O Boletim de Conjuntura (BOCA) publica ensaios, artigos de revisão, artigos teóricos e empíricos, resenhas e vídeos relacionados às temáticas de políticas públicas.

O periódico tem como escopo a publicação de trabalhos inéditos e originais, nacionais ou internacionais que versem sobre Políticas Públicas, resultantes de pesquisas científicas e reflexões teóricas e empíricas.

Esta revista oferece acesso livre imediato ao seu conteúdo, seguindo o princípio de que disponibilizar gratuitamente o conhecimento científico ao público proporciona maior democratizacão mundial do conhecimento.



BOLETIM DE CONJUNTURA

BOCA

Ano VII | Volume 24 | Nº 70 | Boa Vista | 2025

http://www.ioles.com.br/boca

ISSN: 2675-1488

https://doi.org/10.5281/zenodo.17764884

BOLETIM DE CONJUNTURA

www.ioles.com.br/boca

ANÁLISE DE RISCO NA VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DE PULVERIZADORES

Walter Roberto Hernandez Vergara[1]

Renato Ferreira da Cruz[2]

Resumo

O objetivo deste estudo é analisar a viabilidade econômico-financeira de duas tecnologias utilizadas na produção agrícola: as pulverizações autopropelidas e os drones pulverizadores. Ambas as tecnologias desempenham papéis relevantes na agricultura moderna, especialmente com o advento da agricultura 4.0 e a necessidade crescente de otimização de processos produtivos. A pesquisa avalia qual das tecnologias apresenta a melhor relação custo-benefício em diferentes cenários operacionais, considerando fatores como eficiência, custos operacionais e adaptação às condições de trabalho. A pesquisa está baseada na aplicação de técnicas e análise de receitas e custos que permitiram a determinação de indicadores econômicos no estudo de viabilidade econômico-financeira. No tratamento de dados utilizamos relatórios, dados obtidos da pesquisa de campo e a estrutura da demonstração do fluxo de caixa da empresa. Também, ferramentas estatísticas e o software da Microsoft Excel 2013® para representar e estimar o cenário estabelecido com base em dados pessimistas, mais provável e otimista. Na pesquisa exploratória, coletamos dados e fazemos entrevistas informais com pessoas peritas no setor de agronegócios e gestão de fazendas, pesquisas de campo e investigação de outras pesquisas para aprofundar o conhecimento no contexto do assunto estudado. A viabilidade econômico-financeira foi realizada utilizando os métodos do Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Payback e Índice de Benefício/Custo (IBC). Além disso, devemos aplicar a simulação de Monte Carlo, para medir o "nível de confiança", dos indicadores estimados em função dos riscos, das incertezas e variabilidades nas receitas, custos e despesas, nas estimativas colocadas no nosso modelo, proporcionando uma análise probabilística mais robusta dos resultados esperados. Os resultados do estudo indicam que a escolha entre as tecnologias do pulverizador autopropelido e do drone pulverizador depende do porte da propriedade, do horizonte de planejamento e do perfil de risco do produtor, pois enquanto o primeiro seja mais adequado para grandes propriedades e operações intensivas, o segundo se mostra eficiente para contextos segmentados, como áreas de difícil acesso ou aplicações localizadas.

Palavras-chave: Agricultura 4.0; Drone Pulverizador; Pulverizador Autopropelido; Simulação de Monte Carlo; Viabilidade Econômica Financeira.

Abstract

The aim of this study is to analyze the economic and financial viability of two technologies used in agricultural production: self-propelled sprayers and spraying drones. Both technologies play relevant roles in modern agriculture, especially with the advent of Agriculture 4.0 and the growing need to optimize production processes. The research evaluates which technology presents the best cost-benefit ratio in different operational scenarios, considering factors such as efficiency, operational costs, and adaptation to working conditions. The research is based on the application of techniques and analysis of revenues and costs that allowed the determination of economic indicators in the economic and financial viability study. In data processing, we used reports, data obtained from field research, and the structure of the company's cash flow statement. We also used statistical tools and Microsoft Excel 2013® software to represent and estimate the established scenario based on pessimistic, most likely, and optimistic data. In the exploratory research, we collected data and conducted informal interviews with experts in the agribusiness and farm management sector, field research, and investigation of other research to deepen our knowledge in the context of the subject studied. Economic and financial viability was assessed using the Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Payback, and Benefit/Cost Ratio (BCR) methods. Furthermore, we applied Monte Carlo simulation to measure the "confidence level" of the estimated indicators in relation to the risks, uncertainties, and variability in revenues, costs, and expenses, as estimated in our model, providing a more robust probabilistic analysis of the expected results.

Keywords: Agriculture 4.0; Economic and Financial Viability; Monte Carlo Simulation; Self-Propelled Sprayer; Spraying Drone.

[1] Professor da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Doutor em Engenharia de Produção. E-mail: waltervergara@ufgd.edu.br

[2] Graduado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). E-mail: renato.1f.cruz@gmail.com

INTRODUÇÃO

O avanço da produção agrícola brasileira ocorreu por diversos fatores, entre eles o desenvolvimento da tecnologia rural voltada à gestão moderna. Nessa abordagem, princípios administrativos aliados a novas tecnologias passaram a ser incorporados à administração das propriedades com o objetivo de aumentar a eficiência, a produtividade e a competitividade do negócio, transformando a fazenda em uma empresa com foco na geração de lucro.

O modelo de agricultura adotado está fortemente ligado ao uso de produtos fitossanitários, considerando os ganhos em produtividade, o que exige constante evolução nas tecnologias de aplicação. Ademais, com o aumento dos custos dos defensivos, da mão de obra e dos combustíveis, além da crescente preocupação com a poluição ambiental, torna-se necessária uma tecnologia mais precisa para aplicação dos produtos no alvo correto, bem como o uso de procedimentos e equipamentos que garantem maior proteção ao aplicador.

Por um lado, os pulverizadores autopropelidos são máquinas terrestres utilizadas para aplicação de defensivos. São reconhecidos por sua robustez e capacidade de cobrir grandes áreas em pouco tempo, utilizando tecnologias avançadas e garantindo alta eficiência operacional. Por outro lado, os drones, ou Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), são equipamentos controlados remotamente que podem executar diversas tarefas, incluindo a pulverização de defensivos agrícolas. Eles são capazes de sobrevoar as plantações e aplicar os produtos com alta precisão.

Partindo desta temática, o objetivo do presente trabalho consiste em analisar a viabilidade econômico-financeira dos pulverizadores utilizados na produção agrícola, com foco nos modelos autopropelidos e drones. A pesquisa investiga o custo-benefício dessas tecnologias em diferentes cenários operacionais.

O estudo fundamentou-se no método dedutivo, cujo roteiro metodológico partiu de uma revisão bibliográfica e documental na coleta de dados, por meio de relatórios técnicos e entrevistas informais com especialistas do setor do agronegócio, até se chegar à etapa de tratamento e análise de dados, no qual houve o emprego de demonstrações de fluxo de caixa, ferramentas estatísticas e o software Microsoft Excel 2013® para representar os cenários pessimista, mais provável e otimista. A análise de viabilidade considerou os métodos de Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Payback e Índice Benefício/Custo (IBC). Foi aplicada a simulação de Monte Carlo para estimar o nível de confiança dos indicadores frente às incertezas do modelo.

Estruturalmente o texto foi construído em três seções, além desta Introdução e das Considerações Finais, as quais trazem uma abordagem científica clássica que parte de uma seção de referencial teórico,

passando por uma seção de detalhamentos metodológicos da pesquisa, até se chegar à seção analítico do estudo, na qual são apresentados os resultados e discussões.

REFERENCIAL TEÓRICO

O uso de defensivos agrícolas ganhou destaque após a Segunda Guerra Mundial, período em que a fome representava um desafio real em regiões da Ásia e da África. A proposta era utilizar a tecnologia para ampliar a produção sem expandir a área cultivada. Paralelamente, o avanço das pesquisas permitiu o desenvolvimento de sementes mais resistentes, produtos dessecantes, desfolhadores, inseticidas, sistemas de irrigação, bem como máquinas e implementos mais robustos e tecnológicos. Esse conjunto de inovações impulsionou o aumento da produção agrícola, despertando o interesse não apenas de agricultores, mas também da sociedade industrial e capitalista (GILL, 2007).

A pulverização é uma tecnologia de aplicação de fitossanitários que transforma líquidos em gotas ou partículas, enquanto a aplicação corresponde à deposição dessas gotas, com o princípio ativo, sobre o alvo, com o tamanho e a densidade apropriados. Essa técnica é usada no controle de insetos, bactérias, fungos e plantas daninhas. Para garantir uma aplicação eficiente, é necessário um estudo detalhado da área, envolvendo conceitos multidisciplinares voltados ao aumento da produtividade, à redução do uso de insumos, à mitigação de impactos ambientais e à diminuição dos custos operacionais (CASALI, 2015).

