



**SECRETARIA DE SEGURANÇA PÚBLICA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS – UEG
COORDENADORIA DE ENSINO
COORDENAÇÃO DE ENSINO PRESENCIAL E DE PÓS-GRADUAÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM GERENCIAMENTO DE SEGURANÇA PÚBLICA**

Robledo Curado de Camargo

**A UTILIZAÇÃO DO DRONE PARA APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS
RETARDANTES EM COMBATE A INCÊNDIO FLORESTAL NAS ÁREAS DE
DIFÍCIL ACESSO**

GOIÂNIA-GO

2024



Robledo Curado de Camargo

**A UTILIZAÇÃO DO DRONE PARA APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS
RETARDANTES EM COMBATE A INCÊNDIO FLORESTAL NAS ÁREAS DE
DIFÍCIL ACESSO**

Projeto de Pesquisa apresentado como exigência parcial para conclusão da disciplina Metodologia Científica do Curso Especialização em Gerenciamento de Segurança Pública (CEGESP) pela Secretaria de Segurança Pública de Goiás e a Universidade do Estado de Goiás, sob a orientação da Prof^a Dra Reycilane Carvalho Silva.

GOIÂNIA-GO

2024

**TÍTULO: A UTILIZAÇÃO DO DRONE PARA APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS
RETARDANTES EM COMBATE A INCÊNDIO FLORESTAL NAS ÁREAS DE
DIFÍCIL ACESSO**

**TITLE: THE USE OF DRONE TO APPLY RETARDANT SUBSTANCES IN FOREST
FIRE FIGHTING IN DIFFICULT TO ACCESS AREAS**

Robledo Curado de Camargo¹
Reycilane Carvalho Silva²

Resumo: O objetivo deste estudo é investigar a viabilidade e eficácia do uso de drones para aplicação de retardante no combate a incêndios florestais em áreas inacessíveis. À medida que aumenta a frequência dos incêndios em áreas remotas, é importante explorar alternativas tecnológicas para otimizar as operações de combate a incêndios e reduzir os danos ambientais. O estudo analisa aspectos técnicos dos drones, incluindo alcance, precisão e carga útil, bem como considerações operacionais e logísticas, como tempo de resposta, planejamento de rotas e armazenamento de entrega. Também analisa questões relacionadas com a segurança das tropas que participam em combate e a segurança dos próprios drones, incluindo riscos potenciais como colisões, falhas técnicas e condições meteorológicas adversas. Como resultado de pesquisa o estudo fornece informações valiosas sobre a implementação eficaz da tecnologia drone no combate a incêndios florestais, ajudando a melhorar a eficiência e a segurança das operações de combate a incêndios em áreas de difícil acesso.

Palavras-chave: Drones, Incêndios florestais, Tecnologia, bombeiros militares.

Abstract: The objective of this study is to investigate the feasibility and effectiveness of using drones to apply retardant to combat forest fires in inaccessible areas. As the frequency of fires in remote areas increases, it is important to explore technological alternatives to optimize firefighting operations and reduce environmental damage. The study analyzes technical aspects of drones, including range, accuracy and payload, as well as operational and logistical considerations such as response time, route planning and delivery storage. It also looks at issues related to the safety of troops participating in combat and the safety of drones themselves, including potential risks such as collisions, technical failures and adverse weather conditions. As a research result, the study provides valuable information on the effective implementation of drone technology in forest firefighting, helping to improve the efficiency and safety of firefighting operations in difficult-to-access areas.

Keywords: Drones, Forest fires, Technology, military firefighters.

¹ Capitão do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás, aluno do Curso de Gerenciamento em Segurança Pública (CEGESP/2024), Chefe da Seção de Inspeção e análise de projetos (SECIP), 12º Batalhão Bombeiro Militar, Cidade de Goiás. E-mail: robledocurado@gmail.com

² Pós Doutora em Direitos Humanos pela Universidade Federal de Goiás (UFG). 2º Sargento no Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. Orientadora do Curso de Especialização em Gerenciamento de Segurança Pública (SSP-GO/UEG). E-mail: reycehadud@gmail.com.

INTRODUÇÃO

A maior identidade de trabalho dos bombeiros reconhecidamente histórica e proeminente efetiva em todo o mundo, tem se concentrado de forma específica no combate ao fogo, seja a incêndios em automóveis, residências, prédios comerciais e familiares, locais de atendimento ao público, ou indústrias, o maior expoente de visibilidade laboral é com certeza, a extinção a incêndios estruturais.

Noutro aspecto, não menos importante, mas diferentemente contextualizado os bombeiros também lidam com a extinção de incêndios em vegetações, que incluem incêndios florestais, em áreas cultiváveis, de preservação ambiental, de uso pecuário, extração vegetal e até mesmo comercialmente turístico.

É acerca deste aspecto que concentramos a atenção deste trabalho, tendo em vista que os incêndios florestais representam perdas do bioma de forma geral (fauna, flora) e também econômicas, representadas pelas propriedades rurais. Sabemos que os incêndios florestais representam perda de nossa capacidade ecológica, como também, afetam à saúde daqueles que se encontram próximos as áreas atingidas por incêndios e de forma um pouco mais distante, como vemos as pesquisas sobre ecologia, todos os habitantes do mundo, como observado pelos diversos estudos científicos sobre o efeito estufa.

Diante desta realidade, este estudo teve como objetivo investigar o uso de drones para aplicação de substâncias retardadoras de chama no combate a incêndios florestais em áreas de difícil acesso. A justificativa para este estudo é que precisamos gerir formas de enfrentamento dentro da segurança pública ao desafio crescente colocado pelos incêndios florestais, que não só representam uma ameaça ao ambiente, mas também colocam em risco a vida humana, aos profissionais que desempenham a atividade de extinção, a propriedade dos recursos naturais e a saúde pública.

No contexto atual, a frequência e a intensidade dos incêndios florestais aumentaram, em parte devido às alterações climáticas e às atividades humanas irresponsáveis. Estes acontecimentos que chegam a se tornar catastróficos não só destroem ecossistemas valiosos, mas também afetam diretamente a qualidade de vida das pessoas e a estabilidade econômica e social dos países em que elas acontecem.

Os métodos tradicionais de combate a incêndios florestais são muitas vezes ineficazes em áreas remotas e inacessíveis, onde as condições do terreno e do clima representam desafios significativos para as equipas de combate a incêndios dos bombeiros. Neste sentido, a utilização de drones para aplicação de substâncias retardadoras de chama torna-se uma solução inovadora e promissora para responder a estes eventos de forma mais rápida e eficaz.

Estudar a viabilidade e eficácia desta tecnologia é fundamental para melhorar as práticas de combate a incêndios florestais e minimizar as perdas decorrentes destas ocorrências. Ao compreender os aspectos técnicos, operacionais e logísticos envolvidos no uso de drones para aplicação de substâncias retardadoras de chama, este estudo visa fornecer insights valiosos para orientar políticas públicas, práticas de gestão ambiental e estratégias de resposta a emergências.

Assim, o estudo em questão possui sua importância devidamente embasada nos aspectos sociais, ambientais e econômicos, além de contribuir para o progresso do saber científico no âmbito do planejamento de segurança pública e administração, como também de defesa do meio ambiente. Ao investigar a viabilidade do uso de drones para distribuição de substâncias retardantes no combate a incêndios em florestas, almejamos apresentar uma abordagem original e eficiente para enfrentar esse desafio em ascensão.

