

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRARIAS

**Simulação do método de Monte Carlo na viabilidade econômica
financeira de pulverizadores: Autopropelido e Drones**

RENATO FERREIRA DA CRUZ

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL

2024

Simulação do método de Monte Carlo na viabilidade econômica financeira de pulverizadores: Autopropelido e Drones

Renato Ferreira da Cruz

Orientador: Prof. Dr. Walter Roberto Hernández Vergara

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Agrícola.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

C957s Cruz, Renato Ferreira Da

Simulação do método de Monte Carlo na viabilidade econômica financeira de pulverizadores:
Autopropelido e Drones [recurso eletrônico] / Renato Ferreira Da Cruz. – 2024.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Walter Roberto Hernández Vergara.

TCC (Graduação em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Pulverizador autopropelido. 2. Drones pulverizadores. 3. Método de Monte Carlo. 4.
Viabilidade econômico-financeiro. 5. agricultura 4.0. I. Vergara, Walter Roberto Hernández. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

SIMULAÇÃO DO MÉTODO DE MONTE CARLO NA VIABILIDADE ECONÔMICA FINANCEIRA DE PULVERIZADORES: AUTOPROPELIDO E DRONES

Por

Renato Ferreira da Cruz

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÍCOLA.

Aprovado em: 29 de novembro de 2024.

Documento assinado digitalmente
 **WALTER ROBERTO HERNANDEZ VERGARA**
Data: 18/12/2024 16:09:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Walter Roberto Hernández Vergara
Orientador – UFGD/FAEN

Documento assinado digitalmente
 **RODRIGO APARECIDO JORDAN**
Data: 17/12/2024 18:56:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rodrigo Aparecido Jordan
Membro da banca – UFGD/FCA

Documento assinado digitalmente
 **RODRIGO COUTO SANTOS**
Data: 18/12/2024 12:04:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rodrigo Couto dos Santos
Membro da banca – UFGD/FCA

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste Trabalho de Conclusão de Curso é fruto de uma jornada repleta de desafios, aprendizado e dedicação. Durante esse percurso, tive o privilégio de contar com o apoio de pessoas essenciais, às quais expresso minha mais profunda gratidão.

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela força, saúde e sabedoria que me sustentaram em cada etapa dessa caminhada.

À minha família, especialmente aos meus pais, pelo amor incondicional, apoio emocional e incentivo constante, que foram fundamentais para que eu pudesse alcançar este momento. A vocês, minha eterna gratidão por acreditarem em mim, mesmo nos momentos em que duvidei de minhas próprias capacidades.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Walter Roberto Hernández Vergara pela paciência, pelas orientações valiosas e pela confiança depositada no meu trabalho. Sua dedicação e conhecimento foram determinantes para que este projeto se concretizasse. Seu entusiasmo em ensinar me proporcionou combustível para buscar mais aprendizado.

Agradeço ao Prof. Dr. Rodrigo Aparecido Jordan, que sempre se mostrou solícito e amigo, incentivando a busca pelo empreendedorismo, dando exemplos do mercado de trabalho.

Aos professores do curso de Rodrigo Couto, Carlos Roberto, Cristiano Souza, Elton Aparecido e claro, professora Leidy Zullys que, ao longo desses anos, compartilharam seus conhecimentos e inspiraram minha busca pelo aprendizado constante. Cada aula foi um tijolo na construção deste trabalho e da minha formação profissional.

Aos amigos, que sempre me incentivaram e estiveram ao meu lado, compreendendo minhas ausências e celebrando comigo cada conquista.

A Dra. Danatielle Mega Ferreira, que me incentivou a volta dos estudos, sendo uma grande companheira no momento inicial desta jornada percorrida.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, direta ou indiretamente. Este TCC é, também, um reflexo do apoio de cada um de vocês.

Muito obrigado!

Epígrafe

" Veni, vidi, vici. "

Júlio César.

CRUZ, Renato Ferreira. **Simulação do método de Monte Carlo na viabilidade econômica financeira de pulverizadores: Autopropelido e Drones**. 2024. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2024.

RESUMO

Este trabalho analisa a previsão econômico-financeira de duas tecnologias utilizadas na escassez agrícola: as pulverizações autopropelidas e os drones pulverizados. 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, impacto ambiental e adaptação às condições de trabalho. Os pulverizadores autopropelidos se destacam por sua alta capacidade de operação, sendo capazes de cobrir grandes áreas em menor tempo, graças a seus sistemas robustos e avançados de aplicação. No entanto, apresentam desafios relacionados ao alto custo inicial de aquisição, manutenção e impacto sobre o solo devido ao peso e à compactação. Por outro lado, os drones pulverizados oferecem maior precisão em áreas menores ou de difícil acesso, reduzindo o uso de insumos e minimizando perdas por derivação. Contudo, as limitações como capacidade reduzida de carga e autonomia de voo representam desafios técnicos e financeiros em áreas extensas. Para realizar esta análise, foram consideradas indicadores financeiros baseados em custos fixos e variáveis, fluxo de caixa, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Índice Benefício/Custo (IBC) e tempo de retorno do investimento (Payback). Além disso, foi aplicada a simulação de Monte Carlo, para medir o "nível de confiança", ou seja, qual a probabilidade de obtermos aqueles valores da TIR e do VPL calculados 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 esperados indicam que os drones são mais eficientes para áreas pequenas, onde a precisão é essencial e os custos de operação são reduzidos. Já os pulverizadores autopropelidos demonstram maiores opções econômicas em grandes propriedades, devido à capacidade de operação em escala e menor tempo de aplicação. A hipótese principal é que o uso combinado das tecnologias pode maximizar benefícios, com drones complementando as entregas em

regiões específicas, enquanto os autopropelidos garantem maior cobertura e eficiência em áreas amplas.

Palavras-chave: Pulverizador autopropelido, Drone pulverizador, Viabilidade econômica financeira, Simulação de Monte Carlo, Agricultura 4.0.

ABSTRACT

This study analyzes the economic and financial forecasting of two technologies used in addressing agricultural scarcity: self-propelled sprayers and spraying drones. Both technologies play significant roles in modern agriculture, particularly with the advent of Agriculture 4.0 and the growing need to optimize production processes. The research evaluates which of these technologies offers the best cost-benefit ratio across different operational scenarios, considering factors such as efficiency, operational costs, environmental impact

Self-propelled sprayers stand out for their high operational capacity, being able to cover large areas in less time due to their robust and advanced application systems. However, they pose challenges related to high initial acquisition costs, maintenance expenses, and soil impact caused by weight and compaction. On the other hand, spraying drones provide greater precision in smaller or hard-to-reach areas, reducing input usage and minimizing losses due to drift. Nonetheless, their limitations, such as reduced load capacity and flight autonomy, present technical and financial challenges

To perform this analysis, financial indicators such as fixed and variable costs, cash flow, Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Benefit-Cost Ratio (BCR), and investment payback time were considered. Additionally, the Monte Carlo simulation was applied to measure the "confidence level," or the probability of achieving the calculated IRR and NPV values, taking into account risks, uncertainties, and variability in revenues, costs, and expenses included in the model. This approach provides a more robust probabilistic analysis of the expected results.

The expected results indicate that drones are more efficient for small areas where precision is essential and operational costs are lower. Conversely, self-propelled sprayers demonstrate better economic performance in large properties due to their scalability and faster application times. The primary hypothesis is that the combined use of these technologies can maximize benefits, with drones complementing operations in specific regions while self-propelled sprayers ensure broader coverage and efficiency in larger areas.

Keywords: Self-propelled sprayer, Drone sprayer, Techno-financial feasibility, Monte Carlo simulation, Agriculture 4.0.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Ray Hagie em seu primeiro modelo de Pulverizador Autopropelido.....	8
Figura 2- Modelo de Drone Pulverizador DJI Agras T30.....	13
Figura 3- Esquema do ponto de equilíbrio dinâmico.....	20
Figura 4- Ponto de equilíbrio estático e linear.....	21
Figura 5- Estrutura da demonstração do fluxo de Caixa	25
Figura 6- Esquema probabilístico de resultados em uma empresa.....	31
Figura 7- A Simulação de Monte Carlo	33
Figura 8- Princípio da propagação da incerteza estocástica pela simulação de Monte Carlo..	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Simulação de Monte Carlo.	37
Tabela 2 - Simulação utilizando números aleatórios.	37
Tabela 3 - Investimento Pulverizador autopropelido.....	40
Tabela 4 - Sistema de amortização constante (SAC).....	41
Tabela 5 - Cálculo de receita anual.	43
Tabela 6 - Cálculo dos custos anuais I.	44
Tabela 7 - Cálculo de custos anuais II.	45
Tabela 8 - Demonstração de Fluxo de caixa	46
Tabela 9 - Demonstração do Fluxo de Caixa. (período 0 ao 4).....	46
Tabela 10 - Demonstração do Fluxo de Caixa. (período 5 ao 8).....	47
Tabela 11 - Indicadores econômico-financeiro do autopropelido.	47
Tabela 12 - Investimento Drone Pulverizador.....	48
Tabela 13 - Sistema de amortização constante (SAC).....	49
Tabela 14 - Sistema de amortização constante para substituição do equipamento (SAC).	50
Tabela 15 - Período de substituição (SAC).....	50
Tabela 16 - Resumo da amortização e juros na substituição.....	51
Tabela 17 - Cálculo de receita anual.	51
Tabela 18 - Cálculo dos custos anuais I.	53
Tabela 19 - Cálculo dos custos anuais II.....	54
Tabela 20 - Demonstração do fluxo de caixa.	54
Tabela 21 - Demonstração do Fluxo de Caixa. (período 0 ao 4).....	55
Tabela 22 - Demonstração do Fluxo de Caixa. (período 5 ao 8).....	55
Tabela 23 - Indicadores econômico-financeiro do drone.....	56
Tabela 24 - Cenário de hectares na simulação de Monte Carlo.	56
Tabela 25 - Variáveis independentes do autopropelido.	57
Tabela 26 - Números da amostragem aleatória do autopropelido.	58
Tabela 27 - Frequência relativa vs. hectares a trabalhar do autopropelido	59
Tabela 28 - Frequência relativa vs. consumo de combustível do autopropelido.....	60
Tabela 29 - Parâmetros considerados no autopropelido.	60
Tabela 30 - Comparação de resultados dos diferentes cenários do autopropelido.	61
Tabela 31 - Indicadores econômico-financeiro do autopropelido.	62
Tabela 32 - Hectares a trabalhar vs. VPL do autopropelido.	63

Tabela 33 - Variáveis independentes do drone.....	64
Tabela 34 - Frequência relativa vs. hectares a trabalhar do drone.....	64
Tabela 35 - Parâmetros considerados no drone.	65
Tabela 36 - Comparação de resultados dos diferentes cenários do drone.....	65
Tabela 37 - Indicadores econômico-financeiro do drone.....	66
Tabela 38 - Hectares a trabalhar vs. VPL do drone.	66

SUMÁRIO

Sumário

1 Introdução	1
2 Revisão de literatura	3
2.1 Aplicação de Fitossanitários.	3
2.2 Tecnologia de Aplicação.	3
2.3 Fatores que afetam a aplicação de fitossanitários	4
2.3.1 <i>Clima</i>	4
2.3.2 <i>Solo</i>	4
2.3.3 <i>Princípio Ativo</i>	5
2.3.4 <i>Operador</i>	5
2.3.5 <i>Máquina</i>	5
2.4 Pulverizadores autopropelidos	7
2.4.1 <i>Classificação de pulverizadores autopropelidos</i>	8
2.4.2 <i>Vantagens</i>	8
2.4.3 <i>Desvantagens</i>	11
2.5 Drones pulverizadores	12
2.5.1 <i>Classificação de aeronave pilotada.</i>	13
2.5.2 <i>Vantagens</i>	15
2.5.3 <i>Desvantagens.</i>	16
3 Material e métodos	17
3.1 Custos.	17
3.1.1 <i>Tipos de custos variáveis</i>	18
3.1.2 <i>Custos Variáveis vs. Custos Fixos</i>	22
3.2 Estudo Financeiro.	24
3.2.1 <i>Fluxo de Caixa.</i>	24
3.2.2 <i>Valor Presente Líquido (VPL)</i>	25

3.2.3 Taxa Interna de Retorno (TIR).....	27
3.2.4 Índice de Custo e Benefício (IBC).	28
3.2.5 Payback.....	28
3.3 Método de Monte Carlo	29
3.3.1 Como funciona a simulação de Monte Carlo?	31
3.3.2 Metodologia utilizada na simulação de Monte Carlo	32
3.3.3 Importância da simulação de Monte Carlo	34
3.3.4 Distribuições de probabilidade utilizadas na simulação de Monte Carlo	36
3.3.5 Aplicação de como realizar uma simulação de Monte Carlo.....	36
3.3.6 Benefícios da simulação de Monte Carlo	38
4 Resultados e discussão	40
4.1 Considerações Finais.	67
5 Referências bibliográficas	69

1 INTRODUÇÃO

Entre as décadas de 1950 e 1970 houve no Brasil um processo de industrialização de modernização da produção agropecuária. Este processo teve como foco principal o aumento da produtividade, com emprego de tecnologia, e passando a tratar uma fazenda como empresa rural que deixasse de ser somente para subsistência e que passasse a gerar lucro (BUCKERIDGE, 2020).

O avanço da produção agrícola brasileira se deu por diversos fatores, sendo um deles o desenvolvimento da tecnologia rural, em que novas ferramentas automatizadas, estão incorporadas ao setor agrícola para aumentar a eficiência e a produtividade.

Os autores (SOARES; SPOLADOR, 2019), propuseram um conjunto de políticas destinadas a aumentar a eficiência técnica e reduzir o *gap* tecnológico que podem contribuir para o aumento da produtividade.

O Brasil exerce um papel fundamental quando se trata de produção agrícola. O modelo de agricultura adotado está fortemente vinculado ao uso de produtos fitossanitários, levando-se em consideração que o Brasil adotou o modelo de desenvolvimento voltado a ganhos de produtividade, trazendo assim a necessidade de avanço em tecnologias de aplicação (FERREIRA, 2015).

Com o crescente aumento do custo dos defensivos, da mão de obra e dos combustíveis, além da preocupação cada vez mais crescente em relação à poluição ambiental, ressalta-se a necessidade de uma tecnologia mais precisa na colocação do defensivo no local correto, bem como de procedimentos e equipamentos adequados à maior proteção do aplicador. (BRANDÃO FILHO et al., 2018a).

Visando a qualidade de aplicação e as melhorias no ambiente, Stein (1975) ressalta que a tecnologia da aplicação tem que ser vista como uma ciência multidisciplinar, e o esforço conjunto das diferentes áreas agronômicas pode resultar em melhorias significativas. “Isso amplia a necessidade de utilização de alternativas que venham a otimizar o uso dos insumos, a fim de reduzir os custos de produção e o uso adequado de máquinas está entre eles”.(CASALI, 2015, p. 29).

Os Drones, também conhecidos como Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), são equipamentos controlados remotamente que podem realizar diversas tarefas, incluindo a pulverização de defensivos agrícolas. AMARAL et al., (2020) denota que o uso de Veículos Aéreos Não Tripulados na agricultura apresenta um potencial significativo. Com a progressão para a era da digitalização dos campos e a implementação da Agricultura 4.0, essa tecnologia

tem se tornado cada vez mais relevante. Os Drones são capazes de voar sobre as plantações e aplicar os defensivos de maneira precisa.

Por outro lado, os pulverizadores autopropelidos são máquinas terrestres que também realizam a pulverização de defensivos. Eles são conhecidos pela sua robustez e capacidade de cobrir grandes áreas em pouco tempo. Os pulverizadores autopropelidos, equipados com tecnologia avançada e alta eficiência operacional, têm a capacidade de cobrir extensas áreas mantendo a qualidade na pulverização. (CASALI et al., 2012)

Assim, existe uma relevante importância de analisar projetos de investimentos que melhor se adequem sobre a questão de aplicação de fitossanitários, visto que diferentes meios de aplicação possuem valores orçamentários significativamente distintos.

O objetivo do presente trabalho consiste em realizar uma análise técnico-financeira comparando o uso de Aeronave remotamente pilotada (Drone) e Autopropelido terrestre na pulverização agrícola e identificar qual ferramenta apresentará a melhor relação custo-benefício. Entre os principais objetivos específicos temos,

- a. Análise custo dos equipamentos através de cotações com empresas, revendas autorizadas, proprietário dos equipamentos, pesquisas em sites.
- b. Identificação e tratamento das variáveis endógenas e exógenas a serem analisadas.
- c. Modelagem do cenário a ser analisado.
- d. Análise e avaliação de investimentos de ambas tecnologias, através de indicadores financeiros.
- e. Simular e analisar as atividades operacionais pelo método de Monte Carlo.

No desenvolvimento do trabalho vamos analisar qual das duas tecnologias apresenta um melhor custo-benefício em um determinado tamanho de área. Em vista que ambos procedimentos tecnológicos apresentam diferentes capacidades de operação e eficiência. A principal hipótese é de que o uso de drones podem-se obter melhores rendimentos até um determinado tamanho de área. No caso, do uso por autopropelidos poderá apresentar melhor opção à medida que a área trabalhada seja maior. A utilização dos equipamentos em conjunto também pode propiciar ótimos benefícios, podendo acelerar o processo de aplicação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Com o intuito de buscar respostas para a questão, fez-se um levantamento bibliográfico na base de dados do google acadêmico, (Capes) coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior, Scielo, Science direct, acerca do assunto, analisando artigos científicos, revistas, projetos de pesquisa, nos últimos 10 anos, catálogos de equipamentos, manuais técnicos de equipamentos, folders, etc.

2.1 APLICAÇÃO DE FITOSSANITÁRIOS.

A utilização de defensivos agrícolas ganhou notoriedade após a segunda guerra mundial, quando a fome era um problema real na Ásia e África. A ideia era usar a tecnologia para se produzir mais no mesmo espaço, logo, o avanço nas pesquisas com desenvolvimento de sementes mais resistentes, produtos dessecantes, desfolhadores, inseticidas, sistemas de irrigação, máquinas e implementos maiores e mais tecnológicos, a fim de aumentar a produção das culturas, passou a ser de interesse não somente dos agricultores, mas também da sociedade industrial e capitalista (GILL, 2007).

Lopes et al. (2018) ainda ressalta que o uso de defensivos agrícolas ganhou força na década de 50 nos EUA, sendo vista como a “Revolução Verde” e se estendeu ao Brasil em meados de 60, ganhando força na década de 70, quando foi implementado o plano nacional de defensivos agrícolas (PNDA), cujo propósito era aumentar a produtividade interna de agroquímicos a fim de ser menos dependente da importação do produto, permitindo assim a concessão de créditos agrícolas.

2.2 TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO.

A pulverização é um processo que consiste em transformar uma substância líquida em gotas ou partículas, já a aplicação é a deposição das partículas ou gotas juntamente com princípio ativo desejado sobre o alvo, com tamanho e densidade adequados. A aplicação de fitossanitário constitui-se em combater insetos, bactérias, fungos e outras plantas daninhas também conhecidas como pragas. Para proporcionar uma aplicação adequada é necessário um estudo minucioso envolvendo diferentes conceitos multidisciplinares com intuito de aumentar a produtividade, reduzir o uso de insumos, reduzir os impactos ambientais e reduzir os custos de aplicação (CASALI, 2015).

A tecnologia de aplicação de fitossanitários é uma área de estudo importante na agricultura moderna para a eficiência na aplicação de fitossanitários e fundamental para garantir a saúde das plantações e a produtividade agrícola. A aplicação precisa e eficaz, não só ajuda a combater pragas e doenças de maneira efetiva, como também minimiza o impacto ambiental. Portanto, a pesquisa e o desenvolvimento nesta área para otimizar a tecnologia de aplicação, favorecendo o aumento de produção sustentável, é de extrema importância (FAGGION; ANTUNASSI U. R., 2010).

2.3 FATORES QUE AFETAM A APLICAÇÃO DE FITOSSANITÁRIOS

A eficiência da aplicação se refere a quantidade absorvida pelo alvo relacionada com a quantidade de produto aplicado pela máquina. Para que a aplicação seja efetuada na forma mais assertiva, é preciso levar em consideração alguns fatores que comprometem a aplicação, sendo elas: Clima, solo, alvo biológico, princípio ativo, veículo, operador e máquina.

2.3.1 CLIMA

O clima é um grande influenciador na aplicação de fitossanitários, visto que a sua variabilidade pode proporcionar bons resultados ou resultados desastrosos. A pluviosidade, temperatura, umidade relativa, são fatores que podem contribuir para o desenvolvimento de pragas, plantas daninhas e doenças que afetam o desenvolvimento das culturas, sendo, neste momento a necessidade da aplicação. Nota-se que também é preciso se atentar a outro fator, como a velocidade do vento, que por sua vez, pode contribuir para a deriva do produto, reduzindo a eficiência da aplicação, desperdício de insumo e degradação ambiental. A aplicação de defensivos agrícolas, descreve que a condição mais segura para se pulverizar seria com ventos constantes de 3,2 a 6,5 km/h, que corresponde a uma brisa leve caracterizada pelo vento perceptível na face, mas capaz de movimentar apenas levemente as folhas (BRANDÃO FILHO et al., 2018b).

2.3.2 SOLO

Em relação ao solo, sua textura pode contribuir ou prejudicar para eficiência na aplicação sendo que solos argilosos tendem a ter mais coloides, elementos responsáveis por inibir alguns defensivos como herbicidas, sendo assim, há uma necessidade de se aplicar uma

concentração maior em solos argilosos do que em solos arenosos. A topografia do terreno também implica na escolha do equipamento que pode tornar a operação inviável dependendo de sua declividade, trazendo assim insegurança e ineficiência na operação. O solo úmido pode comprometer também o uso tratorizado de aplicação, impedindo que a operação seja realizada, trazendo morosidade ou impedindo a aplicação. A entrada de maquinário com solo úmido também pode trazer danos como compactação do solo e atolamento da máquina. Uma alternativa pode ser o uso de aeronaves, no entanto, nem todos os lugares é possível que essa ação seja executada (BAESSO et al., 2014a).

2.3.3 PRINCÍPIO ATIVO

Outro fator que também está relacionado à aplicação de fitossanitário é o princípio ativo, o principal componente responsável por controlar plantas daninhas, infestações, fungos e/ou outras pragas que comprometem o desenvolvimento das culturas. A aplicação do princípio ativo deve ser efetuada através de um veículo que por sua vez pode ser líquido como água ou óleo, e os veículos sólidos como gesso, talcos, argilas, nas formas granuladas ou em pó (CUNHA; TEIXEIRA; FERNANDES, 2007).

2.3.4 OPERADOR

O estudo de Brandão Filho et al. (2018c) se estende ainda ao operador, como uma das principais peças responsável pela aplicação de fitossanitários. O operador deve ser um profissional devidamente capacitado com relação a forma de aplicação, devendo seguir instruções de aplicação, rótulos dos produtos, mistura de princípio ativo e veículo na proporção correta, calibração e regulagem da máquina, uso de equipamento de proteção individual. Todos esses fatores e outros mais devem ser levados em consideração, visto que a inobservância desses fatores, podem acarretar em danos ambientais, consequentemente prejudicando a própria vida humana.

