

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Sarah da Silva Pereira

**USO DE DRONES EM OPERAÇÕES DE BUSCA E
RESGATE: UMA REVISÃO NARRATIVA SOBRE
APLICAÇÕES E DESAFIOS OPERACIONAIS**

Trabalho de Graduação
2024

Curso de Engenharia Aeronáutica

Sarah da Silva Pereira

**USO DE DRONES EM OPERAÇÕES DE BUSCA E
RESGATE: UMA REVISÃO NARRATIVA SOBRE
APLICAÇÕES E DESAFIOS OPERACIONAIS**

Orientador

Prof. Dr. Christopher Shneider Cerqueira (ITA)

ENGENHARIA AERONÁUTICA

**SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Divisão de Informação e Documentação

da Silva Pereira, Sarah

Uso de Drones em Operações de Busca e Resgate: uma Revisão Narrativa sobre Aplicações e Desafios Operacionais / Sarah da Silva Pereira.

São José dos Campos, 2024.

48f.

Trabalho de Graduação – Curso de Engenharia Aeronáutica– Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2024. Orientador: Prof. Dr. Christopher Shneider Cerqueira.

1. Desastres. 2. UAVs. 3. Detecção de sobreviventes. 4. Comunicação pós-desastre. 5. IoT. 6. Autonomia dos drones. 7. Enxame de drones. 8. Engenharia aeronáutica. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Uso de Drones em Operações de Busca e Resgate: uma Revisão Narrativa sobre Aplicações e Desafios Operacionais.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DA SILVA PEREIRA, Sarah. **Uso de Drones em Operações de Busca e Resgate: uma Revisão Narrativa sobre Aplicações e Desafios Operacionais**. 2024. 48f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DA AUTORA: Sarah da Silva Pereira

TÍTULO DO TRABALHO: Uso de Drones em Operações de Busca e Resgate: uma Revisão Narrativa sobre Aplicações e Desafios Operacionais.

TIPO DO TRABALHO/ANO: Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) / 2024

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de graduação pode ser reproduzida sem a autorização da autora.

Sarah Pereira

Sarah da Silva Pereira

Rua H8A, Ap. 107

12228-460 – São José dos Campos–SP

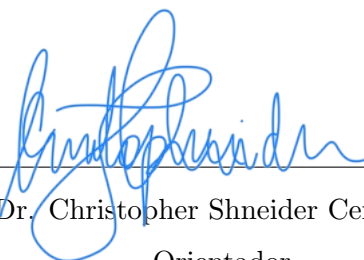
USO DE DRONES EM OPERAÇÕES DE BUSCA E RESGATE: UMA REVISÃO NARRATIVA SOBRE APLICAÇÕES E DESAFIOS OPERACIONAIS

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação

Sarah Pereira

Sarah da Silva Pereira

Autora



Prof. Dr. Christopher Shneider Cerqueira (ITA)

Orientador

Prof. Dr. Vinícius Malatesta
Coordenador do Curso de Engenharia Aeronáutica

São José dos Campos, 17 de novembro de 2024.

Aos meus pais: Taís e Maurício

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha gratidão profunda à minha família. Não teria chegado até aqui sem o apoio e o trabalho árduo de vocês, que sempre se dedicaram para me oferecer uma vida melhor, repleta de oportunidades e aprendizados que, de outra forma, não estariam ao meu alcance. A força de vocês me inspirou a cada passo e me permitiu sonhar e lutar pelos meus objetivos.

Ao meu namorado, Felipe Ramos, sou imensamente grata por seu apoio constante, por saber me cobrar nos momentos certos e por ser ao mesmo tempo gentil e firme. Obrigada pelos nossos "viradões" de estudo juntos. Sua presença sempre me deu forças para continuar.

Aos amigos que marcaram essa jornada, minha gratidão especial vai para Marina, com quem tive conversas divertidas e profundas reflexões sobre a vida — conversas que me fizeram crescer em tantos aspectos. Obrigada estar ao meu lado durante e após esse período desafiador de formação na universidade.

A meus amigos Vinícius Lacerda, Márcio Pantaleão e, novamente, ao meu namorado, agradeço por formarem comigo um grupo de apoio e amizade, tornando minha experiência no ITA ainda mais significativa.

Ao Danton, obrigada pelas conversas e o apoio que compartilhamos durante os anos da dupla diplomação na França. Sua companhia e seu apoio nos estudos foram fundamentais, sempre lá quando precisei. Também não posso deixar de agradecer ao Henrique, com quem, na ENSMA, tive conversas leves e momentos agradáveis.

Finalmente, agradeço ao meu coordenador, que me estendeu a mão em momentos difíceis, especialmente na fase final do TCC.

A todos vocês, minha gratidão por fazerem parte desta trajetória.

*“A experiência não tem nenhum valor ético,
é simplesmente o nome que damos
aos nossos erros.*

— OSCAR WILDE

Resumo

O trabalho examina o uso de drones em operações de busca e resgate, com foco nas aplicações, limitações e desafios enfrentados ao integrar UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) nessas operações. Inicialmente, o estudo apresenta uma revisão sobre as plataformas de UAVs, incluindo drones multirrotores, de asa fixa e híbridos, discutindo suas características e adequação para diferentes contextos de resgate. São abordados os métodos de detecção de humanos, que utilizam câmeras e algoritmos de inteligência artificial para identificar sobreviventes. Além disso, o trabalho explora o uso de redes de comunicação de emergência estabelecidas por drones e a coordenação entre UAVs e dispositivos IoT em áreas atingidas por desastres.

Os desafios operacionais, como limitações de autonomia energética e a complexidade da operação com múltiplos drones, são discutidos em seguida. O estudo destaca ainda a importância de estratégias que aumentem a eficiência e autonomia dos drones em missões prolongadas. Como conclusão, aponta-se a relevância crescente dos UAVs em operações de resgate, especialmente em regiões de difícil acesso, e a necessidade de avanços tecnológicos para superar as limitações atuais e maximizar a eficácia das operações de resposta a desastres.

Abstract

The paper examines the use of drones in search and rescue operations, focusing on the applications, limitations and challenges faced when integrating UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) into these operations. Initially, the study presents a review of UAV platforms, including multi-rotor, fixed-wing and hybrid drones, discussing their characteristics and suitability for different rescue contexts. Human detection methods are addressed, using cameras and artificial intelligence algorithms to identify survivors. In addition, the paper explores the use of emergency communication networks established by drones and coordination between UAVs and IoT devices in disaster-stricken areas.

Operational challenges, such as energy autonomy limitations and the complexity of operating with multiple drones, are then discussed. The study also highlights the importance of strategies to increase the efficiency and autonomy of drones in prolonged missions. In conclusion, it points to the growing relevance of UAVs in rescue operations, especially in hard-to-reach regions, and the need for technological advances to overcome current limitations and maximize the effectiveness of disaster response operations.

Lista de Figuras

FIGURA 1.1 – Número global de desastres registrados por tamanho, de 1900 a 2023. Eventos “pequenos” têm 5 ou menos mortes, menos de 1.500 pessoas afetadas ou danos econômicos relatados inferiores a US\$ 13 milhões. Eventos “grandes” têm pelo menos 50 mortes, mais de 150.000 pessoas afetadas ou danos econômicos relatados de pelo menos US\$ 320 milhões. Pelo menos parte do aumento de eventos de pequeno e médio porte relatados se deve à melhoria dos relatórios ao longo do tempo. (EM-DAT, CRED / UCLouvain, 2024)	16
FIGURA 1.2 – Atuações possíveis dos drones em cenários de desastre	16
FIGURA 1.3 – Imagem area de uma regioao do Rio Grande do Sul antes (esquerda) e depois (direita) (BIERNATH, 2024)	18
FIGURA 2.1 – Apresentação de diferentes tipos de configurações de drones multi-rottores. Em (a) quadricóptero, (b) o hexacóptero, (c) o octocóptero em "x", (d) o octocóptero coaxial. (PEKSA; MAMCHUR, 2024a).	21
FIGURA 2.2 – Em (a) apresenta-se uma esquematização de um drone híbrido e em (b) de um drone de asa fixa (PEKSA; MAMCHUR, 2024a)	22
FIGURA 3.1 – Estrutura básica de uma rede neural (figura adaptada de (POP <i>et al.</i> , 2023))	24
FIGURA 3.2 – Modelos de uma e duas etapas na CNN (baseado em (GOMES, 2022))	25
FIGURA 3.3 – Comparação do uso de câmeras RGB, térmicas e multiespectrais com o intuito de detecção de pessoas em diversos contextos (ULLOA <i>et al.</i> , 2024)	30
FIGURA 4.1 – Arquiteturas de comunicação em enxames de drones. Da esquerda para a direita, SGSN, MGSN e MLSN. (adaptado de (CHEN <i>et al.</i> , 2020))	38

FIGURA A.1 –Mapa temático com do estágio de desenvolvimento pela relevância de um tema (SOTO-VERGEL <i>et al.</i> , 2023)	47
FIGURA A.2 –Mapa de conceitos com as relações entre os diferentes termos conectados com o conceito de desastre (SOTO-VERGEL <i>et al.</i> , 2023)	48

Lista de Tabelas

TABELA 3.1 – Estudos de detecção de humanos e/ou de gestos através dos uso de CNN	27
TABELA 3.2 – Estudos de detecção de humanos e ou sinais vitais	28
TABELA 3.3 – Estudos de UAVs utilizados para restabelecimento de redes de comunicação	31
TABELA 4.1 – Vantagens e desvantagens de cada tipo de formação (adaptada de (BU <i>et al.</i> , 2024))	37
TABELA 4.2 – Diferenças entre as alocações estática e dinâmica	39

Lista de Abreviaturas e Siglas

UAV	Unmanned Aerial Vehicle
VANT	Veículos Aéreos Não Tripulados
UWB	Ultra Wideband
SAR	Search and Rescue
IoT	Internet of Things
ANN	Artificial Neural Network
CNN	Convolutional neural network
R-CNN	Region-based Convolutional Neural Network
RPN	Region Candidate Network
BiFPN	Bidirectional Feature Pyramid Network
SSD	Single Shot MultiBox Detector
NMS	Non-Maximum Suppression
YOLO	You Only Look Once
FCC	Federal Communications Commission
SDR	Software Defined Radio
GCS	Ground Control Station
OLSR	Optimized Link State Routing Protocol
AODV	Ad Hoc On-Demand Distance Vector

Sumário

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Contextualização	15
1.2	Motivação	17
1.3	Organização e considerações	19
2	UAV - PLATAFORMAS	20
2.1	Classificação dos UAVs	20
2.1.1	Drones multirotores	20
2.1.2	Drones de asa fixa	21
2.1.3	Drones híbridos - VTOL	22
3	APLICAÇÕES	23
3.1	Principais Metodos de Detecção de Humanos com UAV's	23
3.1.1	Métodos alternativos	29
3.2	Estabelecimento de redes de comunicação e Coordenação entre UAV e dispositivos IoT	31
4	DESAFIOS OPERACIONAIS	34
4.1	Eficiência energética	35
4.2	Operação com enxames de drones	36
4.2.1	Formação	37
4.2.2	Comunicação	37
4.2.3	Alocação de tarefas	39
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	41

REFERÊNCIAS	42
ANEXO A – EXEMPLO DE UM PRIMEIRO ANEXO	47

1 Introdução

O aumento na frequência e intensidade de desastres naturais e provocados pelo homem tem ressaltado a necessidade de tecnologias que possam mitigar os impactos desses eventos de maneira eficaz e ágil. Nesse contexto, os Veículos Aéreos Não Tripulados (UAVs ou VANTs) emergem como ferramentas indispensáveis, destacando-se por sua versatilidade, baixo custo operacional e capacidade de acessar áreas de difícil alcance. Esta seção apresenta uma visão geral do tema, abordando a relevância do uso de UAVs em operações de busca e resgate, e situando a motivação e objetivos deste estudo dentro de um cenário global de crescente vulnerabilidade a desastres.