Metodologicamente, o estudo é caracterizado por uma abordagem exploratória, com a obtenção de informações por meio de pesquisa bibliográfica e uma abordagem quali-quantitativa que se concentrou na análise de conteúdo com acervo de fotos sobre os assuntos em epígrafe, como também análise secundária de banco de dados obtidos no Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás (CBMGO) relacionados aos incêndios florestais ocorridos nos últimos cinco anos.

O método empregado baseou-se na revisão bibliográfica, com análise de fontes teóricas encontradas em artigos, websites e documentos acadêmicos. Os dados foram obtidos por meio de pesquisa online e acesso a documentos internos via Sistema Eletrônico de Informações (SEI) relacionados exclusivamente a Operação Cerrado Vivo (OCV) efetuada pelo CBMGO em todo o território goiano.

Desta forma, o artigo se divide em 3 sessões. Na primeira parte, ressaltamos os impactos dos incêndios florestais na sociedade e no meio ambiente, métodos de aplicação e tipos de aeronaves, transporte de materiais e equipamentos usados nos mesmos. Posteriormente, tratamos, da seleção e caracterização dos drones, as substâncias retardantes e suas efetividades, como também, a viabilidade e eficácia do uso de drones na aplicação de substâncias retardantes. Por fim, observamos a eficácia da aplicação de substâncias por drones, Espalhamento da água e produtos retardantes de chamas, partindo a partir disso, para as considerações finais.

1 INCÊNDIO FLORESTAL: UMA REALIDADE COM MUITAS PERDAS

Os incêndios florestais, de forma simplificada, ocorrem quando o fogo se descontrola em diferentes tipos de vegetação, apresentando uma ameaça não apenas ao meio ambiente, mas também um perigo iminente para o patrimônio e a segurança das pessoas.

Anualmente, esses eventos causam danos significativos, muitas vezes agravados por fatores climáticos como a seca, a velocidade do vento, a umidade do ar, bem como outras variáveis naturais como o relevo e a densidade da vegetação. No ano de 2020, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) registrou mais de 222 mil focos de incêndio em todo o país, fator preocupante quando se observa a perda natural e patrimonial que estes fogos podem causar.

Os impactos dos incêndios florestais vão além do ambiente natural, afetando diretamente a qualidade de vida humana. A redução das áreas verdes contribui para o aumento do calor nas cidades, causando desregulações nos padrões climáticos e intensificando o efeito estufa. Ademais, a fumaça proveniente desses incêndios pode prejudicar a saúde respiratória da população local.

Os incêndios têm consequências para além do período inicial de queima. Podem resultar em danos ao solo, erosão, assoreamento de corpos d'água e perturbações no equilíbrio do ecossistema, impactando a biodiversidade e os ciclos naturais.

De acordo com Silva & Baptista (2023) a região centro oeste do Brasil tem sofrido agravos nos processos de estiagem acarretando degradação do bioma. Na pesquisa realizada por eles sobre os incêndios ocorridos no Parque Nacional de Brasília, eles constataram por meio de ocorrências passadas que *“é possível estipular limiares físicos e determinar o intervalo de criticidade a incêndios por meio de índices espectrais”* tendo em vista que, *“as regiões queimadas apresentavam um padrão de valores nos índices, que explicavam a criticidade da região”* (p. 16).

Desta forma, é possível notar que existem a partir de estudos científicos a prevenção a esses incêndios de forma ordenada, o que de certa maneira também favorece a proposta aqui discutida sobre a utilização dos drones nos incêndios florestais, não somente no combate, mas na prevenção também efetuando resfriamento em áreas que são consideradas predispostas ao fogo.

Neste mesmo caminho, a pesquisa efetuada por Oliveira et al 2023 evidenciou como as variáveis climáticas incidem nos incêndios florestais na região do Vale do Paraíba Paulista, utilizando uma correlação entre os parâmetros climáticos e o fogo chegando a constatar que há maior probabilidade de propagação do fogo em anos mais quentes e secos.

O impacto do fogo também foi observado no Parque Estadual do Biribiri (MG), sobre a vegetação de campo sujo, onde as amostras demonstraram que o incêndio modificou a estrutura da vegetação em 72% dos indivíduos estudados e 88% das espécies. (MEIRA et al, 2017)

Nestes exemplos de pesquisas realizadas sobre os impactos dos incêndios florestais podemos observar como os drones vem a desempenham um papel crucial na detecção precoce de focos de incêndio e na aplicação rápida de substâncias retardantes em áreas de difícil acesso. Isso possibilita uma resposta mais rápida e eficaz às emergências, reduzindo o tempo de propagação do fogo e minimizando prejuízos ambientais e financeiros.

1.1 Impactos dos incêndios florestais na sociedade e no meio ambiente

Os incêndios florestais podem ter impactos negativos significativos no ambiente, afetando tanto o habitat como a saúde humana. Dados do Instituto Nacional de Florestas (IEF, 2022) mostram que a maioria dos incêndios florestais (cerca de 99%) são causados por ações humanas, sendo um terço deles causados por ações intencionais, como vandalismo e incêndio criminoso, e dois terços causados por comportamento humano, inclusive em acidentes causados por manejo inadequado do fogo.

Os danos causados pelos incêndios florestais são imensuráveis, exemplo desta realidade, em 2019, mais de 51.000 hectares de vegetação foram destruídos por incêndios no estado de Minas Gerais, com uma grande proporção desses incêndios ocorrendo dentro e perto de áreas protegidas. No entanto, embora a área ardida nestas unidades tenha diminuído 21% em comparação com as médias históricas, os incêndios criminosos aumentaram aproximadamente 50% durante o mesmo período.

Em Goiás, a área total queimada foi de 1.032.025 ha em 2023. Como demonstrado na Tabela 1, que relaciona os índices de queimadas atendidas pelo CBMGO, o ano de 2020, aparece, mesmo no auge da pandemia, como o ano de maior número de ocorrências com incêndios em vegetação chegando a 10.311 atendimentos.

Notamos que a Tabela 1 possui diferenciações ao longo dos anos em sua descrição, por conta de atender a instrumentos dos coordenadores da Operação Cerrado Vivo que se modificam a cada ano, fator esse que prejudica a tabulação de dados e conseqüentemente, a elaboração de parâmetros comparativos consistentes do trabalho bombeiro militar como também, a uma análise mais detalhada sobre a incidência de incêndios florestais no território goiano.

Tabela 1: Ocorrências de Incêndio Florestal em Goiás nos anos 2019-2023

OCORRÊNCIAS DE INCÊNDIO FLORESTAL EM GOIÁS NOS ANOS DE 2019-2023					
NATUREZA	2019	2020	2021	2022	2023
MATO	*	3.328	3.115	1.792	0
TERRENO BALDIO	*	3.206	3.460	4.391	5.269
PASTAGEM	*	1.966	1.255	497	0
MATA/FLORESTA	*	752	744	326	0
CERRADO	*	517	392	204	0
CULTURA AGRÍCOLA DIVERSA	*	175	100	40	0
ARROIZAL/MILHARAL	*	141	115	51	0
CAMPO	*	83	61	39	0
FLORESTA PLANTADA	*	58	37	23	0
CANAVIAL	*	40	0	8	0
CAPOEIRA	*	0	26	39	0
ÁREA VERDE URBANA	*	0	0	702	1.162
CAATINGA	*	0	0	8	0
FAIXA DE DOMÍNIO (RODOVIAS)	*	0	0	209	521
PROPRIEDADE RURAL	*	0	0	1.005	1.197
TERRAS DEVOLUTAS	*	0	0	119	144
TERRAS INDÍGENAS	*	0	0	2	1
UNIDADES DE CONSERVAÇÃO	*	0	0	137	166
TOTAL GERAL		9.408	10.311	9.332	8.460

* O relatório da OCV 2019 não discrimina as ocorrências por natureza, apenas o número total de atendimentos.
Fonte: Relatórios da Operação Cerrado Vivo 2019-2023/Seção de Planejamento Comando do CBMGO

Notamos acima que apenas a natureza “terreno baldio” teve pelo menos em 4 anos sua estatística mantida de forma satisfatória para uma análise, inclusive obtendo os maiores índices percentuais (16.326 atendimentos), sendo que lote baldio se concentra no domínio citadino e não em locais da área rural como os propostos neste trabalho para entendimento do incêndio florestal em áreas de difícil acesso.