2.3.5 MÁQUINA

Na agricultura existem diversos maquinários capazes de exercer a função de aplicação. A escolha do equipamento vai depender de diversos fatores como tipo de cultura, produto a ser aplicado, como por exemplo se o mesmo é sólido ou líquido, tamanho da área a ser tratada,

relevo e solo, são alguns dos fatores que podem definir o desempenho do maquinário a ser utilizado.

A seleção de uma máquina agrícola, bem como a de um implemento, pode tornar-se uma tarefa árdua, pois há diversas variáveis que devem ser consideradas, e a escolha do equipamento mais adequado para uma propriedade agrícola é uma das etapas mais importantes do processo produtivo (MONQUERO; INÁCIO; SILVA, 2009).

Uma das principais vantagens da aplicação por via sólida é a não utilização da água, o que dispensa diluição pelo usuário. Nessas aplicações, as formulações estão prontas para o uso em concentração adequada para o campo. Entretanto, o transporte de grandes quantidades de materiais inertes sólidos, que integram a formulação, faz aumentar substancialmente o custo da unidade do ingrediente ativo.

Na aplicação via gasosa o produto se encontra na forma líquida ou pastosa e ao entrar em contato com o ar se volatiliza se tornando um gás fumegante.

Com relação e aplicação via líquida Casali (2015) descreve que existem diversas formas de pulverizadores classificados de acordo com a forma de energia utilizada para transformar o líquido em gotas.

A classificação dessas máquinas consiste em Térmicos, Eletrostáticos, Centrífugos, Pneumáticos e Hidráulicos. Os térmicos são capazes de fazer a combustão de óleo proporcionando uma névoa junto com o princípio ativo, indicado para seringais, ambientes fechados e formigueiros. Os pulverizadores eletrostáticos possuem na saída do líquido um dispositivo capaz de emitir uma corrente elétrica que, em contato com a calda produz gotas energizadas positivamente que se aderem melhor às plantas ou objetos que por sua vez estão com cargas negativas. Os pulverizadores do tipo centrífugos utilizam um disco girante que ao cair líquido em sua superfície é disparado pela energia cinética se propagando em forma de gotas, esse equipamento pode ser encontrado manual, motorizado costal, tratorizado ou acoplados em avião. Os pulverizadores pneumáticos são equipamentos dotados de ventiladores de rotor radial que produzem uma corrente de ar, diminuindo o tubo condutor na sua extremidade, o ar ganha velocidade e causa uma pressão negativa no tanque, causando a sucção da calda e quebrando os mesmo em gotas.

Os pulverizadores hidráulicos são máquinas que bombeiam o líquido gerando uma pressão que ao passar pelo bicos, gera uma decompressão fazendo o mesmo se partir transformando se em gotas (CASALI, 2015)

Diversos autores como Casali (2015), Cunha (2007) e Farias et al. (2015) descrevem vários modelos e categorias de pulverizadores líquidos, no entanto, (CASALI, 2015) faz

basicamente um resumo entre equipamentos se referenciando apenas na fonte de propulsão e capacidade operacional .

No Brasil os pulverizadores terrestres motorizados podem ser divididos em três categorias: autopropelido, arrasto e montado. Os autopropelidos são modelos que possuem fonte de potência própria, já os de arrasto são acoplados na barra de tração do trator e por fim o modelo montado é acoplado nos três pontos do trator (SOBROZA BECKER et al., 2021)

Os pulverizadores aéreos podem apresentar dois tipos diferentes de asas, sendo, fixas como a de um avião e giratórias que são semelhantes a um helicóptero. Geralmente os drones são do tipo asas giratórias por apresentarem uma melhor dinâmica de voo podendo ter sua orientação controlada em três dimensões (COSTA et al., 2007).

Neste estudo trataremos de pulverizadores de aplicação líquida, terrestre do tipo autopropelida e aérea do tipo de asa giratória, visto que, há um grande leque de pulverizadores.

2.4 PULVERIZADORES AUTOPROPELIDOS

O primeiro pulverizador autopropelido foi criado por Ray Hagie em 1947 nos EUA. Conforme relata Casali (2015), Ray buscava solucionar o problema de aplicação de defensivos agrícolas na fazenda de seu pai, com o sucesso do empreendimento criou-se a demanda do equipamento e logo Ray desenvolveu uma indústria fornecendo assim pulverizadores autopropelidos ou também chamados de autopropulsados. A Figura 1 apresenta Ray Hagie em seu primeiro modelo. À medida que foi passando o tempo Ray desenvolveu máquinas com maiores capacidades, inicialmente com 454 litros de tanque e hoje em dia sua indústria ainda continua a projetar e comercializar pulverizadores autopropelidos cada vez mais sofisticados com capacidade de 7200 litros e barras com 40 metros. O autor discorre ainda que a produção de pulverizadores autopropelidos no Brasil se deu no final da década de 80, os mesmos seguiam parâmetros argentinos que na sua maioria possuíam tanque com capacidade de 2000 litros, operavam com velocidade em torno de 10 a 12 km/h e barras com comprimento de aproximadamente 18 a 20 metros.

Figura 1- Ray Hagie em seu primeiro modelo de Pulverizador Autopropelido.



Fonte: Hagie.com

2.4.1 CLASSIFICAÇÃO DE PULVERIZADORES AUTOPROPELIDOS

De acordo com Ferreira et al. (2010), podemos encontrar uma gama de pulverizadores autopropelidos e sua escolha requer o conhecimento de variáveis que possam definir a melhor seleção do pulverizador autopropelido.

Os pulverizadores autopropelidos ofertados no mercado brasileiro podem ser distribuídos em classes, de acordo com a potência nominal do motor. A partir dessa classificação, é possível estabelecer relações com o tipo de transmissão, capacidade do reservatório de calda, tamanho das barras e vão livre. Ao analisar os critérios técnicos anteriormente descritos, percebe-se que, com o aumento da potência, os pulverizadores são equipados com transmissão hidrostática e com maiores reservatórios de calda (FARIAS et al., 2015).

2.4.2 VANTAGENS

A vantagem dos pulverizadores autopropelidos se dá por diversos fatores, a começar pela sua capacidade de tanque de combustível e tanque de calda, permitindo um grande desempenho em sua operação. Farias et al. (2015) relata que 57% dos pulverizadores

autopropelidos no Brasil possuem tanques de armazenamento com capacidade entre 2000 e 3000 litros, diminuindo a quantidade de paradas para reabastecimento.

A estabilidade do pulverizador é um fator importante tanto na qualidade da aplicação quanto no conforto do operador e pode contar com diferentes tipos de sistemas de amortecedores e a utilização de cada sistema vai depender da marca, modelo, capacidade de operação, tipo de solo, especificidade de aplicação, entre outros. Os sistemas de amortecimento podem ser mecanizados, que dispõe de molas e amortecedores mecânicos, pneumáticos, com bolsas de ar comprimido, hidráulicos, constituídos de válvulas e orifícios nos quais circulam fluidos pressurizados e também com controle eletrônico que responde em tempo real as necessidades das irregularidades do terreno (FERREIRA; BALTHAZAR; PONTES JÚNIOR, 2010b)

O uso do GPS na aplicação de defensivos é o principal componente quando se trata de agricultura de precisão, pois, com o emprego deste elemento, juntamente com sistemas avançados, possibilitam que a distribuição do produto seja da forma mais uniforme possível, evitando a sobreposição ou faixa sem aplicação, consequentemente a distribuição precisa resulta em menores gastos com insumos, proporcionando aumento de produtividade, visto que a aplicação correta permite o desenvolvimento da cultura. A agricultura de precisão permite ainda que possam ser feitos mapas de aplicação a partir de padrões de deficiência nutricionais, infestação de pragas e doenças, permitindo assim pré-determinar a localização onde deverá ser feita a aplicação e a variação da dosagem do produto de acordo com a necessidade em cada área. O mapeamento das áreas também contribui com o planejamento de rotas de acordo com a otimizar a aplicação e reduzem tempo e insumos. (BENEDUZZI et al., 2017)

A cabine do pulverizador autopropelido é outro dispositivo que proporciona ao operador maior conforto e segurança, visto que, este artefato impede que o operador tenha contato direto com o produto na hora da aplicação. A cabine deve ser projetada de forma eficiente, proporcionando visibilidade, espaço, conforto, facilidade no controle de sistemas eletrônicos e perfeitamente pressurizada para que a entrada de contaminantes presentes no ar devido à deriva da aplicação não seja possível. Filtros de carvão ativado são utilizados nas entradas dos dutos de ar para filtrar o ar que entra na cabine do operador, evitando que o mesmo venha a se contaminar (RURAL, 2016)

Um estudo analisou diferentes velocidades na aplicação de calda sobre a cultura do milho (*Zea mays*). A partir da análise em que as condições climáticas estão favoráveis como vento entre 4 e 6 km h⁻¹, temperatura menor que 30 °C, umidade relativa maior que 55%, a velocidade também é um fator importantíssimo para garantir a qualidade de aplicação. O avanço

da tecnologia na agricultura tem melhorado o desempenho de máquinas, permitindo que os pulverizadores autopropelidos possam atingir velocidade de trabalho consideravelmente. Foram analisadas as velocidades entre 5, 10, 15, 20 e 25 km h⁻¹, chegou-se à conclusão que a faixa de velocidade entre 8 e 9,2 km h⁻¹, obtiveram melhores resultados com relação ao maior volume de gotas e maior densidade de gotas.(CUNHA et al., 2010)

Um outro estudo aponta como melhores condições climáticas, vento entre 3 e 10 km h⁻¹, temperatura abaixo de 30 °C e umidade relativa acima de 50%. Com relação a velocidade de trabalho, o autor não relata sobre a qualidade de aplicação relacionado a velocidade de trabalho e admite que a mesma possa atingir em torno de 30 km h⁻¹ principalmente quando se trata de tecnologia de transmissão independente, que proporciona maior rendimento de translação diminuindo a patinagem. No entanto, Ferreira (2010) cita a velocidade comumente praticada no campo como sendo 18 km/h em seu estudo baseado no conforto do operador com relação às deformidades do solo e as vibrações causadas decorrentes das mesmas.(GUIMARÃES et al., 2021)

Guimarães et al. (2021) afirma que, com o avanço da tecnologia, podemos encontrar o vão livre em torno de 130 cm de distância entre o solo e o chassi, permitindo a operação de aplicação em todos os estádios vegetativos das culturas de grãos sem que haja danos. Isso aconteceu devido ao desenvolvimento de materiais mais resistentes e leves que permitiu produzir chassis mais avançados flexíveis, capazes de suportar maiores cargas, elevando assim a capacidade operacional e também suportar as irregularidades dos terrenos por serem mais flexíveis. Farias et al., (2015) descreve que o tamanho do vão livre pode variar próximo a 1.557 mm de altura a depender do modelo e da marca da máquina.

As barras de aplicação de um autopropelido podem ser montadas na parte frontal ou na traseira, possuindo acionamentos não só hidráulicos mas também acionamentos por molas e amortecedores que possibilitam o nivelamento das barras em relação ao solo, permitindo uma aplicação mais uniforme (GUIMARÃES et al. 2021). Ademais, o Serviço Nacional de Aprendizagem (SENAR, 2016), relata que podem haver tipos de três posicionamentos de barras, sendo na dianteira, traseira e também no centro, isso a depender da marca e modelo do autopropelido. Na sequência, o autor ressalta ainda que o posicionamento das barras no centro da máquina permite uma melhor distribuição de massa evitando oscilações nas barras contribuindo para um melhor nivelamento em entre o solo e a barra. Com a aplicação de materiais mais leves e flexíveis permitiu que se pudesse projetar barras de aplicação maiores.

2.4.3 DESVANTAGENS

Pode-se notar que existe uma grande variedade e complexidade tecnológica no projeto de um pulverizador autopropelido, com o intuito de elevar a capacidade operacional, reduzir custos de aplicação, manutenção do equipamento e ainda proporcionar segurança à saúde dos operadores e cuidado com a contaminação ambiental, mesmo com a aplicação da tecnologia, o autopropelido também apresenta algumas desvantagens.

Pulverizadores autopropelidos frequentemente operam em velocidades elevadas, o que pode resultar em uma aplicação menos precisa e na dispersão indesejada de produtos químicos. Segundo Araújo et al. (2007), a alta velocidade e a grande capacidade de carga dos pulverizadores podem aumentar o risco de exposição acidental aos defensivos, tanto para os operadores quanto para os habitantes das áreas próximas. O controle inadequado da dosagem e a possível deriva de produtos químicos também são aspectos críticos que podem comprometer a segurança durante a aplicação (BAESSO et al., 2014b).

O relevo do terreno também pode ser um desafio para a utilização dos pulverizadores autopropelidos. Em áreas com relevo acidentado, o desempenho do equipamento pode ser comprometido. A capacidade de manobra e a estabilidade dos pulverizadores são reduzidas em terrenos inclinados ou irregulares, o que pode levar a uma aplicação irregular e o risco de derrapagens ou acidentes. De acordo com Macedo et al. (2020), os autopropelidos podem enfrentar dificuldades significativas em áreas com declives acentuados, o que pode acarretar em desperdício de defensivos e aumento do custo operacional.

O impacto sobre o solo é uma consideração importante a ser pontuada. Os pulverizadores autopropelidos podem causar compactação do solo, devido ao seu peso e tamanho, o que afeta negativamente a estrutura e a fertilidade do solo. Estudos mostram que a compactação do solo reduz a capacidade de infiltração de água e a aeração do solo, prejudicando o crescimento radicular e a produtividade das culturas. Essa compactação é especialmente pronunciada em solos úmidos ou de baixa resistência, onde a pressão exercida pelos pneus do equipamento pode levar a uma degradação significativa do solo (CUNHA; CASCÃO; REIS, 2009)

As condições climáticas também apresentam um papel de grande notoriedade na eficácia e segurança da aplicação com pulverizadores autopropelidos e pode ser afetada por ventos fortes, chuvas ou altas temperaturas, que podem alterar a dispersão e a aderência dos produtos aplicados. De acordo com o estudo de Penckowski et al. (2003), a variação climática

pode resultar em uma aplicação desigual e na perda de defensivos agrícolas, comprometendo a eficácia do tratamento e aumentando o risco de resistência das pragas.

A operação de pulverizadores autopropelidos está condicionada a investimentos consideráveis. Estes investimentos não se restringem apenas à aquisição do equipamento, mas também incluem manutenção, combustível, reparos e depreciação. Conforme analisado por Gebler (2011), a manutenção de pulverizadores autopropelidos é frequentemente mais onerosa em comparação com métodos tradicionais, devido à complexidade e sofisticação dos sistemas envolvidos. Além disso, a necessidade de substituição de peças e a realização de serviços de calibração e ajuste constante, contribuem para o aumento nas despesas operacionais.

A mão de obra é outro fator que deve ser considerado. Embora pulverizadores autopropelidos reduzam a necessidade de trabalho manual direto, eles exigem cada vez mais, operadores capacitados afim de se obter uma aplicação eficaz e segura. A complexidade dos controles e a necessidade de monitoramento contínuo durante a operação demandam habilidades específicas, o que pode implicar na necessidade de treinamento especializado e na contratação de pessoal qualificado (CASALI et al., 2011).

O impacto ambiental devido à utilização de pulverizadores autopropelidos é uma preocupação a ser considerada. A deriva de defensivos agrícolas pode ter efeitos negativos sobre a flora e fauna em volta da região de aplicação, contaminando corpos d'água e afetando a biodiversidade local. Estudos como o de Leite e Serra (2013) indicam que a aplicação inadequada e a dispersão de produtos químicos podem levar à poluição dos recursos hídricos e ao desequilíbrio dos ecossistemas. O uso excessivo e não controlado de defensivos também pode contribuir para a degradação do meio ambiente e o surgimento de problemas relacionados à resistência de pragas.

Em suma, embora os pulverizadores autopropelidos ofereçam vantagens operacionais, suas desvantagens não devem ser subestimadas. A análise detalhada dessas desvantagens de ser realizada para a adoção de práticas mais sustentáveis e para a minimização dos impactos negativos associados à utilização desses do pulverizador autopropelido (REJEB et al., 2022).

2.5 DRONES PULVERIZADORES

O desenvolvimento de drones para uso agrícola ganhou notoriedade nas últimas décadas no Brasil e no mundo. O uso de drones iniciou por volta da segunda guerra mundial para uso militar, sendo posteriormente difundido para outras funcionalidades como agrícola, construção civil, pecuária, georreferenciamento etc. (BARBIZAN; CAVICHIOLI, 2022). Na década de

2000, o avanço da tecnologia de drones, tanto em termos de aerodinâmica quanto de sistemas de controle e navegação, possibilitou a criação de equipamentos mais acessíveis e versáteis, o que abriu caminho para a sua aplicação em diversas culturas agrícolas ao redor do mundo (BREUNIG, 2019). A Figura 2 apresenta modelo de drone pulverizador DJI Agras T40.

Figura 2- Modelo de Drone Pulverizador DJI Agras T40.



Fonte: Al Drones

A palavra Drone vem da língua inglesa e significa “Zangão”. O nome foi dado por fazer um barulho parecido a de uma abelha. Os drones ou VANTS (Veículo Aéreo Não Tripulado) podem realizar diversos trabalhos e nada mais são do que aeronaves não tripuladas contendo GPS e sensores controlados por uma unidade remota dotada de softwares inteligente (BARBIZAN; CAVICHIOLI, 2022).

2.5.1 CLASSIFICAÇÃO DE AERONAVE PILOTADA.

Os drones podem ser basicamente classificados em dois modelos, asa fixa e multirrotores.

Os drones de asa fixa são utilizados em grandes áreas devido à sua capacidade de cobrir longas distâncias em um curto período de tempo. Sua aerodinâmica permite que permaneçam no ar por mais tempo, comparado aos drones multirrotores, o que os torna ideais para monitoramento de extensas propriedades rurais. Esse tipo de drone é por muitas vezes utilizado para o mapeamento topográfico, uma vez que consegue realizar voos mais estáveis e a uma maior altitude. Outra vantagem desses drones é a economia de energia, pois suas asas fixas exigem menos esforço do motor para mantê-los no ar, resultando em uma maior autonomia (PARLANGELI GONÇALVES; ALEXANDRE CAVICHIOLI, 2021).

Os drones de asa fixa, por sua vez, possuem algumas limitações, como a necessidade de uma área extensa para decolagem e aterrissagem, o que pode dificultar seu uso em pequenas áreas com vegetação densa. Os mesmos também não são capazes de realizar voos estacionários, o que limita sua aplicação em operações que exigem uma coleta de dados mais precisa e localizada (PUPPALA et al., 2023).

Os drones multirrotores, são caracterizados pela presença de múltiplos rotores dotados de hélices que lhes permitem realizar voos mais controlados e estáveis em baixas altitudes, assim como também, manter-se estacionários no ar (SISHODIA; RAY; SINGH, 2020). Essas características fazem dos multirrotores as melhores opções para aplicações que exigem precisão, como a pulverização de fitossanitários, monitoramento, gestão hídrica e nutricional das culturas, geração de mapas de precisão e o monitoramento detalhado de áreas subdivididas entre outras atividades. A flexibilidade de drones multirrotores os torna adequados para operar em terrenos mais complexos, como plantações de difícil acesso ou áreas com considerável variação topográfica (HUNT; DAUGHTRY, 2018).

Os drones pulverizadores são aeronaves equipadas com reservatórios capazes de transportar produtos para dispersão no campo, podendo ser sólidos ou líquidos. Normalmente os reservatórios mais vendidos no mercado nacional são com capacidade de calda de 10, 20, 30 e 40 litros da fabricante DJI. (MONTE; MOURA; SANTOS, 2023).

A velocidade de um drone é um fator essencial para o bom desempenho de um drone pulverizador. O autor Monte et al. (2023) descreve em sua análise os modelos DJI Agras T10 com velocidade de trabalho de 6 Km/h, DJI Agra T30 16 Km/h e o DJI T40 com velocidade de 21,3 Km/h sendo essas velocidades referidas por engenheiros, consultores e fabricantes dos modelos (MONTE; MOURA; SANTOS, 2023). Já o autor Oliveira (2022), utilizou 17 km/h em seu experimento na aplicação de inseticida para controle da soja. Por outro lado o autor Rodrigues (2022), realiza seu estudo no controle de pragas daninha, a velocidade de 18 km/h. Um estudo demonstrou também que a velocidade de 18 km/h obtivesse bons resultados no quesito de tamanho de gotas (CARLESSO; BARIVIERA, 2022). Outro estudo realizado no Estado de Minas Gerais, na aplicação de defensivos agrícolas, chegou a conclusão como sendo a velocidade de 20 km/h, ideal para trabalho (SILVA NETO; SASAKI; ALVARENGA, 2021).

A largura de aplicação do drone pode variar de acordo com o modelo utilizado. O autor Pereira et al. (2024) descreve em seu estudo que ao utilizar o modelo de drone DJI Agras T 30 16 bicos com pontas de pulverização da marca Teejet Technologies de jato cônico, modelo TXA8001VK, a uma altura de 3 metros, com velocidade de 20 km/h e obteve a largura de aplicação de 8,5 metros. O autor Matos, (2023), analisou que a melhor uniformidade na

deposição de calda por drones é um voo com altura de 3,0 metros e largura de 6,5 metros de faixa de aplicação.

2.5.2 VANTAGENS

Muitas vantagens podem ser obtidas na escolha de drones para pulverização, a facilidade que se pode programar um drone e a flexibilidade que se pode alcançar em solos acidentados e em diferentes culturas. A ausência de mão de obra no momento da aplicação, denota a segurança que o equipamento apresenta, tornando-se mais eficiente em relação a contaminação humana e com a utilização de hélices se cria o vórtex, que direcionam a gotas de forma mais precisas e uniforme, garantindo um bom desempenho e menor contaminação do meio ambiente. Esses são apenas alguns de muitos fatores positivos que se obtém na escolha deste equipamento (DIETRICH KLUG et al., 2024).

A deposição de gotas no dorso inferior das plantas de soja, obtiveram bons resultados, notando que a presença do vórtex na aplicação de fungicidas foi melhor por provocar agitação nas folhagens, permitindo uma área de contato entre as folhas e o produto (ZAPPA PAIVA; GUILHERME PÉRA, 2023).

O amassamento causado pelo pulverizador terrestre causa consideráveis prejuízos proporcionado pelos rodados do pulverizador, diminuindo a produtividade na região afetada. Um pulverizador acoplado a um trator com bitola entre eixos de 1,84 m e rodados com espessura de 30 cm, pode ocasionar danos em até 8,3 % das sementes de soja por hectare, em decorrência da supressão de plantas entre linhas com espaçamento de 10,8 metros da barra pulverizador (JUSTINO et al., 2006). Os autores Machado e Reynaldo (2019), ressaltam que a perda por amassamento pode variar em 5 e 10% a depender da quantidade e formas de aplicação em relação a posição de aplicação, sendo a favor ou transversal as linhas de cultivo, que se aproxima da reflexão do autor anterior.

Um estudo realizado na produção de cana de açúcar sobre a utilização de drones pulverizadores na aplicação de herbicidas, com apoio da agricultura de precisão, revelou surpreendentes informações ao verificar seu experimento em três parcelas, a fim de validar seus resultados que comprovassem a eficiência da pulverização aérea. A primeira parcela consistiu na aplicação de herbicida em 16 ha, a segunda parcela se estendeu a 200 ha e a terceira e última parcela comportou 2,3 mil hectares, chegando se a conclusão de que o uso de drones proporcionou 42% de redução em gastos operacionais e 82% em insumos graças a precisão que o mesmo possui atingindo apenas as áreas que realmente necessitam de aplicação. A análise

dos três tratamentos comprovaram a eficiência da aplicação de drones em áreas extensas, afirmando comercialmente ser um investimento promissor (OLIVEIRA et al., 2022).