1.1 Contextualização

Originalmente desenvolvidos para propósitos militares, os Veículos Aéreos Não Tripulados migraram para o domínio civil, revolucionando áreas como fotografia aérea, mapeamento e modelagem 3D de grandes estruturas, serviços de entrega, monitoramento, agricultura e operações de resgate (PEKSA; MAMCHUR, 2024b).

O uso de drones tem se mostrado especialmente eficaz em situações de calamidade. De acordo com (EM-DAT, CRED / UCLouvain, 2024), há uma tendência crescente no número de desastres de diversas magnitudes. Nos gráficos apresentados na Figura 1.1, disponibilizados em (EM-DAT, CRED / UCLouvain, 2024), o número de desastres em 2023 ao redor do mundo ultrapassou 400. Embora a quantidade de dados disponíveis diminua ao se observar períodos anteriores, o aumento de incidentes de grande porte – para os quais há maior registro – é expressivo, ressaltando a importância de alternativas para mitigar perdas econômicas e humanas.

Os UAVs podem ser utilizados em todas as fases de um desastre – desde o cenário pré ao pós-desastre – mitigando riscos e aumentando a eficiência das equipes de apoio. Por exemplo, drones podem ser empregados na detecção de áreas e estruturas propensas a deslizamentos. Durante um desastre, UAVs podem mapear focos de ignição, uma vez que têm capacidade de voo a baixas altitudes (KHAN *et al.*, 2022a). No cenário pós-desastre, os UAVs podem ser utilizados para entregar remédios e alimentos em áreas inacessíveis,

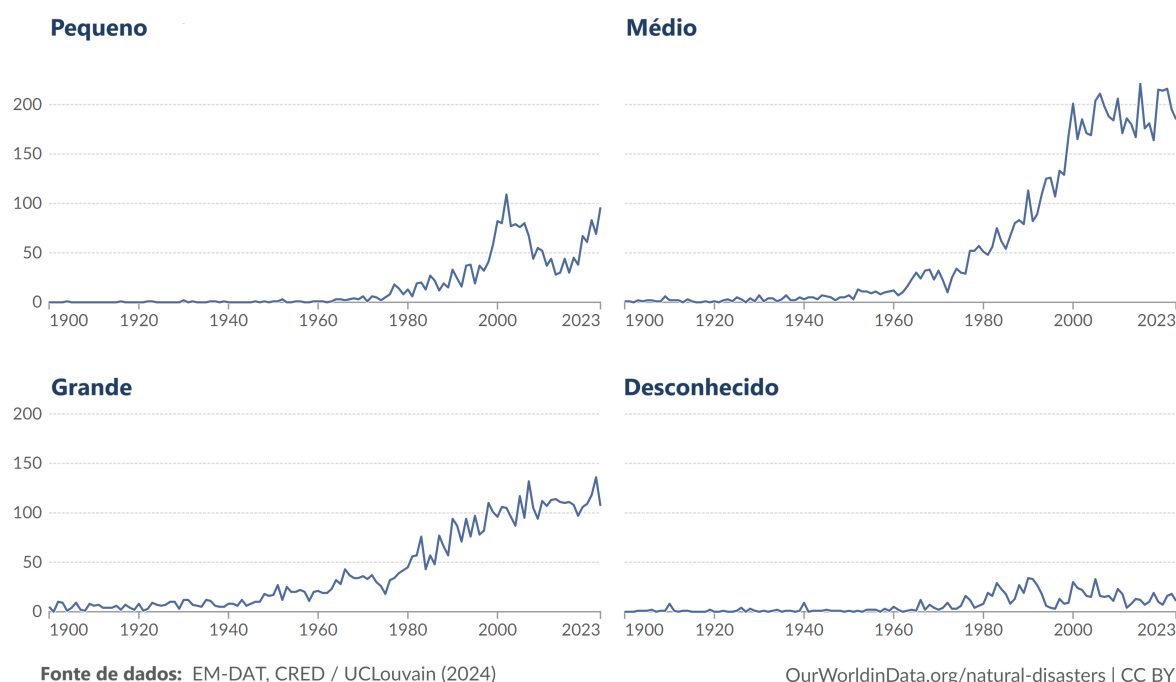


FIGURA 1.1 – Número global de desastres registrados por tamanho, de 1900 a 2023. Eventos “pequenos” têm 5 ou menos mortes, menos de 1.500 pessoas afetadas ou danos econômicos relatados inferiores a US\$ 13 milhões. Eventos “grandes” têm pelo menos 50 mortes, mais de 150.000 pessoas afetadas ou danos econômicos relatados de pelo menos US\$ 320 milhões. Pelo menos parte do aumento de eventos de pequeno e médio porte relatados se deve à melhoria dos relatórios ao longo do tempo. (EM-DAT, CRED / UCLouvain, 2024)

transmitir imagens em tempo real das regiões afetadas e estabelecer redes de comunicação temporárias em locais onde a infraestrutura foi danificada. A Figura 1.2 resume possíveis utilizações dos UAVs antes, durante e após um desastre.

Além disso, o emprego de drones oferece vantagens significativas, como o baixo custo de manutenção e operação em comparação com aeronaves tripuladas (como helicópteros), a facilidade de manobra em regiões com obstáculos e, devido a essas características, uma maior cobertura, considerando o uso de múltiplos drones pelo mesmo custo operacional de aeronaves tripuladas.

1) Antes do desastre: mitigação e preparação	2) Durante o desastre : resposta e apoio	3) Após o desastre: recuperação e reconstrução
<ul style="list-style-type: none"> • Fator de risco • Vulnerabilidade • Análise do cenário • Coleta de dados • Preparo para evacuação 	<ul style="list-style-type: none"> • Providenciar informações em tempo real • Fornecimento de alimentos • Análise do tráfego 	<ul style="list-style-type: none"> • Missões de busca e resgate • Apoio às redes de comunicação • Documentação

FIGURA 1.2 – Atuações possíveis dos drones em cenários de desastre

Mais recentemente, a evolução da Inteligência Artificial ampliou as possibilidades de aplicações com drones, oferecendo às missões de resgate ferramentas adicionais para aumentar sua eficiência, especialmente na detecção de pessoas em áreas afetadas por desastres (VALARMATHI *et al.*, 2023a). O uso de UAVs mostra-se, portanto, uma ferramenta de grande valor para auxílio em emergências.

Apesar das inúmeras vantagens, os drones também apresentam desafios técnicos importantes, como o tempo de bateria, geralmente limitado a 2 horas, e a necessidade de cuidados para evitar colisões com humanos. Por exemplo, drones comerciais, após cuidadosa otimização de seu peso e potência, tem um duração de voo de aproximadamente 30 minutos (ZHANG; ZHU, 2023).

Diversos estudos têm buscado desenvolver algoritmos adaptáveis para mitigar essas restrições (Seon, Jin Kim and Gino J. Lim, 2018). Entretanto, essas limitações não impedem o bom desempenho dos drones em situações de emergência.

Neste trabalho, será realizada uma revisão do uso de drones no contexto de busca e resgate. O tema é especialmente relevante para o cenário brasileiro, considerando as inundações ocorridas no Rio Grande do Sul no início de 2024. A rápida localização de feridos em casos como este é crucial para reduzir as taxas de mortalidade.

1.2 Motivação

Nos últimos três anos, uma série de desastres naturais de grande magnitude evidenciou a vulnerabilidade de várias regiões e a necessidade urgente de aprimorar as operações de resposta. Um exemplo marcante é o Furacão Milton, que em setembro de 2024 cruzou o estado da Flórida, causando evacuações em massa e destruição significativa de infraestrutura. O Furacão Milton foi parte da intensa temporada de furacões do Atlântico de 2024, que afetou diversas áreas do Caribe e do sudeste dos Estados Unidos, destacando os desafios logísticos e humanitários em contextos de desastres em grande escala. De forma semelhante, eventos como os incêndios florestais no Canadá, em 2023, devastaram vastas áreas, tornando muitas regiões inacessíveis e dificultando o trabalho das equipes de resgate.

No Brasil, desastres naturais também são uma preocupação constante, ainda que de natureza diferente de outras regiões do mundo. As inundações no Rio Grande do Sul, em 2024, são um exemplo recente, quando chuvas intensas provocaram enchentes e deslizamentos de terra, afetando um elevado número de habitantes da região (Center for Disaster Philanthropy, 2024). O acesso às áreas inundadas é um processo desafiador, expondo a necessidade de inovações tecnológicas para agilizar a resposta das equipes de resgate. Tais eventos reiteram a importância de estratégias que possam localizar rapidamente vítimas

e fornecer informações precisas às equipes de socorro, minimizando a perda de vidas em cenários de desastre.



FIGURA 1.3 – Imagem area de uma região do Rio Grande do Sul antes (esquerda) e depois (direita) (BIERNATH, 2024)

Neste cenário, o uso de drones tem emergido como uma solução tecnológica promissora para operações de busca e resgate. Equipados com sensores avançados, como câmeras térmicas e radares de banda ultra-larga, os UAVs são capazes de sobrevoar terrenos de difícil acesso e fornecer imagens em tempo real, facilitando a localização de sobreviventes soterrados ou isolados. Além disso, o uso de algoritmos de inteligência artificial permite a detecção autônoma de vítimas, otimizando o tempo de resposta e ampliando a eficácia das operações. Em desastres como o ocorrido no Rio Grande do Sul, o emprego dessas tecnologias podem contribuir significativamente para acelerar a localização de vítimas e a organização das equipes de resgate, potencialmente reduzindo o número de mortes.

Dada a crescente severidade e frequência dos desastres naturais, o uso de UAVs em operações de busca e resgate apresenta-se como uma ferramenta indispensável para maximizar a eficácia e minimizar as fatalidades durante as intervenções em cenários de calamidade.

Quando ocorre uma tragédia, salvar vidas humanas é o problema mais crítico a ser resolvido, sendo que as primeiras 72 horas após o incidente são o período mais crítico para salvamento de vítimas (KHAN *et al.*, 2022a). Nesse caso, os esforços de busca e resgate devem sempre ser realizados de forma rápida e eficiente.

1.3 Organização e considerações

Este trabalho está estruturado em seis seções. A Seção 1, já apresentada, introduz o tema, oferecendo uma contextualização e justificativa para o estudo. A Seção 2 fornecerá uma visão geral dos três principais tipos de drones, destacando as vantagens e desvantagens de cada tipo no contexto de Operações de Busca e Resgate além de abordar os principais sistemas de propulsão e comunicação empregados. A Seção 3 discorrerá sobre três aplicações potenciais dos drones em cenários pós-desastres, incluindo métodos de detecção de pessoas, a utilização de drones para restabelecimento temporário de redes de comunicação e, por fim, a integração entre UAVs e dispositivos IoT. Na Seção 4, serão explorados os desafios operacionais associados ao uso de drones em contextos de desastre. Por fim, a Seção 5 trará as conclusões do trabalho.