A eficiência da aplicação refere-se à proporção de produto absorvido pelo alvo em relação à quantidade aplicada pela máquina. Para uma aplicação eficaz, é essencial considerar fatores que podem influenciar o processo, como clima, tipo de solo, alvo biológico, princípio ativo, veículo, operador e máquina.

Na agricultura, há diversos tipos de maquinário destinados à aplicação de defensivos. A escolha do equipamento depende de fatores como o tipo de cultura, o estado físico do produto (sólido ou líquido), a extensão da área, o relevo e as características do solo, que influenciam diretamente no desempenho operacional do equipamento.

Neste estudo, serão abordados pulverizadores de aplicação líquida, tanto os terrestres do tipo autopropelido quanto os aéreos com asa rotativa, dado o amplo espectro de pulverizadores disponíveis.

Os pulverizadores autopropelidos apresentam vantagens como a elevada capacidade dos tanques de combustível e de calda, o que favorece maior desempenho durante a operação.

Esses equipamentos frequentemente operam em alta velocidade, o que pode comprometer a precisão da aplicação e provocar a deriva de produtos químicos. De acordo com Araújo *et al*. (2007), essa

alta velocidade aliada à grande capacidade de carga aumenta o risco de exposição acidental aos defensivos, tanto para os operadores quanto para populações próximas.

O amassamento provocado pelos rodados desses pulverizadores pode causar perdas significativas de produtividade nas áreas afetadas. Um equipamento acoplado a um trator com bitola entre eixos de 1,84 m e rodados com 30 cm de largura pode afetar até 8,3% das sementes de soja por hectare, devido à supressão de plantas entre linhas com espaçamento de 10,8 m da barra pulverizadora (JUSTINO *et al*., 2006). Segundo Machado e Reynaldo (2019), essa perda pode variar entre 5% e 10%, dependendo da quantidade de passagens e da forma de aplicação.

Além disso, esses equipamentos podem compactar o solo em função do peso e do porte, prejudicando sua estrutura e fertilidade. Esse efeito é mais acentuado em solos úmidos ou com baixa resistência, onde a pressão dos pneus pode levar à degradação significativa (CUNHA; CASCÃO; REIS, 2009).

As condições climáticas influenciam diretamente a eficiência e segurança da pulverização com autopropelidos, sendo impactadas por ventos fortes, chuvas ou altas temperaturas, que afetam a dispersão e a aderência dos produtos aplicados.

A operação desses equipamentos demanda investimentos consideráveis, que vão além da aquisição inicial, incluindo custos com manutenção, combustível, reparos e depreciação. A substituição de peças e os serviços de calibração e ajustes frequentes também elevam os custos operacionais.

A mão de obra é outro aspecto relevante. Embora os pulverizadores reduzam a necessidade de trabalho manual, exigem operadores cada vez mais qualificados para garantir aplicações eficazes e seguras. A complexidade dos sistemas de controle e o monitoramento contínuo requerem treinamento especializado e a contratação de profissionais capacitados (CASALI *et al*., 2011).

O uso desses equipamentos gera impactos ambientais significativos. A deriva de defensivos agrícolas pode afetar negativamente a flora e a fauna próximas à área de aplicação, contaminando corpos d'água e comprometendo a biodiversidade. Segundo Leite e Serra (2013), a aplicação inadequada e a dispersão de produtos químicos contribuem para a poluição dos recursos hídricos e o desequilíbrio dos ecossistemas. O uso excessivo e descontrolado de defensivos também favorece a degradação ambiental e o surgimento de pragas resistentes.

Os drones pulverizadores se dividem em dois modelos principais: asa fixa e multirrotores. Os de asa fixa são indicados para grandes áreas, graças à capacidade de cobrir longas distâncias em pouco tempo. Sua aerodinâmica permite voos prolongados em relação aos multirrotores, sendo ideais para o monitoramento de grandes propriedades rurais. São amplamente utilizados em mapeamento topográfico, devido à estabilidade em altitude elevada. Outra vantagem é o menor consumo de energia, já que exigem

menos esforço do motor para se manterem no ar, o que resulta em maior autonomia (PARLANGELI; CAVICHIOLI, 2021). Por outro lado, exigem áreas amplas para decolagem e aterrissagem, o que dificulta seu uso em locais menores com vegetação densa. Além disso, não realizam voos estacionários, o que limita sua aplicação em tarefas que exigem precisão localizada (PUPPALA *et al*., 2023).

Os multirrotores são drones com múltiplos rotores e hélices, que permitem voos estáveis em baixas altitudes e a manutenção da posição no ar (SISHODIA; RAY; SINGH, 2020). Essas características os tornam ideais para aplicações que requerem precisão, como pulverização de fitossanitários, gestão nutricional, mapeamento detalhado e monitoramento hídrico. Sua flexibilidade operacional permite atuar em terrenos acidentados ou com difícil acesso (HUNT; DAUGHTRY, 2018).

Esses drones são equipados com reservatórios para transportar defensivos em estado sólido ou líquido (MONTE; MOURA; SANTOS, 2023).

A velocidade e a largura da faixa de aplicação influenciam diretamente o desempenho do drone na pulverização.

Uma das vantagens observadas é a deposição de gotas no dorso inferior das folhas da soja. O vórtice gerado durante a aplicação de fungicidas melhora a penetração, promovendo maior contato entre o produto e a planta (ZAPPA; PÉRA, 2023).

Entre as desvantagens, destaca-se a baixa capacidade de carga. A necessidade de recargas frequentes – tanto do defensivo quanto da bateria – compromete a eficiência operacional. Como ressaltam Souza *et al*. (2024), em grandes lavouras, essas interrupções tornam o uso dos drones inviável quando comparado aos métodos convencionais. Além disso, o transporte do produto até os pontos de recarga gera custos adicionais, elevando os gastos totais.

Outras limitações incluem a autonomia de voo, o alcance restrito, o alto custo, interferências no espaço aéreo e a exigência de regulamentação junto aos órgãos competentes. Também são sensíveis a condições climáticas adversas, exigem operadores treinados, e a altura de aplicação influencia diretamente nos resultados (OLIVEIRA, 2022).

METODOLOGIA

O presente estudo está fundamentado no método teórico-dedutivo (ANDRADE; FUJINO, 2023), caracterizando como exploratório, descritivo e explicativo quanto aos fins e como qualitativo quanto aos meios empregados (PIMENTA; PASQUALETTO, 2025).

A abordagem adotada foi a pesquisa qualitativa, que, no contexto da Engenharia, permite a compreensão aprofundada de fundamentos e temas relacionados ao objeto de estudo, como organizações,

ambiente de negócios e contexto competitivo. Essa vertente utiliza a literatura especializada como fonte de dados e aplica métodos sistemáticos de busca, análise crítica e síntese das informações coletadas (BERNARDES; MUNIZ JUNIOR; NAKANO, 2018).

O desenvolvimento da pesquisa envolveu cinco etapas metodológicas principais: 1 – Levantamento bibliográfico sobre temas pertinentes e coleta de dados técnicos sobre os equipamentos analisados; 2 – Determinação dos investimentos, previsão de receitas com base na demanda estimada, estimativas de custos e despesas, e definição das fontes de financiamento e amortização; 3 – Elaboração e aplicação do Fluxo de Caixa Líquido da empresa; 4 – Cálculo de indicadores econômicos (VPL, TIR, Payback e IBC); 5 – Aplicação de números aleatórios e métodos estatísticos baseados em amostragem aleatória massiva para estimar variáveis controláveis em cenários incertos.

Assim, o estudo foi conduzido com base em um conjunto de cinco etapas sequenciais e integradas, que fundamentaram a construção de um modelo referencial para avaliar a viabilidade econômica de duas tecnologias de pulverização.

Na etapa de coleta de dados, os procedimentos metodológicos de revisão bibliográfica e documental foram utilizados com base no uso de relatórios e entrevistas informais com especialista do setor do agronegócio. A pesquisa seguiu uma estratégia descritiva, conforme descrito por Cauchick-Miguel (2019), que envolve a coleta de dados para descrever detalhadamente as características do objeto de estudo e estabelecer correlações entre variáveis associadas ao problema, visando aprofundar o entendimento dos aspectos epistemológicos envolvidos.

Na etapa de tratamento e análise de dados, por sua vez, houve a interpretação dos dados da pesquisa de campo e o emprego de demonstrações de fluxo de caixa e ferramentas estatísticas. Nesta pesquisa, foi adotado o sistema de custeio variável, por ser o instrumental contábil mais apropriado para gerenciar os custos produtivos. Trata-se de uma ferramenta da contabilidade gerencial utilizada para acompanhar as margens de lucro, excluindo os custos indiretos fixos de fabricação do custo final do produto.

Os custos variáveis oscilam conforme o nível de produção – aumentando à medida que a produção cresce e diminuindo quando há redução na atividade produtiva. No custeio variável, apenas os custos que variam com o volume de produção são considerados na tomada de decisões, como matérias-primas e mão de obra proporcional à produtividade. Custos fixos e irrecuperáveis não são incluídos nesse modelo (VERGARA *et al*., 2017a).