Aparece logo em seguida, entre os anos de 2020 e 2022, as ocorrências em mato 8.235, pastagem 3.718 e mata/floresta 1822. Floresta plantada tiveram 118 ocorrências, no triênio fator que demonstra preocupação pois as atividades de reserva ambiental também se concentram nelas.

Em Minas Gerais, assim como no estado de Goiás os incêndios florestais tornaram-se mais frequentes e graves durante a seca entre julho e novembro. Este período crítico é caracterizado pela baixa umidade do ar, altas temperaturas e falta de chuvas, proporcionando condições ideais para a propagação dos incêndios.

Além dos danos ambientais, os incêndios florestais também têm impacto direto na saúde humana. A poluição do ar causada pela queima de vegetação libera uma série de substâncias

tóxicas, como monóxido de carbono, partículas e compostos orgânicos voláteis, que podem causar problemas respiratórios e cardiovasculares, especialmente em áreas urbanas. A situação piora quando a umidade do ar cai abaixo de 30%, o que acontece frequentemente durante as secas.

1.2 Métodos de aplicação de aeronaves no combate a incêndios florestais

Historicamente, a utilização de aeronaves no combate a incêndios segue procedimentos padronizados de aplicação, assegurando uma operação eficiente e segura. Antes de decolar para uma missão de controle de incêndio, a equipe deve estar familiarizada com a área de atuação, incluindo as coordenadas precisas do local afetado pelo fogo, bem como os pontos de pouso e abastecimento disponíveis.

Além disso, informações cruciais para a equipe incluem a frequência de comunicação aérea e terrestre, a identificação do Comandante responsável pela operação, os recursos em uso e a localização dos pontos de água acessíveis mais próximos.

Para escolher os locais de abastecimento de água, é crucial considerar diversos fatores para garantir uma eficácia no combate ao incêndio. Segundo orientações do Corpo de Bombeiros Militar do Mato Grosso (2020, p.22), é recomendável selecionar pontos próximos à área afetada pelo fogo, que permitam operações seguras e livres de obstáculos, como árvores e linhas de alta tensão. Além disso, se o abastecimento for destinado ao helibalde³, é necessário que o local escolhido tenha profundidade suficiente.

1.2.1 Procedimentos de aplicação de água e retardante de chamas em aeronaves

A distribuição de água e substâncias retardantes de fogo podem ser conduzidas por meio de três métodos distintos: Direto, Paralelo e Indireto.

Método Direto

Neste método, os lançamentos são direcionados para o perímetro do incêndio, atingindo diretamente as chamas. O objetivo é reduzir a intensidade do fogo e facilitar as operações terrestres. Também pode ser empregado para suprimir focos secundários de incêndio. Geralmente utilizado em apoio às equipes no solo, o lançamento direto só é viável quando as condições de visibilidade são favoráveis.

Método Paralelo

³ helicóptero com balde gigante para combate ao incêndio florestal.

Neste procedimento, os lançamentos são efetuados paralelamente ao perímetro do incêndio, visando reforçar a segurança dos aceiros estabelecidos pelas equipes terrestres. Isso possibilita a aplicação segura da técnica de contrafogo, como ilustrado na Figura 1 abaixo. O contrafogo é uma estratégia controlada e defensiva que utiliza o fogo para deter o avanço das chamas. No entanto, sua implementação inadequada pode representar riscos para os agentes e para o ambiente. O método paralelo é especialmente útil quando a visibilidade aérea é comprometida pela fumaça dos incêndios.

Figura 1: Helicóptero realizando lançamento paralelo ao perímetro do incêndio conforme o método paralelo.



Fonte: <https://www.cavok.com.br/elbit-systems-demonstra-solucao-de-alta-precisao-e-alta-altitude-para-combate-aereo-de-incendios>

Método Indireto

Neste método, os retardantes são lançados em áreas distantes do incêndio, formando barreiras químicas que impedem a propagação do fogo. Os agentes químicos presentes nos retardante permanecem ativos no solo por até dois dias, como mostrado na Figura 8 abaixo. Este método pode ser combinado com a técnica de contrafogo, assim como o método paralelo.

Figura 2: Aeronave criando barreira química por meio do método indireto de lançamento de retardante de chamas



Fonte: <https://www.google.com/imgres?imgurl=https://g1.globo.com/Noticias/Mundo>

1.3 Espalhamento da água e produtos retardantes de chamas em incêndios florestais

Conforme descrito por Lazaroto (2020, p. 10), o fenômeno do fogo é definido como uma reação química de oxidação em cadeia, resultante da combinação de três componentes: oxigênio (agente oxidante), material combustível (substância) e calor (energia de ativação), conhecidos como triângulo do fogo.

Os retardadores de chamas consistem em substâncias químicas que têm a capacidade de reduzir ou extinguir a combustão de um determinado material inflamável. Quando aplicados em locais estratégicos próximos ao foco de incêndio, esses retardadores criam uma zona de contenção que limita a propagação das chamas, como exemplificado nas Figuras 3 e 4 a seguir:

Figura 3: Aeronave lançando retardante de chamas em incêndio na Califórnia.



Fonte: <https://www.google.com/imgres?imgurl=https://g1.globo.com/Noticias/Mundo>

A combinação de água e produtos retardadores de chama melhora a eficiência do trabalho, reduzindo o calor e o oxigênio que alimenta o fogo, resultando no processo de encolhimento. Neste contexto, tanto a impermeabilização como os produtos químicos reduzem a taxa de movimento do fogo, criando áreas abertas ou delimitadas na floresta.

Além disso, o retardante permanece ativo no solo por até 2 dias. Conhecido como “manejo do fogo”, este método de supressão e controle de chamas utilizando água e supressores é essencial para as operações de combate a incêndios florestais, pois fortalece as linhas de defesa pré-estabelecidas, resfria as áreas de controle, protege os ecossistemas vegetais e protege as espécies vegetais e animais presentes.

Figura 4: Aeronave despejando água sobre as chamas de um incêndio florestal em Israel



Fonte: https://www.google.com/imgres?imgurl=https://files.nsctotal.com.br/s3fs-public/styles/paragraph_imagem

1.3.1 Sistema Modular de Combate Aéreo a Incêndios (SCAMI)/MAFFS – Modular Airborne Fire Fighting System

O Sistema Modular de Combate Aéreo a Incêndios (SCAMI) foi desenvolvido pelo Serviço Florestal dos Estados Unidos (USFS) em colaboração com a Guarda Nacional após o devastador incêndio florestal de Laguna, na Califórnia, na década de 1970. Considerado o terceiro pior incidente da história dos EUA, a intensidade do incêndio afundou o *destróier*. Como resultado, houve a necessidade de desenvolver um sistema modular que pudesse ser rapidamente implantado em aeronaves de combate a incêndios, resultando no SCAMI.