2 UAV - plataformas

A escolha da plataforma adequada é um dos principais determinantes do sucesso na aplicação de UAVs em operações de busca e resgate, uma vez que as características técnicas e autonomia energética variam significativamente entre os diferentes tipos de drones, como multirrotores, drones de asa fixa e híbridos. Esta seção explora essas classificações e as especificações dessas plataformas, destacando suas vantagens, limitações e adequação a diferentes cenários operacionais.

2.1 Classificação dos UAVs

Nesta seção, será apresentada uma breve introdução aos tipos de design mais comuns para drones. Outros modelos, como drones de helicóptero de rotor único, drones com rotor inclinado, drones de ventiladores canalizados e drones de asa mista, não serão abordados nesta seção, visando simplificação.

2.1.1 Drones multirrotores

Os drones multirrotores são UAVs equipados com uma ou mais hélices. As configurações mais comuns incluem o octocóptero, o hexacóptero, o quadricóptero e o tricóptero, que possuem, respectivamente, oito, seis, quatro e três rotores e hélices ([AL-LQUBAYDHI et al., 2024](#)). Em termos gerais, esse tipo de drone representa a opção mais econômica entre as várias classes de UAVs ([VALARMATHI et al., 2023b](#)). Exemplos dessas configurações podem ser observados na Figura 2.1. Vale notar que, para um drone com a mesma quantidade de hélices, diferentes configurações podem ser implementadas, como ilustram as Figuras 2.1c e 2.1d, que mostram um octocóptero em configuração "x" e um octocóptero coaxial.

Os quadricópteros são amplamente utilizados em operações de Busca e Resgate (SAR) devido à sua agilidade e à capacidade de alcançar áreas de difícil acesso. Esses drones são particularmente empregados para a obtenção rápida de informações em áreas afetadas por desastres ([PEKSA; MAMCHUR, 2024a](#)).

Os hexacópteros e octocópteros, por sua vez, apresentam diversas vantagens em rela-

ção aos quadricópteros, incluindo maior estabilidade, capacidade de carga e redundância (PEKSA; MAMCHUR, 2024a). Essa redundância é especialmente benéfica em situações de emergência ou em ambientes hostis. Além disso, embora o uso de motores adicionais aumente o consumo de energia, esses drones superam os quadricópteros em termos de tempo de voo, possibilitando operações mais prolongadas.

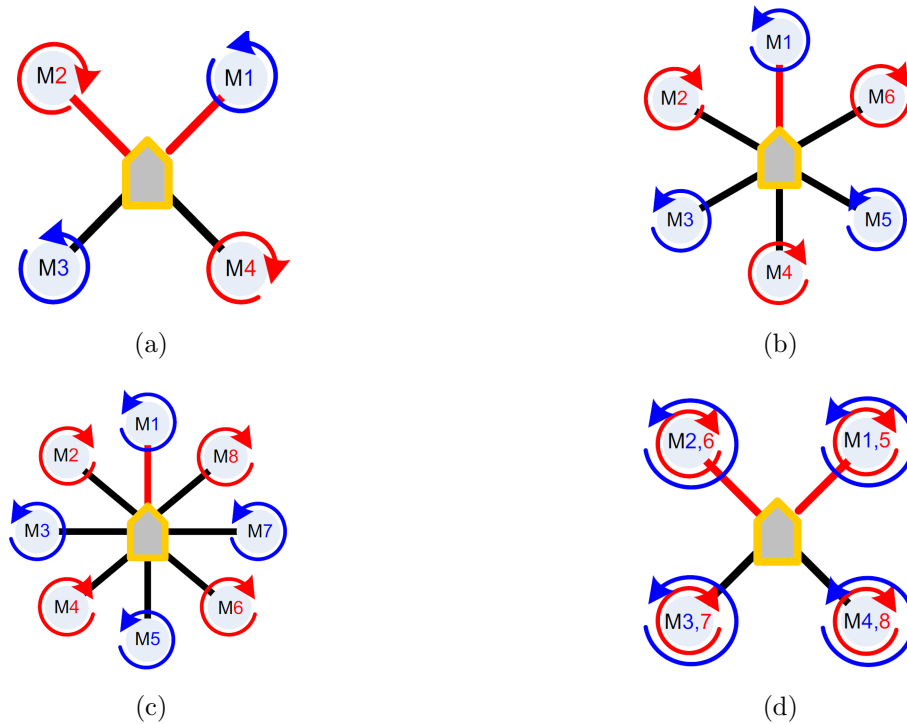


FIGURA 2.1 – Apresentação de diferentes tipos de configurações de drones multirotor. Em (a) quadricóptero, (b) o hexacóptero, (c) o octocóptero em "x", (d) o octocóptero coaxial. (PEKSA; MAMCHUR, 2024a).

2.1.2 Drones de asa fixa

Os drones de asa fixa possuem uma estrutura similar à de aviões, com asas fixas que geram sustentação aerodinâmica durante o voo. Diferentemente dos drones multirotor, eles não são capazes de realizar voo estacionário, necessitando de uma área maior para decolagem e pouso, bem como de maior habilidade do piloto para realizar o pouso de maneira segura, evitando danos à estrutura e aos sensores (BOON *et al.*, 2017). Uma consequência direta do uso de asas para gerar sustentação aerodinâmica é que esses drones utilizam energia apenas para se moverem para a frente, dispensando o consumo constante para manter-se no ar. Assim, tendem a superar os multirotor em termos de eficiência energética para voos de longa duração e em velocidade (VALARMATHI *et al.*, 2023b), sendo especialmente adequados para missões de cobertura de grandes áreas (BOON *et al.*, 2017).

2.1.3 Drones híbridos - VTOL

O VTOL (Vertical Take-Off and Landing) de asa fixa é um drone que combina características de multirotores e de drones de asa fixa (PEKSA; MAMCHUR, 2024a). Como o próprio nome indica, ele permite decolagem e pouso na vertical, e, uma vez em voo, utiliza suas asas para gerar sustentação aerodinâmica. Essa característica torna-o mais eficiente em consumo energético em comparação aos multirotores, situando-se como uma opção intermediária entre multirotores e drones de asa fixa.

Existem diversos tipos de drones VTOL. Muitos são aeronaves de asa fixa convencionais adaptadas com motores de elevação vertical. Outros modelos incluem os chamados “tail sitters”, que possuem uma configuração em que a aeronave repousa com a cauda no chão, apontando diretamente para cima antes de decolar e assumir um voo horizontal. Há também modelos com “rotor inclinado”, nos quais os rotores ou até mesmo toda a asa com hélices podem se inclinar para decolagem vertical, alterando a orientação para a configuração de “avião” após atingir a altitude necessária (VALARMATHI *et al.*, 2023b).

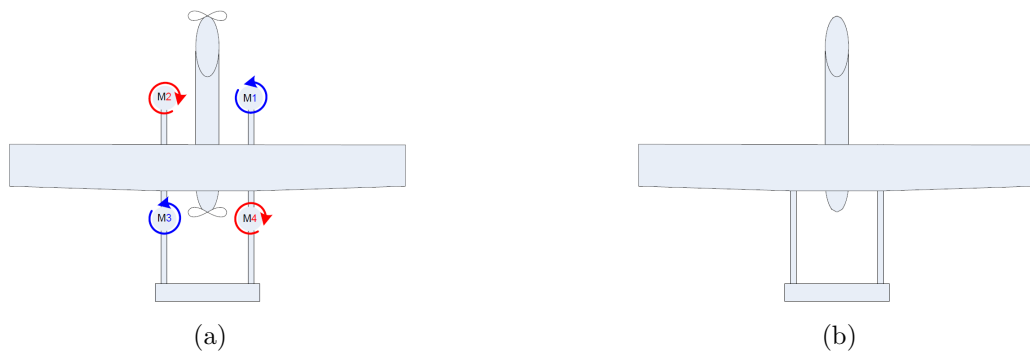


FIGURA 2.2 – Em (a) apresenta-se uma esquematização de um drone híbrido e em (b) de um drone de asa fixa (PEKSA; MAMCHUR, 2024a)

3 Aplicações

Os UAVs têm demonstrado um amplo potencial em cenários pós-desastre, abrangendo aplicações diversas e estratégicas, como discutido na Seção 1.

Nesta seção, são abordados métodos específicos de utilização dessas plataformas, com ênfase na aplicação de técnicas de visão computacional para identificação de sobreviventes, no restabelecimento de conectividade em áreas afetadas e na integração com dispositivos IoT. Essas aplicações são contextualizadas com base nos desafios práticos e avanços tecnológicos recentes, destacando sua relevância em operações críticas.

3.1 Principais Metodos de Detecção de Humanos com UAV's

A identificação de humanos em imagens capturadas por drones representa uma abordagem promissora e eficaz, especialmente em operações de busca e resgate em cenários pós-desastre, como terremotos, inundações e deslizamentos de terra. Essa técnica tem o potencial de acelerar significativamente a localização de vítimas, contribuindo para salvar vidas em situações críticas. A detecção de objetos, uma tarefa clássica da visão computacional, busca identificar e localizar objetos em imagens estáticas ou em movimento (GOMES, 2022). Atualmente, redes neurais artificiais (ANNs) destacam-se como a técnica predominante para resolver esses problemas, especialmente quando combinadas com câmeras RGB, amplamente empregadas na detecção de humanos em cenários de resgate.

A detecção de objetos, uma tarefa clássica da visão computacional, busca identificar e localizar objetos em imagens estáticas ou em movimento (GOMES, 2022). Atualmente, redes neurais artificiais (ANNs) destacam-se como a técnica predominante para resolver esses problemas, especialmente quando combinadas com câmeras RGB.

As redes neurais artificiais constituem uma subárea do aprendizado de máquina, inspirada na arquitetura e no funcionamento do cérebro humano. Essas redes são compostas por nós, que atuam como neurônios artificiais, conectados por meio de links que permitem a transmissão de sinais entre si. As principais características das ANNs incluem a representação do conhecimento por conexões internas e a capacidade de adaptação a diferentes

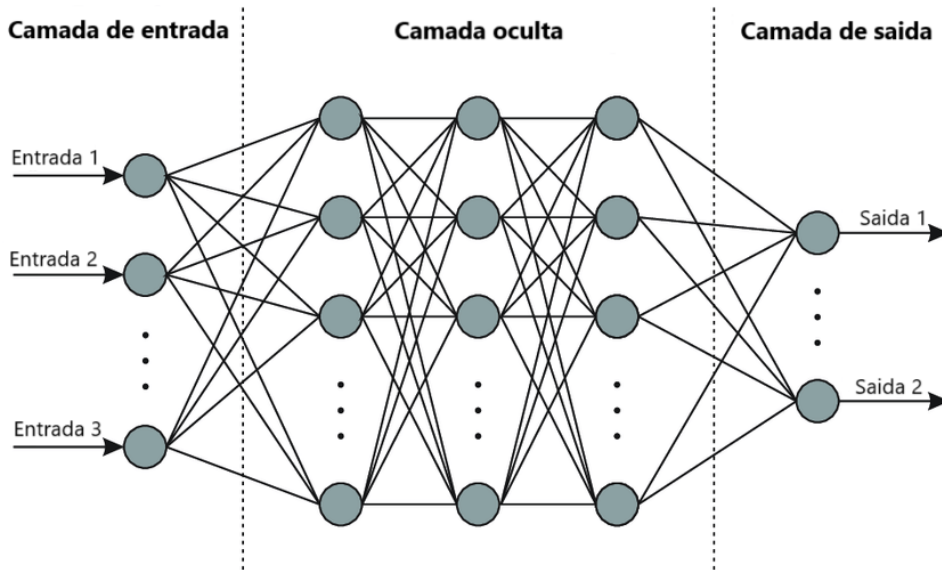


FIGURA 3.1 – Estrutura básica de uma rede neural (figura adaptada de (POP *et al.*, 2023))

características dos dados de entrada, permitindo aprendizado em situações complexas.