A regulamentação do uso de aeronave remotamente pilotada de caráter agrícola é regida pela legislação Nº 298 DE22/09/2021, que estabelece uma série de requisitos destacando a necessidade do operador ser capacitado e obter um registro junto à ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), através do Sistema Integrado de Produtos e Estabelecimentos Agropecuários (SIMEAPRO) para operar aeronave remotamente pilotada com peso acima de 250 gramas. É necessário solicitar uma autorização de operação sempre que for realizar trabalhos de pulverização rural, dispensando essa autorização quando o drone for utilizado para fins recreativos ou desportivos, sem fins lucrativos (ALARCÃO JÚNIOR; NUÑEZ, 2023).

2.5.3 DESVANTAGENS.

Uma das desvantagens técnicas dos drones pulverizadores está relacionada à sua capacidade de carga. A baixa capacidade de carga pode impactar a eficiência em termos de tempo e logística. Em cada operação, o drone precisa realizar pausas para recarga tanto do produto quanto da bateria, o que adiciona complexidade e aumenta o tempo de trabalho. Como observado por Souza e Carvalho (2023), em áreas agrícolas extensas, a frequência das recargas e o número de interrupções podem tornar o uso de drones impraticável em comparação aos métodos tradicionais. Além disso, o tempo adicional exigido para o transporte dos defensivos até o ponto de recarga dos drones se traduz em custos operacionais mais elevados, o que pode inviabilizar.

Os drones pulverizadores estão regulamentados pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), e também de outras agências, como o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel). De acordo com as agências citadas, um drone para uso agrícola, está na classe 2, que permite capacidade de carga na decolagem entre 25 Kg e 150Kg (ARAÚJO, 2020; SCHRÖDER; BURKERT, 2023).

A aplicação do drone tem suas limitações como, a autonomia de voo e seu alcance, o elevado custo, a interferência com o espaço aéreo, a dependência de regulamentação com os órgãos de aviação, é dependente de clima, dependente da habilidade do piloto, limitação na altura de aplicação e custos (OLIVEIRA, 2021).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CUSTOS.

No trabalho utilizamos o sistema de custeio variável porque é o sistema mais indicado para gerenciar os custos produtivos. Ele é um método financeiro usado pelas empresas para determinar e acompanhar suas margens de lucro e é usado na contabilidade gerencial onde os custos indiretos fixos de fabricação são excluídos do custo do produto produzido.

Os custos variáveis aumentam ou diminuem dependendo de sua produção – eles aumentam à medida que a produção aumenta e diminuem à medida que a produção diminui.

No custeio variável, os custos que mudam de tempos em tempos são considerados na tomada de decisões. Isso significa que apenas são considerados os custos que variam com os volumes de produção, como matérias-primas e mão de obra baseado na produtividade entre outros. Os custos irrecuperáveis e os custos fixos não estão incluídos (VERGARA et al., 2021).

O objetivo do sistema de custeio variável é fornecer informações para os gestores de uma empresa na tomada de decisões a curto prazo (VERGARA; YAMANARI; BARBOSA, 2019), como,

1. Determinar o limite do lucro planejado através da análise da relação custo-volume-lucro e fazer melhores decisões de gestão na tomada de políticas de curto prazo.
2. Monitorar o status operacional, fazer avaliações e determinar responsabilidades para outros departamentos dentro da empresa.

Complementando nossa citação anterior, exemplos de custos variáveis incluem os custos de matérias-primas e embalagens de uma empresa de manufatura - ou taxas de transação de cartão de crédito ou despesas de envio de uma empresa de varejo, que aumentam ou diminuem com as vendas; e custos de serviços de utilidade de uma empresa de manufatura, como por exemplo, energia elétrica, água, manutenção de equipamentos, etc. O custo variável pode ser contrastado com o custo fixo.

O sistema de custeio variável é um conceito da contabilidade gerencial. Segundo este método, os custos indiretos de fabricação são incorridos no período em que um produto é produzido.

Esse método é comumente utilizado pelos gestores (VERGARA; YAMANARI; BARBOSA, 2019):

Determinar a margem de contribuição de um produto, o que ajuda a entender a relação entre custo, volume e lucro.

- Facilitar a tomada de decisões excluindo custos indiretos fixos de fabricação, que podem criar problemas devido à forma como os custos fixos são alocados para cada produto.
- Fazer uma análise de ponto de equilíbrio para determinar o número de unidades necessárias para vender para começar a obter lucro.

As despesas totais incorridas em uma determinada empresa consistem em custos variáveis e fixos. Os custos variáveis dependem da produção ou das vendas. O custo variável de produção é um valor constante por unidade produzida. À medida que o volume de produção aumenta, os custos variáveis também aumentarão. Por outro lado, quando menos produtos são produzidos, os custos variáveis associados à produção diminuirão consequentemente.

Os custos variáveis totais podem ser calculados multiplicando a quantidade total de produção pelo custo variável unitário.

$$\text{Custo Variável Total} = \text{Produção total} \times \text{Custo variável por unidade de produção}$$

3.1.1 TIPOS DE CUSTOS VARIÁVEIS

Ao longo de um processo de fabricação, existem itens específicos que normalmente são custos variáveis. Por exemplo, para um produtor de roupas esportivas, os seguintes itens são considerados como custos variáveis nos processos de fabricação.

Matérias-primas

Matérias-primas são os bens adquiridos que representam os custos diretos e eventualmente se transformam em produto final.

Mão de obra direta por produtividade

A mão de obra é formada pelo conjunto de colaboradores que executam as tarefas e atividades de uma empresa ou organização. O custo da mão de obra forma parte do custo total de um produto ou serviço que corresponde ao trabalho (VERGARA et al., 2021).

Comissões

As comissões costumam ser uma porcentagem das receitas de vendas concedidas a uma empresa ou funcionários como compensação adicional. Se nenhuma venda for realizada, não haverá despesa de comissão. Como as comissões aumentam e diminuem de acordo com qualquer qualificação subjacente que o vendedor deva atingir, a despesa varia (ou seja, é variável) com os diferentes níveis de atividade.

Serviços de utilidade

Quando um equipamento é ligado na linha de produção e aumenta as propriedades de um produto, ela consome energia. Quando chega a hora de desligar o equipamento, os serviços de utilidade muitas vezes não são mais consumidos. Neste exemplo, as utilidades geralmente variam de acordo com a produção. À medida que uma empresa se esforça para produzir mais, é provável que este esforço adicional exija uma maior energia, resultando em um aumento dos custos dos serviços variáveis.

Embalagem/Frete

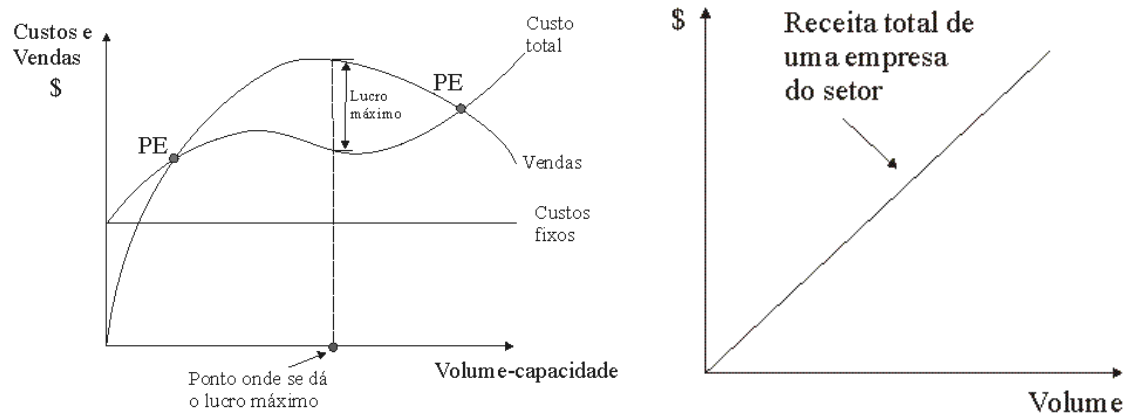
O custo de embalagem somente acontece quando determinada atividade é realizada. Portanto, o custo de envio de um produto acabado varia (ou seja, é variável) dependendo da quantidade de unidades enviadas. Embora possa haver componentes de custos fixos para o envio (ou seja, uma rede interna de distribuição de correio com uma linha de produtos de pesagem e embalagem personalizada), muitos dos custos acessórios são variáveis.

A informações coletadas em um sistema de custeio variável podem ser utilizados de diversas formas para analisar custos e despesas, preços e lucratividade. Assim, sua análise é importante pelos seguintes motivos:

- **Os custos variáveis ajudam a determinar os preços.** Uma empresa geralmente se esforça para definir preços competitivos para seus produtos para recuperar o custo de fabricação dos produtos. Ao realizar análises de custos variáveis, uma empresa compreenderá melhor os insumos para seus produtos e o que precisa arrecadar em receita por unidade para garantir que está ganhando dinheiro.
- **Os custos variáveis são parte integrante do orçamento e do planejamento.** Uma empresa pode planejar dobrar sua produção no próximo ano, na tentativa de aumentar a receita. Para tanto, deve estar ciente de que os custos variáveis também aumentarão proporcionalmente. Quaisquer planos estratégicos relativos ao crescimento, contração ou expansão de novos produtos provavelmente incorrerão em alterações nos custos variáveis.
- **Os custos variáveis determinam o ponto de equilíbrio.** O ponto de equilíbrio de uma empresa é calculado como custos fixos divididos pela margem de contribuição, e a margem de contribuição é calculada como receita - custos variáveis. Uma empresa pode aproveitar a análise de custos variáveis para calcular exatamente quantos itens precisa vender para atingir o ponto de equilíbrio, bem como quantas unidades precisa vender para ganhar uma quantia específica de dinheiro.

O ponto de equilíbrio (ponto de ruptura - break-even point) é um nível de atividades em que as receitas totais são conjugadas com os custos totais e onde o lucro é igual a zero. Em uma economia de mercado, estas têm uma representação não linear. No caso de uma empresa particular, isto não ocorre por ter ela um preço prefixado para seu produto, fazendo com que sua receita total seja de fato linear (VERGARA; YAMANARI; BARBOSA, 2019).

Figura 3- Esquema do ponto de equilíbrio dinâmico.

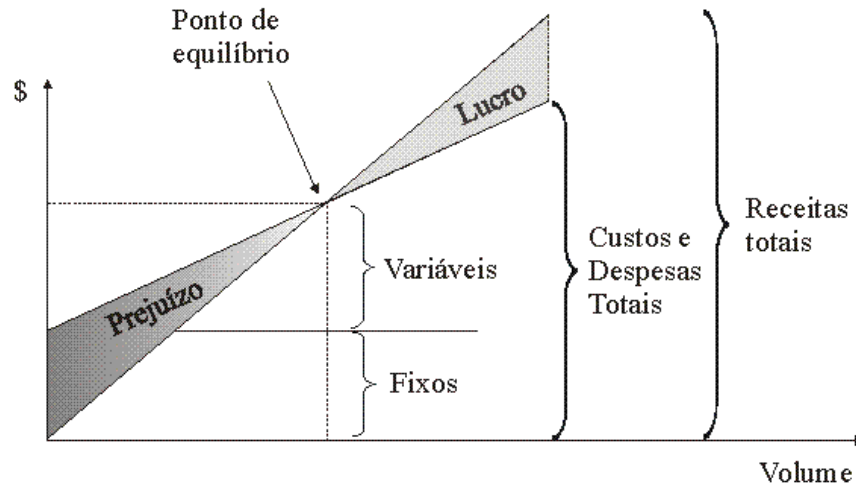


Fonte: Própria (2024).

As alterações de preços provocariam o mesmo impacto que sobre os custos variáveis, isto é, inclinando para mais ou para menos a curva.

Admitindo nossas visualizações como lineares tanto as receitas como os custos e despesas teremos o seguinte gráfico do ponto de equilíbrio. Ver Figura 4.

Figura 4- Ponto de equilíbrio estático e linear.



Fonte: Própria (2024).

Observemos que no ponto de equilíbrio, a empresa não tem nem prejuízo nem lucro. Mais existe um setor que a empresa tem mais custos e despesas do que receitas, encontrando-se, por isso, na faixa do prejuízo; acima, entra na faixa do lucro.

Existem duas formas para determinar o ponto de equilíbrio contábil de forma desagregada:

1- Ponto de equilíbrio pelo volume de vendas (R\$);

$$\text{PEC} = \text{CF} / [1 - (\text{CV} + \text{DV}) / \text{VT}] \text{ (R\$)}$$

Onde,

VT = Vendas totais

PEC = Ponto de equilíbrio contábil

CF = Custo Fixo Total

CV = Custo Variável Total

DV = Despesa Variável Total

2- Ponto de equilíbrio pelas unidades produzidas:

$$\text{PEC} = \text{CF} / [\text{PV unit} - (\text{CV unit} + \text{DV unit})] \text{ (unids)} = \text{CF} / \text{Margem de Contribuição}$$

Onde,

PEC = Ponto de Equilíbrio contábil

CF = Custo Fixo Total

PV unit = Preço de venda unitário do produto

CV unit = Custo variável unitário

DV unit = Despesa variável unitária

- **Os custos variáveis determinam as margens e o lucro líquido.** Os cálculos de margem bruta, margem de lucro e lucro líquido são frequentemente calculados com uma combinação de custos fixos e variáveis. Ao realizar análises de custos variáveis, uma empresa pode identificar facilmente como o dimensionamento ou a diminuição da produção podem impactar os cálculos de lucro.
- **Os custos variáveis impactam a estrutura de despesas de uma empresa.** Imagine que uma empresa queira alugar um equipamento. Ela pode escolher entre pagar R\$ 1.000 (custo fixo) ou R\$ 0,1 por cada produto fabricado. Esta decisão terá um impacto direto na rentabilidade e no potencial de ganhos da empresa, uma vez que a estrutura de despesas de uma empresa determina a sua alavancagem.

Em um processo de fabricação, existem diferentes tipos de custos. Um desses custos é um custo variável que só aumenta se a quantidade de produção também aumentar. Embora um custo fixo permaneça o mesmo ao longo de um intervalo relevante, um custo variável geralmente muda com cada unidade incremental produzida. Embora esta estrutura de custos proteja uma empresa no caso de a procura pelos seus produtos diminuir, limita o potencial de lucro atualizado que a empresa poderia ter recebido com uma estratégia mais focada nos custos fixos (VERGARA et al., 2021).

3.1.2 CUSTOS VARIÁVEIS VS. CUSTOS FIXOS

Os custos fixos são despesas que permanecem inalterados, independentemente da produção realizada. Quer uma empresa utilize seu sistema de produção na elaboração de um produto. Ela deve pagar seus custos fixos, uma vez que estes custos são independentes de produzir um produto ou não (VERGARA et al., 2021).

Exemplos de custos fixos são aluguel, salários de funcionários, seguros e material de escritório. Uma empresa ainda deve pagar o aluguel pelo espaço que ocupa para executar as suas operações comerciais, independentemente do volume de produtos fabricados e vendidos. Se uma empresa aumentou ou diminuiu a produção, o aluguel permanecerá exatamente o mesmo. Embora os custos fixos possam mudar ao longo de um período de tempo, a mudança não estará relacionada com a produção e, como tal, os custos fixos são vistos como custos de longo prazo.

Existe também uma categoria de custos que se enquadra entre os custos fixos e variáveis, conhecidos como custos semivariáveis (também conhecidos como custos semifixos ou custos mistos). São custos compostos por uma mistura de componentes fixos e variáveis. Os custos são fixos para um determinado nível de produção ou consumo e tornam-se variáveis quando esse nível de produção é ultrapassado. Se não ocorrer produção, muitas vezes ainda será incorrido um custo fixo.

Para que os gestores de uma empresa possam responder a uma série de interrogantes e tomar decisões táticas e estratégicas, é importante entender conceitos como: custos, investimentos, custos fixos, custos variáveis e margem de contribuição.

O custo está relacionado com o consumo de bens e serviços utilizados para gerar receita e está diretamente relacionado com o preço de aquisição de um produto ou prestação de um serviço, como mão de obra, aluguel, energia elétrica, combustível, etc.

O investimento é um gasto em bens ou serviços que trarão benefícios futuros. Eles podem ser pagos à vista ou parcelados e tem a finalidade de gerar receitas, e como consequência, lucros, denominados de ativos. Por exemplo, máquinas e equipamento, etc.

Os custos fixos são aqueles gastos que não se alteram independentemente de aumentar ou diminuir a produção da empresa. Em períodos regulares ou constantes, eles permanecem inalterados e ocorrem independentemente do faturamento da empresa. Por exemplo, salários, aluguel, energia, etc.

Os custos variáveis são aqueles gastos que ocorrem de forma proporcional com o nível de produção ou atividade do negócio. Esses custos estão diretamente relacionados com as vendas em um determinado período. Assim, se não ocorre vendas não existe custo variável. Por exemplo, o CMV (custos de mercadoria vendida), comissões, taxa de cartão de crédito, impostos, etc.

A margem de contribuição determina quanto cada produto vendido ou serviço prestado contribui para cobrir os custos fixos. Assim, se a soma das margens de contribuição gerados pelas vendas for maior que a soma dos custos fixos, a empresa terá lucro.

- Um custo variável é uma despesa que muda proporcionalmente à produção ou vendas.
- Quando a produção ou as vendas aumentam, os custos variáveis totais aumentam; quando a produção ou as vendas totais diminuem, os custos variáveis diminuem.
- Os custos variáveis contrastam com os custos fixos, que não mudam proporcionalmente ao volume de produção ou vendas.
- Os custos variáveis são uma parte central na determinação da margem de contribuição de um produto, a métrica usada para determinar o ponto de equilíbrio ou o nível de lucro alvo de uma empresa.
- Exemplos de custos variáveis incluem matérias-primas, mão de obra, serviços de utilidade, comissões ou custos de distribuição.

3.2 ESTUDO FINANCEIRO.

Diversas são as técnicas empregadas na análise da viabilidade econômico-financeiro de um projeto de investimento, contudo, pode-se considerar que todas convergem para um mesmo objetivo final, que é auxiliar o investidor na sua tomada de decisão ao se deparar com um investimento.

Nesta seção, alguns indicadores financeiros e as variáveis da qual se originam serão abordados com o intuito de mostrar sua importância no contexto proposto.

3.2.1 FLUXO DE CAIXA.

Para realizar um projeto de investimento, faz-se necessário um correto planejamento de atividades e controle de recursos materiais, humanos e monetários do empreendimento. As análises devem ser consistentes e baseadas em dados exatos, e para tanto, pode ser utilizada uma ferramenta denominada de fluxo de caixa.

Vergara e Oliveira (2021) conceitua um fluxo de caixa como uma ferramenta de planejamento financeiro, com o objetivo de fornecer estimativas da situação do caixa da empresa em determinado período de tempo à frente, e ainda, demonstrar ao empreendedor, o quanto a empresa pode gastar, investir ou economizar. Ainda mais, ele afirma que os investimentos são considerados como saídas em fluxo de caixa, e correspondem aos valores dos equipamentos novos instalados, incluindo as necessidades de reservas técnicas e de manutenção, supervisão de engenharia e outras, além dos impostos incidentes.

As despesas totais, segundo Vergara et al. (2017), correspondem ao somatório das despesas associadas aos investimentos realizados, de forma direta e indireta, como salários, encargos, insumos, materiais, e ainda, os impostos incidentes, como: imposto sobre a renda, ICMS, PIS, COFINS, etc. Ver Figura 5.

Figura 5- Estrutura da demonstração do fluxo de Caixa

	PERÍODO n
	Receita Bruta
(-)	Impostos Proporcionais (ICMS, PIS/Cofins)
=	Receita Líquida
(-)	Custo da Mercadoria Vendida ou do Produto Vendido
=	Lucro Bruto ou Margem Bruta ou Margem de Contribuição
(-)	Custo Operacional
(-)	Depreciação
(-/+)	Receitas/Despesas Financeiras
=	Lucro Antes do Imposto de Renda e da CSLL (LAIR)
(-)	IR e CSLL
(=)	LUCRO LÍQUIDO
(+)	Depreciação
(-)	Custo de Investimento / Custo de Oportunidade
(+/-)	Capital de Giro
(+)	Valor Residual
=	FLUXO DE CAIXA LÍQUIDO NO PERÍODO n

Fonte: Própria (2024).

3.2.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL).

Ademais, Vergara e Oliveira (2021), o VPL apresenta-se como um dos métodos mais utilizados pela engenharia econômica, sendo de grande importância para avaliar investimentos, com o intuito de fornecer o real ganho monetário possível de ser alcançado na realização de um investimento a uma determinada taxa de juros. Eles afirmam que o VPL representa o somatório dos valores do fluxo de caixa (saídas previstas mais receitas estimadas) no “instante zero”. Ou seja, deve-se “descontar” todos os valores do fluxo de caixa até o instante zero, utilizando-se uma determinada taxa de atratividade, onde todos os valores estejam no mesmo instante de tempo.

Na visão de (Vergara, Teixeira e Yamanari (2017), o VPL trata-se de uma técnica sofisticada por considerar o valor do dinheiro no tempo, apresentando algumas vantagens sobre outros métodos, como:

- Utiliza fluxos de caixa, ao contrário de outras técnicas que utilizam o lucro líquido, pois, o lucro líquido não pode ser considerado em orçamento de capital por não representar um movimento do caixa;
- Utiliza todos os fluxos de caixa do projeto, ao contrário de outras técnicas que desconsideram os fluxos além de uma certa data e;
- Desconta os fluxos de caixa corretamente, desde que se utilize o custo de capital adequado ao custo do projeto.

Para calcular o VPL, segundo Vergara, Teixeira e Yamanari (2017), deve-se fazer uso da seguinte fórmula:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n FC_t \times (1 + k)^{-t} + VR \times (1 + k)^{-n}$$

Onde:

- I = Custo inicial na data zero ou investimento inicial;
- FC = Retornos gerados no fluxo de caixa de cada ano (positivos ou negativos);
- K = Taxa de juros requerida;
- VR = Valor Residual;
- n = Período.

Obtendo-se o valor do VPL, deve-se interpretar seu resultado, sendo que, segundo os mesmos autores, se a soma dos presentes dos retornos do projeto for maior que o custo inicial I, o VPL será positivo, e, caso contrário, o VPL será negativo.

Para verificar a aceitabilidade de um projeto, a seguinte análise deve ser feita:

- Se o $VPL > 0$, deve-se aceitar o projeto, pois, o investimento inicial será recuperado e recompensado com a taxa requerida, ou seja, ele criará valor para a empresa;
- Se o $VPL < 0$, deve-se rejeitar o projeto, pois, o investimento inicial não será recuperado e nem recompensado conforme a taxa requerida, ou seja, o projeto destruirá o valor da empresa;

- Se o $VPL = 0$, significa apenas que o custo inicial será recuperado e remunerado na taxa requerida K , porém, não criará nem destruirá valor da empresa e só será aceitável, caso a empresa queira garantir sua competitividade no mercado.