O sistema visa fornecer subsídios para a tomada de decisões gerenciais de curto prazo (VERGARA; YAMANARI; BARBOSA, 2019), como:

> Estimar o limite de lucro desejado com base na análise custo-volume-lucro, otimizando decisões gerenciais de curto prazo.

> Monitorar o desempenho operacional, realizar avaliações internas e distribuir responsabilidades entre setores da empresa.

O custeio variável é um conceito central na contabilidade gerencial. De acordo com esse método, os custos indiretos são reconhecidos no período em que ocorre a produção.

Ele é amplamente empregado por gestores (VERGARA; YAMANARI; BARBOSA, 2019) para:

> Identificar a margem de contribuição de produtos, permitindo compreender a relação entre custos, volume e lucratividade.
>
> Apoiar decisões gerenciais ao desconsiderar custos fixos alocados, cuja distribuição pode distorcer a análise por produto.
>
> Realizar análises de ponto de equilíbrio, definindo a quantidade mínima necessária para atingir lucratividade.
>
> Compreender que os custos totais englobam componentes fixos e variáveis. Os custos variáveis estão atrelados ao volume de produção ou vendas, mantendo-se constantes por unidade produzida.

Diversas técnicas podem ser aplicadas na análise de viabilidade econômico-financeira de um projeto, mas todas compartilham o mesmo propósito: fornecer apoio à decisão do investidor diante de uma oportunidade de investimento.

Fluxo de caixa e indicadores financeiros

A realização de um projeto de investimento requer planejamento adequado das atividades e controle dos recursos materiais, humanos e financeiros envolvidos. Para garantir análises consistentes e baseadas em dados precisos, uma das ferramentas utilizadas é o fluxo de caixa.

Segundo Vergara *et al*. (2021), o fluxo de caixa é uma ferramenta de planejamento financeiro que visa estimar a situação financeira futura da empresa, indicando quanto pode ser gasto, investido ou economizado. Os investimentos são considerados saídas no fluxo de caixa e englobam os custos com aquisição de novos equipamentos, necessidades de manutenção, reservas técnicas, supervisão de engenharia e impostos incidentes.

Conforme Vergara *et al*. (2017a), as despesas totais correspondem à soma dos custos diretos e indiretos associados aos investimentos, incluindo salários, encargos, insumos, materiais e tributos como imposto de renda, ICMS, PIS, COFINS, entre outros.

A análise de viabilidade de um projeto inicia-se com a identificação dos investimentos necessários para a execução das atividades e se encerra com uma avaliação econômica. Essa avaliação tem como objetivo identificar a alternativa mais vantajosa para os investidores. A análise de investimentos utiliza

métodos que possibilitam comparar diferentes opções econômicas ao longo do tempo, auxiliando na tomada de decisão.

O Valor Presente Líquido (VPL) é um dos métodos mais utilizados na engenharia econômica. Sua função é estimar o ganho financeiro real gerado por um investimento considerando uma taxa de juros específica. O VPL representa a soma dos fluxos de caixa – incluindo saídas e receitas previstas – no momento inicial da análise (instante zero).

No método do Valor Presente Líquido (VPL), os valores do fluxo de caixa são trazidos a valor presente com base na Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Se o VPL for positivo, o projeto é considerado viável, pois indica que o retorno ou a economia supera o valor do investimento. Entre diversas alternativas avaliadas por esse método, a mais vantajosa será aquela que apresentar o maior valor positivo (VERGARA *et al*., 2017a). O cálculo do VPL é representado pela Equação 1:

$$VPL = -I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{FC_t}{(1+K)^t} + \frac{VR}{(1+K)^n} \quad (1)$$

Onde:

VPL = valor presente líquido; FC_t = fluxos de entrada previstos para cada período t do projeto; n = número de períodos analisados; I_0 = investimento inicial; K = taxa de juros ou custo de capital (TMA); VR = valor residual ao final do projeto.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa que torna o VPL igual a zero em determinado horizonte temporal. Ao se definir os fluxos de investimento, os retornos esperados e o período n, a TIR é aquela taxa de retorno que equilibra os fluxos de entrada e saída. Se a TIR for superior à TMA, o investimento é considerado rentável. A equação da TIR é representada por (Equação 2):

$$I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{I_t}{(1+K)^t} = \sum_{t=1}^{n} \frac{FC_t}{(1+K)^t} \quad (2)$$

Onde:

I_0 = investimento inicial no instante zero; I_t = investimentos adicionais ao longo dos períodos t; K = taxa interna de retorno (TIR); n = número de períodos avaliados; FC_t = fluxos de entrada de caixa previstos em cada período do projeto.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de desconto que torna o valor presente das receitas igual ao valor presente dos desembolsos. Em outras palavras, é a taxa que anula o VPL de um projeto, também conhecida como taxa de remuneração do capital investido. Ela representa a rentabilidade do projeto e corresponde à taxa que equilibra os fluxos de entrada e saída de caixa, resultando em VPL igual a zero.

Segundo Vergara, Teixeira e Yamanari (2017b), a TIR é um dos métodos mais utilizados na análise de viabilidade de investimentos, por permitir identificar a taxa que iguala o valor presente das saídas e entradas de caixa esperadas, facilitando a interpretação dos resultados pelos analistas.

O tempo de recuperação do capital investido, conhecido como Payback, é um indicador que mede o período necessário para que o investimento inicial seja recuperado (VERGARA *et al*., 2021). Do ponto de vista econômico, quanto menor o tempo de retorno, mais atrativo é o projeto. O Payback pode ser estimado multiplicando-se o número de anos do projeto pela razão entre o valor presente dos investimentos e o valor presente dos lucros, conforme Equação 3.

$$PB = \frac{PVL\,(investimento)}{PVL(lucros)}\ x\ anos \qquad (3)$$

Vergara e Oliveira (2021) definem o Índice de Benefício-Custo (IBC) como um indicador que mensura o retorno financeiro obtido para cada unidade de capital investido. Ele é calculado pela razão entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos investimentos necessários, permitindo comparar a expectativa de ganho com os recursos alocados.

A fórmula do IBC é: IBC = (Valor presente dos benefícios) / (Valor presente dos investimentos)

Para que o projeto seja considerado viável, o IBC deve ser superior a 1: – Se IBC > 1, o projeto é aceito; – Se IBC < 1, o projeto é rejeitado.

De acordo com Vergara, Teixeira e Yamanari (2017), o IBC expressa, ao longo do horizonte de planejamento, quanto se espera obter de retorno por unidade de capital investido.

Método de Monte Carlo

A Simulação de Monte Carlo, ou Método de Monte Carlo (MMC), também chamada de simulação de probabilidade múltipla, é uma técnica matemática utilizada para estimar os possíveis resultados de eventos incertos (VERGARA; TEIXEIRA; YAMANARI, 2017b). As projeções são feitas com base em intervalos de valores estimados, em vez de valores fixos, evoluindo de forma aleatória.

Embora seja conceitualmente e algoritmicamente simples, o método exige a geração de muitas amostras aleatórias para atingir uma boa aproximação. Isso pode acarretar tempos elevados de execução,

principalmente se o processamento de cada amostra for demorado (ARENAS *et al*., 2017; METROPOLIS; ULAM, 1949).

A simulação baseia-se em uma função de distribuição de probabilidade aplicada a uma variável com incerteza. O cálculo é repetido várias vezes, utilizando conjuntos diferentes de números aleatórios dentro do intervalo estimado. Esse procedimento gera resultados prováveis que se tornam mais precisos à medida que se aumenta o número de simulações (BOYLE, 1977; METROPOLIS; ULAM, 1949).

O método de Monte Carlo compreende quatro etapas principais (METROPOLIS; ULAM, 1949):

> Construção de um modelo preditivo, identificando variáveis dependentes e independentes (ou de risco);
>
> Definição da distribuição de probabilidade para cada variável independente, com base em dados históricos e/ou na experiência de especialistas;
>
> Geração de valores aleatórios para as variáveis independentes, repetindo-se o processo até obter uma amostra representativa das possíveis combinações;
>
> Agrupamento dos resultados, cálculo da média, desvio padrão e intervalo de confiança, seguido da visualização em histogramas.

Os dados obtidos por simulação podem ser representados por distribuições de probabilidade ou convertidos em barras de erro, zonas de tolerância, intervalos de confiança e previsões de confiabilidade (VERGARA; TEIXEIRA; YAMANARI, 2017).

Na aplicação prática do método de Monte Carlo, são estimadas as receitas, os custos e as despesas de cada atividade operacional. O software Microsoft Excel é utilizado para desenvolver os algoritmos e executar os experimentos.

Mesmo com a elaboração otimista do modelo de referência, são considerados três cenários: otimista, mais provável e pessimista. Além disso, identificam-se riscos e incertezas que podem afetar as variáveis ao longo do tempo, como inflação, mudanças nas políticas comerciais, imigração e reformas regulatórias.