A estrutura básica de uma rede neural simples compreende três camadas principais: a camada de entrada, a camada oculta e a camada de saída. A camada de entrada representa as variáveis ou características do conjunto de dados inicial. No caso de imagens, os neurônios dessa camada podem ser configurados para representar os pixels individuais da imagem. A camada oculta, por sua vez, realiza a extração e transformação de informações recebidas da camada de entrada, processando padrões relevantes e agregando conhecimento. Cada neurônio da camada oculta está interconectado aos neurônios da camada anterior, formando uma rede capaz de aprender e generalizar padrões complexos. Finalmente, a camada de saída gera os resultados finais, que incluem, por exemplo, a localização e a classificação de objetos detectados.

Essas camadas são ilustradas na figura 3.1, que representa a estrutura básica de uma rede neural e seu fluxo de processamento.

Uma Rede Neural Convolutiva (CNN) é um tipo especializado de rede neural projetada para o processamento de dados com relações espaciais, como imagens. Esse modelo utiliza uma ou mais camadas convolucionais que aplicam filtros (ou kernels) aos dados de entrada, permitindo a extração de características relevantes (GOMES, 2022). Os filtros funcionam como detectores de padrões, identificando texturas, bordas, formas e outros elementos distintivos nas imagens, o que é fundamental para tarefas de reconhecimento de objetos e classificação visual.

Alguns tipos de CNNs são ilustrados na Figura 3.2, que diferencia os algoritmos com base em seus estágios de processamento. De maneira geral, os algoritmos podem ser categorizados em detectores de um estágio e detectores de dois estágios. Nos detectores de

um estágio, como o YOLO, as etapas de localização e classificação de objetos ocorrem simultaneamente. Essa abordagem é altamente eficiente, resultando em um processamento rápido, sendo ideal para aplicações que exigem reconhecimento em tempo real. Por outro lado, os detectores de dois estágios, como o R-CNN, propõem inicialmente regiões de interesse na imagem e, em seguida, realizam a classificação para determinar as classes dos objetos nessas regiões. Embora essa estratégia seja computacionalmente mais lenta, ela geralmente apresenta maior precisão (KANG *et al.*, 2022).

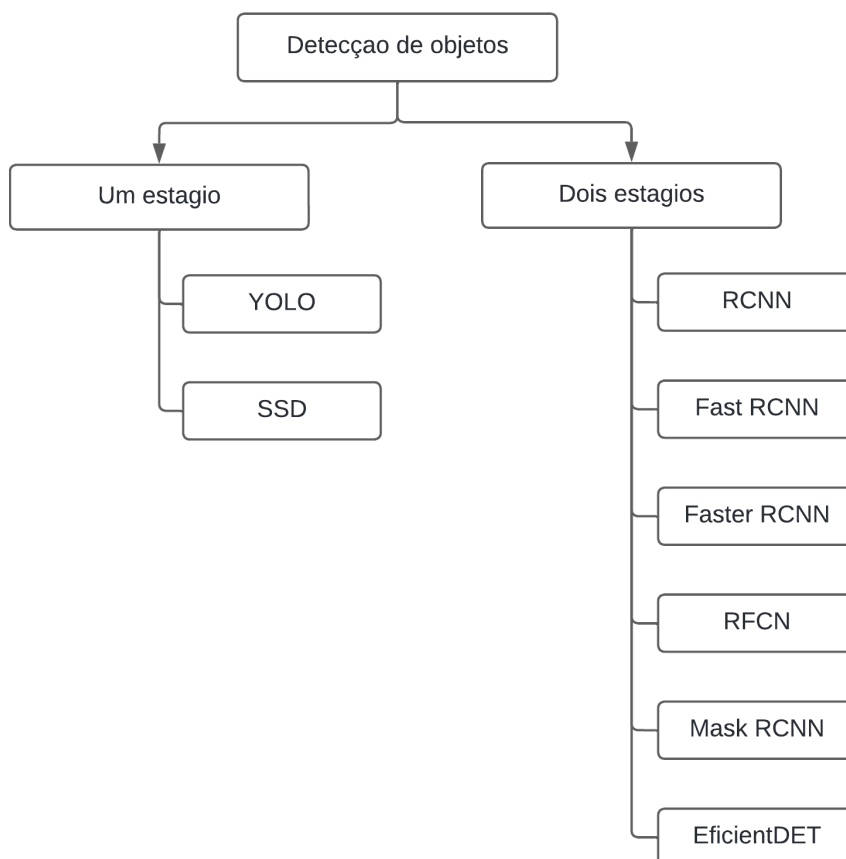


FIGURA 3.2 – Modelos de uma e duas etapas na CNN (baseado em (GOMES, 2022))

Na Tabela 3.1, são apresentados artigos recentes que exploram o uso desses algoritmos para a detecção de pessoas e/ou gestos. Os algoritmos analisados incluem o R-CNN, Faster R-CNN, EfficientDET, SSD e as diferentes versões do YOLO.

A Region-based Convolutional Neural Network (R-CNN), introduzida em 2014, representou um avanço significativo na detecção de objetos, marcando o início da aplicação de redes neurais profundas no reconhecimento de imagens naturais (CONG *et al.*, 2023). A R-CNN utiliza um método de pesquisa seletiva para gerar regiões de interesse – ou caixas delimitadoras – baseando-se em informações como textura, intensidade e cor. Essas regiões são então processadas por uma CNN, que verifica se contêm ou não o objeto de interesse (GOMES, 2022)..

Apesar de seu impacto, o algoritmo R-CNN apresenta limitações para aplicações que

exigem reconhecimento em tempo real, devido à alta complexidade computacional do processo de pesquisa seletiva. Para superar essa limitação, o Faster R-CNN foi proposto como uma melhoria significativa, substituindo a etapa de pesquisa seletiva pela Rede de Propostas de Região (RPN). Essa inovação permite a geração eficiente de regiões de interesse, aumentando consideravelmente a velocidade de processamento sem comprometer a precisão (CONG *et al.*, 2023). Assim, o Faster R-CNN tornou-se amplamente utilizado em aplicações de detecção de objetos em tempo real, onde precisão e desempenho são igualmente críticos.

O Single Shot MultiBox Detector (SSD) é uma CNN amplamente utilizada para tarefas de detecção em tempo real, devido à sua alta velocidade combinada com uma precisão aceitável. Este modelo se destaca pela utilização de camadas convolucionais que geram mapas de características em múltiplas resoluções. Nessas resoluções, outras camadas convolucionais realizam previsões simultâneas de caixas delimitadoras e probabilidades de classe. Para reduzir redundâncias na detecção, o SSD emprega o método de Non-Maximum Suppression (NMS), que mantém apenas as caixas com as maiores pontuações de confiança, eliminando duplicatas e aprimorando a precisão final. Um dos aspectos notáveis do SSD é o uso de mapas de características piramidais, que permitem a detecção de objetos de diferentes tamanhos, processando a imagem em múltiplas escalas (LIU *et al.*, 2016).

Outro método amplamente reconhecido no campo da visão computacional é o You Only Look Once (YOLO) e suas variações. Este modelo é particularmente vantajoso para aplicações que exigem processamento em tempo real, devido à sua abordagem unificada de detecção de objetos. Diferentemente de modelos que utilizam janelas deslizantes ou propostas de regiões, o YOLO trata a tarefa de detecção como um problema de regressão única. A imagem é dividida em uma grade, e cada célula dessa grade realiza previsões simultâneas de caixas delimitadoras e probabilidades de classe, possibilitando que todo o processo de detecção ocorra em uma única etapa (REDMON, 2016). Essa arquitetura confere ao YOLO grande eficiência, com elevada velocidade e precisão, tornando-o especialmente adequado para cenários desafiadores, como operações de busca e resgate (SAR) em condições climáticas adversas, onde a rapidez e a exatidão são fatores cruciais.

O trabalho de (CONG *et al.*, 2023) revisa as principais vantagens e limitações do YOLO, além de comparar as diversas versões do algoritmo. Essa análise destaca as melhorias obtidas ao longo do tempo, tanto em termos de desempenho quanto de aplicabilidade em diferentes cenários de detecção de objetos.

Ref.	Objetivos	Detecção de humanos	Detecção de gestos	Modelo	Precisão
(LYGOURAS <i>et al.</i> , 2019)	Combinação de métodos GNSS e algoritmos de visão computacional para detecção de humanos em alto mar	✓		CNN e Tiny YOLOv3	67% (mAP) 70% (Recall)
(MISHRA <i>et al.</i> , 2020)	Utilização de um modelo SSD modificado e comparação dos resultados com faster R-CNN e R-CNN.	✓	✓	SSD, CNN, Faster R-CNN, R-CNN	98% (mAP)
(DOUSAI; LONČARIĆ, 2022)	Utilização da arquitetura EfficientDET e aprendizado por agrupamento para detecção de humanos em imagens aéreas	✓		EfficientDET, Bi-FPN, FC-FPN	95.11% (mAP)
(LIU; SZIRÁNYI, 2021)	Detecção de humanos e identificação de gestos	✓	✓	Tiny YOLOv3	99.8% - 94.71% (accuracy)
(HNEWA; RADHA, 2020)	Estudo do impacto da chuva na detecção de objetos e humanos	✓		Faster R-CNN, YOLO	-

TABELA 3.1 – Estudos de detecção de humanos e/ou de gestos através dos uso de CNN

Ref.	Descrição	Detecção de sobreviventes	Detecção de sinais vitais	Detecção de sobreviventes sob escombros	Sensores/Tecnologias
(TARIQ <i>et al.</i> , 2018)	Utilização de sensor PIR e câmera para identificação de sobreviventes	✓			Sensor PIR, Câmera
(AL-NAJI <i>et al.</i> , 2019)	Identificar sobreviventes pelo movimento cardiopulmonar		✓		Câmera
(YAMAZAKI <i>et al.</i> , 2020)	Melhorar a detecção de pessoas ao combinar uso detecção áudio e visual	✓			Áudio, Câmera
(RONG <i>et al.</i> , 2021)	Estudo do estado da arte nos avanços relacionados ao uso de UAV para detecção de sinais vitais		✓		-
(JING <i>et al.</i> , 2022)	Detecção de respiração sobre escombros		✓	✓	UWB radar
(STOCKEL <i>et al.</i> , 2023)	Sistema de sensor com um radar rotativo projetado para localizar pessoas em edifícios desmornados.		✓	✓	Radar

TABELA 3.2 – Estudos de detecção de humanos e ou sinais vitais

3.1.1 Métodos alternativos

Esta seção discute abordagens alternativas para a detecção de humanos após desastres naturais, buscando expandir as possibilidades tecnológicas e apresentar métodos que podem ser integrados ao uso de UAVs, a fim de aumentar a eficiência nas respostas pós-desastre.