Desse modo, o VPL garante ao investidor maior segurança sobre a análise, por considerar os fluxos de caixa de um determinado período com o custo de oportunidade.

3.2.3 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR).

Segundo Vergara e Oliveira (2021), a TIR de um projeto é a taxa de desconto para a qual o valor presente das receitas torna-se igual ao valor presente dos desembolsos, significando que, a TIR é aquela que anula o VPL do projeto, podendo ainda ser denominada como a taxa de remuneração do capital investido. Ainda mais, eles afirmam que ela avalia a rentabilidade de um projeto de investimento e representa a taxa de desconto que iguala, em um único momento, os fluxos de entrada com os de saída de caixa, ou seja, trata-se da taxa que produz um VPL igual a zero.

Na visão de Vergara, Teixeira e Yamanari, (2017), a TIR trata-se de um dos métodos de análise de investimentos mais utilizados quando se avalia a viabilidade de um investimento, sendo a taxa de desconto que iguala o valor atual das saídas de caixa previstas com as entradas estimadas do fluxo de caixa, reduzindo a somatória dos valores atuais dos fluxos à zero, oferecendo ao analista uma grande facilidade no entendimento do resultado esperado do seu projeto.

Os autores ainda descrevem que a TIR é a taxa de juro que zera o VPL do projeto e, para qualquer taxa requerida k menor que a TIR, o VPL será positivo e, para qualquer taxa requerida k maior que a TIR, o VPL será negativo.

Conforme o mesmo autor, o cálculo para a obtenção da TIR, baseia-se na seguinte fórmula, apresentada na página a seguir:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t}$$

Para a tomada de decisão sobre o retorno do projeto, segundo Vergara, Teixeira e Yamanari (2017), afirmam que:

- Para $TIR > K$, aceita-se o projeto;
- Para $TIR < K$, rejeita-se o projeto;
- Para $TIR = K$, o investimento é indiferente.

Vergara (2017), denomina “K” como o “Custo de Capital” ou a “Taxa Mínima de Atratividade (TMA)”, afirmando que, se a TIR for maior do que o custo de capital, o projeto deve ser aceito, visto que proporcionará um maior retorno do que o simples investimento do capital.

Por outro lado, se a TIR for menor do que o custo de capital, o projeto deve ser rejeitado, uma vez que o projeto estará deixando de gerar maior retorno na sua aplicação.

3.2.4 INDICE DE CUSTO E BENEFÍCIO (IBC).

Vergara e Oliveira (2021), afirmam que o IBC trata de um indicador de ganho que mede o tanto de capital que se ganha por capital investido em um projeto de investimento, sendo a razão entre o fluxo gerado de benefícios e os valores de investimentos necessários, portanto, uma comparação, entre a expectativa de ganho e o recurso a ser disponibilizado.

Pode ser formulado como:

$$IBC = \frac{\text{Valor presente dos benefícios}}{\text{Valor presente dos investimentos}}$$

Assim, para que se continue analisando um projeto, esta relação deve ser maior do que 1, sendo que:

- Quando $IBC > 1$, aceita-se o projeto e,
- Quando $IBC < 1$, rejeita-se o projeto.

Para Vergara, Teixeira e Yamanari (2017), o IBC representa para todo o horizonte de planejamento, a medida de quanto se espera ganhar por unidade de capital investido.

3.2.5 PAYBACK.

O tempo de recuperação do capital investido, *Payback*, é definido com um indicador que mede o tempo necessário para a recuperação do capital investido em um empreendimento (VERGARA et al., 2021). O critério de avaliação econômica desse método é o tempo de retorno do capital, um projeto é mais atrativo, quanto menor for o tempo de recuperação do investimento. Para um projeto com fluxo de caixa regular, o *payback* aproximado pode ser calculado utilizando a seguinte fórmula:

$$Payback = \frac{I_o}{F_c}$$

Onde:

I_o = investimento inicial

F_c = Valor presente do fluxo de caixa

Quando o fluxo de caixa não apresentar um valor regular, o cálculo deve ser feito analisando diretamente o fluxo de caixa do projeto em questão. Faz-se o fluxo de caixa acumulado, ou cumulativo, ou seja, somando-se o fluxo de caixa pontual de cada ano com o resultado do fluxo cumulativo dos anos anteriores. Quando o fluxo de caixa acumulado mudar de sinal, tornando-se positivo, tem-se o *payback* (VERGARA, 2023).

3.3 MÉTODO DE MONTE CARLO

A Simulação de Monte Carlo, também conhecida como Método de Monte Carlo (MMC) ou simulação de probabilidade múltipla, é uma técnica matemática, que é usada para estimar os possíveis resultados de um evento incerto (VERGARA; TEIXEIRA; YAMANARI, 2017). Essas previsões são realizadas em um intervalo estimado de valores em vez de um conjunto fixo de valores e evoluem aleatoriamente. O Método Monte Carlo foi inventado por John von Neumann e Stanislaw Ulam durante a Segunda Guerra Mundial para melhorar a tomada de decisões em condições incertas.

O método de Monte Carlo pode ser pensado como uma coleção de técnicas computacionais para avaliar o nível de exposição ao risco e a solução (geralmente aproximada) de problemas matemáticos, fazendo uso de amostras aleatórias (FISHMAN, 1996; STANKE, 2021). Três classes de problemas estatísticos relevantes são comumente abordadas por este método: integração, otimização e financeiro.

Apesar da sua simplicidade conceptual e algorítmica, o custo computacional associado a à simulação de Monte Carlo pode ser surpreendentemente elevado. Em geral, o método requer muitas amostras para obter uma boa aproximação, o que pode incorrer em um tempo total de execução arbitrariamente grande se o tempo de processamento de uma única amostra for alto (ARENAS et al., 2017; METROPOLIS; ULAM, 1949).

No caso da integração, o MMC é frequentemente aplicado em situações onde o objetivo consiste em avaliar a integral de uma função em uma determinada região. Em muitos casos, as propriedades de tais funções são complexas e/ou desconhecidas e, portanto, pode ser difícil desenvolver soluções de forma fechada. As técnicas numéricas (além do MMC) também podem não ser úteis devido à complexidade da função que está sendo avaliada. Nesses casos, o MMC oferece uma ferramenta simples, mas eficaz para resolver o problema. Em pesquisa operacional, o MCM é utilizado principalmente na análise de sistemas de filas (simulação de eventos discretos) e em alguns problemas de otimização e, no caso, de problemas de engenharia financeira, as aplicações típicas incluem a precificação de derivativos financeiros e a geração de cenários na gestão de portfólio.

A simulação de Monte Carlo usa uma distribuição de probabilidade para qualquer variável que tenha incerteza inerente. Logo, ele processa e calcula os resultados muitas vezes, usando um conjunto diferente de números aleatórios dentro do intervalo estimado a cada vez. Esse processo gera muitos resultados prováveis, que se tornam mais precisos à medida que o número de entradas aleatórias cresce (BOYLE, 1977a; METROPOLIS; ULAM, 1949). Em outras palavras, os diferentes resultados formam uma distribuição normal ou curva de sino, onde o resultado mais comum está no meio da curva.

O método de Monte Carlo foi projetado para "estimar um resultado muitas vezes até que a realidade apareça". Ele baseia-se na suposição de que muitas amostras aleatórias imitam padrões na população total. Essa teoria está baseada no teorema central do limite (VERGARA; TEIXEIRA; YAMANARI, 2017).

O Teorema Central do Limite (TCL) afirma que a soma (S) de N variáveis aleatórias independentes (X), com qualquer distribuição e variâncias semelhantes, é uma variável com distribuição que se aproxima da distribuição de Gauss (distribuição normal) quando N aumenta. A média de S é o somatório das médias de X .

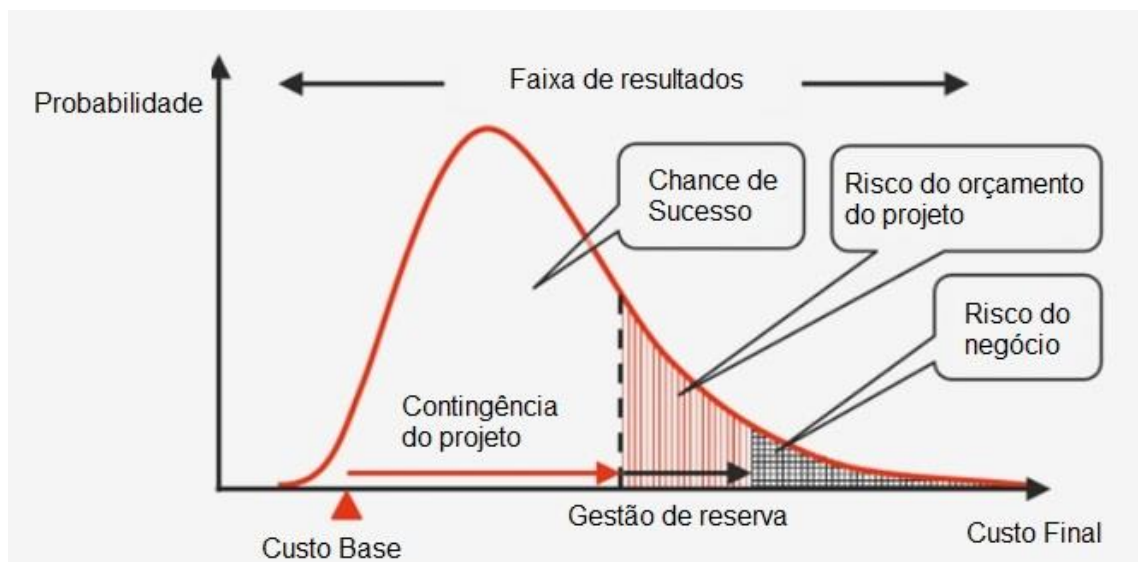
O teorema central do limite (ou teorema do limite central) é um importante resultado da estatística e a demonstração de muitos outros teoremas estatísticos dependem dele. Em teoria das probabilidades, esse teorema afirma que quando o tamanho da amostra aumenta, a

distribuição amostral da sua média aproxima-se cada vez mais de uma distribuição normal. Este resultado é fundamental na teoria da inferência estatística.

Na inferência estatística a utilidade do teorema central do limite vai desde estimar os parâmetros como a média populacional ou o desvio padrão da média populacional, a partir de uma amostra aleatória dessa população, ou seja, da média amostral e do desvio padrão da média amostral até calcular a probabilidade de um parâmetro ocorrer dado um intervalo, sua média amostral e o desvio padrão da média amostral.

Desde sua introdução, as simulações de Monte Carlo avaliaram o impacto do risco em muitos cenários da vida real, preços de ações, previsão de vendas, gerenciamento de projetos, precificação, etc. Eles também fornecem uma série de vantagens sobre modelos preditivos com entradas fixas, como a capacidade de conduzir análise de sensibilidade ou calcular a correlação de entradas (GAYTÁN CORTÉS, 2023). A análise de sensibilidade permite que os tomadores de decisão vejam o impacto das entradas individuais em um determinado resultado e a correlação permite que eles entendam as relações entre quaisquer variáveis de entrada. Ver Figura 6.

Figura 6- Esquema probabilístico de resultados em uma empresa.



Fonte: adaptação da representação empresarial de Bob Stange (2024).

3.3.1 COMO FUNCIONA A SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO?

Ao contrário de um modelo de previsão normal, a Simulação de Monte Carlo prevê um conjunto de resultados com base em um intervalo estimado de valores versus um conjunto

de valores de entrada fixos. Em outras palavras, a Simulação de Monte Carlo constrói um modelo de resultados possíveis alavancando uma distribuição de probabilidade, como uma distribuição uniforme ou normal, para qualquer variável que tenha incerteza inerente. Ele, então, recalcula os resultados repetidamente, cada vez usando um conjunto diferente de números aleatórios entre os valores mínimo e máximo. Em um experimento típico de Monte Carlo, este exercício pode ser repetido milhares de vezes para produzir um grande número de resultados prováveis (RUBINSTEIN, 1981).

A simulação de Monte Carlo também é utilizada para previsões de longo prazo devido à sua precisão. À medida que o número de entradas aumenta, o número de previsões também cresce, permitindo que você projete resultados mais distantes no tempo com mais precisão. Quando a simulação de Monte Carlo é concluída, ela produz uma gama de resultados possíveis com a probabilidade de cada resultado ocorrer.

3.3.2 METODOLOGIA UTILIZADA NA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

A técnica de Monte Carlo envolve quatro etapas básicas (BOYLE, 1977b; METROPOLIS; ULAM, 1949).

- Determinar o modelo matemático ou algoritmo de transferência e logo, configurar o modelo preditivo, identificando tanto a variável dependente a ser prevista quanto as variáveis independentes (também conhecidas como variáveis de entrada, risco ou preditora) que conduzirão a previsão.
- Determinar as variáveis independentes e dependentes. Especificar as distribuições de probabilidade apropriada para cada variáveis independentes ou aleatória. Use dados históricos e/ou o julgamento subjetivo de um especialista ou analista para definir um intervalo de valores prováveis e atribuir pesos de probabilidade para cada um.
- Fazer simulações repetidamente, gerando valores aleatórios das variáveis independentes. Faça isso até que os resultados da simulação sejam suficientes para compor uma amostra representativa do número quase infinito de combinações possíveis.
- Agrupe os resultados e determine a média, o desvio padrão e a variância para determinar se o resultado está conforme o esperado. Visualize os resultados em um histograma.

Podemos realizar muitas simulações, modificando os parâmetros usados para simular os dados. No entanto, também podemos calcular o intervalo de variação dentro de uma amostra calculando a variância e o desvio padrão, que são medidas de dispersão comumente usadas. A variância de determinada variável é o valor esperado da diferença quadrática entre a variável e seu valor esperado. O desvio padrão é a raiz quadrada da variância. Normalmente, variâncias menores são consideradas melhores.

As três formas mais proeminentes de alcançar os melhores resultados possíveis, evoluindo a partir de uma amostragem aleatória repetida, incluem. Ver Figura 7:

Figura 7- A Simulação de Monte Carlo

Simulação de Monte Carlo



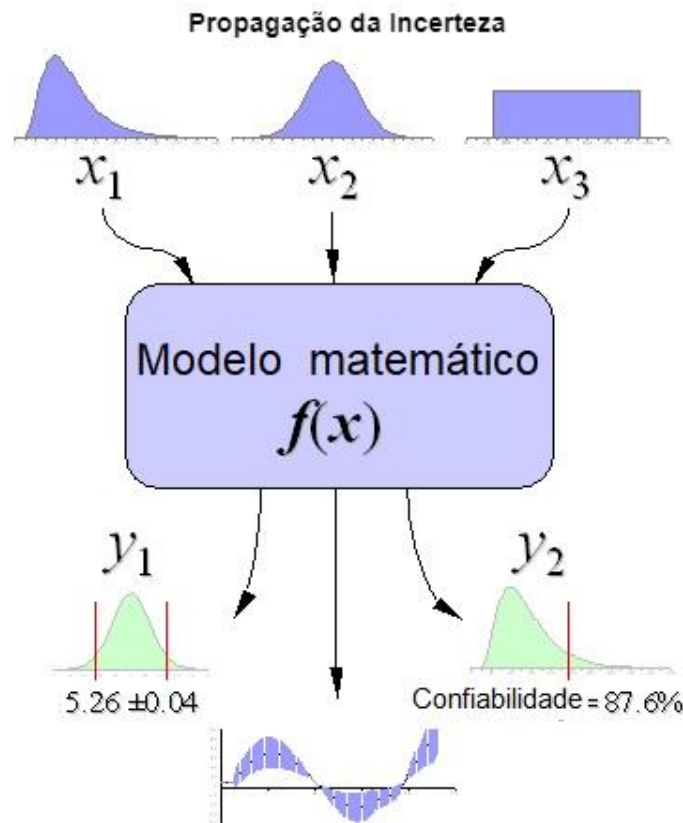
Fonte: Própria (2024).

1. Abordagem Preditiva – Determina variáveis dependentes e independentes para obter a faixa desejada de resultados.
2. Distribuição de Probabilidade – Este método identifica variáveis independentes, pois são responsáveis por diferentes possibilidades de múltiplos resultados que ocorreriam. É uma das melhores maneiras de encontrar incertezas com precisão e se preparar para elas de acordo.
3. Simulações Repetidas – Esta técnica permite repetir a simulação 'n' vezes. Fornece resultados com maior probabilidade de afetar um processo específico.

Na simulação de Monte Carlo, os dados gerados a partir da simulação podem ser representados como distribuições de probabilidade (ou histogramas) ou convertidos em barras

de erro, previsões de confiabilidade, zonas de tolerância e intervalos de confiança (VERGARA; TEIXEIRA; YAMANARI, 2017). Ver representação esquemática na Figura 8.

Figura 8- Princípio da propagação da incerteza estocástica pela simulação de Monte Carlo



Fonte: Própria (2024).

3.3.3 IMPORTÂNCIA DA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

A simulação de Monte Carlo é simples conceitualmente, mas permite que os projetistas resolvam problemas em sistemas complexos. Ele é útil particularmente para previsões de longo prazo por causa de sua precisão. Ela também é uma boa alternativa ao aprendizado de máquina quando não há dados suficientes para tornar-se um modelo de aprendizado de máquina preciso. À medida que o número de aleatórios aumenta, aumenta também o número de previsões. (VERGARA; TEIXEIRA; YAMANARI, 2017).

Ela realiza simulações precisas envolvendo o conceito de aleatoriedade. Um exemplo simples de uma simulação de Monte Carlo consiste no cálculo da probabilidade de rolar dois dados para calcular a probabilidade de um determinado resultado, digamos, obter o resultado sete. Existem 36 combinações possíveis, e seis dessas combinações somam sete. A

probabilidade matemática ou esperada de rolar um sete é de $6/36$, ou 16,67%. Usando a simulação de Monte Carlo, podemos simular rolar os dados 10.000 vezes (ou mais) para obter previsões mais precisas.

Existem fatores externos, como a forma dos dados ou a superfície em que são rolados, fazem com que a probabilidade real ou experimental seja diferente da probabilidade matemática. Rolar os dados 1.000 vezes e obter um sete em 170 dessas vezes seria a probabilidade real - $170/1.000$, ou 17%, que é próxima da probabilidade real, mas não exata. Cada evento realizado seria uma iteração da simulação de Monte Carlo, que fica mais precisa a cada iteração. Essa propriedade em que a probabilidade estimada se aproxima da probabilidade exata com mais iterações é conhecida como a lei dos grandes números.

A lei dos grandes números (LGN) é um teorema fundamental da teoria da probabilidade, que descreve o resultado da realização da mesma experiência repetidas vezes. De acordo com a LGN, a média aritmética dos resultados da realização da mesma experiência repetidas vezes tende a se aproximar do valor esperado à medida que mais tentativas se sucederem. Em outras palavras, quanto mais tentativas são realizadas, mais a probabilidade da média aritmética dos resultados observados irá se aproximar da probabilidade real.

Em nossa pesquisa vamos utilizar o Microsoft Excel para desenvolver, executar um algoritmo e realizar nossos experimentos.

A ferramenta de análise de dados do Excel, além das funções ALEATORIO() e ALEATORIOENTRE(), fornece a ferramenta de geração de números aleatórios que gera números aleatórios na forma de uma tabela que segue uma das várias distribuições.

Distribuição desejada: especifica uma das seguintes distribuições:

1. Uniforme, especifique α (limite inferior) e β (limite superior)
2. Normal, especifique μ (média) e σ (desvio padrão)
3. Bernoulli, especifique p (probabilidade de sucesso); como a distribuição binomial com $n = 1$
4. Binomial, especifique p (probabilidade de sucesso) e n (número de tentativas)
5. Poisson, especifique λ (média)
6. Padronizado – especifique um limite inferior e superior, uma etapa, taxa de repetição para valores e taxa de repetição para a sequência
7. Discreto – especifique um valor e o intervalo de probabilidade associado. O intervalo deve conter duas colunas: a coluna da esquerda contém valores e a coluna da direita contém probabilidades associadas ao valor nessa linha. A soma das probabilidades deve ser igual a 1.

3.3.4 DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE UTILIZADAS NA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

As distribuições de probabilidade representam um intervalo de valores entre dois limites e podem consistir em valores discretos ou contínuos. Distribuições de probabilidade discretas são plotadas como uma sequência de números finitos em uma tabela, enquanto distribuições contínuas são plotadas como uma curva entre dois pontos em um gráfico.

As seguintes distribuições de probabilidade são as mais utilizadas em simulações de Monte Carlo:

1. **Distribuições normais.** Essas são distribuições contínuas em que a maioria dos pontos de dados se agrupa em direção ao meio. Também é chamada de curva de sino ou distribuição gaussiana.
2. **Distribuições triangulares.** São distribuições contínuas com valores mínimos e máximos fixos. Podem ser simétricos, onde o valor mais provável é igual à média e à mediana, ou assimétricos.
3. **Distribuições uniformes.** São distribuições contínuas por valores mínimos e máximos conhecidos. Todos os desfechos têm a mesma probabilidade de ocorrer.
4. **Gráfico de diferentes distribuições de probabilidade** São distribuições contínuas por média e desvio padrão. Os valores são positivos e criam uma curva que inclina para a direita. Diferentes distribuições de probabilidade têm formas diferentes e são adequadas para diferentes contextos.
5. **Distribuições exponenciais.** Essas distribuições contínuas são usadas para ilustrar o tempo entre ocorrências independentes dada a taxa de ocorrência.
6. **Distribuições Weibull.** Essas distribuições contínuas podem modelar dados distorcidos e aproximar outras distribuições.
7. **Distribuições de Poisson.** Essas distribuições de probabilidade discretas descrevem a probabilidade de um evento ocorrer em X períodos de tempo.
8. **Distribuições discretas.** Essas distribuições de probabilidade discretas ajudam a definir os valores finitos de todos os valores de desfecho possíveis.

3.3.5 APLICAÇÃO DE COMO REALIZAR UMA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

Para aplicar a simulação de Monte Carlo na estimação da duração de um projeto, primeiro precisamos determinar a duração de cada atividade.

Três atividades A, B e C foram identificadas para finalizar um projeto. O gerente de projeto estimou as durações otimistas, mais prováveis e pessimistas para essas tarefas. As durações são medidas em dias.

Tabela 1- Simulação de Monte Carlo.

Atividade	Otimista	Mais prováveis	Pessimista
A	8	10	12
B	10	12	14
C	12	14	16
Total	30	36	42

Fonte: Própria (2024)

Isto dá uma estimativa do melhor caso de 30 dias, uma estimativa mais provável de 36 dias e uma estimativa pessimista de 42 dias. No entanto, não mostra o intervalo de probabilidade destas opções.

O método Monte Carlo utiliza toda a gama de durações de entrada possíveis. Para qualquer iteração, A terá um valor aleatório entre 8 e 12, B entre 10 e 14 e C entre 12 e 16. Aplicamos a simulação de Monte Carlo utilizando 300 trezentos números aleatórios e observamos que os resultados são parecidos com os fornecidos na Tabela 2.

Tabela 2 - Simulação utilizando números aleatórios.

Duração (em dias)	Probabilidade de conclusão
30 - 32	7%
33 - 35	36%
36 - 38	42%
39 - 42	15%

Fonte: Própria (2024).