Para estimar o valor de uma variável, utiliza-se a seguinte fórmula: Prazo médio = (Otimista + (4 × Mais Provável) + Pessimista) ÷ 6

O desvio padrão é calculado para se obter um intervalo de variação da variável dentro das suposições estabelecidas, evitando distorções. A fórmula é: Desvio padrão = (Pessimista – Otimista) ÷ 6

A partir do valor médio de cada variável crítica, é possível estimar o valor esperado do modelo de referência, considerando a produtividade e os imprevistos ao longo do processo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O modelo de pulverizador autopropelido analisado, da marca John Deere M4025, possui capacidade para até 2.500 litros de calda, largura de barras variando entre 27 e 36 metros, velocidade máxima de operação de 25 km/h e motor com potência de 200 hp. O valor cotado do equipamento, conforme consulta ao site oficial da CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), no mês de setembro, foi de R$ 1.668.000,00.

Do total do investimento, 80% será financiado pelo BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) e 20% será proveniente de recursos próprios. Para o pagamento da dívida, utiliza-se o Sistema de Amortização Constante (SAC).

O BNDES, por meio do programa MODERFROTA (Programa de Modernização da Frota de Tratores Agrícolas e Implementos Associados e Colheitadeiras), oferece uma linha de crédito específica para o produtor rural, com taxa de juros de 11,5% ao ano, carência de um ano e prazo total de 7 anos para quitação. O valor da amortização é fixado em R$ 190.628,57 por período, acrescido dos respectivos juros.

A receita anual foi estimada com base em variáveis que determinam a capacidade operacional efetiva, como a velocidade de deslocamento e a largura da barra de pulverização. Foi adotada a velocidade de 20 km/h, com base em pesquisas técnicas, relatos de profissionais do setor e entrevistas com produtores rurais, que indicam velocidades práticas compatíveis com o campo. O modelo em análise apresenta barra com 30 metros de largura.

Outro fator considerado foi o número de aplicações por ano, estimado em 9 aplicações para uma safra anual de soja e milho. Esse número pode variar conforme o nível de infestação de pragas, especialmente aquelas mais resistentes aos inseticidas, que frequentemente exigem reaplicações. Fatores climáticos e o estágio de desenvolvimento das plântulas também influenciam diretamente essa frequência. Para esta simulação, manteve-se o cenário de 9 aplicações anuais.

Com base em entrevistas com produtores, prestadores de serviço e assistência técnica, o valor médio cobrado por aplicação por hectare é de R$ 150,00 na região estudada, com variações pontuais dependendo da época do ano.

A margem líquida de lucro considerada foi de 30%, fundamentada na necessidade de equilibrar a competitividade no mercado agrícola e a sustentabilidade financeira da operação. Estudos apontam que margens superiores a 25% são ideais em setores com alta demanda tecnológica e serviços especializados, como o agrícola, onde os custos com aquisição, combustível, manutenção e capacitação de mão de obra impactam fortemente a estrutura de custos. Essa margem de 30% está alinhada com as práticas de mercado que visam garantir rentabilidade em operações com elevados custos fixos (Ver Tabela 1).

Tabela 1 – Cálculo de receita anual

Cálculo da Receita Anual da empresa					
Descrição	Nº de equip.	Nº horas trabalhadas	Nº hectares totais (ha)	Valor do hectares	Receita (R$) anual
Pulverizador autopropelido	1	738,43	44.306	176,35	11.161.861,16
Total					**11.161.861,16**
		PESSIMISTA	MAIS PROVÁVEL	OTIMISTA	
Hectares a trabalhar (Ha)	4.922,85	1.000,00	4.922,85	3.000,00	
Velocidade de deslocamento (Km/h)	20				
Largura da barra (m)	30				
Número de pulverizações	9				
		PESSIMISTA	MAIS PROVÁVEL	OTIMISTA	
Valor do hectare pulverizado (R$/h)	176,35	150,00	176,35	200,00	
Lucro (%)	30				
Capacidade operacional do Pulver. (Ha/h)	60				
Horas trabalhadas (h)	738,43				
Dias trabalhados (dia/h)	92,30				

Fonte: Elaboração própria.

No estudo, o salário do administrador foi definido em R$ 7.000,00, com base em fontes institucionais que publicam remunerações no setor rural. O salário do ajudante foi estipulado em R$ 2.000,00. Já o salário do tratorista foi estabelecido conforme a tabela de operações agrícolas da Fundação ABC, que estima o valor de R$ 32,16 por hora. Dessa forma, os custos com mão de obra na operação de pulverização foram calculados com base nas horas trabalhadas.

O consumo de combustível do modelo analisado varia conforme a carga aplicada, especialmente em terrenos declivosos ou operações agrícolas mais exigentes. No entanto, o manual do equipamento indica um consumo médio entre 15 e 30 litros por hora, dependendo do desempenho exigido na área.

O preço do combustível foi estabelecido com base nos valores de mercado vigentes à época da análise, sendo fixado em R$ 6,05 por litro.

O custo de manutenção foi definido conforme a tabela da Fundação ABC, que apresenta o valor de R$ 12,33 por metro de barra por hora trabalhada.

O valor residual do pulverizador terrestre representa o montante estimado que o equipamento manterá ao fim de sua vida útil, considerando a depreciação. Esse valor depende de fatores como estado de conservação, tecnologia embarcada, marca e demanda de mercado. Neste estudo, o valor residual foi fixado em 15%. A tabela da Fundação ABC apresenta valores de até 20%, enquanto outras fontes indicam 10%; por isso, adotou-se uma média entre os dados levantados.

O seguro e o abrigo foram estimados em 3% do valor do investimento, conforme metodologia da Fundação ABC.

O consumo de lubrificantes foi estimado em 4%, valor médio baseado no consumo de combustível em operações com cargas pesadas, que exigem maior desempenho do motor e provocam desgaste acelerado, especialmente em atividades complexas como a pulverização.

Entre as despesas fixas, incluem-se depreciação de equipamentos, alojamento, seguros e trabalho indireto. Já as despesas variáveis abrangem gastos com combustível, manutenção, mão de obra sazonal e lubrificantes, que variam conforme o volume de operação.

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) utilizada foi de 25% ao ano. Essa taxa, nas operações agrícolas, reflete a necessidade de retorno elevado em função dos riscos inerentes ao setor, como condições climáticas adversas, volatilidade dos preços de commodities, custos de insumos e flutuações de mercado. Assim, opta-se por uma TMA superior à dos investimentos convencionais.

A taxa de crescimento adotada para o setor agrícola foi de 12%, refletindo uma expectativa otimista baseada em tendências como modernização tecnológica, aumento da demanda por alimentos e expansão de práticas sustentáveis. Essa taxa considera a adoção de tecnologias como drones, pulverizadores de precisão e manejo integrado, que contribuem para o aumento da produtividade e redução de custos. Além disso, o crescimento populacional e políticas públicas voltadas ao setor impulsionam essa perspectiva.

A Demonstração do Fluxo de Caixa (DFC) é um relatório econômico-financeiro dinâmico que apresenta a evolução da liquidez da operação, revelando lucros ou prejuízos ao longo de um período determinado. Na Tabela 2, é possível visualizar os resultados do período zero ao período quatro.

Tabela 2 – Demonstração do Fluxo de Caixa. (período 0 ao 4)

Descrição	Fases/Anos				
	Implantação	Operação			
	0	1	2	3	4
A-Investimento fixo	1.668.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B-Capital de giro					
(=) C-Receita operacional		11.173.371,99	12.067.241,75	13.032.621,09	14.075.230,78
(-) D-Custo operacional (-depr.)		-7.234.586,39	-7.234.586,39	-7.234.586,39	-7.234.586,39
(=) E-Lucro operacional (C-D)		3.938.785,61	4.832.655,36	5.798.034,70	6.840.644,39
(-) F-Depreciação		-291.050,54	-291.050,54	-291.050,54	-291.050,54
(-) G-Encargos financeiros (j. de financiamento)		-153.456,00	-153.456,00	-131.533,71	-109.611,43
(=) H-Lucro antes do IR (E-F-G)		3.494.279,07	4.388.148,82	5.375.450,45	6.439.982,42
(-) I-Imposto de Renda (f2*H)		-541.613,26	-680.163,07	-833.194,82	-998.197,28
(-) I-Contribuição Social (f1*H)		-317.629,97	-398.882,73	-488.628,45	-585.394,40
(-) I-IR ad. Estadual (f3*J)		-174.713,95	-219.407,44	-268.772,52	-321.999,12
(=) LUCRO LÌQUIDO		2.460.321,89	3.089.695,59	3.784.854,66	4.534.391,62
(+) Depreciação		291.050,54	291.050,54	291.050,54	291.050,54
(-) Amortização de financiamento		0,00	-190.628,57	-190.628,57	-190.628,57
(+) Valor Residual					
FLUXO DE CAIXA LÍQUIDO NO PERÍODO	**-1.668.000,00**	**2.751.372,43**	**3.190.117,56**	**3.885.276,63**	**4.634.813,59**

Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 3 mostramos os principais indicadores econômico-financeiros pelo uso do autopropelido.