Conforme já mencionado, os principais métodos de detecção de humanos por veículos aéreos não tripulados envolvem algoritmos de reconhecimento facial e corporal utilizando câmeras RGB. No entanto, alternativas tecnológicas também são viáveis, proporcionando não apenas redundância no sistema, mas também a capacidade de detectar vítimas fora do campo visual. Um exemplo relevante é o uso de sensores de Banda Ultra-Larga (UWB) acoplados a drones para localização de vítimas em espaços internos. Contudo, essa técnica exige que a vítima esteja equipada com um dispositivo transmissor de sinais vitais, o que limita sua aplicabilidade. Outra abordagem em desenvolvimento utiliza sistemas de localização de sinais de telefones celulares para encontrar pessoas soterradas. Além disso, o uso combinado de UAVs e veículos terrestres não tripulados (UGVs) tem sido explorado para potencializar operações SAR, especialmente em ambientes de difícil acesso ([SOTO-VERGEL et al., 2023](#)).

O artigo ([SOTO-VERGEL et al., 2023](#)) apresenta uma revisão sistemática de mais de 67 estudos publicados entre 2009 e 2023, focando em tecnologias desenvolvidas para detecção de humanos em terra após desastres naturais, incluindo métodos baseados em smartphones, sensores híbridos e tecnologias complementares. As Figuras [A.1](#) e [A.2](#), apresentadas no apêndice, foram retiradas deste estudo.

A Figura [A.1](#) mostra um mapa temático derivado da Figura [A.2](#), onde palavras-chave são posicionadas de acordo com sua relevância e nível de desenvolvimento. De acordo com ([SOTO-VERGEL et al., 2023](#)), UAVs e UGVs, integrando câmeras e técnicas de inteligência artificial, representam as abordagens mais frequentemente utilizadas para a detecção de vítimas.

A Figura [A.2](#) apresenta um Mapa de Conceitos, que ilustra visualmente as relações entre diferentes termos e tecnologias por meio de nós conectados por linhas. Este mapa destaca três eixos principais: o grupo vermelho refere-se aos avanços em UAVs, o verde abrange veículos terrestres não tripulados e robótica, enquanto o roxo está relacionado a sistemas de telecomunicações sem fio. O grupo marrom representa soluções baseadas em áudio, um domínio menos explorado, mas com potencial para complementar as tecnologias

O uso de tecnologias baseadas em radar tem se mostrado eficaz na identificação de sinais vitais e pequenos movimentos humanos, mesmo através de detritos. Sensores como radares de Banda Ultra-Larga e o método *Stepped-Frequency Continuous Wave* são amplamente utilizados, possibilitando a detecção de alvos humanos em condições adversas.

No entanto, essas tecnologias apresentam desafios práticos, como alto consumo de energia e tamanho dos equipamentos, dificultando sua utilização em campo (SOTO-VERGEL *et al.*, 2023).

As Redes de Sensores Sem Fio (WSNs) também desempenham um papel relevante no monitoramento de áreas afetadas por desastres. Essas redes utilizam protocolos como Wi-Fi e LoRa para integrar sensores de temperatura, movimento e acústicos, permitindo o monitoramento ambiental e a detecção de presença humana. Apesar de sua eficiência, desafios relacionados ao consumo energético e à necessidade de uma grande quantidade de nós para cobrir áreas extensas limitam sua aplicabilidade em cenários complexos (SOTO-VERGEL *et al.*, 2023).

Outra alternativa inovadora inclui o uso de smartphones como dispositivos de localização, permitindo a detecção de vítimas por meio de triangulação de sinais. Entretanto, a eficácia deste método é limitada em condições extremas, devido à dependência de infraestrutura de comunicação funcional e da necessidade de os dispositivos das vítimas estarem operacionais (SOTO-VERGEL *et al.*, 2023).

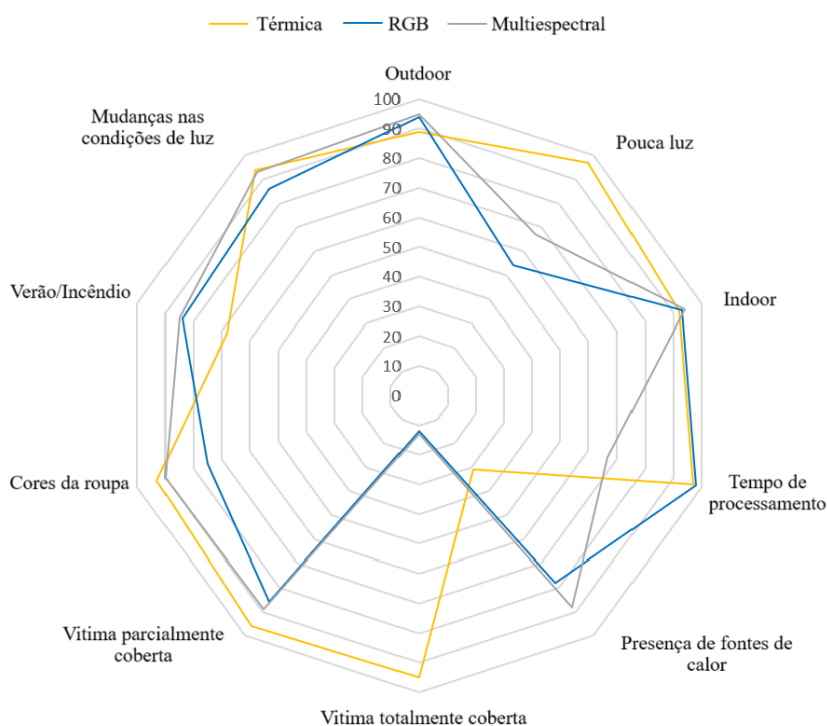


FIGURA 3.3 – Comparação do uso de câmeras RGB, térmicas e multiespectrais com o intuito de detecção de pessoas em diversos contextos (ULLOA *et al.*, 2024)

O artigo (VINCENT-LAMBERT *et al.*, 2023) analisa a aplicação de UAVs em operações de busca e resgate em áreas selvagens, onde a visibilidade é limitada e o terreno apresenta dificuldades significativas.

Para operações com UGVs em ambientes externos, sensores como câmeras RGB, tér-

micam e multiespectrais são amplamente utilizados. O artigo (ULLOA *et al.*, 2024) oferece uma análise comparativa entre esses sensores, destacando suas vantagens e limitações no contexto de detecção de vítimas. A Figura 3.3 resume o desempenho desses sensores em diferentes cenários de resgate.

3.2 Estabelecimento de redes de comunicação e Coordenação entre UAV e dispositivos IoT

Em cenários pós-desastres naturais ou incidentes causados pelo homem, como ataques militares ou explosões, as infraestruturas e os sistemas de comunicação tradicionais frequentemente colapsam, deixando as áreas afetadas sem meios de comunicação. Durante o furacão Harvey, ocorrido nos EUA em 2017, por exemplo, a FCC relatou que apenas uma das dezenove torres de celular no condado de Aransas, no Texas, permaneceu funcional, enquanto 85% das torres ficaram fora de operação nos condados vizinhos. Essa falta de conectividade dificulta a localização de sobreviventes e, muitas vezes, impossibilita que as vítimas solicitem ajuda.

Ref.	Descrição
(LIU <i>et al.</i> , 2020)	Estuda algoritmos para estabelecer o número mínimo de pontos de retransmissão necessários para garantir a estabilidade da comunicação com o uso de UAVs
(SAIF <i>et al.</i> , 2020)	Propõe um modelo que otimiza o ângulo de elevação dos UAVs para maximizar a cobertura e a conectividade, além de avaliar seu desempenho em termos de perda de sinal, taxa de transferência e probabilidade de cobertura.
(YAO <i>et al.</i> , 2021)	O artigo propõe um modelo de comunicação de emergência usando redes baseadas em drones 5G e superfícies inteligentes refletoras para restabelecer a conectividade em áreas de desastre.
(RUKAIYA <i>et al.</i> , 2024a)	O artigo propõe o uso de UAVs equipadas com sistemas 3G/4G/5G/Wifi e Software Defined Radios (SDRs) para transmitir dados de forma eficiente e com baixa latência.

TABELA 3.3 – Estudos de UAVs utilizados para restabelecimento de redes de comunicação

Como a recuperação das linhas terrestres pode ser demorada, soluções baseadas em redes aéreas têm sido exploradas como alternativas viáveis para mitigar os impactos da perda de infraestrutura de comunicação. Veículos de alta altitude, como balões e gliders, podem ser utilizados devido à sua capacidade de permanecerem operacionais por longos períodos. Contudo, a ausência de sistemas de propulsão limita a rapidez de sua implantação e a flexibilidade em relação ao posicionamento (MATRACIA *et al.*, 2022).

Os satélites representam outra alternativa importante, destacando-se iniciativas como a Starlink, que fornece internet via satélites. Em outubro de 2024, a Starlink foi utilizada

para estabelecer "links de comunicação em Gaza com organizações de ajuda reconhecidas internacionalmente" (KAUR, 2024). Os satélites podem atuar como rede de distribuição para veículos de alta altitude ou operar de forma similar a Estações Base Aéreas (ABS) (MATRACIA *et al.*, 2022).

UAVs também têm se mostrado eficientes como retransmissores temporários de comunicação em áreas onde a infraestrutura foi destruída. Em especial, drones podem carregar estações base móveis 5G que estabelecem redes temporárias de celular, permitindo que dispositivos móveis se conectem para realizar chamadas ou acessar a internet. Essa abordagem tem sido amplamente utilizada em situações de emergência devido à sua capacidade de rápida implantação e flexibilidade operacional.

Por exemplo, o trabalho apresentado em (PANDA *et al.*, 2019) utiliza placas Raspberry Pi montadas em UAVs para criar uma cadeia de pontos de acesso Wi-Fi em regiões afetadas. Este sistema conecta sobreviventes a centros de assistência, abordando desafios técnicos como a sincronização entre UAVs, estabilidade da comunicação e gerenciamento de dados. Para superar a limitação de cobertura do Wi-Fi, o artigo propõe transformar smartphones em retransmissores de sinal, ampliando a área de conectividade.

Adicionalmente, (RUKAIYA *et al.*, 2024b) propõe UAVs equipados com tecnologias sem fio avançadas, incluindo 3G/4G/5G/WiFi e rádios definidos por software (SDRs). A conectividade é garantida por formas de onda SDR de última geração, com algoritmos projetados para oferecer baixa latência e alta eficiência na formação de redes UAV multiusuárias. O estudo demonstrou que essa abordagem apresenta melhor latência em comparação com protocolos de roteamento ad hoc convencionais, como OLSR e AODV.