A simulação fornece uma análise muito mais detalhada de seus dados, o que permite tomar melhores decisões no gerenciamento de projetos baseadas em dados.

No exemplo descrito acima foi utilizado a metodologia PERT que significa Técnica de Avaliação e Revisão de Programa (Program Evaluation and Review Technique) para determinar a média e o desvio do projeto. Assim, para calcular a duração de uma atividade através do método se leva em conta três suposições do tempo, em dias, para a realização de cada passo.

Essas suposições são:

- Otimista;
- Mais provável;
- Pessimista.

Com isso, utilizamos a seguinte fórmula para fazer a conta:

$$\text{Prazo médio do Projeto} = (\text{Otimista} + (4 \times \text{Mais Provável}) + \text{Pessimista}) / 6$$

Podemos ainda obter um desvio padrão para somar e diminuir ao prazo para que o projeto fique dentro de todas as suposições, evitando que haja atrasos ou que sobre muito tempo ocioso. O desvio é gerado da seguinte maneira:

$$\text{Desvio} = (\text{Pessimista} - \text{Otimista}) / 6$$

Com tudo planejado, obtemos uma duração de determinada atividade e temos uma ideia de quanto tempo para mais e para menos essa tarefa pode demorar, levando em consideração os imprevistos e a produtividade.

3.3.6 BENEFÍCIOS DA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

Entre os principais benefícios que oferece a simulação de Monte Carlos para as empresas temos,

- Melhor tomada de decisões, ao oferecer insights sobre os resultados potenciais e riscos associados;
- Em gestão de risco, ajuda as empresas a identificar e gerir risco potenciais de forma mais eficaz; e,
- Em relação aos custos, identifica riscos potenciais e permite desenvolver estratégias para mitigá-las, assim as empresas podem evitar erros dispendiosos e poupar dinheiro a longo prazo.

O presente trabalho teve como objetivo, elaborar uma avaliação econômica financeira de dois processos de pulverização, por autopropeleido e por Drone. Na elaboração do estudo, foi utilizado o método de pesquisa exploratória. A pesquisa exploratória é indicada em casos em que não existe trabalho científico anterior, pois de acordo com a fundamentação teórica, o objetivo é buscar um conhecimento abrangente sobre o tema, tendo em vista que este ainda não foi objeto de pesquisa. É possível definir a pesquisa exploratória como aquela onde se buscam apenas mais informações sobre o tema que está sendo estudado (FURASTÉ, 2012).

O trabalho pode ser classificado como uma pesquisa baseada na modelagem quantitativa. Esta classificação é atribuída às pesquisas, nas quais modelos de relações causais, exógenas e endógenas, entre variáveis de desempenho e variáveis de controle são desenvolvidos, analisados ou testados e se alteram sobre um domínio específico (WILL M. BERTRAND; FRANSOO, 2002)

A pesquisa exploratória permitiu a obtenção de dados relevantes referentes ao mercado de pulverização, como informações sobre a situação econômica do setor e dados estatísticos sobre o surgimento de empresas e manutenção de equipamentos.

Quanto aos objetivos, este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa empírica, já que a principal preocupação é assegurar que existe uma adequação entre o modelo desenvolvido e o sistema real. Neste tipo de pesquisa, os resultados teóricos são aplicados em processos reais.

Ainda mais, segundo Will et al. (2002), em uma classificação mais ampla, este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa empírica normativa. Uma vez que, no trabalho, busca-se modelar uma situação real, ao identificar e avaliar modelos econômicos que representam problemas de sistemas reais.

Em relação às questões teóricas, a cronologia do trabalho foi realizada em quatro etapas. Na primeira parte, apresentou-se a introdução e o mercado empresarial onde se insere o negócio da empresa. Logo, foram descritos os objetivos da pesquisa, geral e específicos; e a seguir, foi delineada toda a fundamentação teórica sobre o estudo do trabalho. Nessa etapa, foi descrito e justificado os fundamentos, necessidades e coleta de dados da pesquisa.

Por fim, optou-se pela utilização da modelagem matemática como método de pesquisa para condução e avaliação do trabalho a ser desenvolvido. Chung (2004), define modelagem como o processo de criar e experimentar um sistema físico, por meio de um modelo matemático. Para Will (2002), este método deve ser usado quando se deseja prever o efeito de mudanças no sistema ou avaliar seu desempenho ou comportamento, sendo utilizado na resolução de problemas reais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de pulverizador autopropelido analisado da marca John Deere M4025, que possui capacidade de até 2.500 litros de calda, largura de barras que podem variar de 27 à 36 metros, velocidade de operação máxima 25 km/h, potência do motor de 200 hp. O valor do autopropelido cotado no site oficial da CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), informa no mês de setembro o valor de R\$ 1.668.000,00 (Um milhão seiscentos e sessenta e oito mil reais). Ver Tabela 3.

Tabela 3 - Investimento Pulverizador autopropelido.

Análise Econômica de um Sistema de Mecanização Agrícola			
Dados gerais sobre o sistema			
Descrição	Nº de equipamentos	Valor (R\$) unitário	Valor (R\$) total
Pulverizador	1	1.668.000,00	1.668.000,00
Total			1.668.000,00
Recursos próprios (%)	20%		
Valor a financiar (R\$)	1.334.400,00		

Fonte: Própria (2024).

Na situação analisada, 20% do valor do equipamento foi dado como entrada através de capital próprio e 80% restante do valor do equipamento, foi financiado por um programa do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento) com o sistema de amortização constante. A tabela SAC (Sistema de Amortização Constante) é um sistema de financiamento em que a amortização do saldo devedor, permanece constante ao longo do todo o período e os juros incididos no saldo devedor, inicialmente são mais altos, porém, a amortização se reduz conforme vai sendo abatido no pagamento das prestações.

O BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento) possui um programa de financiamento chamado MODERFROTA (Programa de Modernização da Frota de Tratores Agrícolas e Implementos Associados a Colheitadeiras), que oferece um sistema de financiamento exclusivo ao produtor agrícola, com taxas de juros de 11,5% a.a. do qual está

sendo utilizado como parâmetro de simulação. O programa também dispõe do pagamento da primeira parcela após um ano de carência à contratação do financiamento e prazo de 7 anos para pagamento total do mesmo. Ver Tabela 4.

Tabela 4 - Sistema de amortização constante (SAC)

SAC, com carência e juros pagos durante a carência				
COM CARENCIA	1	Valor do Equip.	1.668.000,00	
periodo:	7	Entrada:	20%	
TOTAL.PERIODO	8	Empréstimo:	1.334.400,00	
Juros :	11,50%	Amortizacao:	190.628,57	
Período	S.Devedor	Amortização	Juros	Prestação
(K)	(SDk)	ak	(Jk = i * SDk-1)	(Ak + Jk)
0	1.334.400,00			
1	1.334.400,00	0,00	153.456,00	153.456,00
2	1.334.400,00	190.628,57	153.456,00	344.084,57
3	1.143.771,43	190.628,57	153.456,00	344.084,57
4	953.142,86	190.628,57	131.533,71	322.162,29
5	762.514,29	190.628,57	109.611,43	300.240,00
6	571.885,71	190.628,57	87.689,14	278.317,71
7	381.257,14	190.628,57	65.766,86	256.395,43
8	190.628,57	190.628,57	43.844,57	234.473,14
TOTAL		1.334.400,00	898.813,71	2.233.213,71
Lucratividade:	67,36%			

Fonte: Própria (2024)

O cálculo da receita anual foi estimado através de variáveis que determinam a capacidade operacional efetiva, como, velocidade de deslocamento de 20 km/h, baseada em artigo analisados, profissionais da área e entrevistas com produtores, onde, as velocidades praticas estão mais próximas das realizadas em campo. A largura da barra também é uma variável responsável pela determinação da capacidade operacional efetiva, logo, o modelo John Deere M4025 analisado em questão, possui barramento de aplicação com largura de barra de 30 metros. O número de aplicações é outro fator a ser considerando, pois, uma safra de soja e um milho ao longo do período de um ano, aproxima-se de 9 aplicações. Esse fato acontece porque existem outras situações que podem alterar a quantidade de aplicações como por

exemplo pragas mais resistentes a inseticidas, podem não ser extintas no primeiro tratamento, necessitando assim de outras aplicações para eliminar a praga desejada. Assim como também o clima, o desenvolvimento das plântulas são fatores que influenciam o número de aplicações ao ano. Na simulação foi determinado 9 passagens de aplicação por ano.

Com base em entrevistas com produtores, prestadores de serviços, assistências técnicas, o valor da aplicação por hectare possui orçamento médio de R\$ 150,00 (Cento e cinquenta reais) na região onde foi realizado o estudo, havendo uma pequena variação de valor dependendo do período do ano.

A escolha da margem de lucro de 30% para uma empresa de pulverização terrestre está fundamentada na necessidade de equilibrar a competitividade no mercado agrícola e a sustentabilidade financeira da operação. Estudos indicam que margens de lucro superiores a 25% são consideradas ideais em segmentos com alta demanda por tecnologia e serviços especializados, como as atividades agrícolas, onde o custo de aquisição, consumo de combustível e manutenção de equipamentos, bem como a capacitação da mão de obra, têm impacto significativo na estrutura de custos. Adicionalmente, a pulverização terrestre, ao oferecer maior capacidade operacional e cobertura em grandes áreas, justifica a aplicação de margens mais robustas, considerando que o retorno sobre o investimento depende de um fluxo operacional contínuo e eficiente. Essa margem de 30% também está alinhada com práticas de mercado que garantem rentabilidade em setores onde os custos fixos representam uma parcela expressiva do total. Ver Tabela 5.

Tabela 5 - 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: Própria (2024).

No estudo, o salário do administrador foi considerado no valor de R\$ 7.000,00 (Sete mil reais), baseado em instituições que publicam salários na área rural. Assim como também foi definido o salário do ajudante no valor de R\$ 2.000,00 (Dois mil reais). Já o salário do tratorista foi baseado na tabela de operações agrícolas da Fundação ABC, que por sua vez estima o valor de R\$ 32,16 (Trinta e dois reais e dezesseis centavos) por hora, podendo assim calcular em horas os custos com mão de obra para operação com pulverização.

O consumo de combustível do modelo M4025 da marca John Deere pode variar de acordo com a carga aplicada em terrenos declivosos ou operações agrícolas mais pesadas. O manual do equipamento, no entanto, estima um consumo médio entre 15 e 30 l/h, a depender do grau de desempenho a ser aplicado na área.

O preço de combustível cotado foi parametrizado de acordo com os valores atuais de mercado no momento da análise, sendo no mercado nacional a R\$ 6,05 (Seis reais e cinco centavos).

O custo de manutenção também foi definido pela tabela disponibilizada pela Fundação ABC demonstrando o valor de R\$ 12,33 (Doze reais e trinta e três centavos) por metro de barra por hora trabalhada.

O valor residual de um pulverizador terrestre é o montante estimado que o equipamento ainda valerá ao final de sua vida útil ou período de uso previsto, considerando sua depreciação. Esse valor representa a quantia que pode ser obtida com a venda do equipamento

usado ou seu reaproveitamento em outras operações. Ele é influenciado por fatores como estado de conservação, tecnologia embarcada, marca e demanda de mercado. No estudo aplicado foi estimado o valor de 15%, já que na tabela disponibilizada pela Fundação ABC esse valor residual pode chegar até 20%, entretanto, outras literaturas afirmam que o valor residual pode ser de 10%, logo, foi utilizado uma média dos valores descritos em anais acadêmicos. Assim como o seguro e abrigo, que somam 3% do valor do investimento conforme analisado pela Fundação ABC.

O consumo de lubrificantes pode ser estimado em 4%, pois, esse valor refere-se a uma média baseada no consumo de combustível gasto nas operações com cargas pesadas, que exigem bastante do motor, provocando um desgaste mais rápido pela devida complexidade da operação de pulverização. Ver Tabela 6.

Tabela 6 - Cálculo dos custos anuais I.

Cálculos dos custos anuais						
Dados gerais sobre os implementos	PESSIMISTA	MAIS PROVÁVEL	OTIMISTA			
	1.000	2.000	3.000			
Descrição	Vida útil		Trabalho anual	Vida útil calculada	Gasto Rep. e Man.	Valor Residual
	h	anos	h	anos	%	%
Pulverizador autopropelido	1.000	7	737,42	1	100	15,00%
						250.200,00
Dados da mão-de-obra e combustível				SIMULAÇÃO		
Salário do Administrador	7.000,00	R\$/mês	PESSIMISTA	MAIS PROVÁVEL	OTIMISTA	
Consumo de combustível do Pulverizador A.	24,54	L/hora	32,00	24,54	22,00	
Preço do combustível	6,05	R\$/Litro				
Salário do tratorista	32,16	R\$/ hora				
Salário do tratorista	23.715,35	R\$/ano		SIMULAÇÃO		
Salário do ajudante	2.000,00	R\$/mês	PESSIMISTA	MAIS PROVÁVEL	OTIMISTA	
Custo de Manutenção	11,43	R\$-hr/metro	15	11,43	10	
Largura da barra	30	Metro				
Valor Residual	15,00%	Porcent.				
Seguro (% ao ano)	3,00%	Porcent.				
Lubrificante em função do Cons. De combustível	4,00%	Porcent.				

Fonte: Própria (2024).

Incluem-se entre as despesas fixas a depreciação de equipamentos, alojamento, seguros e trabalho indireto. Por outro lado, as variáveis englobam gastos com combustível, manutenção, mão de obra sazonal e lubrificantes, que se alteram conforme o volume de trabalho. Ver Tabela 7.

Tabela 7 - Cálculo de custos anuais II.

Descrição	Depreciação anual R\$	Abrig + Seg R\$	MOI Indireta R\$	Cons. de Combust. R\$	Cons. de Lubrif. R\$	MOD Direta R\$	Reparo + Manut. R\$	Custo total R\$
Pulverizador autopropelido	291.362,36	50.040,00		6.592.460,44	263.698,42	62.435,92	303.980,25	7.563.977,38
Total Geral	291.362,36	50.040,00	0,00	6.592.460,44	263.698,42	62.435,92	303.980,25	7.563.977,38
Custo Fixo				Custo Variável				
Total custos fixos			341.402,36	4,51%				
Total custos variáveis			7.222.575,03	95,49%				
		TOTAL	7.563.977,38					

Fonte: (2024).

A escolha da Taxa Mínima de Atratividade (TMA) considerada foi de 25%. Ela em operações agrícolas reflete a necessidade de garantir um retorno elevado, adequado ao risco relacionado ao setor. A agricultura é influenciada por variáveis como condições climáticas, instabilidade dos preços de commodities, custos de insumos e demanda de mercado, o que exige uma TMA superior à de investimentos tradicionais de menor risco. Essa taxa também deve superar o custo de oportunidade do capital, considerando que o agricultor ou investidor poderia direcionar recursos para outras aplicações financeiras com retorno semelhante. Assim, uma TMA de 25% assegura que os projetos agrícolas sejam não apenas viáveis, mas também competitivos em relação a outras opções de investimento, equilibrando os riscos específicos do setor e a rentabilidade esperada. Portanto, o valor utilizado nesta simulação é de 25%.

A escolha de uma taxa de crescimento de **12%** para a agricultura do setor reflete uma expectativa otimista, baseada em tendências de modernização tecnológica, aumento da demanda por alimentos e expansão de práticas agrícolas sustentáveis. Esse percentual considera o avanço da Agricultura, com a adoção de tecnologias como drones, pulverizadores de precisão e manejo integrado, que aumentam a produção e reduzem custos. Além disso, o crescimento populacional impulsiona o consumo de produtos agrícolas, enquanto políticas públicas e investimentos no setor fomentam sua expansão. Assim, uma taxa de 12% é projetada como um cenário ideal para equilibrar inovação, eficiência e mercado em expansão no setor agrícola. Na Tabela 8 são mostrados o custo de oportunidade, os impostos inseridos e a taxa de crescimento da agricultura do setor.

Tabela 8 - Demonstração de Fluxo de caixa

FLUXO DE CAIXA				
		SIMULAÇÃO		
		PESSIMISTA	MAIS PROVÁVEL	OTIMISTA
Custo de Oportunidade ou Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	18,86%	20%	18,86%	50%
Contribuição social (f1) - SIMPLES	9,09%			
Taxa de imposto de renda (f2) - SIMPLES	15,50%			
Adicional de imposto de renda estadual (f3) - SIMPLES	5,00%	PESSIMISTA	MAIS PROVÁVEL	OTIMISTA
Taxa de aumento da renda -Taxa de crescimento da Agricultura	8,00%	8%	8%	15%

Fonte: Própria (2024).

A Demonstração do Fluxo de Caixa (DFC), expressa de forma dinâmica um relatório que apresenta informações econômico financeiro demonstrando a formação da liquidez da empresa, seja ele lucro ou prejuízo da empresa ao longo de um determinado período. Na Tabela 9 é possível visualizar desde o período zero até o período quatro.

Tabela 9 - Demonstração do Fluxo de Caixa. (período 0 ao 4).

Descrição	Fases/Anos								Valor (R\$)
	Implantação		Operação						
	0	1	2	3	4	5	6	7	
A-Investimento fixo	1.668.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	##	##	###	0,00
B-Capital de giro									
(=) C-Receita operacional		11.081.097,38	11.967.585,17	12.924.991,98	13.958.991,34	##	##	###	18.991.053,61
(-) D-Custo operacional (-depr.)		-7.201.701,78	-7.201.701,78	-7.201.701,78	-7.201.701,78	##	##	###	-7.201.701,78
(=) E-Lucro operacional (C-D)		3.879.395,60	4.765.883,39	5.723.290,21	6.757.289,57	##	##	###	11.789.351,84
(-) F-Depreciação		-289.010,93	-289.010,93	-289.010,93	-289.010,93	##	##	###	0,00
(-) G-Encargos financeiros (j. de financiamento)		-153.456,00	-153.456,00	-153.456,00	-131.533,71	##	##	###	-43.844,57
(=) H-Lucro antes do IR (E-F-G)		3.436.928,67	4.323.416,46	5.280.823,28	6.336.744,92	##	##	###	11.745.507,26
(-) I-Imposto de Renda (f2*H)		-532.723,94	-670.129,55	-818.527,61	-982.195,46	##	##	###	-1.820.553,63
(-) I-Contribuição Social (f1*H)		-312.416,82	-392.998,56	-480.026,84	-576.010,11	##	##	###	-1.067.666,61
(-) I-IR ad. Estadual (f3*J)		-171.846,43	-216.170,82	-264.041,16	-316.837,25	##	##	###	-587.275,36
(=) LUCRO LÍQUIDO		2.419.941,48	3.044.117,53	3.718.227,67	4.461.702,10	##	##	###	8.270.011,67
(+) Depreciação		289.010,93	289.010,93	289.010,93	289.010,93	##	##	###	0,00
(-) Amortização de financiamento		0,00	-190.628,57	-190.628,57	-190.628,57	##	##	###	-190.628,57
(+) Valor Residual								###	
FLUXO DE CAIXA LÍQUIDO NO PERÍODO	-1.668.000,00	2.708.952,41	3.142.499,89	3.816.610,03	4.560.084,46	##	##	###	8.079.383,09
(Fluxo de Caixa do acionista = Empresa)	Custos	-8.661.155,90	-8.923.467,64	-9.206.764,31	-9.497.289,24	##	##	###	66.778.410,11
	Receita Op.								98.874.452,92

Fonte: Própria (2024).

Já a Tabela 10 expressa a Demonstração do Fluxo de Caixa do quinto ao oitavo período.

Tabela 10 - Demonstração do Fluxo de Caixa. (período 5 ao 8).

Descrição	Fases/Anos								Valor (R\$)
	Implantação				Operação				
	0	1	2	3	4	5	6	7	
A-Investimento fixo	1.668.000,00	###	###	###	###	0,00	0,00	0,00	0,00
B-Capital de giro									
(=) C-Receita operacional		###	###	###	###	15.155.157,33	16.367.569,91	17.676.975,51	19.091.133,55
(-) D-Custo operacional (-depr.)		###	###	###	###	-7.241.036,09	-7.241.036,09	-7.241.036,09	-7.241.036,09
(=) E-Lucro operacional (C-D)		###	###	###	###	7.914.121,23	9.126.533,82	10.435.939,41	11.850.097,45
(-) F-Depreciação		###	###	###	###	-290.352,29	-290.352,29	-290.352,29	0,00
(-) G-Encargos financeiros (j. de financiamento)		###	###	###	###	-109.611,43	-87.689,14	-65.766,86	-43.844,57
(=) H-Lucro antes do IR (E-F-G)		###	###	###	###	7.514.157,51	8.748.492,38	10.079.820,26	11.806.252,88
(-) I-Imposto de Renda (f2*H)		###	###	###	###	-1.164.694,41	-1.356.016,32	-1.562.372,14	-1.829.969,20
(-) I-Contribuição Social (f1*H)		###	###	###	###	-683.036,92	-795.237,96	-916.255,66	-1.073.188,39
(-) I-IR ad. Estadual (f3*J)		###	###	###	###	-375.707,88	-437.424,62	-503.991,01	-590.312,64
(=) LUCRO LÍQUIDO		###	###	###	###	5.290.718,30	6.159.813,49	7.097.201,45	8.312.782,65
(+) Depreciação		###	###	###	###	290.352,29	290.352,29	290.352,29	0,00
(-) Amortização de financiamento		###	###	###	###	-190.628,57	-190.628,57	-190.628,57	-190.628,57
(+) Valor Residual								250.200,00	
FLUXO DE CAIXA LÍQUIDO NO PERÍODO	-1.668.000,00	###	###	###	###	5.390.442,03	6.259.537,21	7.447.125,17	8.122.154,08
(Fluxo de Caixa do acionista = Empresa)	Custos	###	###	###	###	-9.864.439,02	-10.207.756,43	-10.579.774,06	67.133.067,97
	Receita Op.								99.395.506,09

Fonte: Própria (2024).

Com relação aos indicadores econômico financeiro, existem importantes variáveis analisadas a fim de expressar os resultados obtidos na operação ao longo do tempo. Entre estas variáveis estão o Payback, que indica o tempo requerido para recuperar o investimento feito em um projeto, considerando o valor do dinheiro ao longo do tempo. O Valor Presente Líquido (VPL) avalia a viabilidade econômica de um investimento, calculando a diferença entre o valor presente das entradas e saídas de caixa, descontadas a uma taxa de atratividade específica. O Valor Presente (VP) leva em conta o valor presente de fluxos de caixa futuros, corrigidos pela taxa de desconto, simbolizando o retorno potencial em termos atuais. O Índice Benefício-Custo (IBC) avalia os ganhos de um projeto em relação aos seus gastos, tornando-se viável quando o índice supera 1. Por fim, Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa que iguala o Valor Presente Líquido (VPL) a zero, sinalizando a rentabilidade percentual de um projeto. Ver Tabela 11.

Tabela 11 - Indicadores econômico-financeiro do autopropelido.

Indicadores econômico-financeiro	Fases/Anos						
	Implantação			Operação			
	0	1	2	3	4	5	6
Valor Presente (VP)	15.782.985,44						
Valor Presente Líquido (VPL)	16.152.259,77						
Taxa interna de retorno (TIR)	180%						
Índice Benefício/Custo(IBC)	147,71%	127,61%	133,77%	140,04%	146,63%	153,28%	159,99%
Payback	9,46	9	0,46				
		ano	5,54666				
			5,55				
			meses				

Fonte: Própria (2024).

