



5

TECNOLOGIA PARA CONSERVAÇÃO  
**DRONES PARA CONSERVAÇÃO**



## Tecnologias de drones para conservação

James Duffy<sup>1</sup>, Karen Anderson<sup>1</sup>, Aurélie Shapiro<sup>2</sup>, Felipe Spina Avino<sup>3</sup>, Leon DeBell<sup>1</sup>, Paul Glover-Kapfer<sup>4</sup>. 2020. Série de Tecnologias para Conservação do WWF 1(5).

O WWF é uma das maiores e mais experientes organizações independentes de conservação, com mais de 5 milhões de apoiadores e uma rede global ativa em mais de 100 países. A missão do WWF consiste em impedir a degradação do ambiente natural do planeta e em construir um futuro no qual seres humanos vivam em harmonia com a natureza, conservando a diversidade biológica do mundo, garantindo que o uso de recursos naturais renováveis seja sustentável e promovendo a redução da poluição e do consumo predatório.

Filiação dos autores:

- 1 - Laboratório de Drones da Universidade de Exeter
- 2 - Space+Science, WWF-Alemanha
- 3 - WWF-Brasil
- 4 - Flora & Fauna International

Imagem da capa: Ilha de Kandahalagala no Atol Huvadhu, Maldivas. Imagem registrada com uma Ricoh GR11 acoplada a um 3DR Solo © James Duffy

Relatório desenvolvido por Anita Drbohlav ([www.paneemadesign.com](http://www.paneemadesign.com)); suporte editorial: Espin Bowder; coordenação da tradução para o Português: Felipe Spina Avino

Citação recomendada:

Duffy, P., Anderson, K., Shapiro, A.C., Spina Avino, F. L. DeBell & Glover-Kapfer, P. 2020. Tecnologias de Drones para Conservação, Série de Tecnologia para Conservação WWF 1(5). WWF. (Ed. Português).

© WWF



Visão aérea de cultivo de arroz, Ubud, Bali, Indonésia  
© Fabia Gysel/iStock/Getty Images



# FIGURAS

## CAPÍTULO 2

**Figura 1** Linha do tempo do uso militar e civil dos drones – de Giomes a Brem (2017) 20

**Figura 2** A Zipline utiliza a tecnologia de drone para entrega de suprimentos médicos urgentes para comunidades locais 21

## CAPÍTULO 3

**Figura 3** Uma imagem de drone mostra a vegetação árida do Deserto do Novo México, tirada por um DJI Phantom 4 28

**Figura 4** Ninho de orangotangos avistado durante um mapeamento aéreo com drone na Reserva Florestal de Bukit Puton 30

**Figura 5** Barcos de pesca são descarregados em Kayar, Senegal 31

**Figura 6** Mapeamento por drone de botos da Amazônia, Brasil 32

**Figura 7** Utilização de drones para estimar características corporais de cetáceos 34

**Figura 8** Sete pontos de boas práticas para operações com drones – adaptado de Hodgson e Koh (2016) 35

**Figura 9** Treinamento de grupos indígenas na Floresta Amazônica para monitorar incêndios florestais e desmatamentos com a ajuda de drones 37

## CAPÍTULO 5

**Figura 10** Drones multirotores comerciais constituem boa parte do mercado consumidor de drones 41

**Figura 11** Drone customizado de asa fixa. Fuselagem X-UAV Skua com 3DR, Piloto automático Pixhawk, GNSS uBlox M8N, Motor Profissional Sem Escovas Purple Power PO-3548-1100, Hélice de Madeira 10X6, ESC T-Motor 60A, servo de metal digital FrSky e bateria de 10.000 MAH 44

**Figura 12** Drone comercial de asa fixa eBee para mapeamentos 45

**Figura 13** Cálculo da área de pouso para drones de asa fixa 45

**Figura 14** Protótipo do Prime Air Drone para a Amazônia 45

**Figura 15** Sistema de asa fixa de baixo custo utilizado por “Drones de Conservação” 46

**Figura 16** Representação do ângulo diedro e impacto na estabilidade de voo 47

**Figura 17** Capacidade de pouso com paraquedas para drones de asa fixa 47

**Figura 18** Drones comerciais: à esquerda, o 3DR Solo, e à direita, o Phantom 4. Ambos incluem câmeras em estabilizadores, peso de decolagem de <2KG e podem voar por 15-25 minutos com uma única bateria (<U\$1.500) 48