Apesar de suas vantagens, o estabelecimento de redes aéreas apresenta desafios significativos, como a complexidade de implantação dos nós de comunicação, o controle eficiente de trajetórias – especialmente em enxames de drones – e a limitação da autonomia de voo (MATRACIA *et al.*, 2022). Além disso, a otimização da posição de cada nó na rede é um problema crítico que tem sido amplamente estudado em artigos relacionados ao uso de UAVs em redes pós-desastre.

Uma abordagem notável do uso de drones para restabelecimento de redes de comunicação foi implementada durante o desastre na Península de Noto, no Japão, onde drones conectados a cabos de carregamento mantiveram os sistemas de comunicação funcionais por mais de quatro dias, operando a 100 metros de altitude (ISHIWATARI, 2024).

Dispositivos IoT podem ser definidos como objetos físicos conectados à internet, capazes de coletar, transmitir e processar dados de forma autônoma (KHANNA; KAUR, 2020). No contexto de desastres, os dispositivos IoT podem ser utilizados para compreender o ambiente, auxiliar na tomada de decisão e monitorar sinais vitais (BAIL *et al.*, 2021).

Contudo, as limitações de alcance e energia desses dispositivos frequentemente resul-

tam em perda de dados e comunicação de baixa qualidade. Para mitigar essas limitações, UAVs têm sido propostos como intermediários para coleta e retransmissão de dados de dispositivos IoT a uma estação base. Além disso, drones também podem ser usados para realizar o carregamento remoto desses dispositivos, ampliando sua autonomia operacional. A aplicação dessa abordagem, contudo, deve considerar as próprias restrições dos drones, como a limitação energética e o alcance máximo de comunicação entre o UAV e a estação base ([KHAN *et al.*, 2022b](#); [WANG *et al.*, 2019](#)) .

4 Desafios operacionais

Tecnologias empregadas em cenários de desastres devem atender a um conjunto de características essenciais que maximizem sua eficácia e adaptabilidade às condições adversas. Essas características podem incluir:

1. Alto nível de autonomia;
2. Resistência a condições adversas, como ventos fortes, altas temperaturas ou poeira, dependendo do tipo de desastre;
3. Sistemas de comunicação independentes de redes convencionais, frequentemente danificadas em tais situações;
4. Capacidade de coleta e análise de dados em tempo real;
5. Interoperabilidade com outras ferramentas;
6. Capacidade de detecção de sinais vitais, entre outros.

Os UAVs, ou drones, destacam-se como uma solução altamente flexível e eficiente para atender a essas demandas, particularmente em operações de busca e resgate. Entre as características listadas, essas plataformas são capazes de atender aos requisitos (3), (4), (5) e (6), oferecendo sistemas de comunicação independentes, coleta de dados em tempo real, interoperabilidade tecnológica e capacidade de detecção de sinais vitais. Além disso, os UAVs apresentam um custo relativamente baixo e acessibilidade a áreas de difícil alcance, tornando-se ferramentas indispensáveis em cenários de desastre.

No entanto, apesar de suas vantagens, essas plataformas enfrentam desafios significativos que limitam sua aplicação plena. Entre os principais desafios estão as limitações relacionadas à autonomia energética, a complexidade de coordenação em missões multi-drones e as dificuldades de operação em condições ambientais severas. Esses aspectos ressaltam a necessidade de avanços contínuos em tecnologia e estratégia para maximizar o potencial dos UAVs em cenários críticos.

O primeiro desafio está relacionado ao consumo energético elevado dos UAVs e UGVs. Esses veículos exigem uma quantidade significativa de energia para operar, o que pode se

tornar crítico em missões prolongadas. Por serem dispositivos com alta demanda energética, precisam retornar frequentemente às suas estações de carregamento, muitas vezes antes de concluírem suas tarefas. Por essa necessidade de retornar à base recorrentemente, a obtenção de atualizações em tempo real pode ser dificultada, o que compromete a tomada de decisões em situações críticas de desastre, já que informações desatualizadas podem levar a decisões errôneas (SOTO-VERGEL *et al.*, 2023).

O segundo desafio decorre da necessidade de utilizar múltiplos veículos para cobrir grandes áreas de desastre. Tradicionalmente, drones eram operados manualmente ou, em alguns casos, por meio de controle semiautomático. No entanto, com o avanço das tecnologias, a tendência futura é a transição para operações multi-drones autônomas e colaborativas, em que UAVs operam de forma integrada em enxames. Essa evolução tem o potencial de aumentar significativamente a eficiência das operações SAR. Entretanto, essa abordagem impõe dificuldades associadas à coordenação de vários robôs, exigindo o desenvolvimento de algoritmos colaborativos e eficientes. Tais algoritmos não apenas demandam recursos computacionais significativos, mas também enfrentam restrições impostas pelas condições extremas do ambiente de operação, tornando o problema ainda mais complexo. Em conclusão, a utilização de sistemas baseados em UAVs e UGVs em cenários de desastres exige a implementação de unidades mais eficientes e eficazes(SOTO-VERGEL *et al.*, 2023).

A seção 4.1 trará reflexões sobre alternativas para aumento da eficiência energética dos drones baseando-se no artigo (WEI *et al.*, 2023), enquanto a seção 4.2 discutirá alguns dos desafios da operação em enxames de drones.

4.1 Eficiência energética

Como já discutido, os UAVs demandam uma quantidade significativa de energia para operar eficientemente, especialmente quando equipados com sensores ou cargas úteis. A autonomia energética desses dispositivos depende diretamente da tecnologia de sua fonte de energia, que pode ser baseada em baterias elétricas ou combustíveis fósseis. A busca por maior eficiência energética é um campo interdisciplinar que abrange não apenas o desenvolvimento de drones, mas também avanços em sistemas de propulsão e tecnologias associadas. Nesta seção, entretanto, o foco será direcionado para alternativas de coleta de energia durante o voo, excluindo-se estudos relacionados a tecnologias internas de armazenamento energético.

Entre os diferentes tipos de drones, os multirrotores apresentam menor autonomia energética em comparação aos drones de asa fixa ou híbridos (ABIDALI *et al.*, 2024). Isso se deve ao fato de que a sustentação nos multirrotores é inteiramente dependente das

hélices acionadas por motores de alta potência, o que demanda consumo contínuo de energia, mesmo em voo estacionário. Em contrapartida, drones de asa fixa utilizam a aerodinâmica de suas asas para gerar sustentação passiva, reduzindo significativamente o consumo energético, especialmente em missões de longa duração.

Para estender a autonomia energética dos UAVs, especialmente em missões prolongadas, diversas estratégias têm sido investigadas. Entre elas, destacam-se as fontes de energia solar e mecânica.

A uso energia solar envolve a aplicação de células fotovoltaicas para gerar energia adicional. Essa abordagem, mais comumente aplicada em drones de asa fixa devido à sua maior área de superfície, também tem sido explorada em drones multirrotores. Por exemplo, (ABIDALI *et al.*, 2024) demonstra o uso de painéis solares como fonte de energia em micro drones multirrotores. Já a energia mecânica investiga formas de capturar energia de vibrações ou movimentos durante o voo.

O artigo (WEI *et al.*, 2023) aborda varias possibilidades de estratégias de uso de energia mecânica como uma solução sustentável e viável para aumentar a autonomia de UAVs. Três abordagens principais são exploradas: (1) vibração induzida pelo vento, onde a energia cinética do vento é convertida em eletricidade por meio de materiais piezoelétricos ou eletromagnéticos; (2) coleta de energia de asas batentes, que recicla a energia cinética gerada pelo movimento de batimento das asas. Esse tipo de coleta de energia é feita para tipos de drones ornitópteros; e (3) dinâmica de voo planado, uma técnica inspirada no movimento de albatrozes que utiliza gradientes de vento para fornecer propulsão direta sem conversão eletromecânica.

Essas metodologias apresentam vantagens, como a capacidade de operar continuamente, mas enfrentam desafios práticos relacionados à eficiência de conversão energética, compatibilidade estrutural e variação das condições ambientais. Enquanto a colheita de energia por vibração e asas batentes é mais adequada para alimentar dispositivos eletrônicos de baixa potência a bordo, a dinâmica de voo planado demonstra potencial para fornecer propulsão direta e alcançar UAVs totalmente autossuficientes.

4.2 Operação com enxames de drones

O uso de múltiplos UAVs em missões de grande escala oferece vantagens significativas em comparação com a utilização de um único drone. Entre essas vantagens estão a redução do tempo de operação, a diminuição da taxa de falhas e a capacidade de realizar múltiplas tarefas de forma simultânea (JAVED *et al.*, 2024).

Apesar do potencial, o desenvolvimento de sistemas para gerenciar a formação, co-

municação, planejamento de rotas e alocação de tarefas em enxames de drones apresenta desafios consideráveis, exigindo avanços em algoritmos de controle, comunicação robusta e eficiência computacional.

4.2.1 Formação

O controle de formação é um aspecto essencial para a operação de enxames de drones, e três estratégias principais têm sido investigadas: formação centralizada, descentralizada e distribuída.

Formação centralizada: Um centro de controle (como uma estação terrestre ou um UAV líder) gerencia a formação.

Formação descentralizada: Os UAVs agem com base em regras predefinidas e coordenam-se com seus vizinhos por meio de comunicação sensorial ou visual.

Formação distribuída: Cada UAV possui maior autonomia, compartilhando informações e tomando decisões que beneficiam o coletivo.

As vantagens e desvantagens de cada abordagem são sintetizadas na Tabela 4.1, baseada na revisão de (BU *et al.*, 2024).

Formação	Vantagens	Desvantagens
Centralizada	<ul style="list-style-type: none"> • Simplicidade na tomada de decisões • Consistência nas ações • Facilidade de implementação 	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas de escalabilidade • Ponto Único de Falha
Descentralizada	<ul style="list-style-type: none"> • Escalabilidade • Flexibilidade • Adaptabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Coordenação complexa • Design complexo • Testabilidade complexa
Distribuída	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidade • Alta tolerância à falhas • Escalabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação complexa

TABELA 4.1 – Vantagens e desvantagens de cada tipo de formação (adaptada de (BU *et al.*, 2024))

4.2.2 Comunicação

Como discutido anteriormente, a comunicação entre drones desempenha um papel crítico na distribuição de informações dentro de um enxame. Essa comunicação pode ser classificada como centralizada ou descentralizada, dependendo da arquitetura empregada.

No modelo centralizado, cada UAV mantém uma relação ponto a ponto com um nó central, como uma estação terrestre ou um drone líder. Essa abordagem é estável e adequada para missões que cobrem áreas relativamente pequenas. Contudo, em cenários que envolvem grandes distâncias, a eficiência é comprometida devido ao aumento da latência e à possibilidade de falhas na comunicação. Além disso, em caso de interrupção no nó central, toda a rede fica inoperante, tornando essa arquitetura inadequada para aplicações em contextos de busca e resgate (CHEN *et al.*, 2020).

A comunicação descentralizada, por outro lado, elimina a dependência de um nó central, sendo ideal para operações de larga escala e maior resiliência. De acordo com (CHEN *et al.*, 2020), esse modelo pode ser subdividido em três arquiteturas principais:

SGSN (Single-Group Swarm Ad hoc Network): A comunicação externa do enxame é centralizada em um UAV específico, enquanto a comunicação interna ocorre de forma ad hoc. Apesar de sua simplicidade, esse sistema exige que os UAVs mantenham padrões homogêneos de voo, como velocidades e orientações semelhantes.