Com relação ao drone pulverizador, o modelo analisado da marca DJI Agras T40 com capacidade de calda de 40 litros de líquido ou 50 kg de sólidos. Largura de barra pode variar de 6 a 11 metros a depender da altura empregada e velocidade máxima de 39 km/h. O drone DJI Agras T40 acompanhado com controle, em loja de venda e manutenção foi cotado no valor de 160.000,00 (Cento e sessenta mil reais) incluindo o Kit, itens necessários para o funcionamento do drone. O Kit é composto por um misturador de 150 litros de capacidade de calda, da marca X-Mixer, 3 baterias para drone T40 com capacidade de 1500 ciclos, carregador de bateria acompanhado de resfriador, gerador TG15000CXE3-XP, treinamento de operador X-Pilot, dispensador de sólidos de 50 Kg de capacidade. Para garantir que a eficiência da operação não seja afetada por problemas casuais atribuídos ao kit que acompanha o drone, foi adicionado um Kit extra de equipamento contendo um misturador de calda da marca Drone Direto no valor de R\$ 16.000,00 (Dezesseis mil reais), computador notebook da marca Dell Modelo Inspiron 4 no valor de R\$ 7.000,00 (Sete mil reais). Um drone de mapeamento DJI Phantom 4 acompanhado de controle e câmera NDVI, para geração dos dados necessários para gerar os mapas, quando feito a aplicação da agricultura de precisão. Uma carreta tipo baú para drones pulverizadores da marca Pollo Carretas no valor de R\$ 8.000,00 (Oito mil reais) e um gerador da marca Toyama de 12,5 KVA a diesel no valor de 20.000,00 (Vinte mil reais), admitindo-se uma posição conservadora na operação de drones pulverizadores. Ver Tabela 12.

Tabela 12 - Investimento Drone Pulverizador.

Análise de investimento de Drone DJ Agras T40			
Investimentos em Equipamentos			
Descrição	Nº de equipamentos	Valor (R\$) unitário	Valor (R\$) total
Drone pulverizador DJI Agras T40	1	160.000,00	160.000,00
Misturador 600L Drone D.	1	16.000,00	16.000,00
Computador Dell insp.4	1	7.000,00	7.000,00
Carretinha baú p/ Drone Pollo Carretas	1	8.000,00	8.000,00
Gerador 9Kva Toyama (Diesel.)	1	20.000,00	20.000,00
Drone Mapeamento Phantom IV	1	11.000,00	11.000,00
Total			222.000,00
Recursos próprios (%)	20%		
Valor financeiro (R\$)	177.600,00		

Fonte: Própria (2024).

Assim como na situação analisada no pulverizador autopropelido, 20% do valor do equipamento foi dado como entrada através de capital próprio e 80% restante do valor do equipamento, foi simulado o financiamento com o sistema de amortização constante. No entanto, o drone pulverizador possui uma vida útil relativamente baixa em relação ao autopropelido, e levando-se em consideração que o financiamento está sendo executado no período de 7 anos, há a necessidade de um reinvestimento a cada dois anos do equipamento.

Na questão dos juros, foi aplicado o mesmo programa MODERFROTA como sistema de financiamento disposto para o autopropelido, através do BNDS, com taxa de 11.5% a.a. e sete anos para pagamento da dívida com um ano de carência para pagamento da primeira parcela. Ver tabela 13.

Tabela 13 - Sistema de amortização constante (SAC).

SAC, com carência e juros pagos durante a carência				
COM CARENIA	1	Valor do Equip.	222.000,00	
período:	7	Entrada:	20%	
TOTAL PERÍODO	8	Empréstimo:	177.600,00	
Juros :	11,50%	Amortizacao:	25.371,43	
Período	S Devedor	Amortização	Juros	Prestação
(K)	(SDk)	ak	(Jk = i * SDk-1)	(Ak + Jk)
0	177.600,00			
1	177.600,00	0,00	20.424,00	20.424,00
2	177.600,00	25.371,43	20.424,00	45.795,43
3	152.228,57	25.371,43	20.424,00	45.795,43
4	126.857,14	25.371,43	17.506,29	42.877,71
5	101.485,71	25.371,43	14.588,57	39.960,00
6	76.114,29	25.371,43	11.670,86	37.042,29
7	50.742,86	25.371,43	8.753,14	34.124,57
8	25.371,43	25.371,43	5.835,43	31.206,86
TOTAL		177.600,00	119.626,29	297.226,29
Lucratividade:	67,36%			

Fonte: Própria (2024).

No entanto, o drone pulverizador possui uma vida útil relativamente baixa em relação ao autopropelido, e levando-se em consideração que o financiamento está sendo executado no período de 7 anos, há a necessidade de um reinvestimento a cada dois anos do equipamento. Ver Tabela 14.

Tabela 14 - Sistema de amortização constante para substituição do equipamento (SAC).

SAC, com carência e juros pagos durante a carência				
COM CARENCIA	1	Valor do Equip.	160.000,00	
periodo:	7	Entrada:	20%	
TOTAL PERIODO	8	Empréstimo:	128.000,00	
Juros :	11,50%	Amortizacao:	18.285,71	
Período	S Devedor	Amortização	Juros	Prestação
(K)	(SDk)	ak	(Jk = i * SDk-1)	(Ak + Jk)
0	128.000,00			
1	128.000,00	0,00	14.720,00	14.720,00
2	128.000,00	18.285,71	14.720,00	33.005,71
3	109.714,29	18.285,71	14.720,00	33.005,71
4	91.428,57	18.285,71	12.617,14	30.902,86
5	73.142,86	18.285,71	10.514,29	28.800,00
6	54.857,14	18.285,71	8.411,43	26.697,14
7	36.571,43	18.285,71	6.308,57	24.594,29
8	18.285,71	18.285,71	4.205,71	22.491,43
TOTAL		128.000,00	86.217,14	214.217,14

Fonte: Própria (2024).

A tabela a seguir refere-se ao período de financiamento para a substituição do drone ao longo da proposta analisada do autoprovelido em 8 anos, sendo o primeiro ano de carência. Ver Tabela 15.

Tabela 15 - Período de substituição (SAC).

		Substituição							
		0	1	2	3	4	5	6	7
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
SDevedor			128.000,00						
Amortização				0,00	18.285,71	18.285,71	18.285,71	18.285,71	18.285,71
Juros				14.720,00	14.720,00	14.720,00	12.617,14	10.514,29	8.411,43
Prestação				14.720,00	33.005,71	33.005,71	30.902,86	28.800,00	26.697,14
				Substituição					
				0	1	2	3	4	
SDevedor				128.000,00					
Amortização					0,00	18.285,71	18.285,71	18.285,71	18.285,71
Juros						14.720,00	14.720,00	14.720,00	12.617,14
Prestação						14.720,00	33.005,71	33.005,71	30.902,86
				Substituição					
				0	1	2			
SDevedor						128.000,00			
Amortização							0,00	18.285,71	
Juros								14.720,00	14.720,00
Prestação								14.720,00	33.005,71

Fonte: Própria (2024).

A Tabela 16 mostra um resumo do diagrama de fluxo dos pagamentos dos juros e da amortização pagos na substituição.

Tabela 16 - Resumo da amortização e juros na substituição.

Resumo da amortização e juros pagos na substituição									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
			-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
Juros				-14.720,00	-14.720,00	-29.440,00	-27.337,14	-39.954,29	-35.748,57

Fonte: Própria (2024).

Os parâmetros de cálculo de receita anual foram baseados exatamente da mesma forma da qual foi feito para o pulverizador autopropelido, mantendo o número de pulverizações em 9 aplicações ao ano, entretanto, a velocidade de operação efetiva foi analisada em 21 km/h como sendo mais eficaz e produtiva, sem afetar o desempenho tanto da operação quanto dos dispositivos de radar do drone, que, por sua vez são uteis para impedir a colisão do mesmo com possíveis obstáculos na área em manejo. Na situação analisada, foi considerado a altura de 4 metros de altura e largura de barra de 11 metros.

O valor dos serviços de aplicação de pulverização com drones são os mesmos valores referidos no autopropelido, no valor de R\$ 150,00 (Cento e cinquenta reais), assim como também a margem de lucro estimada de 30%. Ver Tabela 17.

Tabela 17 - Cálculo de receita anual.

Cálculo da Receita Anual da empresa					
Descrição	Nº 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
				1.000	2.000
					OTIMISTA
					3.000
Hectares a trabalhar (Ha)	949				
Velocidade de deslocamento (Km/h)	21				
Largura da barra (m)	11				
Número de pulverizações	9				
Valor do hectare pulverizado (R\$/h)	149,60				
Lucro (%)	30				
Capacidade operacional do Pulver. (Ha/h)	23				
Horas trabalhadas (h)	369,87				
Dias trabalhados (dia/h)	46,23				

Fonte: Própria (2024).

Os custos anuais seguem a mesma linha do autopropelido, no entanto, há uma diferença em que precisamos adicionar aos custos anuais com operação de pulverização com drone, sendo a forma como se calcula o custo de bateria do drone. Em pulverizadores autopropelido, o combustível é consumido continuamente para gerar energia durante a operação, no drone, a bateria desempenha uma função semelhante, fornecendo a energia necessária para o funcionamento do equipamento. Assim como o combustível, a bateria precisa ser recarregada ou substituída após um número definido de ciclos, representando um custo operacional recorrente diretamente relacionado ao uso do drone. Baterias possuem ciclos de carga limitados, o que as torna um item de desgaste que impacta diretamente o custo por operação, assim como o combustível impacta o custo por hora de trabalho em máquinas terrestres, portanto, o custo da bateria é melhor enquadrado como parte do custo operacional por hectare ou por hora, ao invés de ser categorizado como um custo de manutenção, que é menos diretamente vinculado ao uso imediato do equipamento. Nesta análise foi considerado o valor de consumo de bateria em R\$ 6,00 (Seis reais) por hectare de acordo com dados fornecidos pela empresa prestadora de serviços e manutenção ALDrone.

O valor residual de um drone pulverizador ao final de sua vida útil é considerado nulo devido à sua natureza como tecnologia eletrônica, caracterizada por obsolescência acelerada e depreciação significativa. O rápido avanço tecnológico resulta na introdução constante de modelos mais eficientes e sofisticados, tornando os equipamentos existentes tecnologicamente defasados e com baixa atratividade no mercado de segunda mão. Além disso, componentes essenciais, como baterias recarregáveis, sistemas eletrônicos e motores, possuem ciclos de vida limitados, e sua substituição frequentemente apresenta custos que excedem o valor do equipamento remanescente. Em comparação a máquinas agrícolas mecânicas ou hidráulicas, que possuem maior robustez e potencial de reaproveitamento de componentes, os drones pulverizadores não apresentam a mesma durabilidade ou aceitação no mercado secundário. Dessa forma, a atribuição de valor residual zero reflete uma abordagem conservadora e tecnicamente fundamentada para análises de viabilidade econômica.

O valor de mão de obra, permanece da mesma maneira que no autopropelido, sendo, o salário do administrador no valor de R\$ 7.000,00 (sete mil reais), do ajudante de serviços gerais no valor de R\$ 2.000,00 (Dois mil reais). O salário do piloto de drone foi baseado em sites de consultas de salários, entrevistas com profissionais da área e empresa prestadora de serviços, sendo cotado a uma média de R\$ 8.000,00 (Oito mil reais), ou seja, aproximadamente R\$ 33,33 (Trinta e três reais e trinta e três centavos) por hora trabalhada.

O preço de combustível para o funcionamento do gerador de energia para carregar as baterias permanece sob análise no valor de R\$ 6,05 (Seis reais e cinco centavos).

O consumo do gerador de energia do modelo Toyama 12,5 KVA a diesel consome 4 litros por hora conforme especificações dispostas para motores do tipo quatro tempos, de aproximadamente 800 cilindradas. Da mesma forma, o consumo de lubrificante para o motor descrito é de 2% em função do consumo de combustível

O custo e manutenção do drone foi disponibilizado pela empresa Al Drone estimando o valor de R\$ 18,18 (Dezoito reais e dezoito centavos) por hectare.

Com relação ao seguro e abrigo os custos permanecem como disposto da na tabela de custo agrícolas da Fundação ABC no valor de 3%. Ver Tabela 18.

Tabela 18 - Cálculo dos custos anuais I.

Cálculos dos custos anuais						
Dados gerais sobre os implementos	PESSIMISTA	MAIS PROVÁVEL	OTIMISTA			
	2	3	4			
Descrição	Vida útil		Trabalho anual h	Vida útil Calculada anos	Gasto Rep e Man %	Valor Residual
	h	anos				
Drone pulverizador DJI Agras T40	1.100	3	370,47	3	100	0,00%
					R\$	0,00
Dados da mão-de-obra e combustível			SIMULAÇÃO			
Salário do Administrador	7.000,00	R\$/mês	PESSIMISTA	+ PROVÁVEL	OTIMISTA	
Consumo de combustível do Drone Pulverizador	3,90	L/h	5,00	3,90	3,00	
Preço do combustível	6,05	R\$/L				
Consumo de bateria	6,00	R\$/ha				
Salário do piloto (R\$ por hora)	33,33	R\$/hr				
Salário do piloto-padrão (R\$ por mês)	8.000,00	R\$/mês				
Salário do ajudante	2.000,00	R\$/mês				
Custo de Manutenção (R\$-hr)	18,18	R\$/ha				
Valor Residual	0,00%	Porcent..				
Seguro (ao ano)	3,00%	Porcent..				
Lubrificante em função do Cons. de combustível	2,00%	Porcent..				

Fonte: Própria (2024).

Os custos anuais nos drones permanecem de maneira igualitária a demonstração do autopropelido separando-se entre custos fixo e custos variáveis. Ver Tabela 19.

Tabela 19 - Cálculo dos custos anuais II.

Cálculos dos custos anuais								
Descrição	Depreciação anual R\$	Abrig+ Seg R\$	MOI indireta R\$	Cons. de Combust. R\$	Cons. de Lubrif. R\$	MOD direta R\$	Reparo manut. R\$	Custo total R\$
Drone pulverizador	74.989,47	6.660,00	0,00	60.273,32	1.205,47	96.385,65	6.755,13	246.269,04
Total Geral	74.989,47	6.660,00	0,00	60.273,32	1.205,47	96.385,65	6.755,13	246.269,04
	C. Fixo			Custo Variável				
Total custos fixos			81.649,47	33,15	%			
Total custos variaveis			164.619,57	66,85	%			
	TOTAL	246.269,04						

Fonte: (2024).

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) permanece a mesma como calculado para o autopropelido em 25%. Assim como também prevalece a taxa de crescimento da agricultura em 12%. Ver Tabela 20.

Tabela 20 - Demonstração do fluxo de caixa.

FLUXO DE CAIXA				
		SIMULAÇÃO		
		PESSIMISTA	REALISTA	OTIMISTA
Custo de Oportunidade ou Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	24,78%	15%	24,78%	50%
Contribuição social (f1) - SIMPLES	0,0909			
Taxa de imposto de renda (f2) - SIMPLES	0,155			
Adicional de imposto de renda estadual (f3) - SIMPLES	0,05	PESSIMISTA	REALISTA	OTIMISTA
Taxa de aumento da renda -Tx. de cresc. Agricultura	12%	8%	12%	18%

Fonte: Própria (2024).

A Demonstração do Fluxo de Caixa (DFC), expressa de maneira idêntica ao autopropelido. Ver Tabela 21.

Tabela 21 - Demonstração do Fluxo de Caixa. (período 0 ao 4).

Descrição	Fases/ Anos								Valor (R\$)
	Implantação		Operação						
	0	1	2	3	4	5	6	7	
A-Investimento fixo inicial	222.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	###	###	###	0,00
A-Investimento fixo de substituições	0,00	0,00	-128.000,00	0,00	-128.000,00	###	###	###	0,00
B-Capital de giro									
(=) C-Receita operacional		1.832.655,18	2.052.573,80	2.298.882,66	2.574.748,58	###	###	###	4.051.416,73
(-) D-Custo operacional (-depr.)		-246.215,20	-246.215,20	-246.215,20	-246.215,20	###	###	###	-246.215,20
(=) E-Lucro operacional (C-D)		1.586.439,98	1.806.358,60	2.052.667,46	2.328.533,38	###	###	###	3.805.201,53
(-) F-Depreciação		-74.969,82	-74.969,82	-74.969,82	-74.969,82	###	###	###	0,00
(-) G-Encargos financeiros (juros de financiamento - JOF)		-20.424,00	-20.424,00	-20.424,00	-17.506,29	###	###	###	-5.835,43
(-) G-Encargos financeiros (JOF de substituições)		0,00	0,00	-14.720,00	-14.720,00	###	###	###	-35.748,57
(=) H-Lucro antes do IR(E-F-G)		1.491.046,16	1.710.964,78	1.942.553,63	2.221.337,27	###	###	###	3.763.617,53
(-) I-Imposto de Renda (f2*H)		-231.112,15	-265.199,54	-301.095,81	-344.307,28	###	###	###	-583.360,72
(-) I-Contribuição Social (f1*H)		-135.536,10	-155.526,70	-176.578,13	-201.919,56	###	###	###	-342.112,83
(-) I-IRad. Estadual (f3*J)		-74.552,31	-85.548,24	-97.127,68	-111.066,86	###	###	###	-188.180,88
(=) LUCRO LÍQUIDO		1.049.845,60	1.204.690,30	1.367.752,01	1.564.043,57	###	###	###	2.649.963,11
(+) Depreciação		74.969,82	74.969,82	74.969,82	74.969,82	###	###	###	0,00
(-) Amortização de financiamento		0,00	-25.371,43	-25.371,43	-25.371,43	###	###	###	-25.371,43
(-) Amortização de outros financiamentos		0,00	0,00	0,00	-14.720,00	###	###	###	-39.954,29
(+) Valor Residual								###	
Saldo do Fluxo de Caixa	-222.000,00	1.124.815,42	1.254.288,70	1.417.350,41	1.598.921,97	###	###	###	2.584.637,39
FLUXO DE CAIXA LÍQUIDO NO PERÍODO	-222.000,00	1.124.815,42	1.126.288,70	1.417.350,41	1.470.921,97	###	###	###	2.584.637,39
(Fluxo de Caixa do acionista = Empresa)	Custos	-782.809,58	-847.883,50	-931.130,65	-1.010.705,01	###	###	###	7.223.078,28
	Receita Op.								18.489.679,62

Fonte: Própria (2024).

A Tabela 22 expressa o período de cinco ao período oito, finalizando a Demonstração do Fluxo de Caixa no tempo analisado.

Tabela 22 - Demonstração do Fluxo de Caixa. (período 5 ao 8).

Descrição	Fases/ Anos								Valor (R\$)
	Implantação		Operação						
	0	1	2	3	4	5	6	7	
A-Investimento fixo inicial	222.000,00	####	####	####	##	0,00	0,00	0,00	0,00
A-Investimento fixo de substituições	0,00	####	####	####	##	0,00	-128.000,00	0,00	0,00
B-Capital de giro									
(=) C-Receita operacional		####	####	####	##	2.879.793,32	3.225.368,52	3.612.412,74	4.045.902,27
(-) D-Custo operacional (-depr.)		####	####	####	##	-245.877,09	-245.877,09	-245.877,09	-245.877,09
(=) E-Lucro operacional (C-D)		####	####	####	##	2.633.916,23	2.979.491,42	3.366.535,65	3.800.025,18
(-) F-Depreciação		####	####	####	##	-74.803,24	-74.803,24	-74.803,24	0,00
(-) G-Encargos financeiros (juros de financiamento - JOF)		####	####	####	##	-14.588,57	-11.670,86	-8.753,14	-5.835,43
(-) G-Encargos financeiros (JOF de substituições)		####	####	####	##	-29.440,00	-27.337,14	-39.954,29	-35.748,57
(=) H-Lucro antes do IR (E-F-G)		####	####	####	##	2.515.084,42	2.865.680,19	3.243.024,98	3.758.441,18
(-) I-Imposto de Renda (f2*H)		####	####	####	##	-389.838,08	-444.180,43	-502.668,87	-582.558,38
(-) I-Contribuição Social (f1*H)		####	####	####	##	-228.621,17	-260.490,33	-294.790,97	-341.642,30
(-) I-IRad. Estadual (f3*J)		####	####	####	##	-125.754,22	-143.284,01	-162.151,25	-187.922,06
(=) LUCRO LÍQUIDO		####	####	####	##	1.770.870,94	2.017.725,42	2.283.413,89	2.646.318,43
(+) Depreciação		####	####	####	##	74.803,24	74.803,24	74.803,24	0,00
(-) Amortização de financiamento		####	####	####	##	-25.371,43	-25.371,43	-25.371,43	-25.371,43
(-) Amortização de outros financiamentos		####	####	####	##	-14.720,00	-29.440,00	-27.337,14	-39.954,29
(+) Valor Residual								0,00	
Saldo do Fluxo de Caixa	-222.000,00	####	####	####	##	1.805.582,75	2.037.717,23	2.305.508,55	2.580.992,72
FLUXO DE CAIXA LÍQUIDO NO PERÍODO	-222.000,00	###	##	##	##	1.805.582,75	1.909.717,23	2.305.508,55	2.580.992,72
(Fluxo de Caixa do acionista = Empresa)	Custos	####	####	####	##	-1.108.922,38	-1.207.643,10	-1.328.998,85	7.213.143,96
	Receita Op.								18.464.512,93

Fonte: Própria (2024).

Os indicadores econômico-financeiro do drone segue na mesma linhagem do equipamento analisado anteriormente. Ver Tabela 23.

Tabela 23 - Indicadores econômico-financeiro do drone.

Indicadores econômico-financeiro	
Valor Presente (VP)	4.528.688,44
Valor Presente Líquido (VPL)	4.742.910,16
Taxa interna de retorno (TIR)	508,55%
Índice Benefício/Custo(IBC)	155,93%
Payback	19,40

Fonte: Própria (2024).

Na simulação realizada pelo método de Monte Carlo neste estudo, foram criados 5 (cinco) cenários possíveis em função dos hectares a serem pulverizados, tanto para o pulverizador autopropelido, quanto para o drone. Os seguintes parâmetros foram considerados à variável dependente em três modalidade, sendo, pessimista, mais provável e otimista. Ver Tabela 24.

Tabela 24 - Cenário de hectares na simulação de Monte Carlo.

		MODALIDADES		
		Pessimista	Mais provável	Otimista
CENÁRIOS	1	120	480	720
	2	700	800	900
	3	1000	1500	2000
	4	2000	3000	4000
	5	4000	5000	6000

Fonte: Própria (2024).