**Figura 19** Quadricóptero Tarot 650 modificado com piloto automático 3DR Pixhawk, motor e hélices Multistar, GNSS u-blox M8N e bateria de 1.000mAh 49

**Figura 20** Construção de drones multirotores de baixo custo usando o Pixhawk no Cerrado brasileiro 50

**Figura 21** Um drone 3DR Solo equipado com diversas câmeras e baterias extras, verificadas antes de cada voo 53

**Figura 22** Drone customizado com 6 rotores para transportar uma câmera SLR para fotografias profissionais 54

**Figura 23** Ortomosaico e DSM sobre uma floresta incendiada ilegalmente em uma área protegida na Amazônia brasileira 58

## CAPÍTULO 7

**Figura 24** Exemplo de mapa NOTAM da região sudoeste dos Estados Unidos em 9 de setembro de 2020. Os NOTAMs em vermelho e roxo são espaços aéreos restritos para VANTs devido a atividades militares ou outras atividades planejadas. O círculo contém informações indicando outras restrições do espaço aéreo para determinadas altitudes acima do nível do solo 70

**Figura 25** As complexas designações volumétricas do “espaço aéreo” que se aplicam amplamente ao mundo inteiro 70

**Figura 26** Recomendações para drones da autoridade de aviação civil de Singapura 72

**Figura 27** Esquerda: captura de tela do aplicativo NATS-Assist em 20 de dezembro de 2018. O ponto azul mostra a localização do operador do drone, e as áreas circulares são os locais onde há restrições no espaço aéreo. Com o aplicativo, os usuários podem criar NOTAMs para operações com drones. Direita: capturas de tela do aplicativo B4UFLY 73

**Figura 28** O uso de sistemas de mapeamento RTK no solo inclui uma estação-base (esquerda) e marcadores de referência em pontos de controle no solo posicionados dentro da área de mapeamento (direita) 75

## CAPÍTULO 8

**Figura 29** Mapeamento por drone de gaviais no Nepal, uma espécie de crocodilo criticamente ameaçada conhecida por seu comprimento significativo 81

## CAPÍTULO 9

**Figura 30** Treinamento de grupos indígenas na Floresta Amazônica para monitorar incêndios e desmatamentos com a ajuda de drones 88

## CAPÍTULO 10

<b>Figura 31</b>	Baleias-jubarte, menção honrosa na categoria Vida Selvagem, Drone Awards 2018	94
<b>Figura 32</b>	O Skyrunner é um VANT dirigível polonês fabricado pela Sky&You	96

## CAPÍTULO 11

<b>Figura 33</b>	Uma imagem visível RGB de drone (topo) e a abordagem de visão térmica para a detecção de filhotes de cervos escondidos em campos relvados. Os filhotes são automaticamente detectados por software de IA e resgatados antes das operações de ceifa	99
<b>Figura 34</b>	Gaiola de proteção para o DJI Mavic 2	100
<b>Figura 35</b>	Enxame de drones sobre a Muralha de Xi'an	102
<b>Figura 36</b>	Exemplo de drone Wing movido a energia solar	104
<b>Figura 37</b>	Classificação do espaço aéreo e requisitos para pilotos	106
<b>Figura 38</b>	Sistema de gestão do espaço aéreo que inclui drones leves	107
<b>Figura 39</b>	Sistema de Gestão de Tráfego de VANTs sendo explorado pela FAA	108

## TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Exemplos de drones leves usados em pesquisas ecológicas	24
<b>Tabela 2</b>	Resumo dos diferentes recursos dos drones	60
<b>Tabela 3</b>	Resumo dos modos operacionais para a maioria dos drones leves comerciais	74
<b>Tabela 4</b>	Indústria de VANTs e legislação para as maiores regiões econômicas do mundo	76
<b>Tabela 5</b>	Softwares e aplicativos terceiros disponíveis para o planejamento de drones	82
<b>Tabela 6</b>	Lista não exaustiva de pacotes de software de fotogrametria	83