O uso do C-130 “Hercules” equipado com SCAMI durante os incêndios na Amazônia de 2019 foi notável. Segundo a Força Aérea Brasileira (2015), o equipamento consiste em um grande palete com cinco tanques de água pressurizada com capacidade total de 12.000 litros e duas tubulações que se estendem pela porta traseira da aeronave.

O SCAMI também inclui tanque de ar comprimido e ferramentas para operação. O tanque pode conter água misturada com retardante de chama, o que aumenta a eficiência do sistema conforme mostram as Figura 5 e 6 da página seguinte.

Figura 5: Sistema Maffs sendo utilizado em combate a incêndio florestal



Fonte: <https://www.google.com/imgres?imgurl=https://files.nsctotal.com.br/s3fs-public/styles/>

Exposto abaixo o equipamento, sem estar em atividade:

Figura 6: Sistema MAFFS utilizado pela Força Aérea Brasileira



Fonte: <https://www.google.com/imgres?imgurl=https://files.nsctotal.com.br/s3fs-public/styles/>

1.3.1 Helibalde ou *Bambi Bucket*

Desenvolvido pela empresa canadense SEI Industries, Bambi Bucket. Helibalde é um sistema utilizado por helicópteros para combate a incêndios que libera água a partir de uma “garrafa de água” dobrável anexada. O dispositivo de enchimento de carga do helicóptero contém uma válvula quando ativado pelo piloto dispara uma nuvem de condensado diretamente acima do fogo.

Figura 7: Helicóptero acionando seu helibalde



Fonte: <https://www.google.com/imgres?imgurl=https://www.pilotopolicial.com.br/wp-content/uploads/>

1.4 Transporte de materiais de combate a incêndios

A relevância das aeronaves para o enfrentamento de incêndios florestais ultrapassa a luta contra o fogo, exercendo também o papel de condução de provisões, tais como líquidos, alimentos, fármacos e dispositivos de proteção individual, destinados às equipes atuantes na operação. Adicionalmente, há o transporte de equipamentos para a extinção de incêndios, como

tanques de água portáteis e mochilas de combate a incêndios, abafadores, câmeras, sensores, queimadores de chamas, serras elétricas e sopradores.

Essa incumbência é essencial em áreas com topografias muito acidentadas, declives acentuados e de difícil acesso, onde a chegada de provisões e materiais por veículos terrestres é inviável. Dessa maneira, a única maneira de se alcançar tais locais é por meio do transporte aéreo. O transporte aéreo de bombeiros e brigadistas assegura a pronta chegada de equipes aos locais dos incêndios, possibilitando ainda a realização de manobras de infiltração e exfiltração em regiões estratégicas para o combate ao fogo. Desta forma, os bombeiros e brigadistas são posicionados de maneira favorável para conter as chamas de forma mais eficiente.

A utilização de aeronaves no combate a incêndios segue procedimentos padronizados de aplicação, assegurando uma operação eficiente e segura. Antes de decolar para uma missão de controle de incêndio, a equipe deve estar familiarizada com a área de atuação, incluindo as coordenadas precisas do local afetado pelo fogo, bem como os pontos de pouso e abastecimento disponíveis.

Além disso, informações cruciais para a equipe incluem a frequência de comunicação aérea e terrestre, a identificação do Comandante responsável pela operação, os recursos em uso e a localização dos pontos de água acessíveis mais próximos.

Para escolher os locais de abastecimento de água, é crucial considerar diversos fatores para garantir uma eficácia no combate ao incêndio. Segundo orientações do Corpo de Bombeiros Militar do Mato Grosso (2020, p.22), é recomendável selecionar pontos próximos à área afetada pelo fogo, que permitam operações seguras e livres de obstáculos, como árvores e linhas de alta tensão. Além disso, se o abastecimento for destinado ao helibalde, é necessário que o local escolhido tenha profundidade suficiente.

2 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS DRONES

A escolha e descrição dos drones são elementos cruciais neste trabalho, nas quais procuramos encontrar e selecionar os dispositivos mais apropriados para a distribuição de substâncias retardadoras durante o combate a incêndios em áreas florestais de difícil acesso. Tomamos como norte as práticas inovadoras e os avanços tecnológicos observados na utilização de drones em levantamentos de florestas, entendendo que os drones especializados para áreas florestais são eficientes ferramentas desenvolvidas especialmente para atender às complexas necessidades desse ramo.

Nossa estratégia para escolher os drones mais adequados é baseada em uma análise minuciosa dos requisitos técnicos e operacionais necessários para garantir o sucesso na

utilização de substâncias retardantes em áreas florestais. Compreendemos a importância de critérios como alcance, capacidade de carga, autonomia de voo e precisão de navegação ao selecionar os equipamentos. Além disso, consideramos fundamental realizar testes práticos para avaliar o desempenho dos drones em situações simuladas de combate a incêndios, assegurando sua efetividade e segurança durante as operações.

O estudo que realizamos analisou de forma detalhada as alternativas de drones existentes no mercado, considerando não só os aspectos técnicos, mas também os custos de operação. Verificamos que, embora certos modelos populares de drones, como o DJI Phantom 4 ou DJI Mavic 2 Pro, possam parecer adequados à primeira vista, eles podem não ser os mais indicados para atender às necessidades específicas de locais florestais e situações de combate a incêndios.

Portanto, dedicamos nossa atenção à detecção de drones que possuam tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*), destacando sua habilidade única de produzir modelos tridimensionais minuciosos e conjuntos de pontos precisos. Esses dispositivos empregam feixes de laser para calcular as distâncias dos objetos presentes na superfície, permitindo uma análise minuciosa da estrutura das vegetações e auxiliando na identificação de áreas suscetíveis a incêndios, bem como na aplicação eficiente de substâncias retardantes.

De forma resumida, a Tabela 2 mostra as especificidades levadas em conta na escolha do Drone DJI Agras T40:

Tabela 2: Especificações do Drone DJI Agras T40

ESPECIFICAÇÕES		
Parâmetros da aeronave	<ul style="list-style-type: none"> Peso total 	<ul style="list-style-type: none"> 38 kg (sem bateria) 50 kg (com bateria)
	<ul style="list-style-type: none"> Peso máx. de decolagem [1] 	<ul style="list-style-type: none"> Peso máx. de decolagem para pulverização: 90 kg (no nível do mar)
	<ul style="list-style-type: none"> Distância diagonal entre eixos máxima 	<ul style="list-style-type: none"> 2.184 mm
	<ul style="list-style-type: none"> Dimensões 	<ul style="list-style-type: none"> 2.800 mm × 3.150 mm × 780 mm (braços e hélices desdobrados) 1.590 mm × 1.930 mm × 780 mm (braços desdobrados, hélices dobradas) 1.125 mm × 750 mm × 850 mm (braços dobrados)
	<ul style="list-style-type: none"> Alcance de precisão em voo estacionário (com sinal GNSS forte) 	<ul style="list-style-type: none"> Posicionamento RTK habilitado: ± 10 cm horizontal, ± 10 cm vertical Posicionamento RTK desabilitado: ± 60 cm horizontal e ± 30 cm vertical (radar habilitado: ± 10 cm)
	<ul style="list-style-type: none"> Duração do voo estacionário [1] 	<ul style="list-style-type: none"> Voo estacionário sem carga: 18 min (a 30.000 mAh e peso de decolagem 50 kg) Voo estacionário e pulverizando com carga total: 7 min (a 30.000 mAh e peso de decolagem 90 kg) Voo estacionário e pulverizando com carga total: 6 min (a 30.000 mAh e peso de decolagem 101 kg)

