Precisão, gerenciamento de dados e telemetria, passando para o conceito de agricultura 4.0, incrementando os conceitos de *internet* das coisas (IoT), *big data* e agricultura digital (BONGOMIN *et al.*, 2020).

A revolução digital afetou todos os setores da economia e na produção de alimento isso não é diferente. O monitoramento da plantação com *hardware e software* já é uma realidade em muitas fazendas inteligentes ou *smart farms*, usando dados em tempo real para interpretar a variabilidade espacial das culturas como auxílio na tomada de decisão mais eficiente e sustentável na aplicação de agrotóxicos (REGAN, 2019). Esse monitoramento com utilização de tecnologia é importante para garantir agilidade na coleta e aplicação dos dados na pulverização dos agrotóxicos de maneira seletiva, quando ocorrer a distribuição de pragas e plantas daninhas de maneira heterogênea.

Os estudos nessa área da ciência demonstram a coleta de dados utilizando diferentes tecnologias digitais, com potencial de se tornar estratégicos para os agricultores (WOLFERT *et al.*, 2017). Embora alguns entendam como uma obrigação, com essa tecnologia pode-se transformar o processo produtivo com emprego do conhecimento digital nas propriedades agrícolas (RIJSWIJK *et al.*, 2019).

Com esse ganho de escala, a tecnologia digital está incrementando o monitoramento das áreas agrícolas, com a necessidade de aumentar a eficiência dos sistemas produtivos, através de uma análise detalhada de cada metro quadrado da lavoura. Essa precisão de monitoramento deve ser mantida independentemente da escala da produção, pois a aplicação de agrotóxicos de forma desordenada pode causar aumento nos custos de produção e problemas ambientais (KARTAL *et al.*, 2020).

Apresenta-se como lacunas sobre o tema a falta dessa abordagem de pesquisa manifestada na literatura, dessa forma, o estudo de Barroso, McCallum e Long (2017) que após executarem o mapeamento georreferenciado da lavoura destacaram a necessidade de efetuar a pulverização em taxa variável.

Além disso, na indústria 4.0, provedora dessa inovação, já se fala no desenvolvimento da indústria 5.0, por outro lado, na agricultura, essa inovação se limita a algumas aplicações, por isso, esse estudo trata da aplicação em uma grande companhia agrícola. Pequenos e médios agricultores enfrentam desafios nos investimentos em agricultura 4.0 (ZAMBON *et al.*, 2019).

Segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Produtos Para Defesa Vegetal (SINDIVEG), os gastos do produtor rural brasileiro com agrotóxicos no primeiro semestre de 2021 cresceram 13% em relação ao mesmo período de 2020, passando de R\$ 25,188 bilhões para R\$ 28,462 bilhões (SINDIVEG, 2021).

Outro ponto importante é o aumento no uso mundial de agrotóxicos nos últimos anos, chegando a 5,9 milhões de toneladas e registrando um mercado global de US\$ 36 bilhões em 2018, contudo, destaca-se a grande discrepância no uso de agrotóxicos por hectare entre os principais países produtores de alimentos no mundo, podendo variar de 2,5 kg/ha até 13 kg/ha (FAOSTAT, 2021). Nesse sentido, o uso de plataformas on-line pode contribuir na tomada de decisão (FOUNTAS *et al.*, 2015).

Diante do cenário apresentado são enumeradas as hipóteses que buscam explicar ou determinar a possibilidade de solução do problema apresentado com o incremento da agricultura digital no monitoramento da lavoura:

- a) a distribuição das plantas daninhas e pragas nas áreas agrícolas são desuniformes, e causam dificuldade no manejo e prejuízos econômicos quando se utiliza o procedimento de pulverização convencional em área total;
- b) o mapeamento e aplicação localizada de agrotóxicos pode levar a diminuição no uso e nos custos.

O objetivo do estudo foi analisar o aspecto econômico quando utilizada a tecnologia de agricultura 4.0 no monitoramento da lavoura de soja primeira safra, milho e algodão segunda safra para pulverização de agrotóxicos de maneira localizada. Para alcançar os objetivos do estudo, serão analisados dados primários gerados pelo monitoramento georreferenciado e posterior pulverização de plantas daninhas e pragas, avaliando o resultado quantitativo e a viabilidade econômica.

PERSPECTIVA TEÓRICA

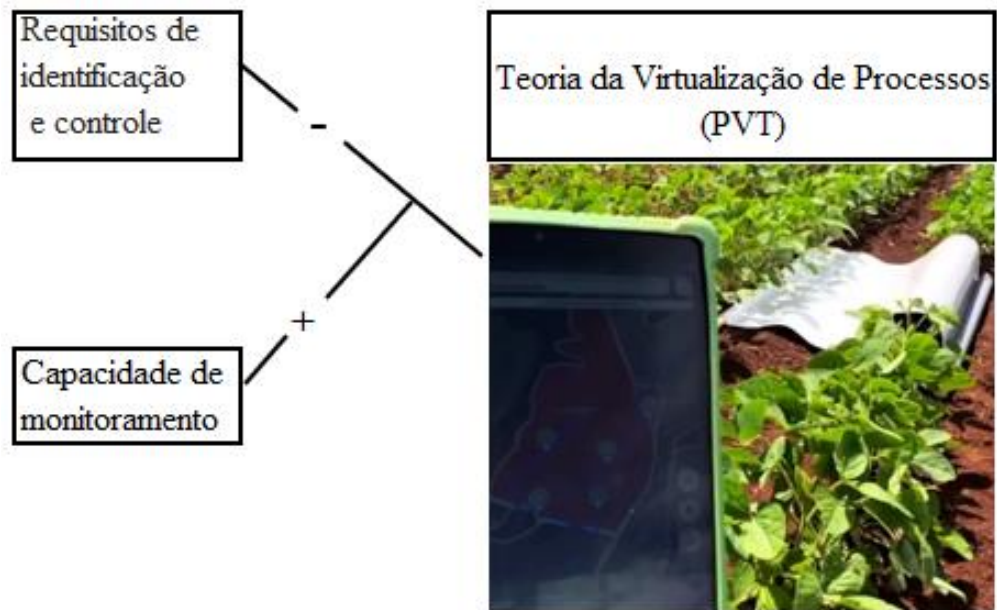
Na formulação de uma perspectiva teórica para o estudo de agricultura 4.0, A teoria utilizada foi a Teoria da Virtualização de Processos (PVT), desenvolvida por Overby (2008), foi utilizada para estudar a virtualização dos processos em uma sociedade cada vez mais virtual. Nessa teoria, ocorre a mudança de processos físicos para processos virtuais, como é o caso da tecnologia de agricultura 4.0, onde os objetos enviam dados virtualmente pela *internet*. Esse fenômeno vem acontecendo em diversos contextos e nos agronegócios isso não é diferente, com a chegada de aplicativos e máquinas conectadas na *internet* no campo, ganhando alcance e capacidade de monitoramento. O autor afirma ainda que na virtualização dos processos ocorre a melhoria e sofisticação nos equipamentos de tecnologia da informação, em particular o acesso à *internet*.

Essa teoria foi estudada por Thomas, Costa e Oliveira (2015), que destacam a influência na variável dependente, economia no uso de agrotóxicos, podendo ser explicada pela variável independente: processos de monitoramento da lavoura de maneira virtual com a capacidade de executar o trabalho com controle e sincronismo das operações. Nesse contexto, o PVT vem sendo aplicado em diversos segmentos onde ocorre a virtualização dos processos e é indicado para estudos diversos onde transcorre a transição entre o processo físico para o eletrônico.

A PVT visa explicar as hipóteses de benefícios da migração dos processos físicos para o ambiente virtual, principalmente na área da tecnologia de informação, podendo ser aplicado em estudos empíricos, a fim de comprovar os resultados na prática, aprofundando os estudos de comprovação dos resultados e melhorando o entendimento da teoria (OVERBY; KONSZYNSKI, 2010).

Na Figura 1, para clareza expositiva da teoria, o autor evidencia a possibilidade de aplicar a teoria em estudo empírico. A capacidade de monitoramento refere-se ao potencial da tecnologia de informação de enviar dados fidedignos do mundo real. Quanto maior a capacidade de monitoramento, melhor será o desempenho da virtualização, diminuindo a necessidade de participantes únicos.

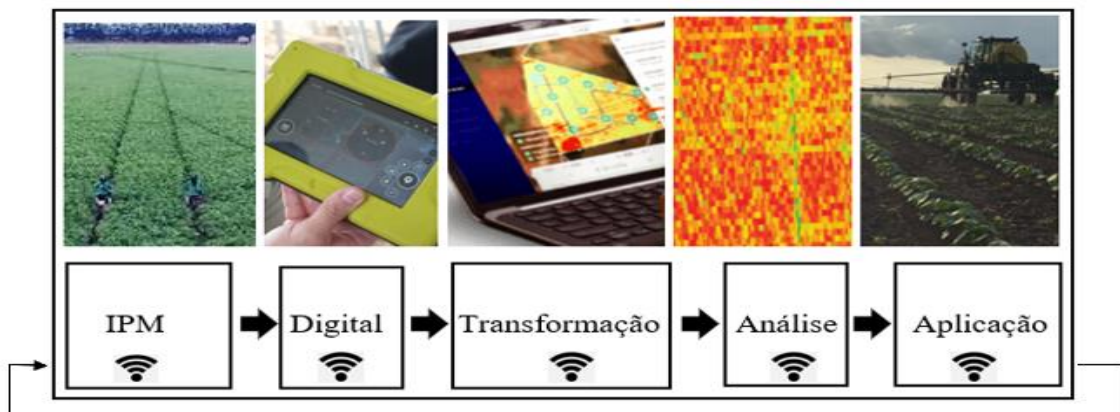
Figura 1 – Teoria da Virtualização de Processos (PVT)



Fonte: adaptado de Overby (2008).

Na Figura 2, verifica-se uma sequência de atividades na cadeia de agricultura digital que pode contribuir, conforme relatado pela teoria PVT desse estudo, com a hipótese de diminuição de custos na aplicação de agrotóxicos. Segundo Zaza *et al.* (2018), o avanço da tecnologia permite a migração do processo físico de monitoramento para o processo digital, em plataformas de monitoramento analítico On-Line.

Figura 2 - Cadeia de agricultura digital e a sequência de atividades de (PVT)



Fonte: adaptado pelo autor, Chen, Mao e Liu (2014) e Overby (2008).

Todas essas tecnologias devem ser apoiadas nos aspectos econômicos do seu investimento, sendo possível, dessa forma, mensurar o tempo de retorno de um investimento

utilizando o *Payback* simples, analisando um investimento inovador que pode trazer economia para a empresa, apresentando como resultado o ponto de equilíbrio, ou seja, o momento em que o investimento tem o retorno total (ONSARIGO; ADAMTEY, 2020). Nesse sentido, a avaliação econômica da viabilidade do investimento deve contemplar também o Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR), que devem ter indicadores positivos acima da expectativa de retorno do investimento para serem aceitos. Por fim, o indicador de benefício-custo (B/C) deve apresentar índice igual ou superior a 1 para ser viável economicamente (NEWMAN, 1988).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A realização de um estudo econômico, na tentativa de identificar viabilidade no investimento em sensores e atuadores de agricultura 4.0, utilizando sistemas descritos por Westwood *et al.* (2018) como visão de máquina para detecção de culturas, plantas daninhas e pragas, ou seja, o incremento da automação no pulverizador autopropelido para aplicação localizada. Com base em evidências, para que seja possível o melhor entendimento do fenômeno.

Área de estudo

Como modelo de estudo econômico, a pesquisa foi conduzida com a coleta de dados em quatro fazendas de uma empresa no contexto dos agronegócios com área total de 59.089 hectares localizada em Batavo, município de Balsas no estado do Maranhão, região Nordeste do Brasil, na *Latitude 08°33'17,078" S e Longitude 46°51'34,477" W*, no bioma Cerrado, com clima tropical quente e úmido (Aw), com estação seca, temperatura média anual de 27,1° C, com precipitação média anual de 1175 mm e 243 m de altitude média (PASSOS *et al.*, 2017).

Como o estudo foi conduzido em uma região específica, para que seja possível generalizar os resultados para outras regiões, o fenômeno de variabilidade espacial de pragas e plantas daninhas deve obrigatoriamente ocorrer (SINGH, 2018; BARROSO; MCCALLUM; LONG, 2017; ALBARRACIN; TRIAPITSYN; VIRLA, 2017; PARTEL *et al.*, 2019).

Origem dos dados

Quanto à coleta de dados, as fontes de evidências comprobatórias e empíricas foram coletadas no formato de variáveis numéricas contínuas provenientes diretamente de registros em arquivos extraídos do *software* de gerenciamento e documentos de controle de aplicações fornecidos pela empresa.

No que se refere aos dois sistemas estudados, as aplicações localizadas de herbicidas com o sistema A para dessecação de plantas daninhas foram executadas nas fazendas na cultura do algodão segunda safra com o uso de um sensor que atua diretamente na abertura e fechamento da ponta de pulverização, um sensor de detecção de plantas daninhas para pulverização seletiva. O sistema é instalado nas barras de pulverização e utiliza diodos de emissão de luz que produzem uma combinação de luzes infravermelha invisível e vermelha visível, que são projetadas em um alvo com aproximadamente 60 cm de altura da barra até o solo (KARTHIKEYAN *et al.*, 2020). O custo de instalação do sistema no pulverizador foi de R\$ 840.000,00 e, além desse valor, foram contabilizados os custos de manutenção do sistema durante toda a safra no valor de R\$ 60.000,00.

No caso do Sistema B, a coleta de dados das aplicações foi feita utilizando aplicativo de monitoramento móvel que produz mapas georreferenciados ou mapas de calor, também conhecido como zonas de manejo das plantas daninhas e pragas, na execução do conceito *integrated pest management (IPM)* para a tomada de decisão. Os dados são enviados via *internet* para a central virtual de análise de dados e posteriormente geram um arquivo no formato *shapefile* para uso no pulverizador autopropelido com corte de seções automaticamente, fazendo a aplicação somente nos locais predeterminados. O arquivo *shapefile* é um formato de armazenamento de dados com georreferenciamento e atributos. O custo de utilização da ferramenta é cobrado pela empresa fornecedora por hectare anualmente, com valor de R\$ 20,00 por hectare.