## GLOSSÁRIO DE TERMOS

<b>AGL</b>	Acima do Nível do Solo (Above Ground Level)
<b>AOI</b>	Área de Interesse (Area of Interest)
<b>ARF</b>	Quase Pronto para Voar (Almost Ready to Fly)
<b>ATC</b>	Controle de Tráfego Aéreo (Air Traffic Control)
<b>BEC</b>	Circuito Eliminador de Bateria (Battery Eliminator Circuit)
<b>B-VLOS</b>	Além da Linha de Visada Visual (Beyond Visual Line of Site)
<b>CAA</b>	Autoridade de Aviação Civil
<b>CHDK</b>	Canon Hack Development Kit
<b>CMOS</b>	Semicondutor de Óxido Metálico de Simetria Complementar
<b>CW</b>	Sentido Horário (Clockwise)
<b>CCW</b>	Sentido Anti-Horário (Counter-clockwise)
<b>DSM</b>	Modelo Digital de Superfície (Digital Surface Model)
<b>DJI</b>	Da-Jiang Innovations
<b>ESC</b>	Controlador Eletrônico de Velocidade
<b>FL</b>	Nível de Voo (Flight Level)
<b>FLIR</b>	Radar de Visão Frontal Infravermelha
<b>FPV</b>	Visão em Primeira Pessoa (First Person View)
<b>SIG</b>	Sistemas de Informação Geográfica
<b>GPS</b>	Sistema de Posicionamento Global
<b>GNSS</b>	Sistema Global de Navegação por Satélite
<b>IATA</b>	Associação Internacional de Transportes Aéreos ICAO
<b>ICAO</b>	Organização de Aviação Civil Internacional KAP
<b>KAP</b>	Fotografia Aérea com Pipa
<b>LiDAR</b>	Detecção e Alcance da Luz
<b>LiPo</b>	Polímero de Lítio
<b>LRS</b>	Sistemas de Longo Alcance (Long Range Systems)
<b>MP</b>	Megapixels
<b>NATS</b>	Serviço Nacional de Tráfego Aéreo
<b>NDVI</b>	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
<b>ONG</b>	Organização Não Governamental
<b>NOTAM</b>	Aviso aos Aeronavegantes
<b>OPTO</b>	Optoisoladores
<b>OSD</b>	Exibição na Tela
<b>PfAW</b>	Permissão para Trabalhos Aéreos
<b>PNP</b>	Plug and Play
<b>PPK</b>	Cinemático Pós-Processado
<b>RC</b>	Controle por Radiofrequência
<b>RGB</b>	Vermelho, Verde e Azul
<b>RPAS</b>	Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada
<b>RTF</b>	Pronto para Voar (Ready to Fly)
<b>RTH</b>	Retornar para Casa (Return to Home)
<b>RTK</b>	Posicionamento Cinemático em Tempo Real
<b>RTL</b>	Retornar para Local de Lançamento (Return to Launch)
<b>SfM-MVS</b>	Estrutura por Movimento e Estéreo por Multivisadas
<b>TLS</b>	Scanner a Laser Terrestre
<b>TOW</b>	Peso de Decolagem (Take-off Weight)
<b>VANT</b>	Veículo Aéreo Não Tripulado
<b>UTM</b>	Gestão de Tráfego de Sistemas Aéreos Não Tripulados
<b>VFR</b>	Regras de Voo Visual
<b>VLOS</b>	Linha de Visada Visual (Visual Line of Sight)