	<ul style="list-style-type: none"> O raio máximo de voo pode ser definido 	<ul style="list-style-type: none"> 2.000 m
	<ul style="list-style-type: none"> Resistência máx. ao vento 	<ul style="list-style-type: none"> 6 m/s
Sistema de propulsão - Motor	<ul style="list-style-type: none"> Dimensões do estator Valor KV do motor Potência do moto 	<ul style="list-style-type: none"> 100 × 33 mm 48 RPM/V 4.000 com rotor
Sistema de propulsão - Hélice	<ul style="list-style-type: none"> Diâmetro Quantidade de rotores 	<ul style="list-style-type: none"> 54 pol. 8
Sistema de pulverização atômizada dupla - Caixa de operação	<ul style="list-style-type: none"> Capacidade do tanque de operação Cargas operacionais 	<ul style="list-style-type: none"> Carga total 40 l Carga total 40 kg [1]
Sistema de pulverização atômizada dupla - Aspersor	<ul style="list-style-type: none"> Modelo do aspersor Quantidade de aspersores Tamanho da gota Largura máxima eficaz do pulverizador [3] 	<ul style="list-style-type: none"> LX8060SZ 2 50 a 300 µm 11 m (altitude operacional relativa 2,5 m, velocidade de voo 7 m/s)
Sistema de pulverização atômizada dupla - Bomba de água	<ul style="list-style-type: none"> Modelo da bomba Taxa máx. de fluxo 	<ul style="list-style-type: none"> Bomba impulsora de acionamento magnético 6 l/min
Radar omnidirecional de matriz faseada ativo	<ul style="list-style-type: none"> Número do modelo 	<ul style="list-style-type: none"> RD2484R
	<ul style="list-style-type: none"> Seguir terreno 	<ul style="list-style-type: none"> Inclinação máxima: 30°
	<ul style="list-style-type: none"> Desvio de obstáculos [5] 	<ul style="list-style-type: none"> Distância sensível (horizontal): 1,5 a 50 m FOV: 360° horizontal, ± 45° vertical Condições operacionais: Voar acima de 1,5 m sobre o obstáculo a uma velocidade não superior a 7 m/s Distância segura: 2,5 m (distância entre a ponta da hélice e o obstáculo quando a aeronave estiver em voo estacionário após a frenagem) Direção de detecção: desvio omnidirecional horizontal; Distância sensível (acima): 1,5 a 30 m FOV: 45° Condições operacionais: Disponível durante a decolagem, pouso e subida quando um obstáculo estiver mais de 1,5 m acima da aeronave Distância segura: 2,5 m (distância entre o topo da aeronave e o obstáculo quando a aeronave estiver fazendo voo estacionário após a frenagem) Direção de detecção: Superior
Radar de matriz faseada ativo traseiro e inferior	<ul style="list-style-type: none"> Número do modelo 	<ul style="list-style-type: none"> RD2484B
	<ul style="list-style-type: none"> Deteção de altitude [5] 	<ul style="list-style-type: none"> Dentro da faixa de detecção de altitude: 1 a 45 m Alcance de altitude fixo: 1,5 a 30 m
	<ul style="list-style-type: none"> Desvio de obstáculos traseiros [5] 	<ul style="list-style-type: none"> Distância sensível (traseira): 1,5 a 30 m FOV: ± 60° horizontal, ± 25° vertical Condições operacionais: Disponível durante a decolagem, pouso e subida quando um obstáculo estiver mais de 1,5 m atrás da aeronave e a velocidade do voo não exceder 7 m/s Distância segura: 2,5 m (distância entre a ponta da hélice e o obstáculo quando a aeronave estiver fazendo voo estacionário após a frenagem) Direção de detecção: traseira
Sistema visual binocular	<ul style="list-style-type: none"> Faixa mensurável 	<ul style="list-style-type: none"> 0,4 a 25 m
	<ul style="list-style-type: none"> Velocidade de detecção efetiva 	<ul style="list-style-type: none"> ≤ 7 m/s
	<ul style="list-style-type: none"> Campo de visão (FOV) 	<ul style="list-style-type: none"> Horizontal: 90°; Vertical: 106°
	<ul style="list-style-type: none"> Requisitos ambientais de operação 	<ul style="list-style-type: none"> Iluminação normal com superfícies texturizadas com nitidez

Controle remoto (CR) inteligente	<ul style="list-style-type: none"> Frequência de funcionamento do O3 Pro 	<ul style="list-style-type: none"> 2,4000 a 2,4835 GHz 5,725 a 5,850 GHz
	<ul style="list-style-type: none"> Distância efetiva do sinal do O3 Pro [6] 	<ul style="list-style-type: none"> SRRC: 5 km MIC/KCC/CE: 4 km FCC: 7 km (altitude da aeronave a 2,5 m em ambiente desobstruído e sem interferência)
	<ul style="list-style-type: none"> Protocolo Wi-Fi 	<ul style="list-style-type: none"> Wi-Fi 6
	<ul style="list-style-type: none"> Frequência de funcionamento do Wi-Fi [6] 	<ul style="list-style-type: none"> 2,4000 a 2,4835 GHz 5,150 a 5,250 GHz 5,725 a 5,850 GHz
	<ul style="list-style-type: none"> Protocolo Bluetooth 	<ul style="list-style-type: none"> Bluetooth 5.1
	<ul style="list-style-type: none"> Frequência de funcionamento do Bluetooth 	<ul style="list-style-type: none"> 2,4000 a 2,4835 GHz
	<ul style="list-style-type: none"> Localização 	<ul style="list-style-type: none"> GPS + Galileo + BeiDou
	<ul style="list-style-type: none"> Telas de display 	<ul style="list-style-type: none"> LCD sensível ao toque de 7,02 pol. com resolução de 1.920*1.200 e brilho de 1.200 cd/m2
	<ul style="list-style-type: none"> Aeronave compatível 	<ul style="list-style-type: none"> AGRAS T40, AGRAS T20P
	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura de funcionamento 	<ul style="list-style-type: none"> -20 °C a 50 °C
	<ul style="list-style-type: none"> Alcance da temperatura de armazenamento 	<ul style="list-style-type: none"> -30 °C a 45 °C (dentro de um mês) -30 °C a 35 °C (entre um mês e três meses) -30 °C a 30 °C (entre três meses e um ano)
	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura de carregamento 	<ul style="list-style-type: none"> 5° a 40 °C
	<ul style="list-style-type: none"> Duração da bateria interna 	<ul style="list-style-type: none"> 3,3 horas
	<ul style="list-style-type: none"> Duração da bateria externa 	<ul style="list-style-type: none"> 2,7 horas
	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de carregamento 	<ul style="list-style-type: none"> Use um carregador USB-C com potência nominal e tensão máximas de 65 W e 20 V. O carregador portátil DJI é recomendado.
<ul style="list-style-type: none"> Tempo de carregamento 	<ul style="list-style-type: none"> Duas horas para baterias internas e interna mais externa (para usar o método de carregamento oficial quando a aeronave estiver desligada) 	
Bateria de voo inteligente T40	<ul style="list-style-type: none"> Modelo 	<ul style="list-style-type: none"> BAX601-30.000 mAh-52,22 V
	<ul style="list-style-type: none"> Peso 	<ul style="list-style-type: none"> Aprox. 12 kg
	<ul style="list-style-type: none"> Capacidade 	<ul style="list-style-type: none"> 30.000 mAh
	<ul style="list-style-type: none"> Tensão 	<ul style="list-style-type: none"> 52,22 V
Gerador inversor multifuncional D12000iE	<ul style="list-style-type: none"> Canal de saída [7] 	<ul style="list-style-type: none"> Saída de carregamento CC 42 a 59,92 V/9.000 W Fonte de alimentação para dissipador de calor resfriado a ar 12 V/6 A Saída CA 230 V/1.500 W ou 120 V/750 W.
	<ul style="list-style-type: none"> Tempo de carregamento da bateria 	<ul style="list-style-type: none"> Leva de 9 a 12 minutos para carregar totalmente uma bateria (bateria T40)
	<ul style="list-style-type: none"> Capacidade do tanque de combustível 	<ul style="list-style-type: none"> 30 l
	<ul style="list-style-type: none"> Método de partida 	<ul style="list-style-type: none"> Partida do gerador por meio do interruptor de partida de um botão
	<ul style="list-style-type: none"> Potência máxima do motor 	<ul style="list-style-type: none"> 12.000 W
	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de combustível 	<ul style="list-style-type: none"> Gasolina sem chumbo com RON \geq 91 (LRA \geq 87) e teor de álcool inferior a 10%