Tabela 3 - Indicadores econômico-financeiros do autopropelido

Indicadores econômico-financeiro						
Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	19,17%	19,17%	19,17%	19,17%	19,17%	a.a.
Valor Presente (VP)	348.998,02	1.555.113,32	3.927.993,09	8.973.003,28	15.733.780,08	R$
Valor Presente Liquido (VPL)	-1.215.484,61	140.212,98	2.811.267,94	8.488.980,22	16.098.355,18	R$
Taxa interna de retorno (TIR)	-7,78%	17,03%	50,47%	107,94%	179,35%	a.a.
Índice Beneficio/Custo(IBC)	126,64%	136,91%	142,82%	146,36%	147,78%	a.a.
Payback			9 meses			meses

Fonte: Elaboração própria.

Em relação ao drone pulverizador, foi analisado o modelo da marca DJI Agras T40, com capacidade de calda de 40 litros de líquidos ou 50 kg de sólidos. A largura de barra varia entre 6 e 11 metros, dependendo da altura de voo. O valor do equipamento é de R$ 160.000,00, incluindo o kit com os itens essenciais para seu funcionamento.

O kit é composto por: misturador de calda com capacidade de 150 litros (marca X-Mixer), três baterias para o drone T40 com durabilidade estimada de 1.500 ciclos, carregador de bateria com resfriador acoplado, gerador TG15000CXE3-XP, treinamento para operador (X-Pilot) e dispensador de sólidos com capacidade para 50 kg.

Para garantir a eficiência operacional e prevenir possíveis falhas no kit principal, foi adicionado um kit extra de equipamentos, composto por: misturador de calda da marca Drone Direto (R$ 16.000,00), notebook Dell modelo Inspiron 4 (R$ 7.000,00), drone de mapeamento DJI Phantom 4 com controle e câmera NDVI, utilizado na geração de mapas para aplicações em agricultura de precisão, carreta tipo baú para transporte do drone (marca Pollo Carretas, R$ 8.000,00) e um gerador diesel da marca Toyama de 12,5 KVA (R$ 20.000,00), adotando-se uma postura conservadora em relação à infraestrutura de apoio à operação com drones.

As condições de financiamento adotadas para o pulverizador autopropelido também foram aplicadas ao drone pulverizador.

O drone apresenta uma vida útil relativamente inferior em comparação ao autopropelido. Considerando o financiamento em 7 anos, é necessário realizar o reinvestimento no drone a cada dois anos.

A Tabela 4 apresenta um resumo do fluxo de pagamentos referentes aos juros e à amortização, considerando a substituição periódica do drone. O primeiro ano é de carência.

Tabela 4 - Resumo da amortização e juros na substituição

Resumo da amortização e juros pagos na substituição									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Investimentos	-128.000,00		-128.000,00		-128.000,00		-128.000,00		
Amortização		0,00	18.285,71	18.285,71	36.571,43	36.571,43	54.857,14	54.857,14	73.142,86
Juros		14.720,00	14.720,00	27.337,14	25.234,29	35.748,57	31.542,86	39.954,29	33.645,71
Prestações		14.720,00	33.005,71	45.622,86	61.805,71	72.320,00	86.400,00	94.811,43	106.788,57

Fonte: Elaboração própria.

A receita anual foi calculada de forma similar à do autopropelido, mantendo-se o número de pulverizações em 9 aplicações por ano. Entretanto, a velocidade operacional considerada para o drone foi de 21 km/h, sem comprometer a eficiência da operação nem os sensores de radar embarcados, que previnem colisões com obstáculos durante o voo. Na análise, a altura operacional foi fixada em 4 metros e a largura de barra, em 11 metros.

Os valores dos serviços de pulverização com drones e a margem de lucro adotada foram os mesmos utilizados para o autopropelido (Ver Tabela 5).

Tabela 5 - Cálculo de receita anual pelo uso de drones pulverizador

Cálculo da Receita Anual da empresa					
Descrição	**N° de equip.**	**Nº horas trabalhada**	**Nº hectares totais (ha)**	**Valor do hectares**	**Receita (R$) anual**
Drone pulverizador DJI Agras T40	1	369,87	8.544	149,60	1.826.010,80
Total					**1.826.010,80**

			SIMULAÇÃO	
		PESSIMISTA	REALISTA	OTIMISTA
Hectares a trabalhar (Ha)	949	1.000	2.000	3.000
Velocidade de deslocamento (Km/h)	21			
Largura da barra (m)	11		SIMULAÇÃO	
Número de pulverizações	9	PESSIMISTA	REALISTA	OTIMISTA
Valor do hectare pulverizado (R$/h)	149,60	130,00	150,00	200,00
Lucro (%)	30			
Capacidade operacional do Pulver. (Ha/h)	23			
Horas trabalhadas (h)	369,87			
Dias trabalhados (dia/h)	46,23			

Fonte: Elaboração própria.

Os custos anuais foram estimados seguindo os mesmos critérios utilizados para o pulverizador autopropelido. No entanto, é necessário incluir o custo operacional relacionado à bateria. Como a bateria precisa ser recarregada ou substituída após um número limitado de ciclos, ela representa um custo recorrente diretamente vinculado ao uso do drone.

As baterias possuem vida útil definida em ciclos de carga, caracterizando-se como componentes de desgaste que impactam diretamente o custo por operação — seja por hectare ou por hora. O valor estimado de consumo da bateria foi de R$ 6,00 por hectare, com base em dados fornecidos pela empresa de manutenção e serviços ALDrone.

O valor residual de um drone pulverizador ao fim de sua vida útil é considerado nulo, devido à rápida obsolescência tecnológica e à elevada depreciação dos componentes eletrônicos.

Os custos com mão de obra foram mantidos nos mesmos parâmetros utilizados para o autopropelido. O salário do piloto de drone foi estimado em R$ 8.000,00, com base em sites especializados em remuneração, entrevistas com profissionais do setor e prestadores de serviço. Isso corresponde, aproximadamente, a R$ 33,33 por hora trabalhada.

O preço do combustível utilizado no gerador de energia para recarga das baterias foi mantido em R$ 6,05 por litro.

O gerador de energia Toyama 12,5 KVA a diesel consome cerca de 4 litros de combustível por hora, segundo especificações técnicas para motores de quatro tempos com aproximadamente 800

cilindradas. O consumo de lubrificante para esse tipo de motor foi estimado em 2% do volume de combustível utilizado.

O custo de manutenção, conforme informado pela empresa ALDrone, foi estimado em R$ 18,18 por hectare. Já os custos com seguro e abrigo foram mantidos conforme os valores estabelecidos pela Fundação ABC, equivalentes a 3% do valor do investimento.

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e a taxa de crescimento do setor agrícola utilizadas foram as mesmas aplicadas ao cenário do pulverizador autopropelido.

A estrutura da Demonstração do Fluxo de Caixa (DFC) foi construída da mesma forma adotada para o autopropelido (Ver Tabela 6).

Tabela 6 - Demonstração do Fluxo de Caixa pelo uso de drones. (período 0 ao 4)

Descrição	Fases/Anos				
	Implantação	Operação			
	0	1	2	3	4
A-Investimento fixo inicial	222.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A-Investimento fixo de substituições	-128.000,00	0,00	-128.000,00	0,00	-128.000,00
B-Capital de giro					
(=) C-Receita operacional		9.448.424,72	10.582.235,68	11.852.103,96	13.274.356,44
(-) D-Custo operacional (-depr.)		-891.966,62	-891.966,62	-891.966,62	-891.966,62
(=) E-Lucro operacional (C-D)		8.556.458,09	9.690.269,06	10.960.137,34	12.382.389,82
(-) F-Depreciação		-386.160,57	-386.160,57	-386.160,57	-386.160,57
(-) G-Encargos financeiros (juros de financiamento - JOF)		-20.424,00	-20.424,00	-17.506,29	-14.588,57
(-) G-Encargos financeiros (JOF de substituições)		14.720,00	14.720,00	27.337,14	25.234,29
(=) H-Lucro antes do IR (E-F-G)		8.164.593,53	9.298.404,49	10.583.807,63	12.006.874,96
(-) I-Imposto de Renda (f2*H)		-1.265.512,00	-1.441.252,70	-1.640.490,18	-1.861.065,62
(-) I-Contribuição Social (f1*H)		-742.161,55	-845.224,97	-962.068,11	-1.091.424,93
(-) I-IR ad. Estadual (f3*J)		-408.229,68	-464.920,22	-529.190,38	-600.343,75
(=) LUCRO LÍQUIDO		5.748.690,30	6.547.006,60	7.452.058,95	8.454.040,66
(+) Depreciação		386.160,57	386.160,57	386.160,57	386.160,57
(-) Amortização de financiamento		0,00	-25.371,43	-25.371,43	-25.371,43
(-) Amortização de outros financiamentos		0,00	14.720,00	14.720,00	27.337,14
(+) Valor Residual					
Saldo do Fluxo de Caixa	-222.000,00	6.134.850,87	6.922.515,74	7.827.568,09	8.842.166,94
FLUXO DE CAIXA LÍQUIDO NO PERÍODO	**-222.000,00**	**6.134.850,87**	**6.794.515,74**	**7.827.568,09**	**8.714.166,94**

Fonte: Elaboração própria.