O primeiro cenário foi baseado em 120 hectares que corresponde a 4 módulos fiscais na modalidade pessimista, 480 hectares correspondente a 16 módulos fiscais na modalidade mais provável e 720 hectares na modalidade otimista, onde, cada módulo fiscal corresponde a 30 hectares. O módulo fiscal é uma unidade de medida utilizada pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) e serve como referência para classificar as propriedades, a fim de enquadrá-las quanto ao tamanho, sendo consideradas como pequenas, médias e grandes, influenciando as políticas agrárias e regularização fundiária. O módulo fiscal também é utilizado para enquadramento da propriedade na agricultura familiar, que na situação de enquadramento lhe proporcionaria a inserção políticas de investimento ao PRONAF

(Programa Nacional da Agricultura Familiar) e ao PRONAMP (Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor) que fomenta condições especiais de taxas de juros para investimento na propriedade rural. na região de Dourados, MS, o enquadramento da agricultura familiar está em 4 módulos fiscais, já em Corumbá, MS, a agricultura familiar se estende em até 16 módulos fiscais, ou seja, cada região possui diferentes tamanhos. O cenário dois está baseado entre 700 e 900 hectares, responsável por uma grande parcela de tamanho de propriedades no Brasil na produção de grãos. O cenário 3 corresponde a 1000 hectares como sendo uma modalidade pessimista, 1500 como mais provável e 2000 como otimista. O cenário 4 coloco como modalidade pessimista 2000 hectares, 3000 como mais provável e 4000 como otimista. O quinto e último cenário criado se apresenta como 4000 sendo pessimista, 5000 como mais provável e 6000 como otimista.

Utilizamos como variáveis independentes o consumo de combustível, expressados em R\$/ha (reais por hectares), valor do hectare pulverizado R\$/ha (reais por hectares), custo de manutenção R\$/h/metro (reais por hora, por metro de barra) e a TMA (taxa mínima de atratividade), que também são conhecidas como variáveis de risco, predictoras ou de entrada. Ver Tabela 25.

Tabela 25 - Variáveis independentes do autopropelido.

Pessimista	4.000	150	32	15	13%
Mais provável	5.000	180	24	12,24	20%
Otimista	6.000	200	22	10	22%
$\text{Prazo médio do Projeto} = (\text{Otimista} + (4 \times \text{Mais Provável}) + \text{Pessimista}) / 6$					
$\text{Desvio} = (\text{Pessimista} - \text{Otimista}) / 6$					
Média	5.000	178,33	25	12,33	19,2%
Desvio-P	333,33	8,33	1,67	0,83	1,50%
Varição	100	4	0,9	0,3	0,50%

	Função Ac.	Hectares a trabalhar (Ha)	Função Ac.	Valor do hectare pulverizado (R\$/h)	Função Ac.	Consumo de Combustível	Função Ac.	Custo de Manutenção (R\$-hr/metro)	Função Ac.	TMA
1	0,00000	0	0,0000000	100,00	0,00000	0,00	0,00000	0,00	0,00000	0%
2	0,00820	4.200	0,00006	146,33	0,00001	17,80	0,00199	9,93	0,00383	15%
3	0,01786	4.300	0,00039	150,33	0,00008	18,70	0,00587	10,23	0,00982	16%
4	0,03593	4.400	0,00199	154,33	0,00060	19,60	0,01539	10,53	0,02275	16%
5	0,06681	4.500	0,00820	158,33	0,00347	20,50	0,03593	10,83	0,04779	17%
6	0,11507	4.600	0,02743	162,33	0,01539	21,40	0,07493	11,13	0,09121	17%
7	0,18406	4.700	0,07493	166,33	0,05262	22,30	0,14007	11,43	0,15866	18%
8	0,27425	4.800	0,16853	170,33	0,14007	23,20	0,23576	11,73	0,25249	18%
9	0,38209	4.900	0,31561	174,33	0,29460	24,10	0,35942	12,03	0,36944	19%
	0,50000	5.000	0,50000	178,33	0,50000	25,00	0,50000	12,33	0,50000	19%

Fonte: Própria (2024).

Foram utilizados uma amostragem com 10.000 eventos aleatórios, onde, um grande número de eventos garante que a simulação capture uma ampla gama de resultados possíveis, tornando os resultados estatisticamente significativos e confiáveis. Os eventos aleatórios

imitam a variabilidade do mundo real em fatores como hectares trabalhados, custos e receitas. Isso ajuda a identificar riscos e entender o impacto da incerteza no desempenho operacional. Cada evento contribui para a avaliação de diferentes cenários (pessimista, mais provável e otimista), permitindo uma compreensão mais profunda do melhor e do pior cenário potencial.

Na simulação utilizamos 10.000 eventos aleatórios e um conjunto de variáveis e parâmetros devidamente selecionados que correspondem ao modelo de avaliação. Isto é, medimos o nível de confiança do funcionamento de 10.000 fazendas de diferentes tamanhos que podem variar entre 120 e 6.000 hectares calculados em função das incertezas nas estimativas colocadas no modelo, que é a melhor forma de decidir a viabilidade de um empreendimento ou investimento.

Tabela 26 - Números da amostragem aleatória do autopropelido.

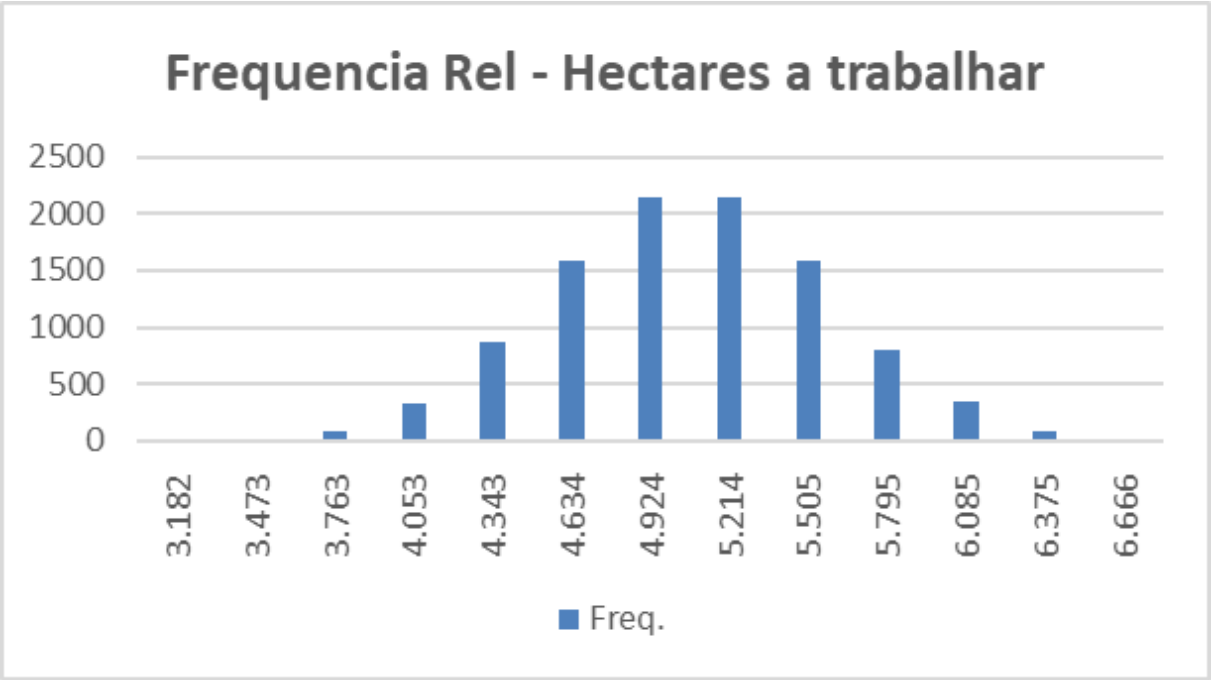
10.013											
Amostra	Aleatorio()	Hectares a trabalhar (Ha)	AMOSTRA			N	Classes	Freq.	F. Relativa	F. Ac.	E(x)
1	0,56539	5.000	N (número de dados)	10.000		1	0	89	0,01	0,01	0,000
2	0,66540	5.100	Maximo	6.200		2	434	0	0,00	0,01	0,000
3	0,73510	5.200	Minimo	0		3	868	0	0,00	0,01	0,000
4	0,29869	4.800	Amplitude total	6.200		4	1.302	0	0,00	0,01	0,000
5	0,30248	4.800	Número de classes	14		5	1.736	0	0,00	0,01	0,000
6	0,58956	5.000	Amplitude (k) da classe	434		6	2.170	0	0,00	0,01	0,000
7	0,51605	5.000				7	2.604	0	0,00	0,01	0,000
8	0,65611	5.100	Média	4.914		8	3.038	0	0,00	0,01	0,000
9	0,58568	5.000	Desvio-P	569,18		9	3.471	0	0,00	0,01	0,000
10	0,76228	5.200				10	3.905	0	0,00	0,01	0,000
11	0,55949	5.000				11	4.339	301	0,03	0,04	133,156
12	0,40403	4.900				12	4.773	2.396	0,24	0,28	1165,937
13	0,23376	4.700				13	5.207	5.333	0,54	0,83	2831,055
14	0,53062	5.000				14	5.641	1.690	0,17	1,00	971,909
15	0,11462	4.500						9.809	1		5.102
16	0,87472	5.300									
17	0,58559	5.000									
18	0,53019	5.000									
19	0,27670	4.800									

Fonte: Própria (2024).

A frequência dos resultados obtidos é baseada na função de distribuição normal, também conhecida como distribuição de Gauss, que por sua vez formam um histograma em formato de sino indicando o maior número de resultados semelhantes obtidos no processamento dos 10.000 eventos aleatórios gerados na simulação de Monte Carlo. No eixo x podemos observar que a distribuição dos resultados se concentrou próximo a 5.000 hectares, demonstrando assim que o número mais provável de hectares a serem trabalhados nas condições analisadas. No eixo Y podemos observar que o número de eventos prováveis se concentra na

sua maior parte em pouco mais de 2.100 resultados que condizem com a quantidade de hectares trabalhados na simulação. Ver Tabela 27.

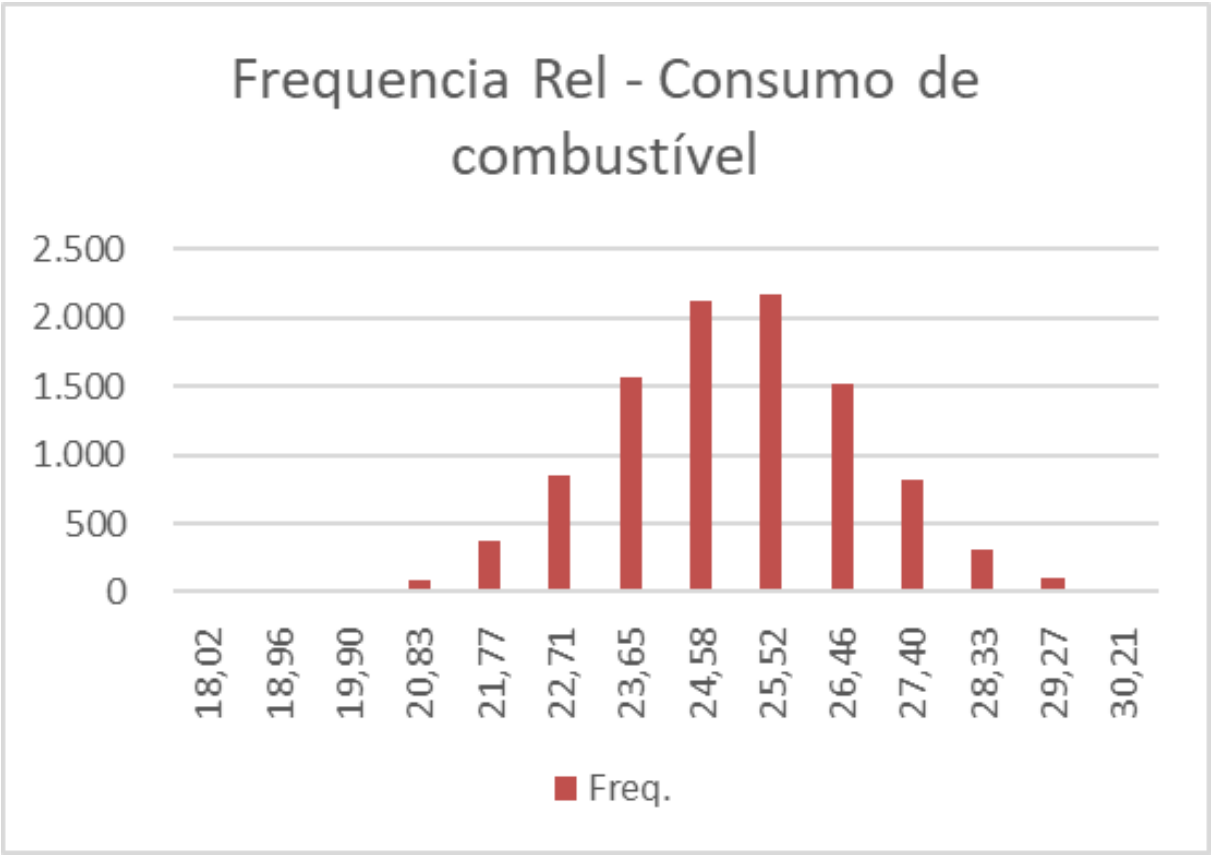
Tabela 27 - Frequência relativa vs. hectares a trabalhar do autopropelido



Fonte: Própria (2024).

A mesma linha de pensamento se reflete no consumo de combustível, onde o maior número de resultados entre o mínimo e o máximo de consumo, ficou em aproximadamente R\$ 25,00 (Vinte e cinco reais por hora), com uma frequência de resultados aproximados de pouco mais de 2.100 eventos, dando uma estimativa da realidade. Ver Tabela 28.

Tabela 28 - Frequência relativa vs. consumo de combustível do autopropelido.



Fonte: Própria (2024).

Outros parâmetros considerados na simulação incluíram o valor do hectare pulverizado, consumo de combustível e taxa mínima de atratividade. Ver Tabela 29.

Tabela 29 - Parâmetros considerados no autopropelido.

	Cenários				
Parametros considerados	1	2	3	4	5
Valor do hectare pulverizado (R\$/h)	176,34	176,58	176,30	176,26	176,26
Consumo de combustível (L/hr)	8,45	8,45	8,36	8,52	8,34
Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	18,86%	18,91%	18,86%	18,85%	18,84%

Fonte: Própria (2024).

A Tabela 30, retrata a comparação de resultados estatísticos obtidos na simulação. A média de hectares do pulverizador autopropelido no cenário 1 estimado em 405,62 hectares e ao analisar as medidas estatísticas e comparar, os hectares médios aumentam significativamente entre os cenários, com o cenário 3 mais que triplicando o cenário 1. Isso indica a escalabilidade potencial das operações quando as condições são favoráveis. A grande lacuna destaca a importância do planejamento para variabilidade e maximização da capacidade operacional para

atingir níveis mais próximos dos otimistas. Com relação ao desvio padrão, a variabilidade é maior nos cenários 4 e 5 apresentando o maior desvio. Isso indica que, embora o cenário 4 e 5 sejam mais lucrativos, ele carrega maiores riscos operacionais ou incertezas. O cenário mais provável é mais estável, com menor variabilidade, tornando-o uma referência mais segura para o planejamento e execução.

Há uma modesta variação em hectares trabalhados, especialmente no cenário 1 que varia de 403,64 a 407,61. Isso reforça a ideia de que condições favoráveis podem melhorar o desempenho operacional, no entanto, o valor mínimo de 403,64 indica que, em condições adversas, as operações podem cair os níveis. Isso destaca a necessidade de estratégias de contingência.

O cenário 4 e 5 mostram alto potencial, mas com maior variabilidade, o que significa maiores riscos juntamente com maiores recompensas. Para minimizar os riscos, as estratégias devem se concentrar em estabilizar o cenário mais provável, que nesta situação se enquadra no cenário 3.

Tabela 30 - 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: Própria (2024).

Os índices econômicos financeiros no pulverizador autopropelido demonstra no cenário 1, um VPL negativo, logo, como era esperado, pois, foi no período em que se fez os investimentos iniciais, deixando assim a taxa interna de retorno negativa 7,78%. No cenário 2 podemos observar um saldo positivo na TIR chegando a 17,03% o que indica que a operação obteve receita anual positiva, no entanto, a TIR permanece abaixo da TMA o que indica, que mesmo obtendo lucro na operação, o custo de oportunidade do capital não supera o risco, visto que há outros projetos que superam a oportunidade de ganhos do que o projeto analisado em que os riscos são maiores.

No cenário 3 podemos observar que a TIR supera a TMA, indicando agora que o investimento do capital aplicado passa a ser vantajoso com o percentual de 50.47 e um VPL positivo. No cenário 4 e 5, se apresentam de forma positiva, entretanto, se observarmos o IBC, a variação entre ele é muito pequena, com tendencia de se tornar equivalente, denotando assim que o benéfico de se trabalhar em mais hectares, não aumenta os benefícios da operação, resultando em mais trabalho operacional pelo mesmo valor de IBC. Sendo o payback o indicador que determina o período em que o investimento retorna, podemos observar que no cenário 3 o retorno se torna atraente em aproximadamente 28 meses, em contra partida, os cenários 4 e 5 apresentam um payback mais extenso devido a uma maior parcela de custos operacionais envolvidos. Ver Tabela 31.

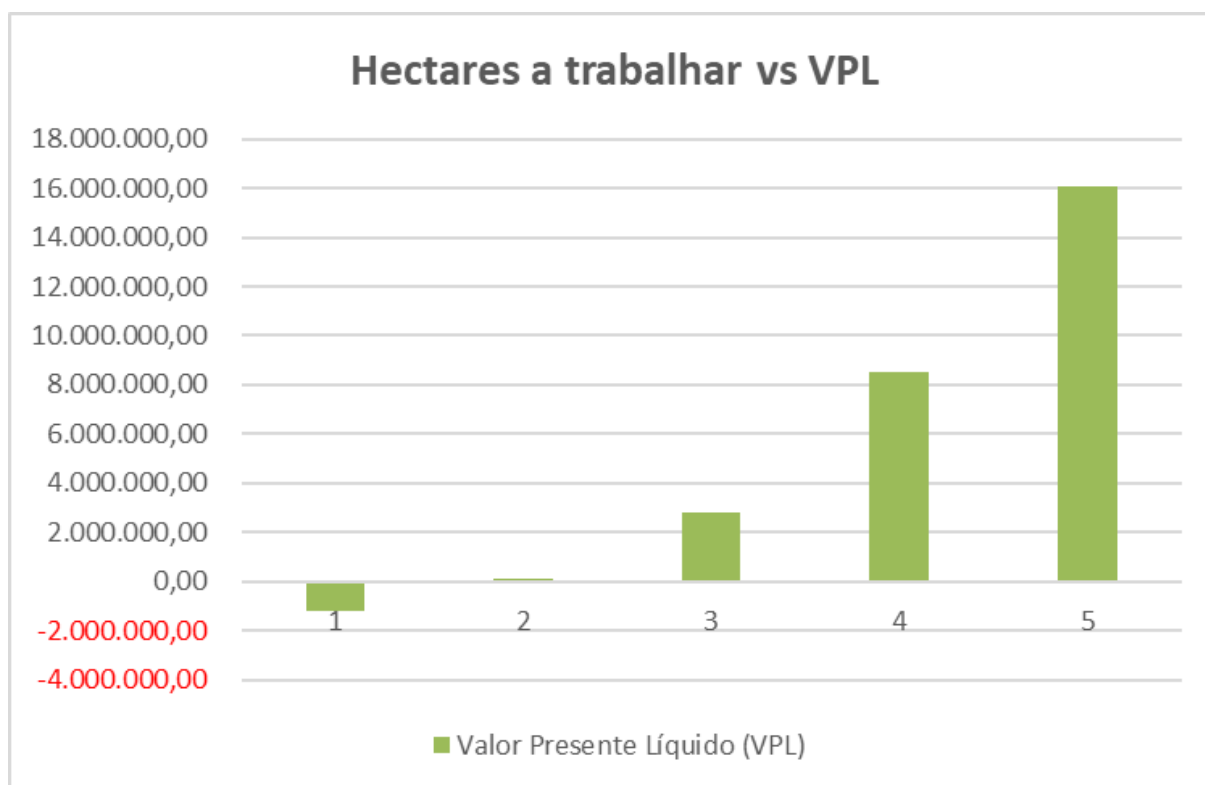
Tabela 31 - Indicadores econômico-financeiro do autopropelido.

Indicadores econômico-financeiro	Cenários					
	1	2	3	4	5	
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 Líquido (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	1.721	386	153	67	38	dias

Fonte: Própria (2024).

Desta forma podemos afirmar que o cenário 3 apresenta as melhores condições de operações de pulverização que garantem que o investimento adicionado gera o maior e melhor retorno mantendo-se um risco consideravelmente aceito em termos de projeto de investimento, estimando um VPL de R\$ 2,8 milhões de reais. O cenário 4 estima um maior potencial de lucro, próximo de R\$ 8,4 milhões de reais, entretanto, o risco que se assume comparado ao cenário 3 fica próximo de 150%, e a mesma comparação analisada entre os cenários 5 e 3, ultrapassam 220% de risco que se corre ao aceitar o cenário 5. Portanto o cenário 3 segundo histograma de frequência expressa a melhor opção de investimento contrastando os demais cenários. Ver Tabela 32.

Tabela 32 - Hectares a trabalhar vs. VPL do autopropelido.



Fonte: Própria (2024).

A simulação de Monte Carlo aplicada no drone pulverizador foi baseada no mesmo modelo estatístico envolvendo o hectare a trabalhar como variável dependente. O valor do hectare pulverizado, consumo de combustível e TMA continuaram sendo as variáveis independentes, nesta situação não foi considerado a variável independente custo de manutenção, pois, no caso do drone pulverizador, a margem de manutenção é relativamente inexpressiva, visto que é mais compensatório a substituição do bem ao invés de reparos em muitos casos, outro fator a se levar em consideração é que na perda total do bem, pode se acionar o seguro, cujo o mesmo, já está deduzido nos custos anuais junto com os custos de abrigo. Ver Tabela 33.

Ademais, os cenários e modalidades permaneceram os iguais, para que os pulverizadores, tanto autopropelido, quanto o drone, possam ser avaliados com o mesmo peso analítico.

Tabela 33 - Variáveis independentes do drone.