Natureza da pesquisa

A pesquisa exploratória foi realizada com coleta de dados de pulverizações com o monitoramento utilizando georreferenciamento, demonstrando ser um estudo fidedigno para uma pesquisa de agricultura digital em que se utiliza *software* para o gerenciamento de dados (OYINBO *et al.*, 2019). Além disso, a investigação de campo foi retirada da área contemplando dados reais, especialmente por se tratar de grande área agrícola, com vantagens para a pesquisa (DIEK *et al.*, 2019).

Na pesquisa quantitativa, com um *approach* econômico, no intuito de verificar a economia no uso de agrotóxicos aplicados em uma safra, mensurado estatisticamente em cada talhão a área aplicada e a área que foi economizada a aplicação.

Análise dos dados

Os dados das aplicações de agrotóxicos foram inseridos em planilhas de *Excel*, com a possibilidade de quantificar a área aplicada, a área sem aplicação, o custo das aplicações, o tipo

de aplicação (herbicida, inseticida e acaricida) e os litros de agrotóxicos que deixaram de ser aplicados.

Na Tabela 1, pode-se observar a média de área das amostras estudadas de 302,74 ha, totalizando 268 amostras e uma área total tratada de 81.134,59 ha, pulverizada em taxa variável e de maneira localizada, após o monitoramento das pragas e plantas daninhas.

Tabela 2 - Área total dos talhões pulverizados

<i>Total ha</i>	
Média	302,7410075
Erro padrão	6,460147483
Mediana	308,01
Modo	443,45
Desvio padrão	105,7571722
Variância da amostra	11184,57948
Curtose	1,163555171
Assimetria	0,516645408
Intervalo	603,1
Mínimo	31,9
Máximo	635
Soma	81134,59
Contagem	268

Fonte: produção própria.

No que tange os custos produtivos dos agrotóxicos, Schumpeter (1985) destaca que os custos são os bens de consumo destinados para produção. Dessa forma, todo modelo de produção compreende escolhas que interferem nos custos, e é preciso considerar outras formas de emprego dos bens de produção. Nesse contexto, os custos interferem diretamente os valores líquidos de produção, por tanto, deve-se levar em consideração as diferenças nos valores de custos dos diferentes métodos de produção, ou seja, o excedente de custos caso fosse produzido de outra forma.

Os dados das aplicações de agrotóxicos foram inseridos em planilhas de *Excel*, com a possibilidade de quantificar para cada cultura anual semeada na propriedade a área aplicada, a área sem aplicação, o custo das aplicações, o tipo de aplicação (herbicida, inseticida e acaricida) e os litros de agrotóxicos que deixaram de ser aplicados, comparando os dois sistemas, A e B, utilizados pela empresa.

Na Equação 1, observa-se a análise dos dados primários com o objetivo de gerar a base de resultados entre as culturas e entre as duas tecnologias estudadas, contabilizando as diferenças

entre área aplicada total, área onde foi economizado a aplicação e a dosagem dos agrotóxicos utilizados por hectare.

$$EA = (AT - AA)L \quad (1)$$

Onde:

EA: economia no uso de agrotóxicos;

AT: área total do talhão em hectares;

AA: área pulverizada em hectares;

L: dosagem de litros por hectare

Para o cálculo de viabilidade econômica, para cada aplicação, foi quantificado a economia dos custos nas aplicações de agrotóxicos utilizando a Equação 2, contabilizando as diferenças entre área aplicada total, área onde foi economizado a aplicação e o custo por hectare.

$$EF = (AT - AA)C \quad (2)$$

Onde:

EF: economia financeira;

AT: área total do talhão em hectares;

AA: área pulverizada em hectares;

C: custo por hectare;

No *Payback* simples (Equação 4), divide-se o custo do equipamento pela economia no uso de agrotóxicos na safra 2019/2020, para verificar em quanto tempo ocorre o retorno do investimento. Nesse caso, o *payback* mostra o tempo de retorno do investimento, ou seja, o momento em que a economia de agrotóxico se torna igual ao valor do investimento na instalação do sistema no pulverizador (BUXTON; HANNEY, 1996). Para o sistema A, como o investimento é feito uma única vez, o *payback* é considerado aceito se apresentar resultado de retorno menor que 5 anos. No caso do sistema B, como os pagamentos são feitos anualmente para a empresa fornecedora da tecnologia, o *payback* pode ser aceito com resultado menor que um ano.

$$Payback = \frac{CI}{EA} \quad (4)$$

Onde:

EA : economia de agrotóxicos;

CI : capital investido;

A importância da pesquisa no que tange a viabilidade econômica dos investimentos transcorre também nas análises de Valor Presente Líquido (VPL) (Equação 5) e Taxa Interna de Retorno (TIR) (Equação 6), calculados através de uma projeção de fluxo de caixa,

considerando como período inicial o valor do investimento negativo, servindo como base para cálculo de VPL e TIR, considerando como expectativa de ganho do investido a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 6% ao ano. Nesse sentido, considera-se os investimentos oriundos de capital próprio rentáveis, quando os indicadores ficarem positivos e acima da taxa de retorno estipulada pela empresa (GOMES, 2013; VORPAGEL, 2017).

$$VPL = -CF_0 + \sum \frac{CF_j}{(1+TMA)^j} > 0 \quad (5)$$

Onde:

CF_0 : valor do investimento;

CF_j : valores do fluxo de caixa;

TMA : taxa mínima de atratividade;

$$\text{Taxa Interna de Retorno (TIR) } VPL = -CF_0 + \sum \frac{CF_j}{(1+TIR)^j} = 0 \quad (6)$$

Onde:

CF_0 : valor do investimento;

CF_j : valores do fluxo de caixa;

TIR : taxa interna de retorno;

No caso da análise Benefício-Custo (B/C) o indicador permite identificar os ganhos por unidade de capital investido, calculando através da razão da soma do fluxo de receitas e a soma dos custos, atualizados a uma taxa de juros adequada (neste caso, 6% ao ano), conforme pode ser observado na Equação 7.

$$\text{Benefício – Custo (B/C)} = \frac{VR}{VC} \quad (7)$$

Onde:

B/C : índice benefício-custo;

VR : valor presente do fluxo de receitas;

VC : valor presente do fluxo de custos;

Nesse contexto, a estrutura de custos e receitas utilizada para calcular a viabilidade financeira foi a relação entre o custo do investimento financeiro aplicado na tecnologia e a receita proveniente da diminuição de dispêndio financeiro resultante da diminuição de área tratada e conseqüentemente redução no uso de agrotóxicos. Os demais custos operacionais não foram considerados no estudo, pois no processo de aplicação localizada não ocorre alteração no que tange a operação do pulverizador.

ECONOMIA NO USO DE AGROTÓXICOS

As culturas de soja, milho e algodão utilizam 55%, 15% e 9% do total de agrotóxicos consumidos no Brasil respectivamente, cerca de 1,05 milhão de tonelada de produtos, pulverizados em uma área tratada de 1,66 bilhão de hectare no ano de 2020 (cálculo feito multiplicando a área tratada das culturas com o número de aplicações e com o número de produtos diferentes aplicados), aumento de 6,9% em relação ao ano 2019 (SINDIVEG, 2021).

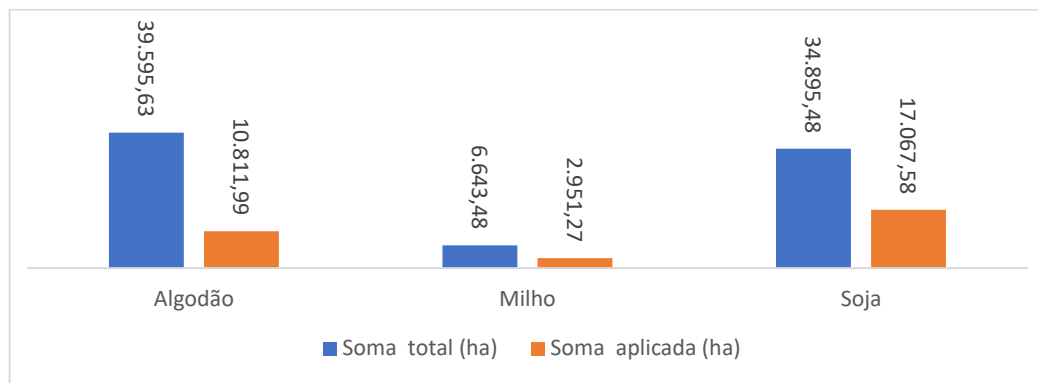
Por outro lado, a aplicação de agrotóxicos traz benefícios na manutenção dos níveis de produtividade de grãos e fibras, contudo, também enfrenta desafios do ponto de vista da sustentabilidade, levando em consideração a pulverização de maneira tradicional em área total, causando prejuízos econômicos. Nesse contexto, quando se aplica o mapeamento na área agrícola, os dados são disponibilizados para uso na pulverização da lavoura de maneira localizada, utilizando sistema de corte de seção presente no pulverizador. Dessa forma, sistemas inteligentes para aplicações localizadas podem reduzir consideravelmente os custos, classificando as plantas daninhas e fazendo a aplicação somente onde for necessário (LIU; ABBAS; NOOR, 2021). Nesse contexto, Laursen *et al.* (2016) destacam que o método de mapeamento das plantas daninhas para pulverização localizada (*grid sprayer*) pode reduzir o uso de herbicida em 65% sem perdas de produtividade das culturas.

Esse incremento de tecnologia no intuito de mitigar a aplicação de agrotóxicos na agricultura é benéfico para os trabalhadores, pois os casos de intoxicação aguda por agrotóxicos (APP) segundo a World Health Organization (WHO) são responsáveis por significativa morbidade e mortalidade em todo o mundo. Países em desenvolvimento são especialmente mais suscetíveis devido à regulamentação deficiente, falta de sistemas de vigilância, menos fiscalização, falta de treinamento e falta de acesso a sistemas de informação para auxílio na tomada de decisão no momento da pulverização (THUNDIYIL *et al.*, 2008).

Além dos benefícios sociais, Meena *et al.* (2020) destacam benefícios da redução na aplicação de agrotóxicos para a saúde do solo, pois os produtos aplicados em abundância por longos períodos e algumas vezes indiscriminadamente afetam a biodiversidade do solo, trazendo prejuízos para a alimentação humana e animal no longo prazo, com influência direta na sustentabilidade da agricultura. Os autores salientam ainda que a mudança na diversidade e composição da comunidade microbiana benéfica pode ser prejudicial ao crescimento e desenvolvimento da planta, tanto pela redução da disponibilidade de nutrientes quanto pelo aumento da ocorrência de doenças.

No Gráfico 1, apresenta-se o resultado de diminuição de área tratada para as três culturas, soja primeira safra, milho e algodão de segunda safra, durante a safra de 2019/2020. Os dados de resultado das duas tecnologias (A e B) demonstram que nas lavouras de milho segunda safra, totalizando 22 talhões e uma área total de 3.692,21 hectares que não foi pulverizada. Para algodão segunda safra, totalizando 140 talhões e uma área total de 28.544,64 hectares que não foi pulverizada. Por fim, na cultura da soja, após pulverização de 106 talhões, foi economizado a pulverização em uma área de 17.827,13 hectares, com a utilização da aplicação em taxa variável e de maneira localizada, após o monitoramento das pragas e plantas daninhas.

Gráfico 1 – Aplicação localizada de agrotóxicos (ha)



Fonte: produção própria.

Na Tabela 2, apresenta-se o resultado de diminuição de área tratada para as três culturas, soja primeira safra, milho e algodão de segunda safra durante a safra de 2019/2020. Os dados de resultado das duas tecnologias (A e B) demonstram que em uma área total de 81.134,59 hectares, a economia de área tratada total foi de 50.302,98 hectares, resultando em uma economia no uso de agrotóxicos de 46.931,26 litros de produtos.

Tabela 2 - Área não pulverizada

<i>Área não pulverizada (ha)</i>	
Média	187,6976866
Erro padrão	6,167873962
Mediana	168,86
Desvio padrão	100,9724485
Variância da amostra	10195,43535
Curtose	1,378021052
Assimetria	0,903755796
Intervalo	595,6
Mínimo	14,4
Máximo	610
Soma	50302,98
Contagem	268

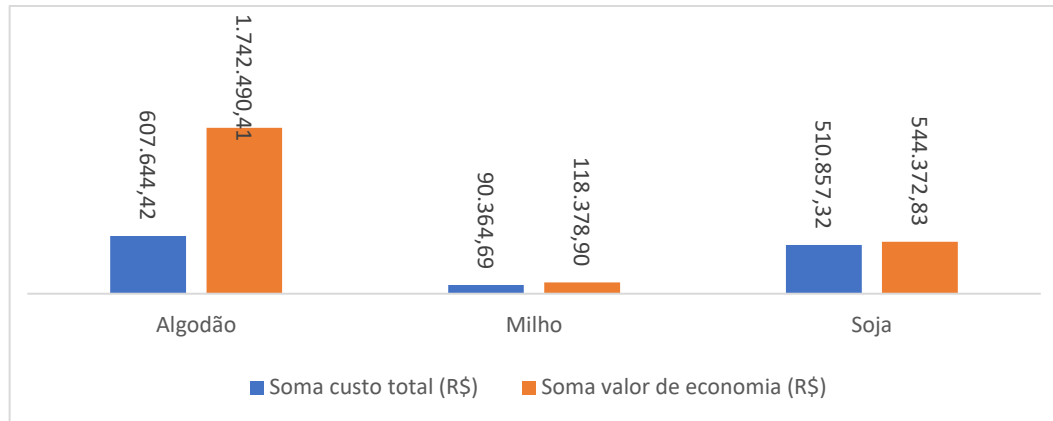
Fonte: produção própria.

ECONOMIA FINANCEIRA

Plataformas de gerenciamento agrícola contribuem para redução no custo de produção, com aumento da qualidade no gerenciamento das práticas agrícolas aumentando a segurança das operações, os gerentes agrícolas de grandes fazendas agroindustriais têm a possibilidade de tomar decisões baseadas em informações de *software* para gerenciamento de máquinas (FOUNTAS *et al.*, 2015).