Os indicadores econômico-financeiros obtidos para o drone pulverizador podem ser visualizados na Tabela 7.

Tabela 7 - Indicadores econômico-financeiro do drone

Indicadores econômico-financeiro						
Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	25,83%	25,83%	25,83%	25,83%	25,83%	a.a.
Valor Presente (VP)	4.659.032,72	4.660.986,02	4.665.476,97	4.652.201,74	4.634.812,86	R$
Valor Presente Líquido (VPL)	4.916.773,24	4.917.794,66	4.922.988,45	4.908.849,94	4.888.455,55	R$
Taxa interna de retorno (TIR)	618,73%	620,19%	620,45%	618,36%	617,65%	a.a.
Índice Benefício/Custo(IBC)	157,93%	158,03%	158,01%	157,95%	158,04%	a.a.
Payback	1	1	1	1	1	mês (es)

Fonte: Elaboração própria.

Na simulação realizada pelo método de Monte Carlo, foram criados cinco cenários possíveis com base nos hectares a serem pulverizados, tanto para o pulverizador autopropelido quanto para o drone pulverizador. Para cada cenário, considerou-se a variável dependente em três modalidades: pessimista, mais provável e otimista.

O primeiro cenário considerou 120 hectares como valor pessimista, 480 hectares como mais provável e 720 hectares como otimista. O segundo cenário variou entre 700 e 900 hectares, representando uma faixa comum de tamanho das propriedades rurais brasileiras na produção de grãos. No terceiro cenário, foram utilizados 1.000 hectares como valor pessimista, 1.500 como mais provável e 2.000 como otimista. O cenário quatro adotou 2.000 hectares como valor pessimista, 3.000 como mais provável e 4.000 como otimista. Por fim, o quinto cenário variou entre 4.000 hectares (pessimista), 5.000 (mais provável) e 6.000 (otimista).

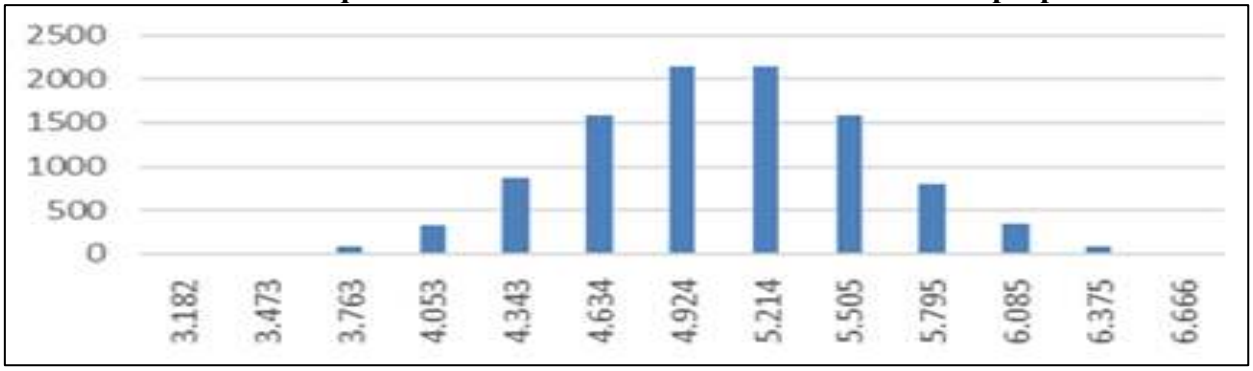
Como variáveis independentes — também chamadas de variáveis de entrada, preditoras ou de risco — utilizaram-se: consumo de combustível (R$/ha), valor de aplicação por hectare (R$/ha), custo de manutenção (R$/h/metro) e a Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

A simulação foi executada com 10.000 eventos aleatórios. Esse número elevado de amostras permite capturar uma ampla gama de resultados possíveis, garantindo robustez estatística e confiabilidade. Os eventos simulam a variabilidade real em aspectos como área trabalhada, receitas e custos, permitindo identificar riscos operacionais e compreender o impacto da incerteza sobre o desempenho econômico.

Na simulação do pulverizador autopropelido, foi selecionado um conjunto de variáveis críticas alinhadas ao modelo de avaliação. Estimou-se o nível de confiança baseado em 10.000 propriedades hipotéticas, com tamanhos variando entre 120 e 6.000 hectares. Essa abordagem permite analisar a viabilidade econômica do investimento sob diferentes condições de incerteza.

A geração dos números aleatórios seguiu uma distribuição normal. No gráfico 1, observa-se que no eixo X os resultados se concentraram em torno de 5.000 hectares, indicando que esse é o valor mais provável de área trabalhada nas condições analisadas. No eixo Y, a maior concentração de eventos ocorre em pouco mais de 2.100 ocorrências, representando a quantidade de simulações convergentes para esse resultado.

Gráfico 1 - Frequência relativa vs. hectares a trabalhar do autopropelido



Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 8 apresenta os resultados estatísticos da simulação. No cenário 1, a média de hectares pulverizados pelo equipamento autopropelido foi estimada em 405,62 hectares. Observa-se que as médias aumentam progressivamente de um cenário para outro, evidenciando a potencialidade das operações sob condições favoráveis.

Tabela 8 - Comparação de resultados dos diferentes cenários do autopropelido

Tabela comparativa de resultados	**Cenários**				
Medidas estatísticas obtidas da simulação	1	2	3	4	5
Média de Hectares a trabalhar (Ha)	405,62	752,67	1.449,59	2.926,05	4.905,94
Desvio-padrão	101,34	50,61	167,51	424,54	546,53
Valor Máximo	767,41	944,65	2.037,96	4.562,07	7.055,89
Valor Mínimo	37,10	541,08	835,03	1.256,12	2.831,64
Significância (alfa)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Amplitude do intervalo de confiança	1,99	0,99	3,28	8,32	10,71
Intervalo (-)	403,64	751,68	1.446,31	2.917,73	4.895,23
Intervalo (+)	407,61	753,66	1.452,87	2.934,37	4.916,65

Fonte: Elaboração própria.

Quanto ao desvio padrão, há maior variabilidade nos cenários 4 e 5. Isso sugere que, embora esses cenários apresentem maior lucratividade, também carregam riscos operacionais mais elevados e maior grau de incerteza. Já o cenário mais provável apresenta estabilidade e menor variabilidade, tornando-se uma referência mais segura para o planejamento e execução operacional.

Existe uma variação modesta nos hectares trabalhados, especialmente no cenário 1, que varia entre 403,64 e 407,61 hectares. Isso reforça a ideia de que condições favoráveis podem melhorar o desempenho, embora o valor mínimo indique que, em contextos adversos, o desempenho pode ser comprometido. Tal situação destaca a importância de estratégias de contingência.

Os cenários 4 e 5 evidenciam grande potencial de expansão, porém com maior variabilidade, ou seja, altos riscos acompanhados de possíveis altas recompensas. Para mitigar esses riscos, recomenda-se adotar estratégias voltadas à estabilização do cenário mais provável, que, neste caso, corresponde ao cenário 3.

Na Tabela 9, são apresentados os indicadores financeiros do pulverizador autopropelido no cenário 1, revelando um Valor Presente Líquido (VPL) negativo, o que era esperado, visto que se trata do período de investimento inicial, refletindo também em uma Taxa Interna de Retorno (TIR) negativa de -7,78%.

No cenário 2, a TIR torna-se positiva, atingindo 17,03%, o que indica que a operação obteve receita anual positiva ou redução de custos. No entanto, como essa TIR ainda está abaixo da Taxa Mínima de Atratividade (TMA), o retorno não compensa os riscos, sugerindo que outras oportunidades de investimento poderiam gerar melhores resultados.

Tabela 9 - Indicadores econômico-financeiro do autopropelido

Indicadores econômico-financeiro						
Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	19,17%	19,17%	19,17%	19,17%	19,17%	a.a.
Valor Presente (VP)	348.998,02	1.555.113,32	3.927.993,09	8.973.003,28	15.733.780,08	R$
Valor Presente Liquido (VPL)	-1.215.484,61	140.212,98	2.811.267,94	8.488.980,22	16.098.355,18	R$
Taxa interna de retorno (TIR)	-7,78%	17,03%	50,47%	107,94%	179,35%	a.a.
Índice Benefício/Custo(IBC)	126,64%	136,91%	142,82%	146,36%	147,78%	a.a.
Payback			9 meses			meses

Fonte: Elaboração própria.