MGSN (Multi-Group Swarm Ad hoc Network): Combina características do modelo centralizado e do SGSN. A comunicação entre grupos de drones é centralizada, enquanto a comunicação interna dos grupos segue o modelo ad hoc. Essa abordagem permite o uso de UAVs heterogêneos para diferentes tarefas.

MLSN (Multi-layer Swarm Ad hoc Network): Essa arquitetura avançada organiza a comunicação em três camadas. Na primeira, UAVs dentro de um mesmo grupo comunicam-se diretamente; na segunda, UAVs gateway roteiam dados entre grupos; e, na terceira, os gateways conectam-se a redes externas, como estações de controle. Esse modelo é altamente escalável e robusto, com capacidade de reconfiguração dinâmica sem criar pontos únicos de falha.

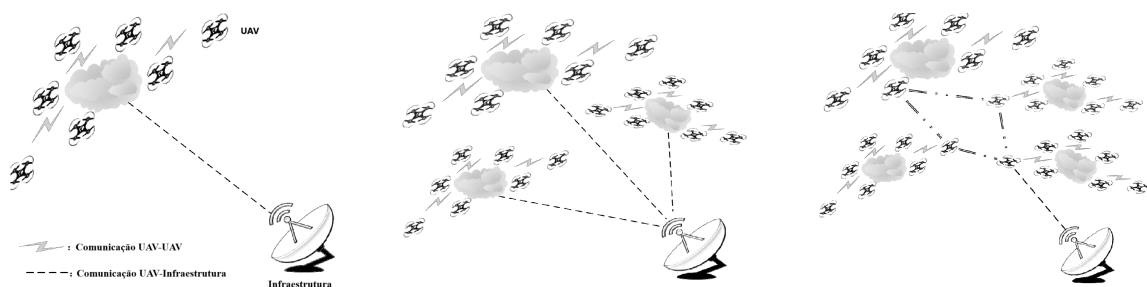


FIGURA 4.1 – Arquiteturas de comunicação em enxames de drones. Da esquerda para a direita, SGSN, MGSN e MLSN. (adaptado de (CHEN *et al.*, 2020))

A comunicação dentro do enxame pode ocorrer utilizando diferentes topologias, como anel, estrela, malha e totalmente conectada. Na topologia anel, os UAVs comunicam-se em um loop bidirecional; Na estrela, todos os UAVs estão conectados a um nó central; Na malha, cada UAV se conecta a múltiplos vizinhos, proporcionando redundância; Na

configuração totalmente conectada, todos os UAVs se comunicam diretamente entre si, garantindo alta resiliência, mas com maior consumo de recursos.

4.2.3 Alocação de tarefas

A alocação de tarefas é um componente essencial para a coordenação eficiente e autônoma de múltiplos UAVs em missões como busca e resgate, mapeamento e monitoramento. Esse processo visa distribuir tarefas entre os drones de forma otimizada, considerando variáveis como capacidades individuais dos UAVs, energia disponível e mudanças dinâmicas no ambiente (GHAURI *et al.*, 2024).

Dependendo do ambiente operacional, a alocação de tarefas pode ser categorizada como estática ou dinâmica:

Alocação estática: As tarefas são pré-determinadas antes do início da missão, e nenhuma modificação é permitida durante a execução. Esse método é adequado para cenários previsíveis, mas apresenta baixa flexibilidade, sendo limitado em situações imprevisíveis. **Alocação dinâmica:** As tarefas podem ser ajustadas ou redistribuídas em tempo real, permitindo maior adaptabilidade em cenários imprevisíveis. Esse método, embora mais complexo, é ideal para missões SAR, onde mudanças repentinas podem ocorrer durante a operação.

A Tabela 4.2 resume as principais diferenças entre esses dois métodos de alocação.

Parâmetros	Alocação estática	Alocação Dinâmica
Atribuição de tarefas	Pré-determinada	Adaptável
Flexibilidade	Baixa ; tarefas não podem ser reatribuídas	Alta; tarefas podem ser reatribuídas
Escalabilidade	Baixa	Alta
Complexidade computacional	Menos	Maior
Adequação	Trabalhos previsíveis	Trabalhos imprevisíveis
Dependência de informações	Baseia-se unicamente em informações prévias à missão	Depende de dados reais
Requisitos de comunicação	Moderada	Alta
Capacidade dos UAVs	Poder computacional básico	Poder computacional alto

TABELA 4.2 – Diferenças entre as alocações estática e dinâmica

Algoritmos específicos para alocação de tarefas variam de métodos baseados em otimização clássica a técnicas avançadas, como aprendizado de máquina e teoria de jogos, que consideram os requisitos específicos de missões dinâmicas e colaborativas. Esses algoritmos são fundamentais para lidar com cenários complexos, onde fatores como sobreposição de tarefas, tempo e consumo energético desempenham papéis críticos. O artigo (GHAURI

et al., 2024) apresenta e discute diferentes algoritmos de alocação que são usados na literatura.

5 Considerações Finais

Este trabalho apresentou uma revisão narrativa sobre o uso de drones em operações de busca e resgate, destacando as principais aplicações, desafios operacionais e as tecnologias emergentes que visam aprimorar a eficiência dessas operações. Inicialmente, foram exploradas as diferentes plataformas de UAVs, analisando suas características e adequações para diferentes cenários de desastres. Métodos de detecção de humanos com UAVs, como o uso de câmeras RGB associadas a algoritmos de inteligência artificial, foram amplamente discutidos, evidenciando o potencial dessas tecnologias na localização de sobreviventes.

Além disso, abordou-se o papel crucial dos drones no restabelecimento de redes de comunicação em cenários pós-desastre, onde a infraestrutura tradicional foi comprometida. Por fim, o estudo analisou os desafios operacionais enfrentados pelos UAVs, como limitações de autonomia energética e a complexidade associada à operação em enxames.

Os resultados desta revisão evidenciam a crescente relevância dos drones em operações de busca e resgate, especialmente em regiões de difícil acesso ou onde a infraestrutura foi severamente danificada. No entanto, também ressaltam a necessidade de avanços tecnológicos, particularmente em eficiência energética, algoritmos de coordenação de múltiplos drones e estratégias de comunicação descentralizadas.

Como perspectivas futuras, recomenda-se o desenvolvimento de modelos híbridos que integrem UAVs a outras tecnologias emergentes, como robôs terrestres e dispositivos IoT. Esses avanços poderão consolidar ainda mais os UAVs como uma ferramenta indispensável em resposta a desastres naturais e emergências.

Referências

- ABIDALI, A.; AGHA, S. A.; MUNJIZA, A.; SHAHEED, M. H. Development of a solar powered multicopter micro aerial vehicle. **Scientific Reports**, Nature Publishing Group UK London, v. 14, n. 1, p. 5771, 2024.
- AL-LQUBAYDHI, N.; ALENEZI, A.; ALANAZI, T.; SENYOR, A.; ALANEZI, N.; ALOTAIBI, B.; ALOTAIBI, M.; RAZAQUE, A.; HARIRI, S. Deep learning for unmanned aerial vehicles detection: A review. **Computer Science Review**, Elsevier, v. 51, p. 100614, 2024.
- AL-NAJI, A.; PERERA, A. G.; MOHAMMED, S. L.; CHAHL, J. Life signs detector using a drone in disaster zones. **Remote Sensing**, MDPI, v. 11, n. 20, p. 2441, 2019.
- BAIL, R. d. F.; KOVALESKI, J. L.; SILVA, V. L. da; PAGANI, R. N.; CHIROLI, D. M. d. G. Internet of things in disaster management: Technologies and uses. **Environmental Hazards**, Taylor & Francis, v. 20, n. 5, p. 493–513, 2021.
- BIERNATH, C. C. e. C. S. A. **O antes e depois de regiões devastadas pelas inundações no Rio Grande do Sul**. 2024.
<https://www.bbc.com/portuguese/articles/ck5kp34nr1do>.
- BOON, M. A.; DRIJFHOUT, A. P.; TESFAMICHAEL, S. Comparison of a fixed-wing and multi-rotor uav for environmental mapping applications: A case study. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Copernicus Publications Göttingen, Germany, v. 42, p. 47–54, 2017.
- BU, Y.; YAN, Y.; YANG, Y. Advancement challenges in uav swarm formation control: A comprehensive review. **Drones**, MDPI, v. 8, n. 7, p. 320, 2024.
- Center for Disaster Philanthropy. **2024 Rio Grande do Sul Brazil Floods**. 2024. [Link](#).
- CHEN, X.; TANG, J.; LAO, S. Review of unmanned aerial vehicle swarm communication architectures and routing protocols. **Applied Sciences**, MDPI, v. 10, n. 10, p. 3661, 2020.
- CONG, X.; LI, S.; CHEN, F.; LIU, C.; MENG, Y. A review of yolo object detection algorithms based on deep learning. **Frontiers in Computing and Intelligent Systems**, v. 4, n. 2, p. 17–20, 2023.

- DOUSAI, N. M. K.; LONČARIĆ, S. Detecting humans in search and rescue operations based on ensemble learning. **IEEE access**, IEEE, v. 10, p. 26481–26492, 2022.
- EM-DAT, CRED / UCLouvain. **Number of reported natural disasters with a large impact – EM-DAT**. 2024. <https://www.emdat.be/>;
<https://ourworldindata.org/grapher/natural-disasters-by-yearly-impact>. Dataset with major processing by Our World in Data.
- GHAURI, S. A.; SARFRAZ, M.; QAMAR, R. A.; SOHAIL, M. F.; KHAN, S. A. A review of multi-uav task allocation algorithms for a search and rescue scenario. **Journal of Sensor and Actuator Networks**, MDPI, v. 13, n. 5, p. 47, 2024.
- GOMES, J. V. E. **Detecção de objetos com a arquitetura YOLO**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização do curso) — Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, MG, 2022.
- HNEWA, M.; RADHA, H. Object detection under rainy conditions for autonomous vehicles: A review of state-of-the-art and emerging techniques. **IEEE Signal Processing Magazine**, IEEE, v. 38, n. 1, p. 53–67, 2020.
- ISHIWATARI, M. Leveraging drones for effective disaster management: A comprehensive analysis of the 2024 noto peninsula earthquake case in japan. **Progress in Disaster Science**, Elsevier, p. 100348, 2024.
- JAVED, S.; HASSAN, A.; AHMAD, R.; AHMED, W.; AHMED, R.; SAADAT, A.; GUIZANI, M. State-of-the-art and future research challenges in uav swarms. **IEEE Internet of Things Journal**, IEEE, 2024.
- JING, Y.; QI, F.; YANG, F.; CAO, Y.; ZHU, M.; LI, Z.; LEI, T.; XIA, J.; WANG, J.; LU, G. Respiration detection of ground injured human target using uwb radar mounted on a hovering uav. **Drones**, MDPI, v. 6, n. 9, p. 235, 2022.
- KANG, J.; TARIQ, S.; OH, H.; WOO, S. S. A survey of deep learning-based object detection methods and datasets for overhead imagery. **IEEE Access**, IEEE, v. 10, p. 20118–20134, 2022.
- KAUR, B. **Elon Musk diz que vai fornecer internet em Gaza com a Starlink**. 2024. <https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/elon-musk-diz-que-vai-fornecer-internet-em-gaza-com-a-starlink/>.
- KHAN, A.; GUPTA, S.; GUPTA, S. K. Emerging uav technology for disaster detection, mitigation, response, and preparedness. **Journal of Field Robotics**, Wiley Online Library, v. 39, n. 6, p. 905–955, 2022.
- KHAN, A.; GUPTA, S.; GUPTA, S. K. Emerging uav technology for disaster detection, mitigation, response, and preparedness. **Journal of Field Robotics**, Wiley Online Library, v. 39, n. 6, p. 905–955, 2022.
- KHANNA, A.; KAUR, S. Internet of things (iot), applications and challenges: a comprehensive review. **Wireless Personal Communications**, Springer, v. 114, p. 1687–1762, 2020.