No Gráfico 2, apresenta-se o resultado de diminuição de custos com agrotóxicos para as três culturas, soja primeira safra, milho e algodão de segunda safra durante a safra de 2019/2020. Os dados de resultado das duas tecnologias (A e B) demonstram que nas lavouras de milho segunda safra, totalizando 22 talhões, a economia no uso de agrotóxicos foi de R\$ 118.378,90. Para algodão segunda safra, totalizando 140 talhões, a economia no uso de agrotóxicos foi de R\$ 1.741.957,44. Na cultura da soja, após pulverização de 106 talhões, a economia no uso de agrotóxicos foi de R\$ 544.372,83, com a utilização da aplicação em taxa variável e de maneira localizada, após o monitoramento das pragas e plantas daninhas.

Gráfico 2 – Custo de aplicação de agrotóxicos (R\$)



Fonte: produção própria.

Na Tabela 3, apresenta-se o resultado da economia financeira para as três culturas, soja primeira safra, milho e algodão de segunda safra durante a safra de 2019/2020. Os dados de resultado das duas tecnologias (A e B) demonstram que a economia total de agrotóxicos para as três culturas foi de R\$ 2.405.242,13.

Tabela 3 - Valor da economia (R\$)

<i>Valor de economia (R\$)</i>	
Média	8974,784097
Erro padrão	583,2107157
Mediana	5793,0786
Desvio padrão	9547,570896
Variância da amostra	91156110,01
Curtose	11,00410314
Assimetria	2,848220912
Intervalo	72740,9893
Mínimo	79,5887
Máximo	72820,578
Soma	2405242,138
Contagem	268

Fonte: produção própria.

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Nesse capítulo, são apresentados os cálculos do retorno financeiro dos dois sistemas, A e B, destacando os custos de investimento para calcular o *payback*., Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Benefício-Custo (B/C).

Sistema A

Sistemas para aplicação localizada de herbicidas conseguem controlar a aplicação dos agrotóxicos somente em locais onde existe a presença das plantas daninhas, mesmo quando as plantas são de pequeno porte. O monitoramento por sensores e atuadores nas máquinas com essa tecnologia permite a identificação das plantas alvo (KARTHIKEYAN *et al.*, 2020). Esses sistemas inteligentes para aplicações de agrotóxicos direcionados em taxa variável podem reduzir os custos e os riscos ao meio ambiente, pulverizando sobre as plantas daninhas somente onde for necessário (LIU; ABBAS; NOOR, 2021).

Além disso, os sensores de detecção de plantas daninhas para pulverização seletiva são instalados nas barras de pulverização e utilizam diodos de emissão de luz que produzem uma combinação de luzes, que são projetadas em um alvo. A luz refletida pelo alvo é captada por um detector instalado na parte da frente do sensor. A unidade de processamento presente dentro do sensor analisa a luz refletida e identifica quando provem de plantas verdes. Parâmetros de reflectância identificam uma planta verde e o sistema espera até a planta se posicionar embaixo do sensor para disparar a válvula solenoide que aciona a pulverização bico a bico. Esse sistema corta a pulverização ligando e desligando a eletroválvula para economizar herbicida (KARTHIKEYAN *et al.*, 2020).

Em testes aleatórios, Zhang *et al.* (2012) destacaram a precisão de 83,5% do sensor de imagem instalado na barra de pulverização para identificar e reconhecer plantas daninhas e a cultura instalada na área para pulverização variável e localizada. Na Figura 5, identifica-se a dessecação de plantas daninha de maneira seletiva ou localizada pelo sistema A, possibilitando economia de agrotóxicos.

No fluxo de caixa da Tabela 4, foram adicionados os valores referentes à instalação do sistema no pulverizador, depreciação e manutenção.

Tabela 4 - Fluxo de caixa do investimento sistema A

Anos	0	1	2	3	4	5
ENTRADAS						
Custo das aplicações área total		R\$ 415.630,00				
Custo das aplicações localizadas		R\$ 42.039,65				
Economia de agrotóxicos sistema A		R\$ 373.590,35				
Estimativa de economia de agrotóxicos sistema A			R\$ 373.590,35	R\$ 373.590,35	R\$ 373.590,35	R\$ 373.590,35
TOTAL DAS ENTRADAS SISTEMA A		R\$ 373.590,35	R\$ 373.591,35	R\$ 373.592,35	R\$ 373.593,35	R\$ 373.594,35
SAÍDAS						
Investimento sistema A (instalação de sensores)	R\$ 840.000,00					
Depreciação		R\$ 84.000,00	R\$ 84.000,00	R\$ 84.000,00	R\$ 84.000,00	R\$ 84.000,00
Manutenção sistema A		R\$ 60.000,00	R\$ 60.000,00	R\$ 60.000,00	R\$ 60.000,00	R\$ 60.000,00
TOTAL DAS SAÍDAS SISTEMA A	R\$ 840.000,00	R\$ 144.000,00	R\$ 144.000,00	R\$ 144.000,00	R\$ 144.000,00	R\$ 144.000,00
RECEITA	-R\$ 840.000,00	R\$ 229.590,35	R\$ 229.591,35	R\$ 229.592,35	R\$ 229.593,35	R\$ 229.594,35

Fonte: produção própria.

Conforme pode ser observado nos dados da Tabela 5, o fluxo de caixa do investimento no sistema A apresentou Valor Presente Líquido (VPL) de R\$ 119.930,20, demonstrando que o investimento possui viabilidade no retorno do capital empregado, com valor de retorno positivo. Considerando a Taxa Interna de Retorno (TIR), o resultado de 11,40% pode ser considerado que o investimento é economicamente viável. Por fim, a Relação Benefício Custo (B/C), com resultado de 1,1532, indica que a soma das receitas atualizadas foi superior em relação ao total dos custos e que para cada R\$ 1,00 aplicado no sistema, espera-se um montante bruto de R\$ 1,1532 e R\$ 0,1532 líquido.

Tabela 5 – Viabilidade econômica sistema A

Investimento inicial	R\$ 840.000,00	
Custo de manutenção anual	R\$ 60.000,00	
Taxa média de retorno (TMA)	6,00%	
Ano	Valor	Descrição
0	-R\$ 840.000,00	Investimento Inicial
1	R\$ 229.590,35	Economia de agrotóxico
2	R\$ 229.591,35	Economia de agrotóxico
3	R\$ 229.592,35	Economia de agrotóxico
4	R\$ 229.593,35	Economia de agrotóxico
5	R\$ 229.594,35	Economia de agrotóxico
	R\$ 119.930,20	VPL
	11,40%	TIR
	R\$ 1,1532	(B/C)

Fonte: produção própria.

Na equação 4, o sistema A para pulverização seletiva de plantas daninhas é adquirido e instalado no pulverizador uma única vez, sendo o *payback* a melhor forma de calcular o seu retorno financeiro. O investimento no sistema A foi calculado em relação ao total de agrotóxicos economizados com a ferramenta durante a safra 2019/2020 aplicados para o controle de plantas daninhas na cultura do algodão, sendo possível evidenciar que o retorno financeiro no contexto dos agronegócios ocorre em 2,4090 anos.

$$\text{Payback} = \frac{900.000,00}{373.590,35} = 2,4090 \quad (4)$$

Nesse sistema o pagamento para a instalação do sistema é feito uma única vez, por tanto, o retorno é aceito mesmo com tempo maior que um ano.

Sistema B

De acordo com Singh (2018), um mapeamento para aplicação de agrotóxicos e tomada de decisão usando *hardware*, *software* e *Information Communication Technology (ICT)* é possível de ser feito mesmo em grandes áreas agrícolas. O sistema moderno opera eletronicamente para fazer o mapeamento da lavoura e demonstra ser economicamente viável e ambientalmente correto para aplicação dos agrotóxicos.

A perda de produtividade por pragas e plantas daninhas pode ser considerado um problema, contudo, com a tecnologia aplicada pode-se melhorar o desempenho do

monitoramento e controle das safras, com processos de monitoramento e remoção de plantas daninhas mais eficientes (TALAVIYA *et al.*, 2020).

No fluxo de caixa da Tabela 6, foram adicionados os valores referentes aos custos pago anualmente para a empresa fornecedora do sistema de software, não possuindo nesse caso depreciação e manutenção.

Tabela 6 - Fluxo de caixa do investimento sistema B

Anos	0	1	2	3	4	5
ENTRADAS						
Custo das aplicações área total		R\$ 3.197.966,50				
Custo das aplicações localizadas		R\$ 1.166.847,69				
Economia de agrotóxicos sistema B		R\$ 2.031.118,81				
Estimativa de economia de agrotóxicos sistema B			R\$ 2.031.118,81	R\$ 2.031.118,81	R\$ 2.031.118,81	R\$ 2.031.118,81
TOTAL DAS ENTRADAS SISTEMA B		R\$ 2.031.118,81	R\$ 2.031.119,81	R\$ 2.031.120,81	R\$ 2.031.121,81	R\$ 2.031.122,81
SAÍDAS						
Investimento sistema B (R\$ 20,00/ha x 22.914,20 ha)	R\$ 458.284,00	R\$ 458.284,00	R\$ 458.284,00	R\$ 458.284,00	R\$ 458.284,00	
TOTAL DAS SAÍDAS SISTEMA B	R\$ 458.284,00	R\$ 458.284,00	R\$ 458.284,00	R\$ 458.284,00	R\$ 458.284,00	
RECEITAS		R\$ 1.572.834,81	R\$ 1.572.834,81	R\$ 1.572.834,81	R\$ 1.572.834,81	R\$ 1.572.834,81

Fonte: produção própria.

Conforme pode ser observado nos dados da Tabela 7, o fluxo de caixa do investimento no sistema B apresentou Valor Presente Líquido (VPL) de R\$ 6.167.068,39, demonstrando que o investimento possui viabilidade no retorno do capital empregado, com valor de retorno positivo. Considerando a Taxa Interna de Retorno (TIR) o resultado de 343,00% pode ser considerado que o investimento é economicamente viável. Por fim, a Relação Benefício Custo (B/C), com resultado de 14,4569, indica que a soma das receitas atualizadas foi superior em relação ao total dos custos e que para cada R\$ 1,00 aplicado no sistema, espera-se montante de R\$ 14,4569 bruto e R\$ 13,4569 líquido.

Tabela 7 - Fluxo de caixa do investimento

Área monitorada 22.914,20 ha		Custo 20,00/ha
Investimento inicial		R\$ 458.284,00
Taxa média de retorno (TMA)		6,00%
Ano	Fluxo de caixa	Descrição
0	-R\$ 458.284,00	Investimento Inicial
1	R\$ 1.572.834,81	Economia de agrotóxico
2	R\$ 1.572.834,81	Economia de agrotóxico
3	R\$ 1.572.834,81	Economia de agrotóxico
4	R\$ 1.572.834,81	Economia de agrotóxico
5	R\$ 1.572.834,81	Economia de agrotóxico
	R\$ 6.625.352,39	Valor presente entradas
	343,00%	TIR
	R\$ 6.167.068,39	VPL
	R\$ 14,4569	(B/C)

Fonte: produção própria.

Na equação 4, o sistema B para pulverização seletiva de plantas daninhas é adquirido anualmente, sendo o *payback* a melhor forma de calcular o seu retorno financeiro. O investimento no sistema B foi calculado em relação ao total de agrotóxicos economizados com a ferramenta durante a safra 2019/2020 aplicados para o controle de plantas daninhas e pragas nas culturas da soja, milho e algodão sendo possível evidenciar que o retorno financeiro no contexto dos agronegócios ocorre em 0,2256 ano.

$$\text{Payback} = \frac{458.284,00}{2.031.118,81} = 0,2256 \quad (4)$$

Como o custo desse sistema é calculado por hectare com pagamentos anuais, o *payback* nesse caso é aceito somente com retorno financeiro menor que 1 ano.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em um cenário de plantas daninhas resistentes aos herbicidas e pragas de difícil controle, o aumento no uso de agrotóxicos e nos custos para os agricultores corrobora a necessidade de inovar no monitoramento e pulverização das culturas agrícolas. Diante disso, o objetivo desse estudo foi atingido, apresentando a análise dos aspectos econômicos para as culturas de soja primeira safra, milho e algodão de segunda safra, quando utilizada duas tecnologias de agricultura 4.0 no monitoramento da lavoura para pulverização de maneira localizada com controle de aplicação via sinal de satélite e virtualização dos processos de monitoramento.

Nesse contexto, as hipóteses do estudo foram corroboradas, pois a distribuição das plantas daninhas e pragas nas áreas agrícolas são desuniformes, e causam dificuldade no manejo e um considerável prejuízo econômico quando se utiliza o procedimento de pulverização convencional em área total.

REFERÊNCIAS

- ALBARRACIN, E Luft; TRIAPITSYN, S V; VIRLA, E G. Egg Parasitoid Complex of the Corn Leafhopper, *Dalbulus maidis* (DeLong) (Hemiptera: cicadellidae), in argentina. **Neotropical Entomology**, [S.L.], v. 46, n. 6, p. 666-677, 22 jun. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13744-017-0535-x>. Disponível em: <https://link-springer-com.ez47.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s13744-017-0535-x#citeas>. Acesso em: 23 out. 2021.
- BARROSO, Judit; MCCALLUM, John; LONG, Dan. Optical Sensing of Weed Infestations at Harvest. **Sensors**, [S.L.], v. 17, n. 10, p. 2381, 19 out. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s17102381>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/sensors>. Acesso em: 11 jul. 2021.
- DIEK, Sanne *et al.* Minimizing soil moisture variations in multi-temporal airborne imaging spectrometer data for digital soil mapping. **Geoderma**, [S.L.], v. 337, p. 607-621, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.052>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706118316227?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jun. 2021.
- FAOSTAT. Pesticides trade and pesticides use. 2021. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RT>. Acesso em: 10 jul. 2021.
- FAO (Rome). **Towards a Water and Food Secure Future: Critical Perspectives for Policy-makers. Food And Agriculture Organization Of The United Nations**, Rome, p. 1-76, 2015. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i4560e/i4560e.pdf>. Acesso em: 23 out. 2021.
- FOUNTAS, S. *et al.* Farm management information systems: current situation and future perspectives. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 115, p. 40-50, jul. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2015.05.011>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169915001337?via%3Dihub>. Acesso em: 02 nov. 2021.
- KARTAL, S. *et al.* Segmentation of Bean-Plants Using Clustering Algorithms. **AGRIS online Papers in Economics and Informatics**, Vol. 12, No. 3, pp. 36-43, 2020. ISSN 1804-1930. DOI 10.7160/aol.2020.120304. Disponível em: <https://online.agris.cz/archive/2020/03/04>. Acesso em: 20 jun. 2021.
- KARTHIKEYAN, P. *et al.* Weed Identification in Agriculture Field Through IoT. **Advances In Intelligent Systems And Computing**, [S.L.], p. 495-505, 30 ago. 2020. Springer Singapore. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-15-5029-4_41. Disponível em:

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-5029-4_41#citeas. Acesso em: 03 nov. 2021.