Já no cenário 3, a TIR supera a TMA, indicando viabilidade econômica. O investimento passa a ser vantajoso, com TIR de 50,47% e VPL positivo. Nos cenários 4 e 5, os indicadores financeiros continuam positivos. Entretanto, o Índice Benefício-Custo (IBC) apresenta variação mínima entre eles, sugerindo que a expansão da área pulverizada não necessariamente gera aumento proporcional nos benefícios da operação. Isso indica que há um limite a partir do qual o esforço operacional cresce, mas os ganhos permanecem estáveis.

O indicador de payback, que mede o tempo necessário para o retorno do investimento, é especialmente atrativo no cenário 3, com retorno em aproximadamente 9 meses. Em contrapartida, os cenários 4 e 5 apresentam períodos de retorno mais longos, influenciados por um maior volume de custos operacionais (tabela 9).

Dessa forma, é possível afirmar que o cenário 3 apresenta as melhores condições operacionais de pulverização, garantindo que o investimento realizado proporcione o maior e melhor retorno, mantendo-se dentro de um nível de risco considerado aceitável em termos de viabilidade econômica. O Valor Presente Líquido (VPL) estimado para esse cenário é de aproximadamente R$ 2,8 milhões.

O cenário 4 demonstra maior potencial de lucro, próximo de R$ 8,4 milhões. No entanto, o risco assumido em comparação ao cenário 3 é cerca de 150% maior. Já ao comparar o cenário 5 com o cenário 3, esse aumento de risco ultrapassa 220%. Portanto, o cenário 3 é a opção de investimento mais equilibrada, contrastando com os demais.

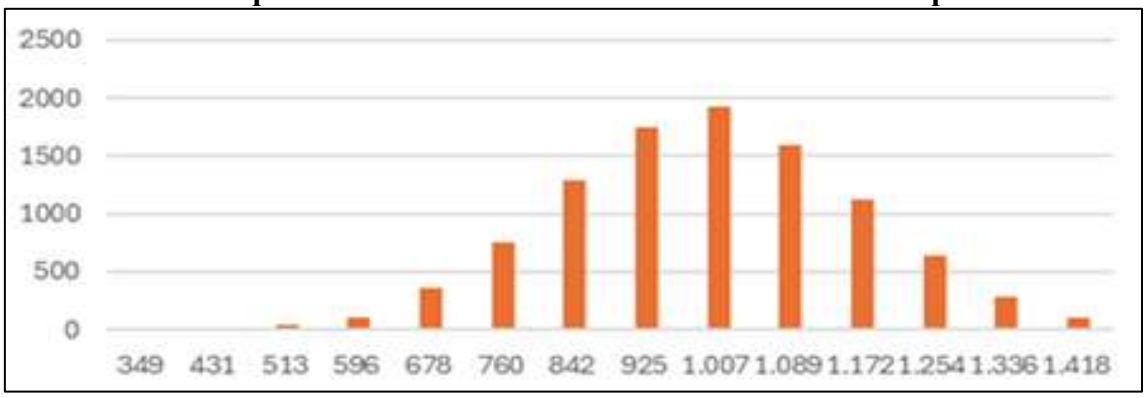
A simulação para o drone pulverizador seguiu o mesmo modelo estatístico aplicado ao pulverizador autopropelido, considerando o número de hectares a trabalhar como variável dependente. As variáveis independentes utilizadas foram o valor de aplicação por hectare, consumo de combustível e a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Nesta análise, o custo de manutenção não foi considerado variável independente, já que, no caso do drone, essa despesa é relativamente inexpressiva. Além disso, a substituição do equipamento é mais compensatória ao invés de reparos.

Outro ponto importante é que, em caso de perda total do equipamento, é possível acionar o seguro já incorporado nos custos anuais junto ao custo de abrigo.

A simulação do drone manteve as mesmas configurações do modelo do autopropelido, incluindo os cinco cenários, suas modalidades (pessimista, mais provável e otimista), e o processo de amostragem.

A frequência dos resultados relacionados aos hectares trabalhados indica que a maior parte das simulações se concentra na média de 1.000 hectares, evidenciando que essa é a expectativa mais realista, de acordo com a frequência observada (gráfico 2).

Gráfico 2 - Frequência relativa vs. hectares a trabalhar do drone pulverizador



Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos na simulação para os cinco cenários. Verifica-se que o cenário mais provável de hectares a trabalhar com o drone pulverizador é de aproximadamente 950 hectares, sendo esse o valor com maior probabilidade de ser alcançado ao longo de um ano. No cenário 3, tanto o desvio padrão quanto a amplitude do intervalo de confiança são os menores entre os cenários, reforçando sua estabilidade.

Tabela 10 - Comparação de resultados dos diferentes cenários do autopropelido

Tabela comparativa de resultados	**CENÁRIOS**				
Valores estatísticos obtidos da simulação	1	2	3	4	5
Hectares a trabalhar (Ha)	949,99	950,48	951,52	948,79	945,49
Desvio-padrão	168,44	170,81	166,64	173,90	172,42
Valor Máximo	1.650,52	1.609,41	1.615,79	1.617,34	1.562,14
Valor Mínimo	297,09	297,76	369,56	276,57	303,88
Significância (alfa)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Amplitude do intervalo de confiança	3,30	3,35	3,27	3,41	3,38
Intervalo (-)	946,69	947,13	948,25	945,39	942,11
Intervalo (+)	953,29	953,83	954,78	952,20	948,87

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 11 apresenta os valores da TMA (25,83%) estabilizada para todos os cenários. O Valor Presente demonstrou crescimento até o cenário 3, reduzindo-se a partir do cenário 4, comportamento semelhante ao do VPL. Em relação à TIR, observa-se uma tendência de crescimento até o cenário 3, com queda a partir do cenário 4, sugerindo que o aumento da área pulverizada pode comprometer a atratividade econômica da operação.

Tabela 11 - Indicadores econômico-financeiro do drone autopropelido

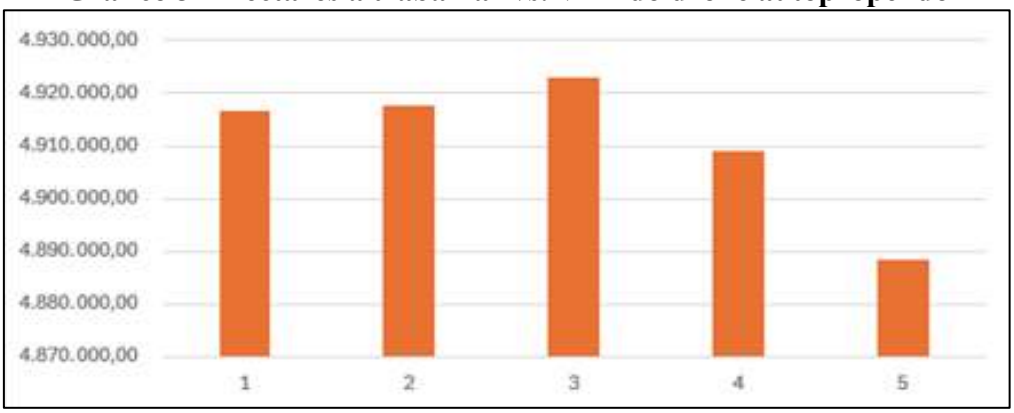
Indicadores econômico-financeiro						
Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	25,83%	25,83%	25,83%	25,83%	25,83%	a.a.
Valor Presente (VP)	4.659.032,72	4.660.986,02	4.665.476,97	4.652.201,74	4.634.812,86	R$
Valor Presente Liquido (VPL)	4.916.773,24	4.917.794,66	4.922.988,45	4.908.849,94	4.888.455,55	R$
Taxa interna de retorno (TIR)	618,73%	620,19%	620,45%	618,36%	617,65%	a.a.
Índice Benefício/Custo(IBC)	157,93%	158,03%	158,01%	157,95%	158,04%	a.a.
Payback	1	1	1	1	1	mês (es)

Fonte: Elaboração própria.

Tanto o Índice Benefício-Custo (IBC) quanto o payback não apresentaram variações significativas entre os cenários, indicando estabilidade desses indicadores em diferentes condições operacionais.

Como observado no Gráfico 3, o Valor Presente Líquido (VPL) do drone pulverizador apresenta melhor desempenho do cenário 1 até o cenário 3, sendo este último o mais atrativo. Os ganhos estimados nesses cenários são mais confiáveis e apresentam menor risco de investimento. O declínio observado nos cenários 4 e 5 ocorre devido à baixa probabilidade de pulverização acima de 950 hectares, conforme demonstrado na frequência relativa dos hectares trabalhados.

Gráfico 3 - Hectares a trabalhar vs. VPL do drone autopropelido



Fonte: Elaboração própria.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise comparativa entre o pulverizador autopropelido e o drone pulverizador revela características específicas de cada tecnologia em termos de eficiência operacional e viabilidade econômica, implicando escolhas estratégicas distintas para diferentes contextos.