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>Prefácio</b>	<b>16</b>
1.1	Introdução	16
1.2	Escopo	17
1.3	A estrutura do guia	17
<b>2</b>	<b>A evolução do drone</b>	<b>19</b>
2.1	Origem militar	19
2.2	A dicotomia do drone na conservação	20
2.3	Plataformas amadoras para ciência e conservação	22
<b>3</b>	<b>Então você quer usar um drone para conservação?</b>	<b>27</b>
3.1	Drones de última geração na conservação	27
3.2	Flora terrestre	27
3.3	Fauna terrestre	30
3.4	Flora marinha/costeira	31
3.5	Sistemas aquáticos	32
3.6	Relação entre seres humanos, drones e vida selvagem	36
3.7	Manejo de áreas protegidas	36
<b>4</b>	<b>Realizando um mapeamento com drone em 10 passos claros</b>	<b>39</b>
<b>5</b>	<b>Anatomia do drone</b>	<b>41</b>
5.1	Tipos de aeronaves	42
5.1.1	Balões cabeados e pipas	43
5.1.2	Asa fixa	43
5.1.3	Drones multirrotores	48
5.2	Controle de voo	50
5.3	Baterias	51
5.3.1	Segurança das LiPos	51
5.3.2	Carga, descarga e duração da bateria	53
5.3.3	Viajando com baterias LiPo	54
5.3.4	Resumo	55
5.4	Motores, hélices e controladores eletrônicos de velocidade	56
5.4.1	Motores	56
5.4.2	Hélices	57
5.4.3	Controladores Eletrônicos de Velocidade (ESCs)	59
5.4.4	Controle por rádio (Rx/Tx) e telemetria	59
<b>6</b>	<b>Sensores para drones</b>	<b>63</b>
6.1	Introdução	63
6.2	Visão geral dos sensores para drones	64

<b>7</b>	<b>Planejamento de voo e operações</b>	<b>69</b>
7.1	Introdução	69
7.2	Espaço aéreo	69
7.3	Modos de voo	74
7.4	Navegação e precisão	75
7.5	Questões legais e licenças	76
7.6	Melhores práticas	77
<b>8</b>	<b>Dados de drones</b>	<b>79</b>
8.1	O nicho do drone	79
8.2	Softwares disponíveis e custos	81
8.2.1	Software para o planejamento de missões	81
8.2.2	Software para estação de controle em solo	82
8.2.3	Software para processamento e análise de dados	83
8.3	Abordagens para o processamento de dados	84
<b>9</b>	<b>Destaques das atividades de conservação do WWF</b>	<b>87</b>
<b>10</b>	<b>Limitações tecnológicas, ressalvas e soluções</b>	<b>91</b>
10.1	Limitações da plataforma	91
10.2	Limitações dos sensores	92
10.3	Limitações legais	95
10.4	Abordagens alternativas ao sensoriamento proximal	95
<b>11</b>	<b>Tendências futuras e possibilidades</b>	<b>99</b>
11.1	Voos com visão em primeira pessoa (FPV)	99
11.2	Drones com proteção tipo gaiola	100
11.3	Navegação autônoma	100
11.4	GPS diferencial PPK/RTK	101
11.5	Enxames	102
11.6	Autonomia da bateria e carregamento	104
11.7	Expansão, assimilação de dados e fluxo de trabalho de sensoriamento remoto	105
11.8	Enquadramento legal – melhor integração dos drones no espaço aéreo	106
<b>12</b>	<b>Sumário dos estudos de caso</b>	<b>111</b>
<b>13</b>	<b>Referências</b>	<b>113</b>



## FAQ DRONES PARA CONSERVAÇÃO

### ***O que é um drone? (CAPÍTULO 5)***

No contexto da conservação e da ciência, drones são plataformas aéreas leves que podem ser adquiridas prontas para uso ou montadas e personalizadas pelo usuário, além de equipadas com sensores integrados, como câmeras ou scanners a laser. Com menos frequência, a plataforma é adquirida sem sensores integrados e é adaptada para transportá-los com diferentes fins, como imagens termográficas para a detecção de animais noturnos ou sensores multiespectrais, ou hiperespectrais para uso em aplicações de ciência botânica. Existem drones de todas as formas e tamanhos, produzidos por uma ampla variedade de fornecedores. Eles geralmente vêm equipados com GPS e sofisticados pilotos automáticos, e muitos modelos podem ser programados para voar por rotas estabelecidas (guiadas por GPS) para a realização de mapeamentos aéreos robustos, como faria uma aeronave tripulada de mapeamento. Os pilotos automáticos na maioria dos drones comerciais modernos permitem que a aeronave seja operada por pilotos sem experiência, já que oferecem excelente controle e estabilidade da aeronave durante o voo. Os drones podem ser multirotores ou de asa fixa. A aplicação e a geografia do mapeamento ditarão o tipo de plataforma mais adequada para a tarefa.