LIU, Hui *et al.* Comparison of Sick and Hokuyo UTM-30LX laser sensors in canopy detection for variable-rate sprayer. **Information Processing In Agriculture**, [S.L.], v. 5, n. 4, p. 504-515, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.inpa.2018.06.001>. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2214317318300180?via%3Dihub>. Acesso em: 19 out. 2021.

LIU, Jizhan; ABBAS, Irfan; NOOR, Rana Shahzad. Development of Deep Learning-Based Variable Rate Agrochemical Spraying System for Targeted Weeds Control in Strawberry Crop. **Agronomy**, [S.L.], v. 11, n. 8, p. 1480, 26 jul. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy11081480>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/8/1480/htm>. Acesso em: 03 nov. 2021.

LIU, Zhiyong *et al.* Enabling effective workflow model reuse: a data-centric approach. **Decision Support Systems**, [S.L.], v. 93, p. 11-25, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dss.2016.09.002>. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0167923616301518?via%3Dihub>. Acesso em: 30 out. 2021.

NEWMAN, David H.. The Optimal Forest Rotation: a discussion and annotated bibliography. **U.S. Department Of Agriculture**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-44, 1988. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. <http://dx.doi.org/10.2737/se-gtr-48>. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/1138>. Acesso em: 02 mar. 2022.

ONSARIGO, Lameck; ADAMTEY, Simon. Feasibility of state transportation agencies acquiring trenchless technologies: a comparison of open cut and horizontal auger boring. **Tunnelling And Underground Space Technology**, [S.L.], v. 95, p. 103162, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tust.2019.103162>. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0886779818308113?via%3Dihub>. Acesso em: 25 ago. 2021.

OVERBY, Eric M.; KONSZYNSKI, Benn. Task-Technology Fit and Process Virtualization Theory: an integrated model and empirical test. **Ssrn Electronic Journal**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-62, 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1567097>. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1567097. Acesso em: 01 nov. 2021.

OVERBY, Eric. Process Virtualization Theory and the Impact of Information Technology. **Organization Science**, [S.L.], v. 19, n. 2, p. 277-291, abr. 2008. Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS). <http://dx.doi.org/10.1287/orsc.1070.0316>. Disponível em: <https://pubsonline.informs.org/doi/pdf/10.1287/orsc.1070.0316>. Acesso em: 31 out. 2021.

OYINBO, Oyakhilomen *et al.* Farmers' preferences for high-input agriculture supported by site-specific extension services: evidence from a choice experiment in nigeria. **Agricultural Systems**, [S.L.], v. 173, p. 12-26, jul. 2019. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.agry.2019.02.003>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X18306772?via%3Dihub>.
 Acesso em: 20 jun. 2021.

PASSOS, Máximo Lages Vieira *et al.* Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Balsas-MA. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 18, n. 1, p. 83-89, 12 abr. 2017. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v18i1.48584>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/48584>. Acesso em: 20 jun. 2021.

PARTEL, Victor *et al.* Development and evaluation of a low-cost and smart technology for precision weed management utilizing artificial intelligence. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 157, p. 339-350, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.048>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169918316612?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jun. 2021.

REGAN, Áine. *Smart farming' in Ireland: a risk perception study with key governance actors*. Elsevier Bv: NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, Dublin, v. 90-91, p. 1-10, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.njas.2019.02.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1573521418302100?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jun. 2021.

RIJSWIJK, Kelly *et al.* Digitalization in the New Zealand Agricultural Knowledge and Innovation System: initial understandings and emerging organizational responses to digital agriculture. **Elsevier Bv: NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**, [S.L.], v. 90-91, p. 1-14, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.njas.2019.100313>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1573521419300120?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jun. 2021.

SCHUMPETER, J. A. **A Teoria do Desenvolvimento Econômico**: uma investigação sobre lucro, capital, crédito, juro e o ciclo econômico. São Paulo: Nova Cultural, 1985.

SINDIVEG (São Paulo). Sindicato Nacional da Indústria de Produtos Para Defesa Vegetal. **Levantamento dos principais números do setor de agrotóxicos no Brasil**: mercado total de agrotóxicos por produto aplicado. Mercado total de agrotóxicos por produto aplicado. 2021. Disponível em: <https://sindiveg.org.br/mercado-total/>. Acesso em: 10 ago. 2021.

SINGH, Surender Kumar. A smart precision plant protection technique based upon information and communication technologies for field crops in India for wide-area implementation. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 10, n. 1, p. 262-265, 2018.

TALAVIYA, Tanha *et al.* Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. **Artificial Intelligence In Agriculture**, [S.L.], v. 4, p. 58-73, 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aiia.2020.04.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S258972172030012X>. Acesso em: 20 nov. 2021.

THOMAS, Manoj; COSTA, Daniela; OLIVEIRA, Tiago. Assessing the role of IT-enabled process virtualization on green IT adoption. **Information Systems Frontiers**, [S.L.], v. 18, n. 4, p. 693-710, 21 abr. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10796-015-9556-3>. Disponível em: <https://web-p-ebscohost.ez47.periodicos.capes.gov.br/ehost/detail/detail?vid=0&sid=4743e4e3-5740-488e-9283-f67d74ef03c0%40redis&bdata=Jmxhbmc9cHQtYnImc2l0ZT1laG9zdC1saXZlJnNjb3B1PXNpdGU%3d#AN=117042464&db=iih>. Acesso em: 01 nov. 2021.

WESTWOOD, James H. *et al.* Weed Management in 2050: perspectives on the future of weed science. **Weed Science**, [S.L.], v. 66, n. 3, p. 275-285, 21 fev. 2018. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/wsc.2017.78>. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-science/article/weed-management-in-2050-perspectives-on-the-future-of-weed-science/51F98001554CADCE9866699E976562D1>. Acesso em: 20 jun. 2021.

WOLFERT, Sjaak *et al.* Big Data in Smart Farming – A review. **Agricultural Systems**, [S.L.], v. 153, p. 69-80, maio 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agry.2017.01.023>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X16303754?via%3Dihub>. Acesso em: 09 jul. 2021.

ZAGÓRDA, Mirosław *et al.* Sterowanie zespołem elektrozaworów na podstawie sygnału z panelu nawigacyjnego Trimble CFX-750 z modułem Field-IQ. **Przegląd Elektrotechniczny**, [S.L.], v. 1, n. 12, p. 201-204, 5 dez. 2017. Wydawnictwo SIGMA-NOT, sp. z.o.o.. <http://dx.doi.org/10.15199/48.2017.12.50>. Disponível em: <http://pe.org.pl/index.php?lang=1>. Acesso em: 27 jun. 2021.

ZAMBON, Ilaria *et al.* Revolution 4.0: industry vs. agriculture in a future development for smes. **Processes**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 36, 11 jan. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/pr7010036>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9717/7/1/36>. Acesso em: 30 out. 2021.

ZAZA, Claudio *et al.* A new decision-support system for the historical analysis of integrated pest management activities on olive crops based on climatic data. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 148, p. 237-249, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2018.03.015>. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0168169918301881?via%3Dihub>. Acesso em: 02 nov. 2021.

4.1 Monitoramento e conectividade

A execução do conceito *integrated pest management (IPM)* gera uma grande quantidade de dados, que normalmente são extraídos, armazenados e utilizados de forma rudimentar para que o conceito seja utilizado para o objetivo que se propõe, que é a redução no uso de agrotóxicos.

Assim, a utilização de procedimento digital georreferenciado para o controle de plantas daninhas pode contribuir, por meio da utilização de pulverização localizada (SOMERVILLE *et al.*, 2020) e contribuir consideravelmente na economia de agrotóxicos, empregando software e hardware para gerenciar os fluxos de operações nas fazendas e tomada de decisão. Nesse cenário, o agricultor precisa ter habilidade para trabalhar com tecnologia da informação e comunicação (TIC), utilizando plataformas de monitoramento das culturas, que pode auxiliar na compreensão do ecossistema (EITZINGER *et al.*, 2019).

Com essas tecnologias, economiza-se água e agrotóxicos, com destaque para os herbicidas, que auxiliam no aumento da produtividade e melhoria na qualidade das culturas (TALAVIYA *et al.*, 2020). Anteriormente ao uso da tecnologia de monitoramento das lavouras utilizando dispositivo móvel com georreferenciamento e criação de mapas de calor ou zonas de manejo, a empresa aplicava métodos tradicionais de monitoramento na execução do conceito *integrated pest management (IPM)*. O levantamento dos dados de campo era feito de maneira rudimentar e muitas vezes as informações eram perdidas e o processo de pulverização ocorria em área total com desperdícios de agrotóxicos.

O uso de agrotóxicos contribuiu para o aumento da produtividade das culturas com estratégias bem definidas de aplicação para proteção das culturas, mas, por outro lado, o aumento no consumo de agrotóxicos ocasionado pela dificuldade de controle de pragas e resistência das plantas daninha aos herbicidas pode ser um risco para o meio ambiente. Esse cenário, corrobora a necessidade de criação de estratégias cada vez mais tecnológicas para a tomada de decisão no momento da pulverização de agrotóxicos, contribuindo para mitigar os efeitos na saúde humana e no meio ambiente (BARZMAN *et al.*, 2015).

Na Tabela 2, observa-se uma queda de produtividade na cultura da soja entre as safras de 2018/2019, sem o uso das ferramentas, e a safra 2019/2020 com o uso das ferramentas nas fazendas da empresa. No caso do milho e algodão segunda safra, a produtividade média das lavouras teve um crescimento considerável.

Tabela 3 - Produtividade média das safras

Safra	2018/2019	2019/2020
Cultura		
Soja (sacas/ha)	65	59
Milho (sacas/ha)	125	133
Algodão (@/ha)	235	293

Fonte: produção própria.

4.2 Integrated Pest Management (IPM)

O conceito de IPM significa a aplicação de diferentes métodos de monitoramento e controle das lavouras com o objetivo de manter o avanço de pragas e plantas daninhas abaixo do limite de dano econômico. Anteriormente ao uso da tecnologia de monitoramento das lavouras utilizando dispositivo móvel com georreferenciamento e criação de mapas de calor ou zonas de manejo, uma grande empresa agroindustrial que cultiva uma grande extensão de terra e inúmeros talhões, costumeiramente aplica métodos tradicionais de monitoramento na execução do conceito *IPM*. O levantamento dos dados de campo, na maioria das vezes são feitos de maneira rudimentar em papel e muitas vezes as informações são perdidas e o processo de pulverização ocorre em área total com desperdícios de agrotóxicos (ZAZA *et al.*, 2018). Nesse aspecto, Mialhe (1974) destaca que o controle operacional das inúmeras operações efetuadas pelas máquinas agrícolas em um empreendimento agropecuário deve possuir a codificação das tarefas executadas em cada talhão, registrando em fichas ou cadernetas. Acrescenta ainda que, esse tipo de registro pode ser facilmente danificado em campo por terra, graxa, combustível, água etc., ocasionando a perda de dados de vários dias, em razão de um único incidente dessa natureza.

A execução do conceito *IPM* gera grande quantidade de dados, que normalmente são extraídos, armazenados e utilizados de forma grosseira para que o conceito seja utilizado para o objetivo que se propõe, que é a redução no uso de agrotóxicos. Dessa forma, na tentativa de aplicar o conceito IPM sem a virtualização dos processos, são utilizados métodos de marcação manual na área, na tentativa de direcionar a pulverização para aquele local desejado. Observa-se nesse aspecto um processo oneroso que acaba direcionando os agricultores para uma aplicação em toda a área do talhão. Destarte, as populações no mundo estão expostas a diferentes níveis de contato com os agrotóxicos, sendo mais preocupante em países de baixa renda. Estratégias de gestão para reduzir o uso de agrotóxicos são benéficas e devem receber atenção nos órgãos que regulamentam o setor, como, por exemplo, a divulgação e execução do conceito *IPM* (BERG *et al.*, 2020).

Dessa forma, quando se utiliza de procedimento digital georreferenciado para aplicar o conceito de IPM no controle de plantas daninhas e pragas, a tecnologia referente a PVT contribui para a utilização e integração com o processo de pulverização localizada (SOMERVILLE *et al.*, 2020) e contribui consideravelmente na economia de agrotóxicos,

empregando *software* e *hardware* para gerenciar os dados coletados em campo, controlando os fluxos das operações nas fazendas e tomada de decisão.

Na Tabela 3, observa-se os exemplos da Teoria da Virtualização de Processos e a influência da tecnologia na organização de processos realizados durante o monitoramento das lavouras agregando a virtualização dos processos, destacando os processos físicos e diferenciando o processo manual do processo virtual.

Tabela 4 - Teoria da Virtualização de Processos e o impacto da tecnologia na organização

Processo	Processo físico	Virtual	Manual
Monitoramento	IPM	Georreferenciamento digital	Rudimentar
Análise de dados	Tomada de decisão	Analista de dados on-line	Interação física entre analista e monitor
Controle de pragas e plantas daninhas	Pulverização	Arquivo shapefile	Interação física entre monitor e operador com marcação manual em campo

Fonte: adaptado de Overby (2008).

Para fortalecer ainda mais a necessidade de implementação de novos processos produtivo mais eficientes economicamente como o IPM, destaca-se que as mudanças climáticas estão agravando a incidência de pragas de insetos nas áreas agrícolas, aumentando a população e alterando o metabolismo dos insetos, podendo aumentar as necessidades de uso de agrotóxicos para controle no futuro, com prejuízos para a saúde e ao meio ambiente, tornando o processo de monitoramento da plantação um desafio, sendo necessário implementação de estratégias de controle. A produção de grãos está entre as culturas que serão afetadas pela pressão de pragas ocasionada pelas mudanças climáticas (DEUTSCH *et al.* 2018).