		<ul style="list-style-type: none"> (*Brasil: gasolina sem chumbo com RON \geq 91 e teor de álcool de 27%)
	<ul style="list-style-type: none"> Consumo de combustível de referência [8] 	<ul style="list-style-type: none"> 500 ml/kWh
	<ul style="list-style-type: none"> Modelo do óleo do motor 	<ul style="list-style-type: none"> SJ 10 W-40
Definição	<ul style="list-style-type: none"> [1] Os dados foram medidos ao nível do mar. O peso da carga é bastante afetado pela temperatura e altitude ambiente. O peso da carga precisa ser reduzido em 10 kg para cada aumento de 1.000 m na altitude. O aplicativo DJI Agras recomendará o peso da carga de acordo com o status atual e os arredores da aeronave. Ao adicionar materiais, o peso máximo não deve exceder o valor recomendado. Caso contrário, a segurança do voo pode ser comprometida. [2] Duração do voo estacionário medido ao nível do mar com uma velocidade do vento inferior a 3 m/s e temperatura ambiente de 25 °C, quando a duração da bateria caiu de 100% para 0%. Os dados são apenas para referência. O ambiente real pode ser diferente do ambiente de teste. A figura listada é apenas para referência. [3] A largura de pulverização do sistema de pulverização depende do cenário operacional. [4] A largura de dispersão do sistema de dispersão depende do cenário operacional. [5] A faixa de detecção eficaz varia dependendo do material, posição, formato e outras propriedades do obstáculo. [6] Em alguns países, as frequências de 5,1 e 5,8 GHz são proibidas ou a frequência de 5,1 GHz é permitida apenas para uso interno. Consulte as leis e regulamentações locais. [7] A potência e a tensão reais podem variar de acordo com os regulamentos locais [8] Medida usando gasolina RON 92 ao nível próximo do mar, com temperatura ambiente de 25 °C, enquanto carrega a 9 kW. 	

Fonte: <https://www.dji.com/br/t40/specs>

Nota-se na Tabela 3 que, em relação ao Drone pulverizador DJI T30 o AGRAS T40 possui muitos avanços tecnológicos e efetivos:

Tabela 3: Relação evolutiva tecnológica entre os dois pulverizadores

Avanços do DJI AGRAS T40 em relação ao seu antecessor, o DJI T30	
Capacidade de Pulverização e Espalhamento	O T40 pode transportar até 40 kg de líquido para pulverização e tem uma carga útil de espalhamento de até 50 kg, equivalente a uma capacidade de 70 litros
Design de Rotor Gêmeo Coaxial	Aumenta a capacidade de carga útil em 30% e reduz o tamanho da aeronave em 70% quando dobrado para portabilidade
Sistema de Pulverização Atomizado Duplo	Garante gotículas uniformes para uso mais eficiente de pesticidas
Bomba de Rotor de Acionamento Magnético	Isola o pesticida do motor, tornando a aeronave à prova de corrosão e ultra durável.
Radar de Varredura em Fase Ativa + Visão Binocular	Oferece detecção de obstáculos omnidirecional horizontal de 360 graus para maior segurança
Carregamento Ultrarrápido	Carregamento de 9 minutos para a Bateria de Voo Inteligente de 30000mAh com um Gerador Inversor Multifuncional de 12000W
Controlador Remoto Totalmente Aprimorado	Apresenta um processador de 8 núcleos e uma tela de alta luminosidade de 7 polegadas para mapeamento mais suave e rápido

FONTE: <https://dronews.com.br/os-7-melhores-drones-de-pulverizacao-agricola-de-2024-guia-e-analise/>

No entanto, é importante destacar que o funcionamento dos drones depende de um apoio adequado de infraestrutura. Sendo encontrado, dentre os modelos disponíveis atualmente o mercado o modelo Dji Agras T40, com as seguintes características que enquadram em nossa necessidade: Peso total - 38 kg (sem bateria) 50 kg (com bateria) / Capacidade do tanque de operação - Carga total 40 l / O raio máximo de voo pode ser definido - 2.000 m / Duração da

bateria externa - 2,7 horas / Duração do voo estacionário e pulverizando com carga total: 7 min com peso de decolagem 90 kg / Valor: R\$ 79.990,00 com três baterias.

2.1 As Substâncias Retardantes e sua efetividade

As substâncias retardantes desempenham um papel fundamental no combate eficaz aos incêndios florestais, oferecendo uma abordagem preventiva e proativa na contenção e supressão desses desastres ambientais. Essas substâncias são formuladas especificamente para retardar a propagação do fogo, fornecendo uma barreira química que diminui a combustão e limita a progressão das chamas.

Em sua composição, os retardantes de incêndio geralmente incluem uma mistura de componentes que podem variar dependendo da formulação específica e do tipo de vegetação alvo. No entanto, muitos retardantes contêm elementos como água, produtos químicos de base nitrogenada ou fosfatada e agentes espessantes em sua maioria biodegradáveis.

A água é um componente essencial em muitas formulações de retardantes de incêndio, atuando como agente de resfriamento quando aplicada sobre a superfície das áreas afetadas pelo fogo. Além disso, a água aumenta a viscosidade da mistura, permitindo uma adesão mais eficaz às superfícies tratadas e prolongando o efeito retardante.

Os produtos químicos de base nitrogenada ou fosfatada presentes nos retardantes desempenham um papel crucial na interrupção da reação em cadeia da combustão. Esses compostos atuam como retardantes de chamas, inibindo a liberação de gases inflamáveis e reduzindo a velocidade de propagação do fogo.

Em suma, as substâncias retardantes representam uma ferramenta valiosa no arsenal de medidas preventivas e de combate a incêndios florestais, oferecendo uma abordagem eficaz e sustentável para proteger ecossistemas vulneráveis e comunidades humanas contra os incêndios florestais.

2.2 A viabilidade e eficácia do uso de drones na aplicação de substâncias retardantes

Esta sessão investigará a viabilidade técnica, operacional e logística de veículos aéreos não tripulados para uso repelente durante a supressão de incêndios florestais. Analisaremos mais de perto todos os aspectos, desde as especificações técnicas do drone escolhido até as considerações éticas e legais envolvidas neste desafio.