### ***Como os dados de drone são coletados?***

A forma como os dados são coletados a partir dos drones varia conforme a aplicação. Normalmente, um drone estará equipado com um sensor (uma câmera, uma câmera termográfica ou algo mais sofisticado, como um radiômetro hiperespectral). Ele então sobrevoará a área de interesse e o sensor coletará os dados durante o voo. Os dados serão geralmente armazenados em um cartão de memória dentro do sensor, ou no próprio drone, dependendo se ou como o sensor estará integrado ao hardware do drone. A forma como o drone é pilotado e o tipo de sensor a bordo afetarão a qualidade e a resolução espacial dos dados coletados. Em muitos casos, o sensor pode ser programado para acionar a captura de uma imagem em intervalos regulares durante o voo (para imagens) ou em vídeo. A aplicação determinará qual desses métodos de acionamento é mais adequado. Para aplicações de mapeamento, onde se almeja a obtenção de um mapa ou fotogrametria, o drone será muitas vezes operado em um padrão de “cortador de grama” sobre o local de interesse, movendo-se para frente e para trás para cobrir a área de mapeamento desejada. O piloto pode programar o voo de mapeamento para que ele tenha diferentes níveis de sobreposição, conforme a qualidade desejada do resultado. Para aplicações mais personalizadas, como a coleta de amostras de esputo de baleia em uma placa de Petri, ou para filmar o comportamento de um animal, o piloto pode precisar voar o drone manualmente por controle visual, seja pelo seu campo de visão ou a partir de uma câmera a bordo com visão em primeira pessoa. Nesse último caso, o piloto conta com uma visão em tempo real da posição do drone em relação ao seu ponto de interesse, permitindo então que o drone seja posicionado precisamente pelo controle manual do piloto.

### ***Para o que podem ser usados os dados de um drone? (CAPÍTULO 3)***

Este relatório detalha a ampla variedade de aplicações que os cientistas e conservacionistas já implementaram com os drones. Ler sobre esses exemplos pode ajudar a esclarecer se um drone é adequado para a sua aplicação específica. Em linhas gerais, qualquer aplicação na qual dados de imagem possam responder a perguntas (por ex., sobre o padrão espacial em determinado ambiente ou dinâmicas temporais de fenômenos ambientais) pode ser indicada para o uso de drones. Em estudos que não de imagem, o drone é um dispositivo ágil que pode ser usado para manobrar todo tipo de carga em posições difíceis. Com um pouco de criatividade e planejamento cuidadoso, o drone pode desempenhar funções de coleta de amostras que não seriam



possíveis com outro equipamento.

### ***Os dados de um drone podem ser usados sem nenhum pós-processamento?***

A conversão de dados em informação normalmente requer algum tipo de processamento, mas isso nem sempre terá demanda computacional. Um especialista, por exemplo, pode assistir ao vídeo gravado a partir de uma câmera acoplada em um drone e usar isso para registrar a contagem de espécies ou populações. Nesse caso, os dados necessitariam de um mínimo de processamento, mas o investimento de tempo do especialista para revisar o vídeo seria muito alto. Criar produtos fotogramétricos ou unir ortomosaicos de alta qualidade requer fluxos de trabalho detalhados para o processamento de imagem, demandando um PC adequado ou um serviço baseado em nuvem sob demanda. O processamento de produtos de imagem radiométricos multiespectrais ou hiperespectrais de alta qualidade a partir de um drone, ou a extração de dados de um scanner a laser acoplado a um drone, trarão ainda mais demandas de processamento e provavelmente necessitarão de um software personalizado.