4.3 Economia no uso de agrotóxicos

As culturas de soja, milho e algodão utilizam 55%, 15% e 9% do total de agrotóxicos consumidos no Brasil respectivamente, cerca de 1,05 milhão de tonelada de produtos, pulverizados em uma área tratada de 1,66 bilhão de hectare no ano de 2020 (cálculo feito multiplicando a área tratada das culturas com o número de aplicações e com o número de produtos diferentes aplicados), aumento de 6,9% em relação ao ano 2019 (SINDIVEG, 2021).

Por outro lado, a aplicação de agrotóxicos traz benefícios na manutenção dos níveis de produtividade de grãos e fibras, contudo, também enfrenta desafios do ponto de vista da

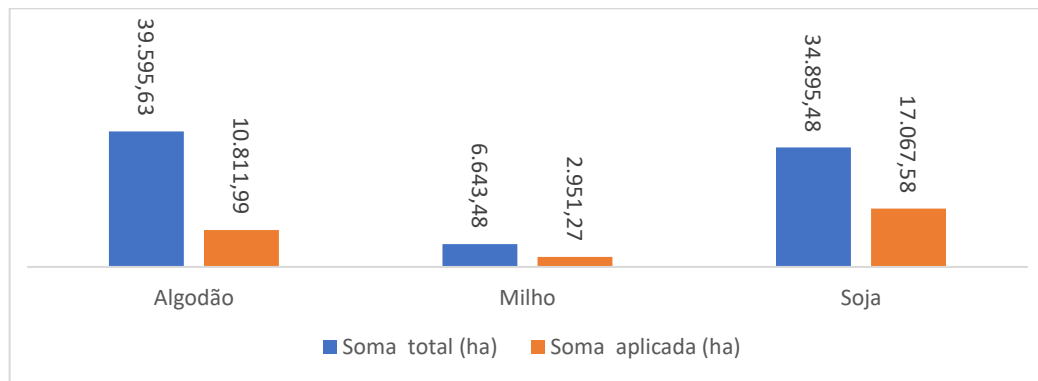
sustentabilidade, levando em consideração a pulverização de maneira tradicional em área total, causando prejuízos econômicos. Nesse contexto, quando se aplica o mapeamento na área agrícola, os dados são disponibilizados para uso na pulverização da lavoura de maneira localizada, utilizando sistema de corte de seção presente no pulverizador. Dessa forma, sistemas inteligentes para aplicações localizadas podem reduzir consideravelmente os custos, classificando as plantas daninhas e fazendo a aplicação somente onde for necessário (LIU; ABBAS; NOOR, 2021). Nesse contexto, Laursen *et al.* (2016) destacam que o método de mapeamento das plantas daninhas para pulverização localizada (*grid sprayer*) pode reduzir o uso de herbicida em 65% sem perdas de produtividade das culturas.

Esse incremento de tecnologia no intuito de mitigar a aplicação de agrotóxicos na agricultura é benéfico para os trabalhadores, pois os casos de intoxicação aguda por agrotóxicos (APP) segundo a World Health Organization (WHO) são responsáveis por significativa morbidade e mortalidade em todo o mundo. Países em desenvolvimento são especialmente mais suscetíveis devido à regulamentação deficiente, falta de sistemas de vigilância, menos fiscalização, falta de treinamento e falta de acesso a sistemas de informação para auxílio na tomada de decisão no momento da pulverização (THUNDIYIL *et al.*, 2008).

Além dos benefícios sociais, Meena *et al.* (2020) destacam benefícios da redução na aplicação de agrotóxicos para a saúde do solo, pois os produtos aplicados em abundância por longos períodos e algumas vezes indiscriminadamente afetam a biodiversidade do solo, trazendo prejuízos para a alimentação humana e animal no longo prazo, com influência direta na sustentabilidade da agricultura. Os autores salientam ainda que a mudança na diversidade e composição da comunidade microbiana benéfica pode ser prejudicial ao crescimento e desenvolvimento da planta, tanto pela redução da disponibilidade de nutrientes quanto pelo aumento da ocorrência de doenças.

No Gráfico 1, apresenta-se o resultado de diminuição de área tratada para as três culturas, soja primeira safra, milho e algodão de segunda safra, durante a safra de 2019/2020. Os dados de resultado das duas tecnologias (A e B) demonstram que nas lavouras de milho segunda safra, totalizando 22 talhões e uma área total de 3.692,21 hectares que não foi pulverizada. Para algodão segunda safra, totalizando 140 talhões e uma área total de 28.544,64 hectares que não foi pulverizada. Por fim, na cultura da soja, após pulverização de 106 talhões, foi economizada a pulverização em uma área de 17.827,13 hectares, com a utilização da aplicação em taxa variável e de maneira localizada, após o monitoramento das pragas e plantas daninhas.

Gráfico 1 – Aplicação localizada de agrotóxicos (ha)



Fonte: produção própria.

Na Tabela 4, apresenta-se o resultado de diminuição de área tratada para as três culturas, soja primeira safra, milho e algodão de segunda safra durante a safra de 2019/2020. Os dados de resultado das duas tecnologias (A e B) demonstram que em uma área total de 81.134,59 hectares, a economia de área tratada total foi de 50.302,98 hectares, resultando em uma economia no uso de agrotóxicos de 46.931,26 litros de produtos.

Tabela 5 - Área não pulverizada

<i>Área não pulverizada (ha)</i>	
Média	187,6976866
Erro padrão	6,167873962
Mediana	168,86
Desvio padrão	100,9724485
Variância da amostra	10195,43535
Curtose	1,378021052
Assimetria	0,903755796
Intervalo	595,6
Mínimo	14,4
Máximo	610
Soma	50302,98
Contagem	268

Fonte: produção própria.

4.4 Economia financeira

Plataformas de gerenciamento agrícola contribuem para redução no custo de produção, com aumento da qualidade no gerenciamento das práticas agrícolas aumentando a segurança

das operações, os gerentes agrícolas de grandes fazendas agroindustriais têm a possibilidade de tomar decisões baseadas em informações de *software* para gerenciamento de máquinas (FOUNTAS *et al.*, 2015). Dessa forma, no que tange os custos em relação aos agrotóxicos, na Tabela 5, apresenta-se os custos das culturas estudadas para a safra 2019/2020.

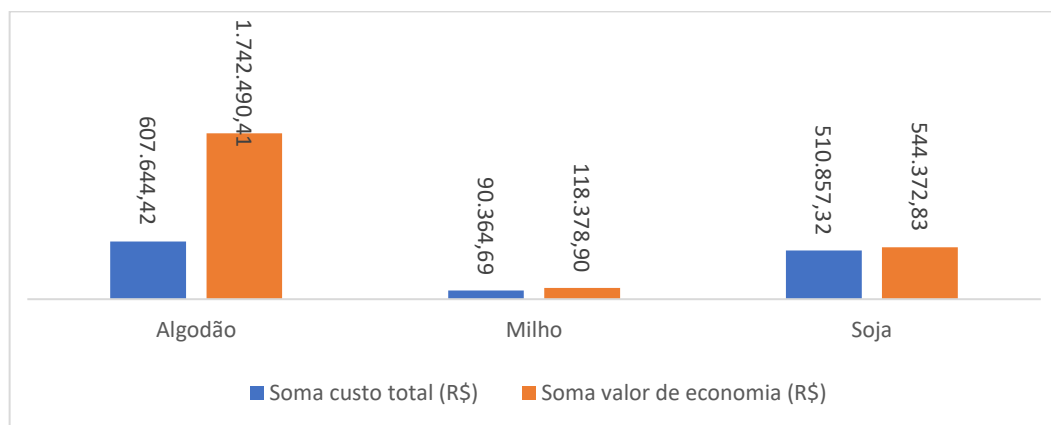
Tabela 5 – Custos dos agrotóxicos safra 2019/2020

Cultura	Custo agrotóxicos (R\$/ha)
Soja	829,25
Milho	325,63
Algodão	3.433,99

Fonte: IMEA (2021)

No Gráfico 2, apresenta-se o resultado de diminuição de custos com agrotóxicos para as três culturas, soja primeira safra, milho e algodão de segunda safra durante a safra de 2019/2020. Os dados de resultado das duas tecnologias (A e B) demonstram que nas lavouras de milho segunda safra, totalizando 22 talhões, a economia no uso de agrotóxicos foi de R\$ 118.378,90. Para algodão segunda safra, totalizando 140 talhões, a economia no uso de agrotóxicos foi de R\$ 1.741.957,44. Na cultura da soja, após pulverização de 106 talhões, a economia no uso de agrotóxicos foi de R\$ 544.372,83, com a utilização da aplicação em taxa variável e de maneira localizada, após o monitoramento das pragas e plantas daninhas.

Gráfico 2 – Custo de aplicação de agrotóxicos (R\$)



Fonte: produção própria.

Na Tabela 6, apresenta-se o resultado da economia financeira para as três culturas, soja primeira safra, milho e algodão de segunda safra durante a safra de 2019/2020. Os dados de

resultado das duas tecnologias (A e B) demonstram que a economia total de agrotóxicos para as três culturas foi de R\$ 2.405.242,13.

Tabela 6 - Valor da economia (R\$)

<i>Valor de economia (R\$)</i>	
Média	8974,784097
Erro padrão	583,2107157
Mediana	5793,0786
Desvio padrão	9547,570896
Variância da amostra	91156110,01
Curtose	11,00410314
Assimetria	2,848220912
Intervalo	72740,9893
Mínimo	79,5887
Máximo	72820,578
Soma	2405242,138
Contagem	268

Fonte: produção própria.

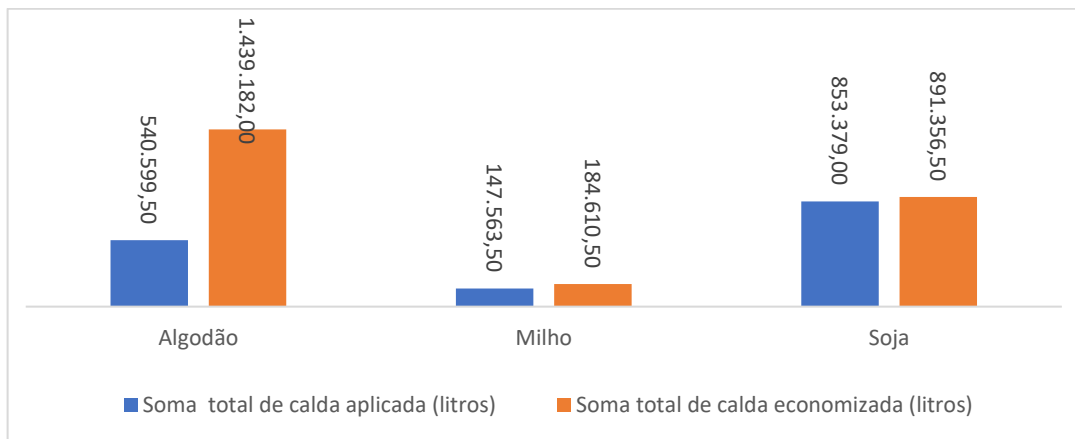
4.5 Economia de água

Para a pulverização de agrotóxico a água é utilizada para diluição do produto interagindo com os produtos químicos. A missão da agricultura é utilizar os recursos hídricos de maneira sustentável sem desperdícios. Dentre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), o ODS 6 exige a garantia da disponibilidade e gestão sustentável da água. Nesse contexto, as práticas agrícolas podem contribuir na manutenção do ecossistema com a economia de água, aplicando técnicas inovadoras para melhorar a eficiência no uso da água e alcançar a retirada sustentável de recursos de água doce, implementar gestão integrada de recursos hídricos, manter a qualidade de lagos, rios, pântanos e aquíferos, e garantir a disponibilidade de água para todas as pessoas (FAO, 2015).

No Gráfico 3, apresenta-se o resultado da economia de água utilizada na pulverização das lavouras para as três culturas, soja primeira safra, milho e algodão de segunda safra durante a safra de 2019/2020. Os dados de resultado das duas tecnologias (A e B) demonstram que nas lavouras de milho segunda safra, totalizando 22 talhões, apresentou a economia de água de

184.610,50 litros. Para algodão segunda safra, totalizando 140 talhões, a economia de água foi de 1.439.232 litros. Na cultura da soja, após pulverização de 106 talhões, a economia de água foi de 891.356,50 litros, com a utilização da aplicação em taxa variável e de maneira localizada, após o monitoramento das pragas e plantas daninha.

Gráfico 3 – Consumo de água (litros)



Fonte: produção própria.

Na Tabela 7, apresenta-se o resultado da economia de água utilizada na pulverização das lavouras para as três culturas, soja primeira safra, milho e algodão de segunda safra durante a safra de 2019/2020. Os dados de resultado das duas tecnologias (A e B) demonstram que a economia total de água para as três culturas foi de 2.515.149 litros.

Tabela 7 - Economia de água (litros)

<i>Total de calda economizada (litros)</i>	
Média	9384,884328
Erro padrão	308,3936981
Mediana	8443
Desvio padrão	5048,622423
Variância da amostra	25488588,37
Curtose	1,378021052
Assimetria	0,903755796
Intervalo	29780
Mínimo	720
Máximo	30500
Soma	2515149
Contagem	268

Fonte: produção própria.

4.6 Estrutura de custos e receitas

As finanças empresariais e as relações entre valor de receita e investimento possuem como objetivo estudar as operações financeiras abrangendo entradas e saídas de caixa, que ocorreram ou são previstas ao longo do tempo. A estrutura de fluxo de caixa envolvendo custos e receitas podem estar distribuídos ao longo do tempo e são o resultado da diferença entre as entradas e saídas concretizadas ou previstas para acontecer, contribuindo para melhoria na tomada de decisão de um investimento. (PEREIRA, 2012). Nesse aspecto, considerando a aplicação dos agrotóxicos de maneira localizada, apresenta-se como entradas de caixa para a companhia a economia financeira gerada por essas aplicações em taxa variável. No caso das saídas de investimentos, os valores monetários são aplicados nas empresas fornecedoras das tecnologias. Na representação da Tabela 8, observa-se o fluxo de caixa e a origem detalhada dos dados do sistema A.