- LIU, C.; SZIRÁNYI, T. Real-time human detection and gesture recognition for on-board uav rescue. **Sensors**, MDPI, v. 21, n. 6, p. 2180, 2021.
- LIU, D.; JIANG, Q.; ZHU, H.; HUANG, B. Distributing uavs as wireless repeaters in disaster relief via group role assignment. **International Journal of Cooperative Information Systems**, World Scientific, v. 29, n. 01n02, p. 2040002, 2020.
- LIU, W.; ANGUELOV, D.; ERHAN, D.; SZEGEDY, C.; REED, S.; FU, C.-Y.; BERG, A. C. Ssd: Single shot multibox detector. *In*: SPRINGER. **Computer Vision—ECCV 2016: 14th European Conference, Amsterdam, The Netherlands, October 11–14, 2016, Proceedings, Part I 14. Proceedings [...]**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 21–37.
- LYGOURAS, E.; SANTAVAS, N.; TAITZOGLU, A.; TARCHANIDIS, K.; MITROPOULOS, A.; GASTERATOS, A. Unsupervised human detection with an embedded vision system on a fully autonomous uav for search and rescue operations. **Sensors**, MDPI, v. 19, n. 16, p. 3542, 2019.
- MATRACIA, M.; SAEED, N.; KISHK, M. A.; ALOUINI, M.-S. Post-disaster communications: Enabling technologies, architectures, and open challenges. **IEEE Open Journal of the Communications Society**, IEEE, v. 3, p. 1177–1205, 2022.
- MISHRA, B.; GARG, D.; NARANG, P.; MISHRA, V. Drone-surveillance for search and rescue in natural disaster. **Computer Communications**, Elsevier, v. 156, p. 1–10, 2020.
- PANDA, K. G.; DAS, S.; SEN, D.; ARIF, W. Design and deployment of uav-aided post-disaster emergency network. **IEEE access**, IEEE, v. 7, p. 102985–102999, 2019.
- PEKSA, J.; MAMCHUR, D. A review on the state of the art in copter drones and flight control systems. **Sensors**, MDPI, v. 24, n. 11, p. 3349, 2024.
- PEKSA, J.; MAMCHUR, D. A review on the state of the art in copter drones and flight control systems. **Sensors**, MDPI, v. 24, n. 11, p. 3349, 2024.
- POP, A.-C.; CAI, Z.; GYSELINCK, J. J. Machine-learning aided multiobjective optimization of electric machines—geometric-feasibility and enhanced regression models. **IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Industrial Electronics**, IEEE, v. 4, n. 3, p. 844–854, 2023.
- REDMON, J. You only look once: Unified, real-time object detection. *In*: **Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Proceedings [...]**. [S.l.: s.n.], 2016.
- RONG, Y.; GUTIERREZ, R.; MISHRA, K. V.; BLISS, D. W. Noncontact vital sign detection with uav-borne radars: An overview of recent advances. **IEEE Vehicular Technology Magazine**, IEEE, v. 16, n. 3, p. 118–128, 2021.
- RUKAIYA, R.; KHAN, S. A.; FAROOQ, M. U.; MATLOOB, I. Communication architecture and operations for sdr-enabled uavs network in disaster-stressed areas. **Ad Hoc Networks**, Elsevier, v. 160, p. 103506, 2024.
- RUKAIYA, R.; KHAN, S. A.; FAROOQ, M. U.; MATLOOB, I. Communication architecture and operations for sdr-enabled uavs network in disaster-stressed areas. **Ad Hoc Networks**, Elsevier, v. 160, p. 103506, 2024.

- SAIF, A.; DIMYATI, K.; NOORDIN, K. A.; SHAH, N. S. M.; ABDULLAH, Q.; MUKHLIF, F. Unmanned aerial vehicles for post-disaster communication networks. *In: IEEE. 2020 IEEE 10th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET). Proceedings [...]. [S.l.: s.n.]*, 2020. p. 273–277.
- Seon, Jin Kim and Gino J. Lim. Drone flight scheduling under uncertainty on battery duration and air temperature. **Computers Industrial Engineering**, 2018.
- SOTO-VERGEL, A. J.; VELEZ, J. C.; AMAYA-MIER, R.; PARDO, M. Transforming ground disaster response: Recent technological advances, challenges, and future trends for rapid and accurate real-world applications of survivor detection. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, Elsevier, v. 98, p. 104094, 2023.
- STOCKEL, P.; WALLRATH, P.; HERSCHEL, R.; POHL, N. Detection and monitoring of people in collapsed buildings using a rotating radar on a uav. **IEEE Transactions on Radar Systems**, IEEE, 2023.
- TARIQ, R.; RAHIM, M.; ASLAM, N.; BAWANY, N.; FASEEHA, U. Dronaid: A smart human detection drone for rescue. *In: IEEE. 2018 15th International Conference on Smart Cities: Improving Quality of Life Using ICT & IoT (HONET-ICT). Proceedings [...]. [S.l.: s.n.]*, 2018. p. 33–37.
- ULLOA, C. C.; ORBEA, D.; CERRO, J. del; BARRIENTOS, A. Thermal, multispectral, and rgb vision systems analysis for victim detection in sar robotics. **Applied Sciences**, MDPI, v. 14, n. 2, p. 766, 2024.
- VALARMATHI, B.; KSHITIJ, J.; DIMPLE, R.; GUPTA, N. S.; ROBINSON, Y. H.; ARULKUMARAN, G.; MULU, T. Human detection and action recognition for search and rescue in disasters using yolov3 algorithm. **Journal of Electrical and Computer Engineering**, Wiley Online Library, v. 2023, n. 1, p. 5419384, 2023.
- VALARMATHI, B.; KSHITIJ, J.; DIMPLE, R.; GUPTA, N. S.; ROBINSON, Y. H.; ARULKUMARAN, G.; MULU, T. Human detection and action recognition for search and rescue in disasters using yolov3 algorithm. **Journal of Electrical and Computer Engineering**, Wiley Online Library, v. 2023, n. 1, p. 5419384, 2023.
- VINCENT-LAMBERT, C.; PRETORIUS, A.; TONDER, B. V. Use of unmanned aerial vehicles in wilderness search and rescue operations: a scoping review. **Wilderness & Environmental Medicine**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 34, n. 4, p. 580–588, 2023.
- WANG, Z.; LIU, R.; LIU, Q.; THOMPSON, J. S.; KADOCH, M. Energy-efficient data collection and device positioning in uav-assisted iot. **IEEE Internet of Things Journal**, IEEE, v. 7, n. 2, p. 1122–1139, 2019.
- WEI, X.; YI, Z.; LI, W.; ZHAO, L.; ZHANG, W. Energy harvesting fueling the revival of self-powered unmanned aerial vehicles. **Energy Conversion and Management**, Elsevier, v. 283, p. 116863, 2023.
- YAMAZAKI, Y.; PREMACHANDRA, C.; PEREA, C. J. Audio-processing-based human detection at disaster sites with unmanned aerial vehicle. **IEEE Access**, IEEE, v. 8, p. 101398–101405, 2020.

YAO, Z.; CHENG, W.; ZHANG, W.; ZHANG, H. Resource allocation for 5g-uav-based emergency wireless communications. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, IEEE, v. 39, n. 11, p. 3395–3410, 2021.

ZHANG, Z.; ZHU, L. A review on unmanned aerial vehicle remote sensing: Platforms, sensors, data processing methods, and applications. **drones**, MDPI, v. 7, n. 6, p. 398, 2023.

Anexo A - Exemplo de um Primeiro Anexo

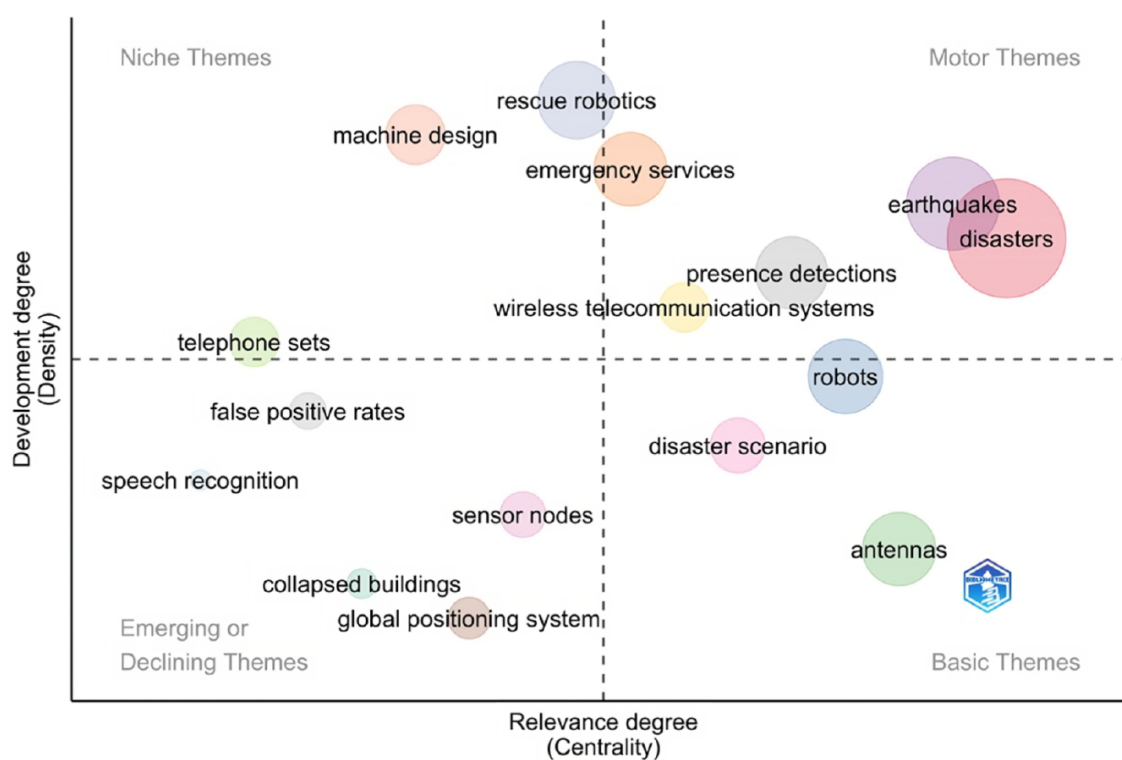


FIGURA A.1 – Mapa temático com do estágio de desenvolvimento pela relevância de um tema (SOTO-VERGEL *et al.*, 2023)