### ***Como os dados do drone são processados? (CAPÍTULO 8)***

Isso depende dos dados e da aplicação. Em nível básico, um único mapeamento aéreo fotográfico com drone de 10-20 minutos, com a câmera sendo disparada a cada 2-3 segundos, pode produzir centenas de imagens georreferenciadas. Sozinha, cada fotografia pode conter informações úteis, mas o potencial desses dados está na combinação das imagens para produzir camadas geográficas (ex.: ortomosaicos, GeoTIFFs, nuvens de pontos, modelos digitais de superfície) que podem ser analisadas rigorosamente usando fluxos de trabalho geoespaciais. Gerar esses produtos requer acesso a software que seja capaz de realizar a junção das imagens. Há opções de código aberto e produtos comerciais para isso, com diferentes níveis de capacidade técnica necessária para alcançar resultados de alta qualidade. As ferramentas de código aberto podem ser mais flexíveis nesse aspecto, mas requerem, muitas vezes, um alto nível de conhecimento das linguagens de script e de programação (Forsmo et al., 2019). Para executar esses fluxos de trabalho, é necessário um PC adequado, uma vez que as demandas de processamento crescem com a quantidade de fotografias – embora novas opções estejam se tornando cada vez mais disponíveis para o processamento e armazenamento de dados grandes na nuvem. Da mesma forma, para análise videográfica, haverá requisitos de software de edição de vídeo e de um bom processador de computador, permitindo que o pesquisador extraia informações úteis dos vídeos gravados pelo drone. Sensores de pesquisa mais especializados e câmeras termográficas normalmente contam com seu próprio software e fluxo de trabalho para a extração das informações.

### ***Qual o tamanho da área que um drone consegue mapear em um único voo? (CAPÍTULO 5)***

A resposta depende de diversos fatores específicos ao local, dos requisitos dos dados e da plataforma sendo utilizada. No que se refere à plataforma, aeronaves de asa fixa são geralmente mais aerodinâmicas do que as aeronaves multirotores, tendo menos motores para alimentar, o que significa menos carga para viajar a mesma distância sob as mesmas condições. Portanto, as aeronaves de asa fixa são mais adequadas para o mapeamento de áreas maiores (>100 ha) devido ao seu maior tempo de voo. Mapeamentos além da linha de visada visual também costumam utilizar aeronaves de asa fixa pela mesma razão, embora esses voos de maior distância possam requerer permissões especiais. Ademais, aeronaves de asa fixa são mais suscetíveis a forças como o vento e, por isso, controlar a velocidade da plataforma pode ser um desafio em certas condições climáticas. Aeronaves multirotores, por outro lado, podem se posicionar relativamente estáveis e alcançar velocidade constante mesmo em situações de vento forte, tornando os dados mais reproduzíveis e menos suscetíveis a erros causados por tais fatores



(ex.: imagem borrada ou desfocada se a plataforma se mover rápido demais ou for atingida pelo vento). Como regra geral, as mais novas plataformas multirotores comerciais oferecidas pelos principais fabricantes oferecem a duração de 18-25 minutos por bateria (a partir de setembro de 2020), o que é consideravelmente menor que o tempo de voo esperado de um sistema de asa fixa de nível similar. No final das contas, será a duração da bateria que limitará o tamanho da área que pode ser mapeada em um único voo. Em segundo lugar, fatores específicos ao local podem ditar a utilização de planos de voo mais complexos (ex. topografia complexa), e tais problemas podem reduzir a duração da plataforma caso o drone tenha que subir e descer regularmente durante o mapeamento. Em terceiro lugar, os requisitos para os dados são uma consideração chave. Fluxos de trabalho de fotogrametria podem exigir altos níveis de sobreposição de imagem, necessitando de uma rede mais densa de linhas de voo. Isso significa que a capacidade de cobrir uma área maior é reduzida, e isso se torna mais extremo em altitudes mais baixas de voo. Isso pode ser solucionado aumentando a altitude de voo (já que a sobreposição aumenta com a câmera mais alta), mas à custa de uma resolução espacial reduzida.

#### **Qual resolução espacial eu posso esperar de um mapeamento de drone?**

Isso depende da altura de voo e do sensor utilizado. A distância esperada do solo para coleta de amostras pode ser calculada com algumas equações simples. Como regra geral, espera-se que drones equipados com câmeras de alta qualidade (>10 MP) alcancem cerca de 1-2 cm de resolução espacial a uma altura de voo de 20-50 m. Alcançando os 100 m, a resolução pode diminuir para 2-5 cm. Para sensores mais especializados, a capacidade de resolução espacial dependerá da óptica da câmera, e nós aconselhamos que os usuários consultem os respectivos manuais de usuário, já que pode haver uma variação considerável entre os sensores. Câmeras termográficas adequadas para a utilização em drones fornecem atualmente dados a uma resolução espacial de uma ordem de grandeza menos nítida que as imagens de uma câmera óptica (ex.: 1 cm RGB = 10 cm termográfica).