Começaremos com uma análise abrangente e detalhada dos parâmetros técnicos dos drones selecionados para desempenhar um papel importante na supressão de incêndios

florestais. Cada aspecto técnico relevante é minuciosamente investigado, levando em consideração a complexidade e os requisitos das tarefas envolvidas.

Prosseguiremos observando o alcance do drone, testando não apenas a distância máxima que ele pode percorrer, mas também sua capacidade de operar em áreas remotas e de difícil acesso, onde ocorrem frequentemente incêndios florestais. Esta análise aprofundada, permite-nos avaliar a adequação dos drones para chegar a locais críticos e responder rapidamente a emergências.

Consideraremos a eficácia dessas aeronaves no fornecimento e distribuição de supressores de maneira suave e eficiente nas áreas afetadas pelo incêndio. Também testaremos o alcance de voo do drone, analisamos sua capacidade de permanecer no ar por longos períodos e observaremos a questão de poder efetuar diversas missões de combate a incêndios sem a necessidade de recargas frequentes. Esta análise permite-nos avaliar a capacidade dos drones para manter uma presença sustentada e eficaz no terreno durante uma crise.

Desta forma, o modelo Dji Agras T40, foi melhor atendeu nossas necessidades, pois possui um peso transportável (Peso total - 38 kg (sem bateria) 50 kg (com bateria)), Capacidade do tanque de operação - Carga total 40 l, com um raio máximo de voo pode ser definido - 2.000 m, duração da bateria externa - 2,7 horas e tempo do voo estacionário e pulverizando com carga total de 7 min com peso de decolagem 90 kg.

Abaixo, a imagem do referido drone pulverizador em operação em vegetação de agricultura.

Figura 3: Imagem do drone pulverizador modelo DJI Agras T40



Fonte: <https://br.images.search.yahoo.com/search/images?p=drone+agras+t40&fr=mcafee&type>

2.3 Viabilidade operacional dos drones durante o combate a incêndios florestais

À medida que continuarmos nossa análise, destacaremos o desempenho operacional dos drones em cenários simulados de combate a incêndios e avaliaremos sua resposta em situações reais e desafiadoras. Esta etapa considera uma série de fatores que impactam diretamente na eficiência e segurança das equipes envolvidas. Primeiro, vamos nos concentrar na velocidade de reação do drone, testando sua capacidade de despachar rapidamente para áreas afetadas pelo fogo, assim que um alerta for emitido.

Ao analisar o tempo que leva desde a detecção do incêndio até a chegada do drone ao local, propomos colaborar para reduzir o tempo que leva para um incêndio se espalhar e responder de forma eficaz ao princípio de incêndio. Foram realizados testes práticos para verificar a uniformidade e eficácia do uso de retardadores na supressão e extinção de incêndios e garantir a extinção e proteção eficazes das áreas circundantes.

Outro destaque é a capacidade do drone de se adaptar a condições ambientais adversas, incluindo ventos fortes, pouca visibilidade e temperaturas extremas. A ideia é observar como estes equipamentos podem reduzir os desgastes ocupacionais das tropas, como também do número de bombeiros em atuação. Uma análise abrangente é realizada para determinar a capacidade da aeronave de operar com segurança e eficácia sob condições desafiadoras e para garantir sua capacidade de resposta mesmo nas piores condições.

Finalmente, foi explorada a integração de drones com forças terrestres e outros recursos terrestres para garantir uma cooperação eficaz e uma resposta rápida a emergências. É avaliada a capacidade dos veículos aéreos não tripulados de colaborar com as equipes de combate a incêndios, fornecer apoio aéreo e, ao mesmo tempo, complementar eficientemente as operações terrestres.

Lembramos que, o modelo de drone escolhido em nossos estudos, o *Dji Agras T40*, possui velocidade de deslocamento de 7m/s e com uma capacidade de transportar carga de até 40kg. Trazendo maior agilidade no combate e segurança aos operadores, uma vez que possui um raio de atuação de até 2.000 metros.

2.4 Viabilidade logística da utilização de drones no combate a incêndios florestais

Para garantir o sucesso das operações de combate a incêndios florestais utilizando veículos aéreos não tripulados, é essencial uma análise detalhada dos aspectos logísticos envolvidos. Esta seção expande a análise para abordar os requisitos logísticos necessários para operar drones de forma eficiente e segura, garantindo a operação contínua desta importante tecnologia em caso de emergência.

Primeiro, vejamos os aspectos relacionados ao armazenamento de drones e equipamentos relacionados. São discutidas estratégias para garantir a integridade e segurança dos equipamentos quando não estão em uso, levando em consideração condições climáticas adversas e a necessidade de proteção contra danos que possam ocorrer durante o transporte e armazenamento.

A seguir, nos concentraremos na logística de utilização de drones em áreas afetadas pelo fogo. As opções de transporte disponíveis e as considerações logísticas associadas são avaliadas, incluindo a seleção apropriada de veículos, rotas de acesso e procedimentos de segurança durante o transporte. Também são discutidas estratégias para a preparação e mobilidade dos drones, num esforço para reduzir os tempos de resposta a emergências.

Além disso, exploramos estratégias de planejamento de rotas e coordenação operacional para otimizar o uso de drones e maximizar a eficiência das operações de combate a incêndios. Discutimos como integrar drones com outras ferramentas e recursos disponíveis, tais como forças terrestres, aeronaves tripuladas e sistemas de monitoramento remoto. Métodos eficazes de planejamento de rotas também são explorados, levando em consideração fatores como localização do incêndio, condições climáticas e logística de entrega.

A utilização do drone não visa substituir os outros equipamentos de combate a incêndio, mas acrescentar técnica e eficiência, como também redução dos gastos com recursos humanos. O que trará maior eficiência será a integração das ferramentas já existentes com o emprego da nova tecnologia.

3 EFICÁCIA DA APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS POR DRONES

Nesta seção, estendemos a análise para investigar melhor a eficácia do uso de repelentes relacionados aos drones durante o combate a incêndios. Analisaremos exaustivamente os resultados de pesquisas e testes que demonstram a eficácia dessas abordagens de supressão de incêndio e procuraremos compreender os principais benefícios e desafios associados a esta prática inovadora. Revisa pesquisas e dados de testes que demonstram a eficácia do uso de drones em comparação com métodos tradicionais. Realizamos uma análise comparativa da precisão e cobertura das aplicações de impermeabilização, levando em consideração fatores como velocidade de resposta, dispersão do material e capacidade de atingir áreas de difícil acesso. Com base nessas informações, poderemos avaliar a eficácia relativa dos drones como ferramenta de combate a incêndios florestais.

Além disso, serão explorados aspectos de segurança operacional, incluindo protocolos operacionais para prevenir acidentes e garantir a segurança dos bombeiros e moradores. Analisando de perto esses aspectos, poderemos compreender melhor a eficácia geral do uso de repelente no uso de drones no combate a incêndios florestais.

3.1 Avaliando as estratégias adotadas

Sabe-se que a última etapa do processo de gerenciamento de riscos é a avaliação das estratégias empregadas, que tem como objetivo verificar a eficácia das medidas defensivas e de controle adotadas contra os perigos identificados. Nessa fase, busca-se garantir que as medidas foram implementadas corretamente, funcionando conforme planejado e contribuindo para reduzir a probabilidade ou a severidade do risco.