Tabela 8 - Fluxo de caixa do investimento sistema A

Anos	0	1	2	3	4	5
ENTRADAS						
Custo das aplicações área total		R\$ 415.630,00				
Custo das aplicações localizadas		R\$ 42.039,65				
Economia de agrotóxicos sistema A		R\$ 373.590,35				
Estimativa de economia de agrotóxicos sistema A			R\$ 373.590,35	R\$ 373.590,35	R\$ 373.590,35	R\$ 373.590,35
TOTAL DAS ENTRADAS SISTEMA A		R\$ 373.590,35	R\$ 373.591,35	R\$ 373.592,35	R\$ 373.593,35	R\$ 373.594,35
SAÍDAS						
Investimento sistema A (instalação de sensores)	R\$ 840.000,00					
Depreciação		R\$ 84.000,00	R\$ 84.000,00	R\$ 84.000,00	R\$ 84.000,00	R\$ 84.000,00
Manutenção sistema A		R\$ 60.000,00	R\$ 60.000,00	R\$ 60.000,00	R\$ 60.000,00	R\$ 60.000,00
TOTAL DAS SAÍDAS SISTEMA A	R\$ 840.000,00	R\$ 144.000,00	R\$ 144.000,00	R\$ 144.000,00	R\$ 144.000,00	R\$ 144.000,00
RECEITA	-R\$ 840.000,00	R\$ 229.590,35	R\$ 229.591,35	R\$ 229.592,35	R\$ 229.593,35	R\$ 229.594,35

Fonte: produção própria.

Na representação da Tabela 9, observa-se o fluxo de caixa e a origem detalhada dos dados do sistema B.

Tabela 9 - Fluxo de caixa do investimento sistema B

Anos	0	1	2	3	4	5
ENTRADAS						
Custo das aplicações área total		R\$ 3.197.966,50				
Custo das aplicações localizadas		R\$ 1.166.847,69				
Economia de agrotóxicos sistema B		R\$ 2.031.118,81				
Estimativa de economia de agrotóxicos sistema B			R\$ 2.031.118,81	R\$ 2.031.118,81	R\$ 2.031.118,81	R\$ 2.031.118,81
TOTAL DAS ENTRADAS SISTEMA B		R\$ 2.031.118,81	R\$ 2.031.119,81	R\$ 2.031.120,81	R\$ 2.031.121,81	R\$ 2.031.122,81
SAÍDAS						
Investimento sistema B (R\$ 20,00/ha x 22.914,20 ha)	R\$ 458.284,00	R\$ 458.284,00	R\$ 458.284,00	R\$ 458.284,00	R\$ 458.284,00	
TOTAL DAS SAÍDAS SISTEMA B	R\$ 458.284,00	R\$ 458.284,00	R\$ 458.284,00	R\$ 458.284,00	R\$ 458.284,00	
RECEITAS		R\$ 1.572.834,81	R\$ 1.572.834,81	R\$ 1.572.834,81	R\$ 1.572.834,81	R\$ 1.572.834,81

Fonte: produção própria.

4.7 Análise de viabilidade econômica

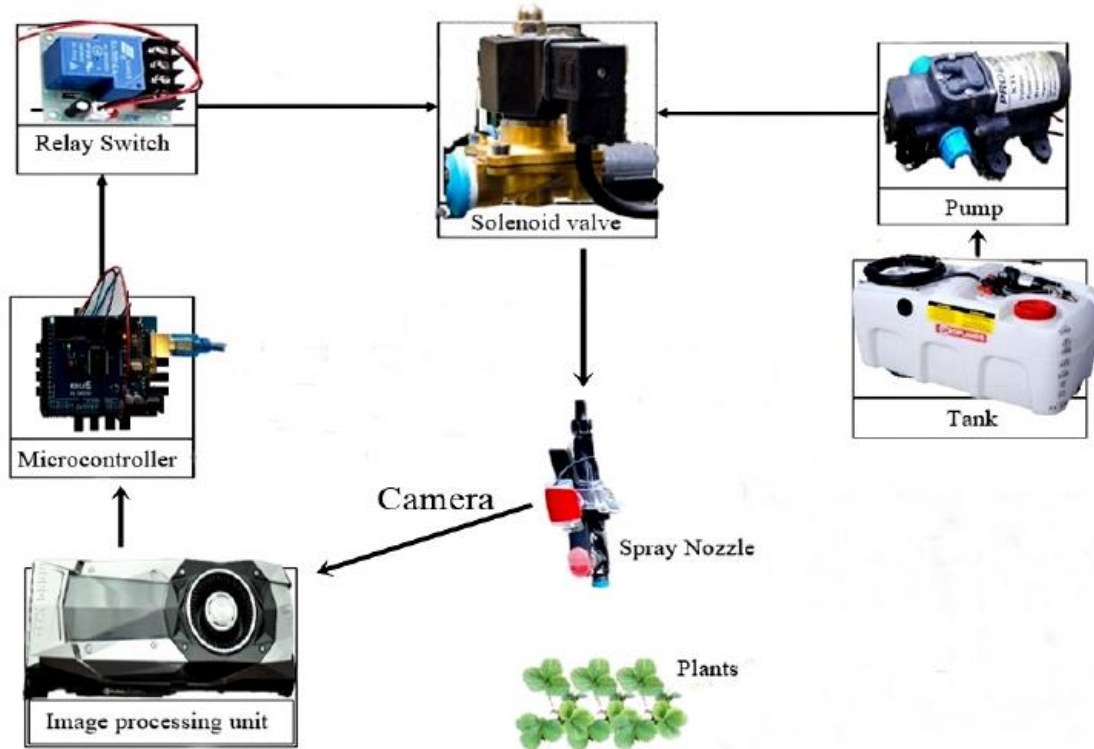
Nesse subcapítulo, são apresentados os cálculos do retorno financeiro dos dois sistemas, A e B, destacando os custos de investimento para calcular o *payback*., Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Benefício-Custo (B/C).

4.7.1 Sistema A

Sistemas para aplicação localizada de herbicidas conseguem controlar a aplicação dos agrotóxicos somente em locais onde existe a presença das plantas daninhas, mesmo quando as plantas são de pequeno porte. O monitoramento por sensores e atuadores nas máquinas com essa tecnologia permite a identificação das plantas alvo (KARTHIKEYAN *et al.*, 2020). Esses sistemas inteligentes para aplicações de agrotóxicos direcionados em taxa variável podem reduzir os custos e os riscos ao meio ambiente, pulverizando sobre as plantas daninhas somente onde for necessário (LIU; ABBAS; NOOR, 2021).

Na Figura 4, observa-se o sistema A para aplicação localizada de herbicida na dessecação de plantas daninhas, executado com o uso de um sensor que atua diretamente na abertura e fechamento do bico de pulverização. O sensor de detecção de plantas daninha para pulverização seletiva é instalado nas barras de pulverização e utiliza diodos de emissão de luz que produzem uma combinação de luzes, que são projetadas em um alvo. A luz refletida pelo alvo é captada por um detector instalado na parte da frente do sensor. A unidade de processamento presente dentro do sensor analisa a luz refletida e identifica quando provem de plantas verdes. Parâmetros de reflectância identificam uma planta verde e o sistema espera até a planta se posicionar embaixo do sensor para disparar a válvula solenoide que aciona a pulverização bico a bico. Esse sistema corta a pulverização ligando e desligando a eletroválvula para economizar herbicida (KARTHIKEYAN *et al.*, 2020).

Figura 4 - Sistema de detecção de plantas e pulverização localizada



Fonte: liu, abbas e noor, (2021).

Em testes aleatórios, Zhang *et al.* (2012) destacaram a precisão de 83,5% do sensor de imagem instalado na barra de pulverização para identificar e reconhecer plantas daninhas e a cultura instalada na área para pulverização variável e localizada. Na Figura 5, identifica-se a dessecação de plantas daninha de maneira seletiva ou localizada pelo sistema A, possibilitando economia de agrotóxicos.

Figura 5 - Sistema A na dessecação de plantas daninhas



Fonte: produção própria.

No fluxo de caixa, foram adicionados os valores referentes à instalação do sistema no pulverizador, que foi de R\$ 840.000,00 e, além desse valor, foram contabilizados os custos de manutenção do sistema durante toda a safra, pois ocorreram defeitos em quatro sensores com custo de R\$ 15.000,00 cada, totalizando um custo de manutenção do sistema de R\$ 60.000,00.

Conforme pode ser observado nos dados da Tabela 10, o fluxo de caixa do investimento no sistema A apresentou Valor Presente Líquido (VPL) de R\$ 119.930,20, demonstrando que o investimento possui viabilidade no retorno do capital empregado, com valor de retorno positivo. Considerando a Taxa Interna de Retorno (TIR), o resultado de 11,40% pode ser considerado que o investimento é economicamente viável. Por fim, a Relação Benefício Custo (B/C), com resultado de 1,1532, indica que a soma das receitas atualizadas foi superior em relação ao total dos custos e que para cada R\$ 1,00 aplicado no sistema, espera-se um montante bruto de R\$ 1,1532 e R\$ 0,1532 líquido.

Tabela 10 – Viabilidade econômica sistema A

Investimento inicial	R\$ 840.000,00	
Custo de manutenção anual	R\$ 60.000,00	
Taxa média de retorno (TMA)	6,00%	
Ano	Valor	Descrição
0	-R\$ 840.000,00	Investimento Inicial
1	R\$ 229.590,35	Economia de agrotóxico
2	R\$ 229.591,35	Economia de agrotóxico
3	R\$ 229.592,35	Economia de agrotóxico
4	R\$ 229.593,35	Economia de agrotóxico
5	R\$ 229.594,35	Economia de agrotóxico
	R\$ 119.930,20	VPL
	11,40%	TIR
	R\$ 1,1532	(B/C)

Fonte: produção própria.

Na equação 4, o sistema A para pulverização seletiva de plantas daninhas é adquirido e instalado no pulverizador uma única vez, sendo o *payback* a melhor forma de calcular o seu retorno financeiro. O investimento no sistema A foi calculado em relação ao total de agrotóxicos economizados com a ferramenta durante a safra 2019/2020 aplicados para o controle de plantas daninhas na cultura do algodão, sendo possível evidenciar que o retorno financeiro no contexto dos agronegócios ocorre em 2,4090 anos.

$$\text{Payback} = \frac{900.000,00}{373.590,35} = 2,4090 \quad (4)$$

Nesse sistema o pagamento para a instalação do sistema é feito uma única vez, por tanto, o retorno é aceito mesmo com tempo maior que um ano.

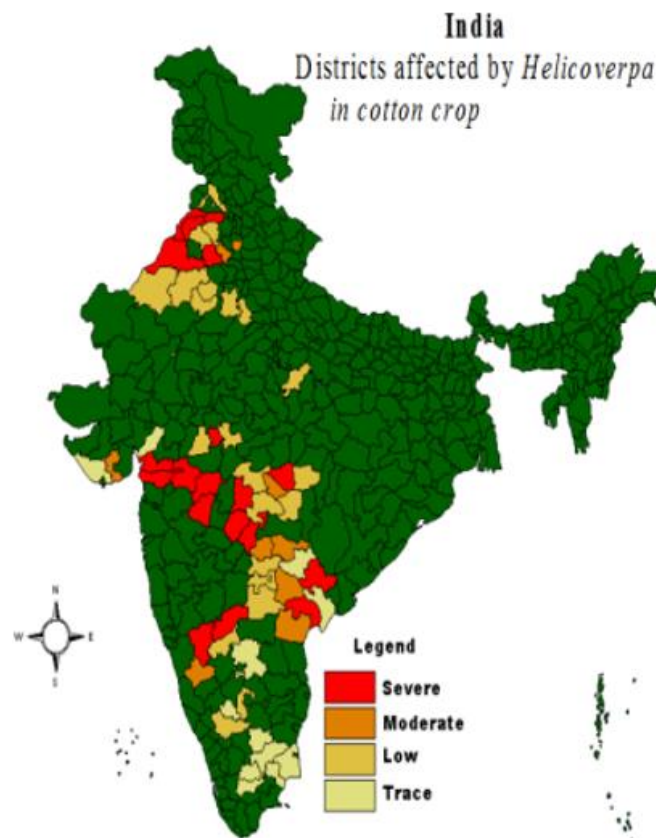
4.7.2 Sistema B

De acordo com Singh (2018), um mapeamento para aplicação de agrotóxicos e tomada de decisão usando *hardware*, *software* e *Information Communication Technology (ICT)* é possível de ser feito mesmo em grandes áreas agrícolas. O sistema moderno opera eletronicamente para fazer o mapeamento da lavoura e demonstra ser economicamente viável e ambientalmente correto para aplicação dos agrotóxicos.

A perda de produtividade por pragas e plantas daninhas pode ser considerado um problema, contudo, com a tecnologia aplicada pode-se melhorar o desempenho do monitoramento e controle das safras, com processos de monitoramento e remoção de plantas daninhas mais eficientes (TALAVIYA *et al.*, 2020).

Na Figura 6, observa-se a implementação do sistema para acelerar o processo de tomada de decisão em diferentes cenários agrícolas para fazer a localização das pragas e plantas daninhas e minimizar as perdas de produtividade das culturas.

Figura 6 - Severidade de lagarta (*helicoverpa armigera*) na cultura do algodão em diferentes municípios da Índia



Fonte: Singh (2018).

Na Figura 7, observa-se a aplicação localizada de agrotóxicos com o sistema B, onde as máquinas agrícolas e a telecomunicação em tempo real possibilitam aplicar a tecnologia para efetuar a pulverização localizada de agrotóxicos.

Figura 7 - Sistema B na aplicação localizada de agrotóxicos



Fonte: SLC Agrícola S.A (2019).

Conforme pode ser observado nos dados da Tabela 11, o fluxo de caixa do investimento no sistema B apresentou Valor Presente Líquido (VPL) de R\$ 6.167.068,39, demonstrando que o investimento possui viabilidade no retorno do capital empregado, com valor de retorno positivo. Considerando a Taxa Interna de Retorno (TIR) o resultado de 343,00% pode ser considerado que o investimento é economicamente viável. Por fim, a Relação Benefício Custo (B/C), com resultado de 14,4569, indica que a soma das receitas atualizadas foi superior em relação ao total dos custos e que para cada R\$ 1,00 aplicado no sistema, espera-se montante de R\$ 14,4569 bruto e R\$ 13,4569 líquido.