#### **Quais são as questões éticas no mapeamento por drones?**

Há diversas considerações éticas que precisam ser pensadas antes de você levantar voo com o seu drone. O drone pode ser um instrumento democrático nas mãos certas – ele oferece às pessoas acesso ao espaço aéreo que estaria fora da nossa capacidade gravitacional. A partir desse novo ponto de vista, nós podemos observar e medir as coisas de uma perspectiva diferente, mas poderosa, que deve ser usada com cuidado e com consciência das questões éticas. Pilotar drones nas proximidades de sujeitos humanos e não humanos pode resultar em uma gama de impactos emocionais e fisiológicos, muitos dos quais são pouco compreendidos no caso de não humanos. Nós discutimos algumas dessas questões na seção 3.6, e a Figura 8 oferece alguns pontos importantes para se considerar antes dos voos. Devido ao fato de os drones serem sinônimos de “câmeras voadoras”, os pesquisadores devem sempre levar em consideração tudo o que se refere à proteção e à privacidade de dados – para as quais há rigorosas leis nacionais e internacionais. Fotografar pessoas sem sua permissão prévia é uma violação das leis de privacidade na maioria dos países. Sobrevoar propriedades privadas sem a devida permissão é igualmente problemático. Algumas pessoas simplesmente não gostam de drones, seja por razões inexplicáveis ou devido a crenças espirituais ou religiosas; a última se aplica especialmente ao caso de comunidades indígenas em algumas partes do mundo (Sandbrook, 2015). Nós aconselhamos que todos os pesquisadores e conservacionistas debatam e busquem a aprovação ética para suas operações em suas estruturas institucionais.

#### **Quais são as questões legais associadas aos mapeamentos por drones? (CAPÍTULO 7)**

Semelhante à questão ética, a legalidade do uso do drone é complexa e varia geográfica e temporalmente. No momento de elaboração deste guia, as autoridades nacionais e internacionais



A comunidade online [diydrone.com](http://diydrone.com) oferece um fórum excelente sobre drones de fabricação própria e assuntos relacionados.

de aviação estavam trabalhando nas leis referentes aos drones para decidir como o volume aéreo deve ser dividido, e se (e onde) os drones se encaixam dentro da gestão do espaço aéreo futuro. Hoje, há algumas orientações gerais que podem servir como garantia. Drones pequenos com massa máxima de decolagem de menos de 7 kg são relativamente livres para explorar o espaço aéreo próximo da superfície até cerca de 100 m de altitude na maioria dos países, desde que estejam em zonas “não congestionadas”, livres de outro tráfego aéreo e longe de áreas densamente povoadas. Para isso, o piloto em comando deve manter o contato visual com a aeronave, e isso geralmente significa que a aeronave não pode se distanciar mais de 500 m do piloto. Há exceções para essa regra, mais obviamente em zonas de exclusão aérea, como ao redor de aeroportos, onde voar um drone de qualquer tamanho ou tipo é estritamente proibido, podendo resultar em, no mínimo, detenção e multa. O melhor plano de ação para qualquer piloto de drone seria verificar primeiramente as leis de aviação no país previsto de operação, garantindo que não haja nenhuma proibição nacional para os drones. Em alguns países, há áreas especiais onde os drones só podem voar com permissões do governo (ex. no parque nacional do Monte Everest), e os pilotos de drones devem se preparar antes de qualquer viagem para garantir que estejam com toda a documentação necessária. Há regras que variam mundialmente no que se refere à pilotagem de drones e competências; advertimos que todos os pilotos tenham cuidado e estejam cientes delas. Nos EUA, por exemplo, os drones só podem ser comandados por pilotos que passarem no exame 107 da Autoridade Federal de Aviação, e alguns parques nacionais e estaduais proíbem o uso de drones. Em muitos países da Europa, há um modelo diferente para operação comercial comparado à “operação de pesquisa” com drones. Se você está sendo pago pelos serviços que prestará com o drone (como em fotografias aéreas ou captura de vídeo), você normalmente precisará concluir um curso aprovado pelo governo para se registrar como piloto de drone, produzindo um manual de operações e provando que adquiriu o seguro necessário antes de poder voar legalmente (Cunliffe et al., 2017). Por todos esses motivos, a preparação é crucial – pesquise sobre o que é permitido e de quais documentos você precisará antes de viajar e decolar.