Também é crucial considerar a necessidade de outras medidas para mitigar o risco, avaliando se os colaboradores do setor operacional estão preparados para essas novas medidas, se elas podem gerar novos perigos para a operação e se são compatíveis com as condições atuais de trabalho. O processo de gestão de riscos só é considerado completo após a confirmação da eficácia das decisões tomadas pela organização no que diz respeito à eliminação ou mitigação dos riscos.

Os drones estão se tornando cada vez mais presentes em várias áreas operacionais devido à sua versatilidade e custo operacional reduzido. No contexto do combate a incêndios florestais, esses veículos aéreos autônomos têm várias aplicações, incluindo reconhecimento, monitoramento com câmeras térmicas e até mesmo a distribuição de água ou retardantes, conforme ilustrado na figura abaixo:



Figura 11 - Imagem gerada por Drone durante combate a incêndio florestal.

Ficou verificado diante das exposições que o drone possui a capacidade de atuação nos mesmos tipos de combates que as aeronaves de grande porte, contudo fica limitado a uma capacidade de transpor bem inferior que as mesmas. Entretanto, a sua utilização para combate a incêndio em locais específicos e com uma área mais reduzida e de menor intensidade, temos um grande aumento de sua eficiência devido a precisão na aplicação das substâncias retardantes. Outro aspecto relevante é que diminui acentuadamente o número de combatentes e o risco que os mesmos venham a se envolver. O transporte do mesmo é extremamente mais econômico, como também sua manutenção, e gastos com combustível quando comparados aos usos de aeronaves de asa fixa e móvel, helicópteros e aviões respectivamente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos detalhados sobre a eficácia do uso de drones, comprovam que da mesma forma as aeronaves, podem ser usadas para combater incêndios florestais. Além de revelar informações importantes para melhorar as estratégias de combate a incêndios e a segurança das operações relacionadas.

Analisando os dados e pesquisas disponíveis, fica claro que o uso de drones para aplicar repelentes de insetos e outros produtos químicos oferecem diversas vantagens em relação aos métodos tradicionais de extinção de incêndios por aeronaves. Dessa maneira, pelo princípio da analogia, será bem eficaz na aplicação de substâncias retardantes em incêndios florestais.

A precisão e a cobertura da aplicação foram significativamente melhoradas, permitindo uma resposta mais rápida e eficiente aos incêndios, como mostra a Tabela 3.

Os drones também proporcionam benefícios significativos ao meio ambiente, reduzindo o risco de contaminação dos ecossistemas aquáticos e minimizando os danos à vida selvagem. Esta abordagem inovadora melhora a segurança dos bombeiros e dos residentes, ao mesmo tempo que aumenta a eficiência das operações de combate a incêndios. Entretanto, os métodos tradicionais, como a utilização de aeronaves com sistemas de prevenção de incêndios, ainda desempenham um papel importante no combate aos incêndios florestais. Sistemas Modulares de Combate Aéreo a Incêndio (MAFFS), Helibalde e outras tecnologias comprovadas demonstram sua eficácia e versatilidade no campo.

Em última análise, uma abordagem integrada que utilize drones e aeronaves convencionais oferece a melhor oportunidade para suprimir eficazmente os incêndios florestais

e proteger a vida, a propriedade e o ambiente. Uma compreensão mais profunda da eficácia destas estratégias e o foco contínuo na segurança operacional permitir-nos-ão enfrentar melhor os desafios colocados por futuros incêndios florestais.

REFERÊNCIAS

BATISTA, AC. Avaliação da queima controlada em plantio de pinus no Norte do Paraná. Curitiba, UFPR, 1995. 108f. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal.

CBMDF. **Manual Básico de Combate a Incêndio: Comportamento do Fogo**. Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. – 2ª ed. – CBMDF, 2013.

COSTA, Rafaela Duarte. Análise da atuação dos drones na segurança de um país. 2019. Tese de Doutorado. Disponível em: < <https://run.unl.pt/handle> > Acesso: 16/03/2024.

FIGUEIREDO, Clayson Marlei. O USO DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPAS) EM AÇÕES RELACIONADAS AOS INCÊNDIOS FLORESTAIS. Disponível em:< <http://anais.simposiopicif.org/> >. Acesso: 16/03/2024.

PINTO JUNIOR, James de Angelo et al. Aplicação do drone na engenharia de agrimensura e para o georreferenciamento de imóveis rurais: abordagem histórico legal no Brasil. 2019. Disponível em: < <http://www.repositorio.ufal.br/> >. Acesso: 16/03/2024.

LAZAROTO, João Paulo de Toledo. A utilização de aeronaves de asas rotativas no suporte às operações de combate a incêndios florestais. 2020. Batalhão de Polícia Militar de Operações Aéreas (BPMOA/PMPR). Curitiba, 2020

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MATO GROSSO. Noções básicas de operações aéreas aplicado aos incêndios florestais. Cuiabá, 2020. Módulo V do Material de prevenção e combate a incêndios florestais.

NEXVISION. Nexvision takes part in the "Extrem Owl" project - an innovative HMSD system for helicopter helmets. Disponível em: <https://nexvision.fr/2014/09/nexvision-takes-part-extrem-owl-projectinnovative-hmsd-system-helicopter-helmets>. Acesso em: 27 jul. 2021.

PILOTO POLICIAL. Reforço aéreo controlou 10 focos de incêndio nos últimos três dias no Piauí. Disponível em: <https://www.pilotopolicial.com.br/reforco-aereocontrolou-10-focos-de-incendio-nos-ultimos-tres-dias-no-piaui/>. Acesso em: 05 ago. 2021.

FORÇA AÉREA BRASILEIRA. FAB somou cerca de 900 horas de voo em ações de combate a incêndios na Amazônia. Disponível em:

<https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/34505/>. Acesso em: 05 ago. 2021.

MEIRA, M. S. de .; PEREIRA, I. M., MACHADO, E. L. M.; MOTA, S. da L. L., RIBEIRO, P. S. S. de P., OTONI, T. J. O.. Impacto do Fogo em Campo Sujo no Parque Estadual do Biribiri, Minas Gerais, Brasil. *Floresta E Ambiente*, 24 (2017). <https://doi.org/10.1590/2179-8087.110814>

OLIVEIRA, J.G. de; MASSI, K.G.; BORTOLOZO, L.A.P. ; CUNHA, A.P.M. do A. The influence of climate parameters on fires in the Paraíba do Sul River valley, southeast Brazil. *Rev Ambient Água [Internet]*. 2023;18:e2923. Available from: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2923>

PILOTO POLICIAL. Novas tecnologias e táticas de combate aéreo a incêndios. Disponível em: <https://www.pilotopolicial.com.br/novas-tecnologias-e-taticas-decombate-aereo-incendios/>. Acesso em: 08 ago. 2021.

PILOTO POLICIAL. Drone ajuda bombeiros no combate a incêndio em vegetação na cidade de Chapecó. Disponível em: <https://www.pilotopolicial.com.br/droneajuda-bombeiros-no-combate-incendio-em-vegetacao-na-cidade-de-chapeco/>. Acesso em: 05 ago. 2021.

PILOTO POLICIAL. Novas tecnologias e táticas de combate aéreo a incêndios. Disponível em: <https://www.pilotopolicial.com.br/novas-tecnologias-e-taticas-decombate-aereo-incendios/>. Acesso em: 08 ago. 2021.

SILVA L.I. da, BAPTISTA G.M. de M. Determination of the critical threshold for the occurrence of fires in the Parque Nacional de Brasília (Brazil) through temporal analysis using spectral indices. *Soc nat [Internet]*. 2023;35:e67446. Available from: <https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-67446x>