O pulverizador autopropelido, com alta capacidade de calda, largura de barra superior e desempenho robusto em grandes áreas, demonstrou ser ideal para operações em larga escala, atingindo como cenário mais provável a capacidade de pulverizar aproximadamente 5.000 hectares. O cenário 3 apresentou a melhor combinação entre risco e retorno, com VPL estimado em R$ 2,8 milhões e payback

de cerca de 9 meses. Contudo, observou-se que a pulverização de aproximadamente 1.450 hectares representa o ponto ideal.

Por outro lado, os cenários mais agressivos, como os cenários 4 e 5, embora promissores em termos de lucro, apresentaram níveis de risco significativamente superiores, comprometendo sua atratividade econômica.

O drone pulverizador DJI Agras T40 destacou-se pela flexibilidade operacional, menor investimento inicial e maior adequação para áreas de menor extensão ou aplicações que exigem alta precisão. Apesar de sua vida útil reduzida, necessidade de substituições frequentes e valor residual nulo — fatores que comprometem sua competitividade em operações de longa duração — os resultados indicaram que o cenário 3 foi o mais favorável para essa tecnologia. Nesse contexto, observou-se um equilíbrio consistente entre retorno e risco, com ganhos confiáveis e menor desvio padrão nos indicadores financeiros.

A quantidade estimada de hectares pulverizados pelo drone foi de aproximadamente 950, sendo esse o valor mais atrativo do ponto de vista econômico. Sua capacidade operacional atingiu cerca de 1.000 hectares, demonstrando alta eficiência nas condições analisadas.

Em síntese, a escolha entre as duas tecnologias depende do porte da propriedade, do horizonte de planejamento e do perfil de risco do produtor. O pulverizador autopropelido é mais adequado para grandes propriedades e operações intensivas, enquanto o drone se mostra eficiente em contextos segmentados, como áreas de difícil acesso ou aplicações localizadas.

Recomenda-se, para trabalhos futuros, a ampliação do modelo de viabilidade, incorporando outros fatores operacionais e econômicos que considerem o valor do dinheiro no tempo. O uso de planilhas mais robustas e parametrizadas no Microsoft Excel, aliadas a modelos preditivos, permitirá obter visões mais precisas do risco e da viabilidade dos investimentos. Tais modelos devem se basear em premissas realistas, levando em conta a estatística, a probabilidade, a teoria financeira e os avanços tecnológicos, consolidando-se como ferramentas de auxílio a tomada de decisões.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, L. M. N.; FUJINO, A. “Condicionantes da qualidade da informação contábil à luz do regime de informação do sistema de governança corporativa: uma aproximação conceitual”. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, vol. 16, n. 48, 2023.

ARAÚJO, A. J. D. *et al*. “Exposição múltipla a agrotóxicos e efeitos à saúde: estudo transversal em amostra de 102 trabalhadores rurais, Nova Friburgo, RJ”. **Revista Ciência e Saúde Coletiva**, vol. 12, n. 1, 2007.

ARENAS, D. J. *et al*. "A Monte Carlo simulation approach for estimating the health and economic impact of interventions provided at a student-run clinic". **Revista PLOS ONE**, vol. 12, n. 12, 2017.

BERNARDES, E.; MUNIZ JUNIOR, J.; NAKANO, D. **Pesquisa qualitativa em engenharia de produção e gestão de operações**. São Paulo: Editora Atlas, 2018.

BOYLE, P. P. "Options: A Monte Carlo approach". **Journal of Financial Economics**, vol. 4, n. 3, 1977.

CASALI, A. L. **Caracterização, avaliação e classificação dos pulverizadores autopropelidos produzidos no brasil** (Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola). Santa Maria: UFSM, 2015.

CASALI, A. L. *et al*. "Conformidade do posto de operação de pulverizadores autopropelidos". **Revista Engenharia na Agricultura**, vol. 19, n. 6, 2011.

CAUCHICK-MIGUEL, P. A. **Metodologia científica para engenharia**. Amsterdã: Elsevier, 2019.

CUNHA, J. P. A. R. D.; CASCÃO, V. N.; REIS, E. F. D. "Compactação causada pelo tráfego de trator em diferentes manejos de solo". **Acta Scientiarum. Agronomy**, vol. 31, n. 3, 2009.

GILL, P. "Pesticides. Health, Safety and the Environment". **Experimental Agriculture**, vol. 43, n. 2, 2007.

HUNT, E. R.; DAUGHTRY, C. S. T. "What good are unmanned aircraft systems for agricultural remote sensing and precision agriculture?" **International Journal of Remote Sensing**, vol. 39, n. 15, 2018.

JUSTINO, A. *et al*. "Sentido de pulverização em culturas de soja e feijão com pulverizador de barras". **Revista Engenharia Agrícola**, vol. 26, n. 3, 2006.

LEITE, M. F.; SERRA, J. C. V. "Evaluation of environmental impacts in the application of pesticides". **Revista Ambiência**, vol. 9, n. 3, 2013.

MACHADO, T.; REYNALDO, É. "Comparação do uso de aplicação aérea e terrestre na qualidade de deposição de produto na cultura da soja". **Enciclopédia Biosfera**, vol. 16, n. 29, 2019.

METROPOLIS, N.; ULAM, S. "The Monte Carlo Method". **Journal of the American Statistical Association**, vol. 44, n. 247, 1949.

MONTE, D. M. F. M.; MOURA, D. A. P.; SANTOS, M. "Abordagem prática do método híbrido CRITIC-CoCoSo para seleção de um drone pulverizador de defensivos agrícolas em diversas culturas". **Conference: LV Simpósio Brasileiro de Pesquisa**. São José dos Campos: SBPO, 2023.

OLIVEIRA, A. A. A. D. *et al*. "Otimização de processos logísticos e operacionais no agronegócio com o uso de drones". **Revista LOGS Logística e Operações Globais Sustentáveis**, vol. 4, n. 2, 2022.

PARLANGELI, V.; CAVICHIOLI, ALEXANDRE, F. "Estudo das funcionalidades dos drones na agricultura". **Revista Interface Tecnológica**, vol. 18, n. 1, 2021.

PIMENTA, C.; PASQUALETTO, A. "Práticas sustentáveis na cadeia bovina: análise de relatórios de sustentabilidade dos frigoríficos goianos". **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, vol. 21, n. 61, 2025.

PUPPALA, H. et al. "Barriers to the adoption of new technologies in rural areas: The case of unmanned aerial vehicles for precision agriculture in India". **Technology in Society**, vol. 74, 2023.

SISHODIA, R. P.; RAY, R. L.; SINGH, S. K. “Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review”. **Remote Sensing**, vol. 12, n. 19, 2020.

VERGARA, W. R. H. *et al*. “Agricultura familiar: viabilidade econômico-financeira na produção de morangos e manjericões”. **Revista Exacta**, vol. 19, 2021.

VERGARA, W. R. H. *et al*. “Economic and financial feasibility analysis for the acquisition of a storage soybeans and corn facility”. **Revista Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, vol. 12, 2017a.

VERGARA, W. R. H.; OLIVEIRA, J. P. C. “Unidade de armazenagem de soja e milho: viabilidade econômico-financeira”. **Revista Plantio Direto**, vol. 30, 2021.

VERGARA, W. R. H.; TEIXEIRA, R. T.; YAMANARI, J. S. “Análise de risco em projetos de engenharia: uso do PERT/CPM com simulação. **Revista Exacta**, vol. 15, n. 1, 2017b.

VERGARA, W. R. H.; YAMANARI, J. S.; BARBOSA, F. A. “Gestão da qualidade: redução de custos em uma usina sucroenergética”. **Revista Sodebras**, vol. 14, n. 168, 2019.

ZAPPA, P. D.; PÉRA, G. T. “A utilização de drones na agricultura: uma revisão bibliográfica entre 2012 e 2022”. **Anais do 61º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**. Piracicaba: Even3, 2023.



BOLETIM DE CONJUNTURA (BOCA)

Ano VII | Volume 24 | Nº 70 | Boa Vista|2025

http://www.ioles.com.br/boca

Editor chefe:

Elói Martins Senhoras

Conselho Editorial

Antonio Ozai da Silva, Universidade Estadual de Maringá

Vitor Stuart Gabriel de Pieri, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Charles Pennaforte, Universidade Federal de Pelotas

Elói Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima

Julio Burdman, Universidad de Buenos Aires, Argentina

Patrícia Nasser de Carvalho, Universidade Federal de Minas Gerais

Conselho Científico

Claudete de Castro Silva Vitte, Universidade Estadual de Campinas

Fabiano de Araújo Moreira, Universidade de São Paulo

Flávia Carolina de Resende Fagundes, Universidade Feevale

Hudson do Vale de Oliveira, Instituto Federal de Roraima

Laodicéia Amorim Weersma, Universidade de Fortaleza

Marcos Antônio Fávaro Martins, Universidade Paulista

Marcos Leandro Mondardo, Universidade Federal da Grande Dourados

Reinaldo Miranda de Sá Teles, Universidade de São Paulo

Rozane Pereira Ignácio, Universidade Estadual de Roraima