Tabela 11 - Fluxo de caixa do investimento

Área monitorada 22.914,20 ha		Custo 20,00/ha
Investimento inicial		R\$ 458.284,00
Taxa média de retorno (TMA)		6,00%
Ano	Fluxo de caixa	Descrição
0	-R\$ 458.284,00	Investimento Inicial
1	R\$ 1.572.834,81	Economia de agrotóxico
2	R\$ 1.572.834,81	Economia de agrotóxico
3	R\$ 1.572.834,81	Economia de agrotóxico
4	R\$ 1.572.834,81	Economia de agrotóxico
5	R\$ 1.572.834,81	Economia de agrotóxico
	R\$ 6.625.352,39	Valor presente entradas
	343,00%	TIR
	R\$ 6.167.068,39	VPL
	R\$ 14,4569	(B/C)

Fonte: produção própria.

Na equação 4, o sistema B para pulverização seletiva de plantas daninhas é adquirido anualmente, sendo o *payback* a melhor forma de calcular o seu retorno financeiro. O investimento no sistema B foi calculado em relação ao total de agrotóxicos economizados com a ferramenta durante a safra 2019/2020 aplicados para o controle de plantas daninhas e pragas nas culturas da soja, milho e algodão sendo possível evidenciar que o retorno financeiro no contexto dos agronegócios ocorre em 0,2256 ano.

$$\text{Payback} = \frac{458.284,00}{2.031.118,81} = 0,2256 \quad (4)$$

Como o custo desse sistema é calculado por hectare com pagamentos anuais, o *payback* nesse caso é aceito somente com retorno financeiro menor que 1 ano.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em um cenário de plantas daninhas resistentes aos herbicidas e pragas de difícil controle, o aumento no uso de agrotóxicos e nos custos para os agricultores corrobora a necessidade de inovar no monitoramento e pulverização das culturas agrícolas. Nesse aspecto, as tecnologias de agricultura 4.0 como big data, IoT e agricultura digital podem contribuir utilizando processos virtuais no monitoramento, análise de dados e tomada de decisão, melhorando a eficiência e assertividade na pulverização da lavoura.

Diante disso, o objetivo desse estudo foi atingido, apresentando a análise dos aspectos econômicos para as culturas de soja primeira safra, milho e algodão de segunda safra, quando utilizada duas tecnologias de agricultura 4.0 no monitoramento da lavoura para pulverização de maneira localizada com controle de aplicação via sinal de satélite e virtualização dos processos de monitoramento, para verificar a influência na variável dependente, economia no uso de agrotóxicos e de água, podendo ser explicada pela variável independente: processos de monitoramento da lavoura por dados e virtualização dos processos, com a capacidade de executar o trabalho com controle e sincronismo das operações.

Mais especificamente, o estudo destacou a técnica de monitoramento da lavoura e os processos utilizando agricultura 4.0, apresentando os dados primários gerados pelo monitoramento georreferenciado para identificar a variabilidade espacial de plantas daninhas e pragas, para posterior aplicação de agrotóxicos de maneira localizada e, por fim, apresentou a avaliação dos resultados quantitativos do uso de agrotóxico, após o georreferenciamento, mensurando a viabilidade econômica dos investimentos;

Segundo as teorias estudadas, na PVT a virtualização dos processos pode contribuir na eficiência operacional evitando erros e diminuindo custos, ratificando a pesquisa no que tange os benefícios econômicos das tecnologias estudadas. Nas áreas onde foi possível aplicar a tecnologia de agricultura 4.0, com o incremento das teorias baseadas no uso dos dados para a tomada de decisão e para aumento da velocidade na comunicação, ocorre a contribuição nas questões econômicas da aplicação de agrotóxicos. É importante destacar o incremento de uma seta retornando o processo ao início, indicando que o ciclo se renova com a necessidade de monitoramento constante na lavoura.

É plausível afirmar, diante das pesquisas utilizadas que o monitoramento das plantas possibilita o gerenciamento das culturas com o objetivo de identificar e antecipar possíveis problemas. Nesse cenário, fica difícil o produtor rural ter esse controle permanentemente na lavoura mesmo em pequenas áreas de cultivo. Analisando as áreas onde foi possível aplicar as tecnologias para aplicação localizada de agrotóxicos, identifica-se a distribuição de pragas e plantas daninhas com características de variabilidade espacial. Essa distribuição heterogênea de pragas e plantas daninhas permitiu a economia de área tratada de 61,70% durante toda a safra, 55,57% para milho, 72,52% para algodão e 51,08% para soja. Esse indicador demonstra que, apesar de existir uma variação na distribuição georreferenciada, com diferentes intensidades, o fenômeno foi identificado em todas as culturas. Analisando individualmente as

aplicações de herbicidas, responsáveis por 48% do volume total de agrotóxicos aplicados no Brasil, a redução de área aplicada foi de 71,52%.

Nesse contexto, as hipóteses do estudo foram corroboradas, pois a distribuição das plantas daninhas e pragas nas áreas agrícolas são desuniformes, e causam dificuldade no manejo e um considerável prejuízo econômico quando se utiliza o procedimento de pulverização convencional em área total. Além disso, o mapeamento e virtualização dos processos para aplicação localizada de agrotóxicos pode levar a diminuição no uso desses produtos e nos custos, resultado da variabilidade espacial de pragas e plantas daninhas, confirmando a viabilidade econômica dos investimentos feitos pela empresa nos dois sistemas estudados. Outro ponto importante a ser destacado são os sistemas inteligentes que detectam alvos para pulverização localizada de agrotóxicos, representando um grande benefício econômico. Por fim, a influência na variável dependente, economia no uso de agrotóxicos e de água, podendo ser explicada pela variável independente: processos de monitoramento da lavoura de maneira virtual com a capacidade de executar o trabalho com controle e sincronismo das operações foi corroborada.

A característica de distribuição de pragas e plantas daninhas de maneira heterogênea é o ponto de limitação desse estudo, no que tange a generalização dos resultados, pois esse fenômeno é requisito essencial para a aplicação localizada de agrotóxicos sem perdas de produtividade causada por dano ou competição com as culturas. Esse fenômeno é considerado uma mudança espontânea nos dados, criando cenários econômicos positivos ou negativos entre custos e receitas. No caso de alto índice de infestação de pragas e plantas daninhas em determinado talhão, o risco de dano na cultura não permite que a pulverização seja feita de maneira localizada, por esse motivo, a aplicação é realizada em área total.

A intensificação das práticas agrícolas é o caminho para melhorar o desempenho produtivo das culturas, com técnicas de manejo inovadoras com o objetivo de reduzir os erros, com a utilização de levantamento da variabilidade espacial das culturas. Observa-se aumento na resistência das plantas daninhas aos herbicidas e o surgimento de pragas de difícil controle, contribuindo para o aumento na variabilidade espacial nas lavouras. Embora, ainda seja difícil mensurar a sustentabilidade de uma prática onde os dados são usados para a tomada de decisão, essas técnicas estão revolucionando e melhorando o desempenho econômico da agricultura, apesar de algumas vezes estarem distantes dos pequenos agricultores.

Nesse contexto, a companhia concretiza a tomada de decisão de realizar novos investimentos para as próximas safras, incrementando as tecnologias aqui estudadas nas demais

fazendas, para que, dessa forma, tenha uma maior abrangência de área, da mesma forma que esse fenômeno ocorreu no passado e foi destacado por John H. Davis e Ray A. Goldberg da Universidade de Harvard no ano de 1957, onde novos dispositivos inovadores foram ganhando impulso e aceleração com o passar dos anos. Nesse cenário, a Teoria do Desenvolvimento Econômico de Schumpeter destaca que o empresário inovador aplica uma melhoria em um processo ou a introdução de um dispositivo inovador desconhecido para melhorar a qualidade e a eficiência de um processo ou produto vigente, gerando um ciclo tecnológico e econômico positivo, com a convergência do econômico e tecnológico. Por outro lado, sem esses investimentos em inovações tecnológicas efetivados por empresários beligerantes, ocorre o fenômeno da imobilização econômica ou o equilíbrio estático da economia, onde o econômico e o tecnológico são divergentes.

Para próximo estudo, pode-se avaliar a meta da companhia de levar a agricultura 4.0 e a conectividade para todas as fazendas do grupo, e verificar o resultado do escopo quantitativo com o objetivo de reduzir 24,8 milhões de litros de água, 96 toneladas de agrotóxicos e 34,3 toneladas de embalagens de agrotóxicos. Pode-se aprofundar o tema e fazer novas pesquisas na área de agricultura digital, IoT e *big data*, juntamente com o aprofundamento no estudo da PVT, com a virtualização dos processos no contexto de *smart farm*, podendo ser desenvolvido um novo conceito, ou até mesmo uma nova teoria, que pode ser chamada de *digital integrated pest management theory (DIPMT)*, com a junção dos conceitos de *integrated pest management (IPM)* e digital das *smart farms*.

REFERÊNCIAS

- AIGNER, B. L. *et al.* Brown Marmorated Stink Bug (Hemiptera: pentatomidae) infestations in tree borders and subsequent patterns of abundance in soybean fields. **Journal Of Economic Entomology**, [S.L.], v. 110, n. 2, p. 487-490, 3 mar. 2017. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/jee/tox047>. Disponível em: <https://academic.oup.com/jee/article/110/2/487/3061481>. Acesso em: 23 out. 2021.
- ALBARRACIN, E Luft; TRIAPITSYN, S V; VIRLA, E G. Egg Parasitoid Complex of the Corn Leafhopper, *Dalbulus maidis* (DeLong) (Hemiptera: cicadellidae), in argentina. *Neotropical Entomology*, [S.L.], v. 46, n. 6, p. 666-677, 22 jun. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13744-017-0535-x>. Disponível em: <https://link-springer-com.ez47.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s13744-017-0535-x#citeas>. Acesso em: 23 out. 2021.
- BARROS NETO, Benício de; SCARMINIO, Ieda Spacino; BRUNS, Roy Edward. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 4. ed. Londrina: Bookman, 2010. 411 p.
- BARROSO, Judit; MCCALLUM, John; LONG, Dan. Optical Sensing of Weed Infestations at Harvest. **Sensors**, [S.L.], v. 17, n. 10, p. 2381, 19 out. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s17102381>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/sensors>. Acesso em: 11 jul. 2021.
- BARZMAN, Marco *et al.* Eight principles of integrated pest management. **Agronomy For Sustainable Development**, [S.L.], v. 35, n. 4, p. 1199-1215, 24 jul. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-015-0327-9>. Disponível em: <https://link-springer-com.ez47.periodicos.capes.gov.br/content/pdf/10.1007/s13593-015-0327-9.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2021.
- BERG, Henk van Den *et al.* Pesticide lifecycle management in agriculture and public health: where are the gaps?. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 742, p. 140598, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140598>. Disponível em: <https://www-scienceirect.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0048969720341206?via%3Dihub#bb0060>. Acesso em: 10 jul. 2021.
- BHARATI, P.; CHAUDHURY, A.. Current Status of Technology Adoption: Micro, Small and Medium Manufacturing Firms in Boston, **Communications of the ACM**, Vol. 49, No. 10, pp. 88-93, 2006.
- BONGOMIN, Ocident *et al.* Industry 4.0 Disruption and Its Neologisms in Major Industrial Sectors: a state of the art. **Journal of Engineering**, [S.L.], v. 2020, p. 1-45, 10 out. 2020. Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2020/8090521>. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/je/2020/8090521/>. Acesso em: 20 jun. 2021.
- BUXTON, Martin; HANNEY, Steve. How Can Payback from Health Services Research Be Assessed? **Journal Of Health Services Research & Policy**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 35-43, jan. 1996. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/135581969600100107>. Disponível em:

<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/135581969600100107>. Acesso em: 02 mar. 2022.

CHEN, Min; MAO, Shiwen; LIU, Yunhao. Big Data: a survey. **Mobile Networks And Applications**, [S.L.], v. 19, n. 2, p. 171-209, 22 jan. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11036-013-0489-0>. Disponível em: <https://web-b-ebshost.ez47.periodicos.capes.gov.br/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=00289fca-7be6-43c1-a7db-2bb83fe9a97b%40pdc-v-sessmgr01>. Acesso em: 10 jul. 2021.

CRESWELL, John W.; CRESWELL, J. David. **Projeto de pesquisa-: Métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Porto Alegre: Penso Editora, 2021.

CZARNECKI, Christian; WINKELMANN, Axel; SPILIOPOULOU, Myra. Services in electronic telecommunication markets: a framework for planning the virtualization of processes. **Electronic Markets**, [S.L.], v. 20, n. 3-4, p. 197-207, 19 nov. 2010. Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s12525-010-0045-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12525-010-0045-8>. Acesso em: 15 nov. 2021.

DAVIS, John H.; GOLDBERG, Ray A. A concept of agribusiness. **Harvard University**, Boston, v. 1, n. 1, p. 1-164, fev. 1957. Disponível em: <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.32106006105123&view=1up&seq=21>. Acesso em: 30 out. 2021.

DEUTSCH, Curtis A. *et al.* Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. **Science**, [S.L.], v. 361, n. 6405, p. 916-919, 30 ago. 2018. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.aat3466>. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/361/6405/916>. Acesso em: 03 jul. 2021.

DIEK, Sanne *et al.* Minimizing soil moisture variations in multi-temporal airborne imaging spectrometer data for digital soil mapping. **Geoderma**, [S.L.], v. 337, p. 607-621, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.052>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706118316227?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jun. 2021.

EITZINGER, Anton *et al.* GeoFarmer: a monitoring and feedback system for agricultural development projects. **Elsevier Bv: Computers and Electronics in Agriculture**, [S.L.], v. 158, p. 109-121, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.049>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169918308433?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jun. 2021.

FAO (Rome). **Towards a Water and Food Secure Future: Critical Perspectives for Policy-makers**. Food And Agriculture Organization Of The United Nations, Rome, p. 1-76, 2015. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i4560e/i4560e.pdf>. Acesso em: 23 out. 2021.

FAO; WHO. Preventing suicide: a resource for pesticide registrars and regulators. **World Health Organization and Food And Agriculture Organization Of The United Nations**, Geneva, v. 1, n. 1, p. 1-36, ago. 2019. Disponível em: https://www.who.int/mental_health/resources/preventingsuicide/en/. Acesso em: 15 ago. 2021.

FAOSTAT. Pesticides trade and pesticides use. 2021. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RT>. Acesso em: 10 jul. 2021.

FOUNTAS, S. *et al.* Farm management information systems: current situation and future perspectives. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 115, p. 40-50, jul. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2015.05.011>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169915001337?via%3Dihub>. Acesso em: 02 nov. 2021.