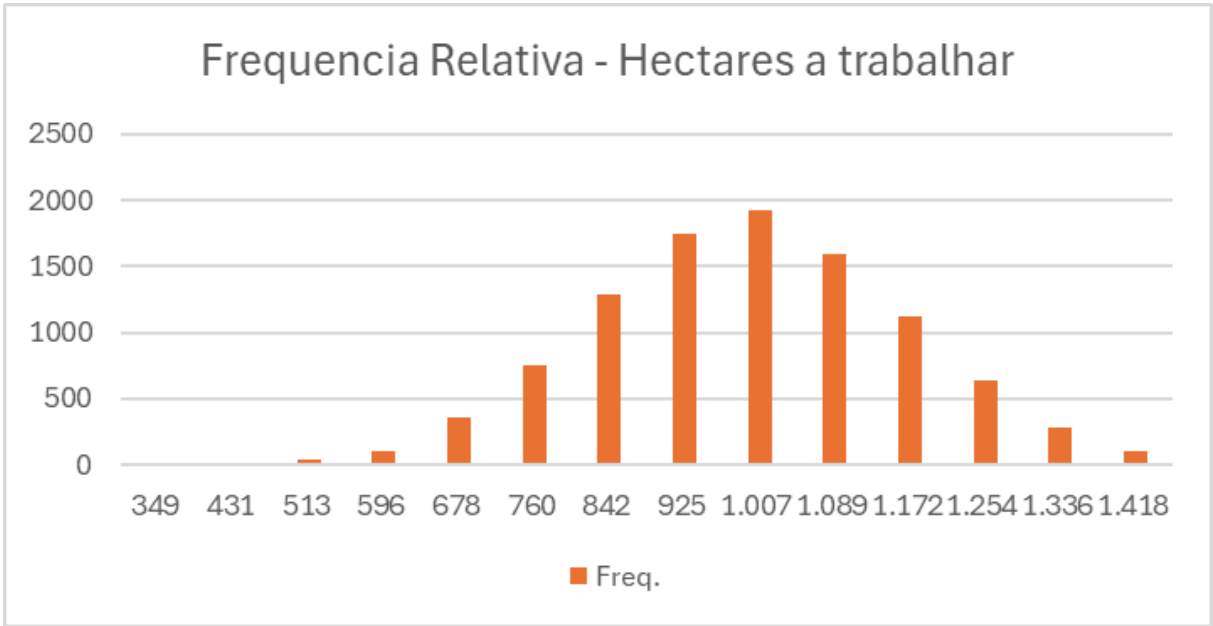
Pessimista	500		130		5		15%
Mais Provável	1.000		150		4		25%
Otimista	1.500		200		3		40%
Prazo médio do Projeto = (Otimista + (4 x Mais Provável) + Pessimista) /6 Desvio = (Pessimista – Otimista) /6							
Média	1.000		155,00		4		25,83%
Desvio-P	166,67		11,67		0,33		4,17%
Variação	100		6		0,2		2,00%
			Valor do hectare		Consumo de		
	Função Ac.	Hectares a trabalhar (Ha)	Função Ac.	pulverizado (R\$/h)	Função Ac.	Combustível do Drone	Função Ac. TMA
1	0,000000	0	0,000000	50	0,0000003	2,20	0,0000000 0,00%
2	0,00000	200	0,00011	107	0,00000	2,40	0,00006 9,83%
3	0,00001	300	0,00076	113	0,00001	2,60	0,00039 11,83%
4	0,00016	400	0,00394	119	0,00016	2,80	0,00199 13,83%
5	0,00135	500	0,01606	125	0,00135	3,00	0,00820 15,83%
6	0,00820	600	0,05170	131	0,00820	3,20	0,02743 17,83%
7	0,03593	700	0,13258	137	0,03593	3,40	0,07493 19,83%

Fonte: Própria (2024).

O número de eventos aleatórios na simulação de Monte Carlo para análise do drone, se manteve em 10.000.

A frequência de resultados obtidos em relação aos hectares trabalhados, denota que a maior parte dos resultados se concentra na média de 1.000 mil hectares, indicando que a probabilidade do drone pulverizar essa quantidade de hectares, se aproxima da realidade esperada de acordo com a frequência dos resultados. Ver Tabela 34.

Tabela 34 - Frequência relativa vs. hectares a trabalhar do drone.



Fonte: Própria (2024).

Os parâmetros considerados no modelo de avaliação foram, o valor do hectare pulverizado e o consumo de combustível. Também, foi desconsiderada a TMA, pois, não houve variação significativa dos valores, na simulação executada. Ver Tabela 35.

Tabela 35 - Parâmetros considerados no drone.

	Cenários				
Parâmetros considerados	1	2	3	4	5
Valor do hectare pulverizado (R\$/h)	155,00	155,00	155,00	155,00	155,00
Consumo de combustível (L/hr)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

Fonte: Própria (2024).

A tabela comparativa de resultados demonstra em os 5 cenários, que os resultados mais prováveis em hectares a trabalhar pelo drone pulverizador, se aproxima de 950 hectares, sendo, a maior probabilidade de se realizar a operação dentro de um ano. Contudo, o cenário 3, tanto o desvio padrão, quanto a amplitude do intervalo de confiança, se mostram menores entre os outros cenários analisados. Ver Tabela 36.

Tabela 36 - 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: Própria (2024).

Os indicadores econômico-financeiros do drone em todos os cenários, se manteve com a TMA estabilizada em 23,83%. O valor presente obteve um crescimento até o cenário 3, passando a diminuir a partir do cenário 4. Da mesma forma se comportou o valor presente líquido. Com relação a taxa interna de retorno, há uma linha de tendencia crescente de forma singela até o cenário 3, entretanto, esse valor decai a partir do cenário 4, indicando que a TIR continuará caindo conforme aumenta o número de hectares pulverizados. Praticamente o IBC e o payback, não demonstram grande variância entre os resultados obtidos. Ver Tabela 37.

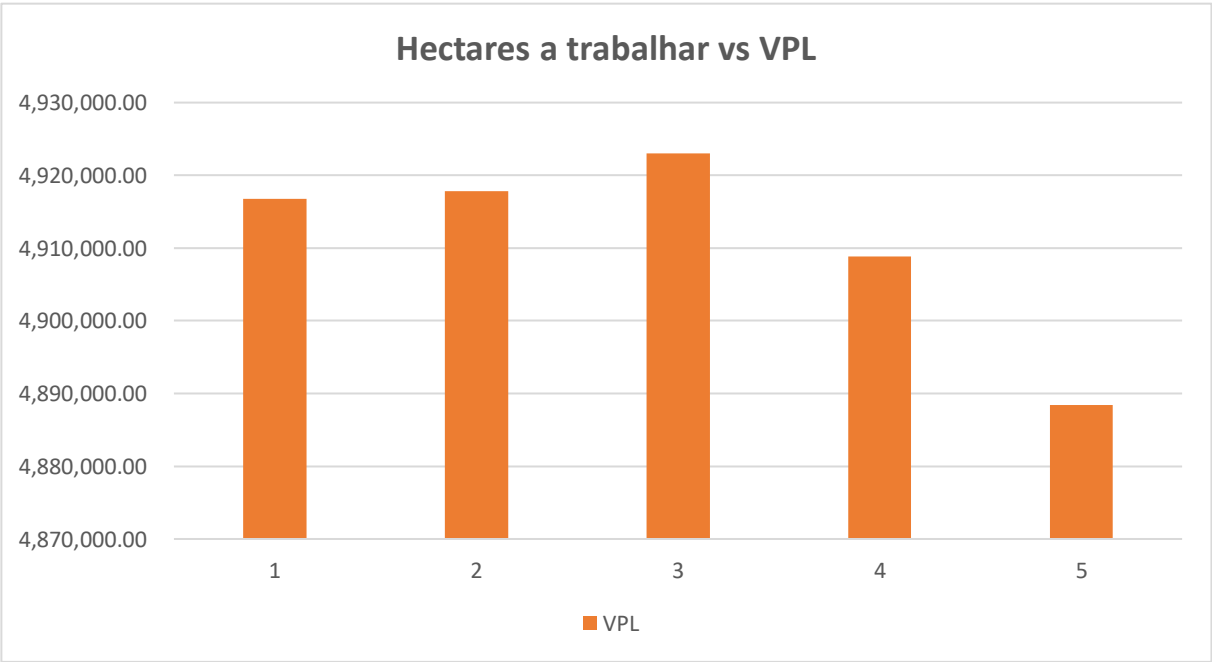
Tabela 37 - Indicadores econômico-financeiro do drone.

Indicadores econômico-financeiro	Cenários				
	1	2	3	4	5
Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	25,83%	25,83%	25,83%	25,83%	25,83%
Valor Presente (VP)	4.659.032,72	4.660.986,02	4.665.476,97	4.652.201,74	4.634.812,86
Valor Presente Líquido (VPL)	4.916.773,24	4.917.794,66	4.922.988,45	4.908.849,94	4.888.455,55
Taxa interna de retorno (TIR)	618,73%	620,19%	620,45%	618,36%	617,65%
Índice Benefício/Custo(IBC)	157,93%	158,03%	158,01%	157,95%	158,04%
Payback	24,05	24,06	24,08	24,01	23,92

Fonte: Própria (2024).

Como observado na Tabela 38, o valor presente líquido do drone apresenta melhor resultado desde o cenário 1 até o cenário 3, sendo o mais atraente entre eles, com estimativas de ganhos mais confiáveis, apresentando o menor risco de investimento. O decaimento dos valores nos cenários 4 e 5 ocorrem pelo fato de que a probabilidade de se pulverizar mais do que 950 hectares é muito pequena conforme expressa na tabela 38 de frequência relativa dos hectares a trabalhar.

Tabela 38 - Hectares a trabalhar vs. VPL do drone.



Fonte: Própria (2024)

4.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.

A análise comparativa entre o pulverizador autopropelido e o drone pulverizador, John Deere M4025 demonstra características específicas em termos de eficiência operacional e fatores econômicos, com implicações relevantes na escolha do equipamento. A pulverização autopropelida, com maior capacidade de calda, barramento amplo e desempenho robusto em grandes áreas, mostrou-se ideal para operações de larga escala atingindo como mais provável a capacidade de pulverizar aproximadamente 5.000 hectares. O cenário 3 apresentou a melhor combinação de risco e retorno para o equipamento autopropelido, alcançando um VPL de R\$ 2,8 milhões e um payback atraente de 28 meses. Contudo, 1.450 hectares, demonstrou ser a quantidade ideal para se obter os resultados mais atraentes. Por outro lado, os cenários mais agressivos, como o 4 e 5, embora apresentem maior potencial de lucro, apresentaram riscos mais elevados, reduzindo a atratividade desses investimentos.

Já o drone DJI Agras T40 se destacou por sua flexibilidade e eficiência em operações menores ou áreas específicas, com custo inicial reduzido e maior simplicidade logística. No entanto, sua vida útil limitada, necessidade de substituição frequente e valor residual nulo limitam sua competitividade em operações de longo prazo. Os resultados mostram que o cenário 3 também é o mais vantajoso para o drone, oferecendo um equilíbrio adequado entre riscos e retornos, com ganhos consistentes e menores desvios padrão nos indicadores financeiros. A quantidade de hectares pulverizados pelo drone estimou-se em aproximadamente 950, como sendo a mais atrativa em termos econômico-financeiro e sua capacidade operacional próximos a 1000 hectares em termos de eficiência operacional. Em suma, a escolha entre os equipamentos depende do tamanho da propriedade, do horizonte de planejamento e do perfil de risco do investidor, com o autopropelido sendo mais indicado para operações extensivas e o drone para atividades segmentadas ou de precisão.

Por fim, é possível dar continuidade a esta pesquisa, avaliando outros fatores operacionais e suas respectivas conotações econômicas e probabilísticas que levem em conta o valor temporal do dinheiro, que transformem as planilhas do Microsoft Excel em um instrumento mais preciso, e assim, obter uma visão confiável de risco, criando modelos preditivos precisos que busquem a melhor solução para maximizar a tomada de decisões. Isto é, vamos fixar valores com relação ao futuro do modelo e, logo, calculamos e simulamos e seus respectivos indicadores. Todos esses estados devem estar baseados em premissas que representem as diferentes atividades dos estados operacionais e a praticidade em fatores

tecnológicos, na teoria da estatística e probabilidade, finanças corporativas e processos de simulação.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALARCÃO JÚNIOR, J. C. D.; NUÑEZ, D. N. C. O uso de drones na agricultura 4.0. **Brazilian Journal of Science**, v. 3, n. 1, p. 1–13, 3 jul. 2023.
- AMARAL, L. R. D. et al. UAV applications in Agriculture 4.0. **REVISTA CIÊNCIA AGRONÔMICA**, v. 51, n. 5, 2020.
- 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. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, n. 1, p. 115–130, mar. 2007.
- ARAÚJO, R. OS DRONES E A DEMOCRATIZAÇÃO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO. v. 40, n. 9, p. 45, 2020.
- 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. **PLOS ONE**, v. 12, n. 12, p. e0189718, 28 dez. 2017.
- BAESSO, M. M. et al. Tecnologias de aplicação de agrotóxicos. **Revista Ceres**, v. 61, n. suppl, p. 780–785, 2014a.
- BAESSO, M. M. et al. Tecnologias de aplicação de agrotóxicos. **Revista Ceres**, v. 61, n. suppl, p. 780–785, dez. 2014b.
- BARBIZAN, R. Z.; CAVICHIOLI, F. A. USO DE DRONES NA PULVERIZAÇÃO DA AGRICULTURA 4.0. **Revista Interface Tecnológica**, v. 19, n. 2, p. 584–596, 20 dez. 2022.
- BENEDUZZI, H. M. et al. TEMPORAL VARIABILITY IN ACTIVE REFLECTANCE SENSOR-MEASURED NDVI IN SOYBEAN AND WHEAT CROPS. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 4, p. 771–781, ago. 2017.
- BOYLE, P. P. Options: A Monte Carlo approach. **Journal of Financial Economics**, v. 4, n. 3, p. 323–338, maio 1977a.
- BOYLE, P. P. Options: A Monte Carlo approach. **Journal of Financial Economics**, v. 4, n. 3, p. 323–338, maio 1977b.
- BRANDÃO FILHO, J. U. T. et al. (EDS.). **Hortaliças-fruto**. [s.l.] EDUEM, 2018a.
- BREUNIG, F. M. **Drones e ciência: teorias e aplicações metodológicas: volume 1**. [s.l.] Facos Ufsm, 2019.
- BUCKERIDGE, G. **sustentabilidade_e_agricultura_no_brasil_no_se_culo_xxi_2126**. , 2020.
- CARLESSO, J. A.; BARIVIERA, R. INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA - CAMPUS DE SÃO MIGUEL DO OESTE CURSO SUPERIOR EM AGRONOMIA. 2022.
- CASALI, A. L. et al. CONFORMIDADE DO POSTO DE OPERAÇÃO DE PULVERIZADORES AUTOPROPELIDOS. **REVISTA ENGENHARIA NA AGRICULTURA - REVENG**, v. 19, n. 6, p. 548–556, 23 dez. 2011.

CASALI, A. L. CARACTERIZAÇÃO, AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS PULVERIZADORES AUTOPROPELIDOS PRODUZIDOS NO BRASIL. 2015.

CHUNG, C. A. (ED.). **Simulation modeling handbook: a practical approach**. Boca Raton, Fla.: CRC Press, 2004.

COSTA, A. G. F. et al. Efeito da intensidade do vento, da pressão e de pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em pré-emergência. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 203–210, mar. 2007.

CUNHA, J. P. A. R. D. et al. Aplicação aérea e terrestre de fungicida para o controle de doenças do milho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 366–372, set. 2010.

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**, v. 31, n. 3, p. 371–375, 25 jun. 2009.

CUNHA, J. P. A. R. D.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C. Avaliação do espectro de gotas de pontas de pulverização hidráulicas utilizando a técnica da difração do raio laser. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. spe, p. 10–15, 2007.

DIETRICH KLUG, W. et al. O USO DE DRONES NA AGROINDÚSTRIA 4.0: ALTERNATIVA DIGITAL PARA A PULVERIZAÇÃO. **Revista Prociências**, v. 6, n. 2, p. 97–113, 4 jan. 2024.

FAGGION, F.; ANTUNASSI U. R. **DESEMPENHO DE PONTAS DE PULVERIZAÇÃO QUANTO A INDUÇÃO DE AR NAS GOTAS | ENERGIA NA AGRICULTURA**. Disponível em: <<http://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/91>>. Acesso em: 9 set. 2024.

FARIAS, M. S. D. et al. Critérios técnicos para a seleção de pulverizadores autopropelidos comercializados no mercado brasileiro. **Ciência Rural**, v. 45, n. 5, p. 942, maio 2015.

FERREIRA, A. L.; BALTHAZAR, J. M.; PONTES JÚNIOR, B. R. Influência da suspensão na segurança e no conforto de um pulverizador autopropelido. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 4, p. 753–760, ago. 2010a.

FERREIRA, A. L.; BALTHAZAR, J. M.; PONTES JÚNIOR, B. R. Influência da suspensão na segurança e no conforto de um pulverizador autopropelido. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 4, p. 753–760, ago. 2010b.

FERREIRA, M. L. P. C. A pulverização aérea de agrotóxicos no Brasil: cenário atual e desafios. **Revista de Direito Sanitário**, v. 15, n. 3, p. 18, 14 abr. 2015.

FISHMAN, G. S. **Monte Carlo**. New York, NY: Springer New York, 1996.

FURASTÉ, P. A. **Normas técnicas para o trabalho científico**. [s.l.] Pedro Augusto Sartori Furasté, 2012.

GAYTÁN CORTÉS, J. The Monte Carlo method of random simulation samples. **Mercados y Negocios**, n. 50, p. 95–108, 1 set. 2023.

GEBLER, L. Pontos de abastecimento de pulverizadores agrícolas: uma revisão comparando os modelos em uso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 11, p. 1180–1185, nov. 2011.

GILL, P. Pesticides. Health, Safety and the Environment. By G. A. Matthews. Oxford: Blackwell Publishing (2006), pp. 235, £79.50. ISBN-13: 978-1-4051-3091-2. **Experimental Agriculture**, v. 43, n. 2, p. 259–260, 2007.

GUIMARÃES, V. et al. **Ciências agrárias: tecnologias e perspectivas**. [s.l.] Unioeste-Campus de Marechal Cândido Rondon, 2021. v. 1

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**, v. 39, n. 15–16, p. 5345–5376, 18 ago. 2018.

JUSTINO, A. et al. Sentido de pulverização em culturas de soja e feijão com pulverizador de barras. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 3, p. 755–758, dez. 2006.

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

LOPES, C. V. A.; ALBUQUERQUE, G. S. C. D. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde em Debate**, v. 42, n. 117, p. 518–534, jun. 2018.

MACEDO, D. X. S. et al. AGRICULTURAL MACHINERY ACCIDENTS IN FEDERAL HIGHWAYS IN THE NORTHERN REGION OF BRAZIL. **ENERGIA NA AGRICULTURA**, v. 35, n. 1, p. 9–17, 20 mar. 2020.

MACHADO, T.; REYNALDO, É. COMPARAÇÃO DO USO DE APLICAÇÃO AÉREA E TERRESTRE NA QUALIDADE DE DEPOSIÇÃO DE PRODUTO NA CULTURA DA SOJA. **Enciclopédia Biosfera**, v. 16, n. 29, p. 504–514, 30 jun. 2019.

MATOS, G. H. H. UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS CURSO DE AGRONOMIA. p. 19, 2023.

METROPOLIS, N.; ULAM, S. The Monte Carlo Method. **Journal of the American Statistical Association**, v. 44, n. 247, p. 335–341, set. 1949.

MONQUERO, P. A.; INÁCIO, E. M.; SILVA, A. C. LEVANTAMENTO DE AGROTÓXICOS E UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL ENTRE OS AGRICULTORES DA REGIÃO DE ARARAS. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 76, n. 1, p. 135–139, mar. 2009.

MONTE, D. M. F. M. DO; MOURA, D. A. P. DE; SANTOS, M. ABORDAGEM PRÁTICA DO MÉTODO HÍBRIDO CRITIC-CoCoSo PARA SELEÇÃO DE UM DRONE PULVERIZADOR DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS EM DIVERSAS CULTURAS. p. 11, 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**, v. 4, n. 2, 2022.

OLIVEIRA, V. B. D. UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA – CAMPUS PATOS DE MINAS ENGENHARIA ELETRÔNICA E DE TELECOMUNICAÇÕES. 2021.

OLIVEIRA, W. W. P. EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO DE INSETICIDAS PARA CONTROLE DE LAGARTAS DA SOJA VIA DRONE. p. 24, 2022.

PARLANGELI GONÇALVES, V.; ALEXANDRE CAVICHIOLI, F. ESTUDO DAS FUNCIONALIDADES DOS DRONES NA AGRICULTURA. **Revista Interface Tecnológica**, v. 18, n. 1, p. 321–331, 30 jul. 2021.

PENCKOWSKI, L. H.; PODOLAN, M. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F. Influência das condições climáticas no momento da aplicação de herbicidas pós-emergentes sobre a eficácia de controle de nabiça (*Raphanus raphanistrum*) na cultura de trigo. **Planta Daninha**, v. 21, n. 3, p. 435–442, dez. 2003.

PEREIRA, C. et al. Eficiência da aplicação com uso de drone e pulverizador terrestre. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 3, p. e3025, 6 mar. 2024.

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**, v. 74, p. 102335, ago. 2023.

REJEB, A. et al. Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 198, p. 107017, jul. 2022.

RODRIGUES, D. M. CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS E DA FERRUGEM ASIÁTICA NA CULTURA DA SOJA COM VANT PULVERIZADOR. p. 90, 2022.

RUBINSTEIN, R. Y. **Simulation and the Monte Carlo Method**. 1. ed. [s.l.] Wiley, 1981.

RURAL, S. N. DE A. **Mecanização: operação de pulverizadores autopropelidos**. [s.l.] Senar, 2016.

SCHRÖDER, E. P.; BURKERT, V. G. RELATO SOBRE EXPERIÊNCIA DE USO DE DRONES AGRÍCOLAS NO BRASIL. **Tecnologia e Inovação na Agricultura: aplicação, produtividade e sustentabilidade em pesquisa**, p. 227–238, 2023.

SENAR, S. N. DE A. R. **Mecanização: operação de pulverizadores autopropelidos**. [s.l.] Bruno Henrique B. Araujo, 2016. v. 170

SILVA NETO, J. O.; SASAKI, R. S.; ALVARENGA, C. B. D. Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) para aplicação de agrotóxico. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e293101220573, 21 set. 2021.

SISHODIA, R. P.; RAY, R. L.; SINGH, S. K. Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review. **Remote Sensing**, v. 12, n. 19, p. 3136, 24 set. 2020.

SOARES, P.; SPOLADOR, H. F. S. Eficiência técnica da produção de milho no estado de São Paulo: uma abordagem por metafronteira estocástica. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 57, n. 4, p. 545–558, dez. 2019.

SOBROZA BECKER, R. et al. Inovações tecnológicas em máquinas agrícolas para controle de plantas daninhas. **Tecno-Lógica**, v. 25, n. 1, p. 98–108, 5 jan. 2021.

STANKE, B. What's is the Monte Carlos Simulation? **What's is the Monte Carlos Simulation?**, v. 1, p. 8, 2021.

STEIN, J. M. The effect of adrenaline and of alpha- and beta-adrenergic blocking agents on ATP concentration and on incorporation of $^{32}\text{P}_i$ into ATP in rat fat cells. **Biochemical Pharmacology**, v. 24, n. 18, p. 1659–1662, 15 set. 1975.

VERGARA, W. R. et al. Análise de viabilidade econômico-financeira para aquisição de uma unidade de armazenagem de soja e milho. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, v. 12, n. 1, p. 41, 30 abr. 2021.

VERGARA, W. R. H. **Métodos numéricos computacionais em engenharia**. [s.l.] Editora Ciência Moderna, 2017.

VERGARA, W. R. H.; YAMANARI, J. S.; BARBOSA, F. A. GESTÃO DA QUALIDADE: REDUÇÃO DE CUSTOS EM UMA USINA SUCROENERGÉTICA. **Revista SODEBRAS**, v. 14, n. 168, p. 48–52, dez. 2019.

VERGARA, W. R.; TEIXEIRA, R. T.; YAMANARI, J. S. Análise de risco em projetos de engenharia: uso do PERT/CPM com simulação. **Exacta**, v. 15, n. 1, p. 74–88, 27 mar. 2017.

WILL M. BERTRAND, J.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241–264, fev. 2002.

ZAPPA PAIVA, D.; GUILHERME PÉRA, 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 (SOBER). **Anais...** Em: 61º CONGRESSO DA SOBER. Piracicaba, São Paulo: Even3, 2023. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/Anais/sober2023/626167>>. Acesso em: 22 set. 2024.