GOMES, José M. Elaboração e análise de viabilidade econômica de projetos: tópicos práticos de finanças para gestores não financeiros. [Digite o Local da Editora]: Grupo GEN, 2013. 9788522479634. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522479634/>. Acesso em: 02 mar. 2022.

HEINE-FUSTER, Inger; ARÁNGUIZ-ACUÑA, Adriana; RAMOS-JILIBERTO, Rodrigo. Pesticide increases transgenerational cost of inducible defenses in a freshwater rotifer. **Hydrobiologia**, [S.L.], v. 799, n. 1, p. 249-260, 27 abr. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-017-3221-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10750-017-3221-4>. Acesso em: 03 jul. 2021.

ILO. Agriculture: a hazardous work. **International Labour Organization**, Geneva, v. 1, n. 1, p. 1-1, jun. 2019. Disponível em: http://www.ilo.org/safework/areasofwork/hazardous-work/WCMS_110188/lang--en/index.htm. Acesso em: 15 ago. 2021.

INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA (IMEA). Mato Grosso. **Relatório de mercado:** custo de produção soja gmo Mato Grosso. Custo de produção soja gmo Mato Grosso. 2021. Disponível em: <https://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado>. Acesso em: 06 jul. 2021.

JAKKU, Emma *et al.* If they don't tell us what they do with it, why would we trust them? Trust, transparency and benefit-sharing in Smart Farming. **Elsevier Bv: NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**, [S.L.], v. 90-91, p. 1-13, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.njas.2018.11.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1573521418301842?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jun. 2021.

KARTHIKEYAN, P. *et al.* Weed Identification in Agriculture Field Through IoT. **Advances In Intelligent Systems And Computing**, [S.L.], p. 495-505, 30 ago. 2020. Springer Singapore. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-15-5029-4_41. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-5029-4_41#citeas. Acesso em: 03 nov. 2021.

KIMBRELL, Andrew (Ed.). **The fatal harvest reader: The tragedy of industrial agriculture**. Island Press, 2002. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=plTcVDph_SQC&oi=fnd&pg=PP10&dq=Fatal+Harvest:+The+Tragedy+Of+Industrial+Agriculture&ots=_2uSDBAiN5&sig=TUy6DYfAPOLJEwAHkvg2SavOsGQ&redir_esc=y#v=onepage&q=Fatal%20Harvest%3A%20The%20Tragedy%20Of%20Industrial%20Agriculture&f=false. Acesso em: 03 jul. 2021.

KLERKX, Laurens; JAKKU, Emma; LABARTHE, Pierre. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: new contributions and a future research agenda. **Njas - Wageningen Journal of Life Sciences**, [S.L.], v. 90-91, p. 1-16, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1573521419301769?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jun. 2021.

LAURSEN, Morten *et al.* Dicotyledon Weed Quantification Algorithm for Selective Herbicide Application in Maize Crops. **Sensors**, [S.L.], v. 16, n. 11, p. 1848, 4 nov. 2016. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s16111848>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/sensors>. Acesso em: 18 nov. 2021.

LEFÈVRE, Amélie *et al.* Challenges of complying with both food value chain specifications and agroecology principles in vegetable crop protection. **Agricultural Systems**, [S.L.], v. 185, p. 102953, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102953>. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0308521X20308143?via%3Dihub>. Acesso em: 11 ago. 2021.

LIANG, Ting - Peng *et al.* "Adoption of mobile technology in business: a fit-viability model", **Industrial Management & Data Systems**, Vol. 107 No. 8, pp. 1154-1169, 2007. <https://doi.org/10.1108/02635570710822796>. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/02635570710822796/full/html>. Acesso em: 27 jun. 2021.

LIU, Jizhan; ABBAS, Irfan; NOOR, Rana Shahzad. Development of Deep Learning-Based Variable Rate Agrochemical Spraying System for Targeted Weeds Control in Strawberry Crop. **Agronomy**, [S.L.], v. 11, n. 8, p. 1480, 26 jul. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy11081480>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/8/1480/htm>. Acesso em: 03 nov. 2021.

MACHARIA, Joseph. Routledge Handbook of Sustainable and Regenerative Food Systems: from weekend farming telephone farming. **Routledge**, London, v. 1, n. 1, p. 1-478, 13 ago. 2020. Routledge. <http://dx.doi.org/10.4324/9780429466823>. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.4324/9780429466823/routledge-handbook-sustainable-regenerative-food-systems-jessica-duncan-michael-carolan-johannes-wiskerke?refId=ea56103c-5cca-449a-b3c0-4503259e07ac&context=ubx>. Acesso em: 09 nov. 2021.

MEENA, Ram Swaroop *et al.* Impact of Agrochemicals on Soil Microbiota and Management: A Review. **Land**, [s. l.], v. 2, n. 9, p. 1-34, 17 jan. 2020. [Doi.org/10.3390/land9020034](https://doi.org/10.3390/land9020034). Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/9/2/34>. Acesso em: 26 dez. 2021.

MIALHE, Luiz Geraldo. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1974.

NEWMAN, David H.. The Optimal Forest Rotation: a discussion and annotated bibliography. **U.S. Department Of Agriculture**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-44, 1988. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station.

<http://dx.doi.org/10.2737/se-gtr-48>. Disponível em:
<https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/1138>. Acesso em: 02 mar. 2022.

OCTAVIANO, Fábio R. *et al.* Semi-automatic selection of primary studies in systematic literature reviews: is it reasonable? **Empirical Software Engineering**, [S.L.], v. 20, n. 6, p. 1898-1917, 10 dez. 2014. Springer Science and Business Media LLC.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10664-014-9342-8>. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10664-014-9342-8>. Acesso em: 27 jun. 2021.

ONSARIGO, Lameck; ADAMTEY, Simon. Feasibility of state transportation agencies acquiring trenchless technologies: a comparison of open cut and horizontal auger boring. **Tunnelling And Underground Space Technology**, [S.L.], v. 95, p. 103162, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tust.2019.103162>. Disponível em:
<https://www-sciencedirect.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0886779818308113?via%3Dihub>. Acesso em: 25 ago. 2021.

OVERBY, Eric M.; KONSZYNSKI, Benn. Task-Technology Fit and Process Virtualization Theory: an integrated model and empirical test. **Ssrn Electronic Journal**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-62, 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1567097>. Disponível em:
https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1567097. Acesso em: 01 nov. 2021.

OVERBY, Eric. Process Virtualization Theory and the Impact of Information Technology. **Organization Science**, [S.L.], v. 19, n. 2, p. 277-291, abr. 2008. Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS).
<http://dx.doi.org/10.1287/orsc.1070.0316>. Disponível em:
<https://pubsonline.informs.org/doi/pdf/10.1287/orsc.1070.0316>. Acesso em: 31 out. 2021.

OYINBO, Oyakhilomen *et al.* Farmers' preferences for high-input agriculture supported by site-specific extension services: evidence from a choice experiment in nigeria. **Agricultural Systems**, [S.L.], v. 173, p. 12-26, jul. 2019. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2019.02.003>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X18306772?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jun. 2021.

PARTEL, Victor *et al.* Development and evaluation of a low-cost and smart technology for precision weed management utilizing artificial intelligence. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 157, p. 339-350, fev. 2019. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.048>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169918316612?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jun. 2021.

PASSOS, Máximo Lages Vieira *et al.* Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Balsas-MA. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 18, n. 1, p. 83-89, 12 abr. 2017. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v18i1.48584>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/48584>. Acesso em: 20 jun. 2021.

PEREIRA, Agnaldo Santos; COSTA, LGTA; COSTA, LRTA. Análise de investimento. **Curitiba: E IESDE**, 2012.

REGAN, Áine. *Smart farming' in Ireland: a risk perception study with key governance actors*. **Elsevier Bv**: NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, Dublin, v. 90-91, p. 1-10, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.njas.2019.02.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1573521418302100?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jun. 2021.

RODRÍGUEZ-LIZANA, A. *et al.* Spatially variable pesticide application in olive groves: evaluation of potential pesticide-savings through stochastic spatial simulation algorithms. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 778, p. 146111, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146111>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721011785>. Acesso em: 17 jul. 2021.

ROGERS, Everett M. Diffusion of Innovations: modifications of a model for telecommunications. **Die Diffusion von Innovationen In Der Telekommunikation**, [S.L.], p. 25-38, 1995. Springer Berlin Heidelberg. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-79868-9_2. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-79868-9_2. Acesso em: 20 jun. 2021.

SANDLER, Hilary A. Managing *Cuscuta gronovii* (swamp dodder) in cranberry requires an integrated approach. **Sustainability**, v. 2, n. 2, p. 660-683, 2010.

SCHUHBAUER, Anna; SUMAILA, U. Rashid. Economic viability and small-scale fisheries — A review. **Ecological Economics**, [S.L.], v. 124, p. 69-75, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.01.018>. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S092180091630132X?via%3Dihub>. Acesso em: 10 jul. 2021.

SCHUMPETER, J. A. **A Teoria do Desenvolvimento Econômico**: uma investigação sobre lucro, capital, crédito, juro e o ciclo econômico. São Paulo: Nova Cultural, 1985.

SCHUT, Antonius G.T. *et al.* Assessing yield and fertilizer response in heterogeneous smallholder fields with UAVs and satellites. **Field Crops Research**, [S.L.], v. 221, p. 98-107, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.018>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037842901731016X?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jun. 2021.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA DEFESA VEGETAL (SINDIVEG). **Levantamento dos principais números do setor de agrotóxicos no Brasil**: mercado total de agrotóxicos por produto aplicado. Mercado total de agrotóxicos por produto aplicado. São Paulo: 2021. Disponível em: <https://sindiveg.org.br/mercado-total/>. Acesso em: 10 ago. 2021.

SINGH, Surender Kumar. A smart precision plant protection technique based upon information and communication technologies for field crops in India for wide-area implementation. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 10, n. 1, p. 262-265, 2018.

SLC AGRÍCOLA S.A (Porto Alegre). SLC Agrícola S.A. **Relatório Integrado 2019**. 2019. Disponível em: <https://www.slcagricola.com.br/ri2019/pdf/SLCRelatorioIntegrado2019.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2022.

SOMERVILLE, Gayle J. *et al.* Spatial Modelling of Within-Field Weed Populations, a Review. **Agronomy**, Slagelse, v. 10, n. 7, p. 1-18, 20 jul. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10071044>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/7/1044>. Acesso em: 20 jun. 2021.

STERNS, James A. *et al.* Using case studies as an approach for conducting agribusiness research. **The International Food And Agribusiness Management Review**, East Lansing, v. 1, n. 3, p. 311-327, 1998.

TALAVIYA, Tanha *et al.* Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. **Artificial Intelligence In Agriculture**, [S.L.], v. 4, p. 58-73, 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aiaa.2020.04.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S258972172030012X>. Acesso em: 20 nov. 2021.

THOMAS, Manoj; COSTA, Daniela; OLIVEIRA, Tiago. Assessing the role of IT-enabled process virtualization on green IT adoption. **Information Systems Frontiers**, [S.L.], v. 18, n. 4, p. 693-710, 21 abr. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10796-015-9556-3>. Disponível em: <https://web-p-ebscohost.ez47.periodicos.capes.gov.br/ehost/detail/detail?vid=0&sid=4743e4e3-5740-488e-9283-f67d74ef03c0%40redis&bdata=Jmxhbm9cHQYnImc2l0ZT1laG9zdC1saXZlJnNjb3B1PjNpdGU%3d#AN=117042464&db=iih>. Acesso em: 01 nov. 2021.

THUNDIYIL, Josef G *et al.* Policy and practice: acute pesticide poisoning: a proposed classification tool. **World Health Organization: Bulletin of the World Health Organization**, Geneva, v. 1, n. 1, p. 1-8, mar. 2008. Disponível em: <https://www.who.int/bulletin/volumes/86/3/07-041814.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2021.

VALENTE, Ana Lúcia E. F.. Algumas reflexões sobre a polêmica agronegócio versus agricultura familiar. **Embrapa Informação Tecnológica**, Brasília, v. 1, n. 29, p. 1-78, 2008.

VORPAGEL, Fábio et al. Análise de Viabilidade Econômica da implantação de unidade de armazenamento de grãos com linha de crédito subsidiada pelo Programa para Construção e Ampliação de Armazéns (PCA). **CEP**, v. 98300, p. 000, 2017.

WESTWOOD, James H. *et al.* Weed Management in 2050: perspectives on the future of weed science. **Weed Science**, [S.L.], v. 66, n. 3, p. 275-285, 21 fev. 2018. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/wsc.2017.78>. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-science/article/weed-management-in-2050-perspectives-on-the-future-of-weed-science/51F98001554CADCE9866699E976562D1>. Acesso em: 20 jun. 2021.

WOLFERT, Sjaak *et al.* Big Data in Smart Farming – A review. **Agricultural Systems**, [S.L.], v. 153, p. 69-80, maio 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agry.2017.01.023>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X16303754?via%3Dihub>. Acesso em: 09 jul. 2021.

ZAGÓRDA, Mirosław *et al.* Sterowanie zespołem elektrozaworów na podstawie sygnału z panelu nawigacyjnego Trimble CFX-750 z modułem Field-IQ. **Przegląd Elektrotechniczny**, [S.L.], v. 1, n. 12, p. 201-204, 5 dez. 2017. Wydawnictwo SIGMA-NOT, sp. z.o.o.. <http://dx.doi.org/10.15199/48.2017.12.50>. Disponível em: <http://pe.org.pl/index.php?lang=1>. Acesso em: 27 jun. 2021.

ZHANG, XiaoLong *et al.* Weed recognition from pea seedling images and variable spraying control system. **Nongye Jixie Xuebao= Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery**, v. 43, n. 11, p. 220-225, 2012. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20123410535>. Acesso em: 16 mai. 2022.

ZAZA, Claudio *et al.* A new decision-support system for the historical analysis of integrated pest management activities on olive crops based on climatic data. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 148, p. 237-249, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2018.03.015>. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0168169918301881?via%3Dihub>. Acesso em: 02 nov. 2021.

ZHANG, Zhihong *et al.* Improved premixing in-line injection system for variable-rate orchard sprayers with Arduino platform. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 162, p. 389-396, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2019.04.023>. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S016816991831593X?via%3Dihub>. Acesso em: 19 out. 2021.