#### **Quanto custa um mapeamento por drone?**

Drones leves comerciais de alta capacidade (com peso de decolagem <7 kg) fabricados pelas maiores marcas do mercado são hoje muito adequados para a realização de mapeamentos geoespaciais. Eles podem custar de US\$ 1.000 a US\$ 10.000, conforme a sua capacidade e os sensores instalados. Entre os mais dispendiosos, estão inclusos drones equipados com posicionamento por GPS diferencial (por exemplo, utilizando protocolos RTK ou PPK para fornecer produtos com precisão espacial de <2 cm) ou sensores multispectrais. Já entre os mais econômicos, você pode esperar encontrar um sistema multirotor altamente sofisticado com todas as proteções necessárias contra falhas (como desvio de obstáculos), além de recursos como o “siga-me” e uma câmera RGB acoplada de alta qualidade. Drones equipados com sensores LiDAR são máquinas consideravelmente mais caras e pesadas – você pode esperar pagar até US\$ 100.000 por um deles e, para operá-los, você precisaria de uma licença especial na maioria dos países devido ao tamanho e peso de decolagem do drone (>20 kg em alguns casos). É possível adquirir plataformas “amadoras” prontas para uso sem nenhum sensor integrado por menos de US\$ 1.000. Elas exigiriam uma abordagem experimental mais rudimentar (Anderson et al., 2016) e o usuário precisaria modificar a fuselagem para acoplar um ou mais sensores. É possível que, se você quiser seguir por esse caminho de “faça você mesmo”, você precise de conselhos de especialistas em aeronaves controladas por rádio. Nesse caso, a comunidade online [diydrone.com](http://diydrone.com) oferece um fórum excelente com informações abrangentes sobre uma grande variedade de assuntos relevantes. Você também precisaria de acesso a equipamentos eletrônicos básicos para adaptar e adicionar componentes (como disparadores de sensores).



### **Como os dados de drones se diferenciam de outros tipos de dados de sensoriamento remoto? (CAPÍTULO 6)**

As principais diferenças são a resolução espacial e a cobertura. Os dados coletados por drones normalmente cobrem extensões espaciais menores (10-100 ha por mapeamento, geralmente), mas oferecem dados com melhor resolução espacial do que aqueles coletados por aeronaves ou satélites. O mapeamento por drone pode ser realizado sob demanda, oferecendo uma resolução temporal melhor ou personalizada do que outros dados de sensoriamento remoto. Os dados de drones oferecem uma imagem localizada dos ambientes e ecossistemas, os quais podem ser úteis para a ampliação ou validação de experimentos, ou para a validação e calibração de observações por satélite de pior resolução, por exemplo. Em muitos casos, os dados de drone são úteis para o estudo de animais ou plantas individuais dentro de um contexto específico.

### **Os dados de drones podem ser usados com outros dados geoespaciais?**

Como explicado acima, sim. Com os dados de drone processados para gerar uma série de camadas de dados geoespaciais (como ortomosaicos, mapas multiespectrais, nuvens de pontos ou modelo digital de superfície), essas camadas podem ser importadas para um software de análise geoespacial (ex. SIG) e usadas com qualquer outro conjunto de dados de sua escolha. É fundamental levar em consideração a precisão – o GPS a bordo do drone só terá a mesma precisão de um GPS comum de mão (nominalmente +/- 10 m, e será possivelmente pior no domínio vertical que no horizontal). Caso queira melhorar o posicionamento espacial dos dados do drone, é possível fazer isso utilizando pontos de controle no solo (recursos localizados no solo, visíveis nas imagens e geoposicionados com um GPS de alta precisão), os quais restringem o ajuste do agrupamento durante o processamento. Isso requer equipamento adicional e esforços de processamento.

### **Além do drone, quais são os outros equipamentos necessários para o mapeamento por drone?**

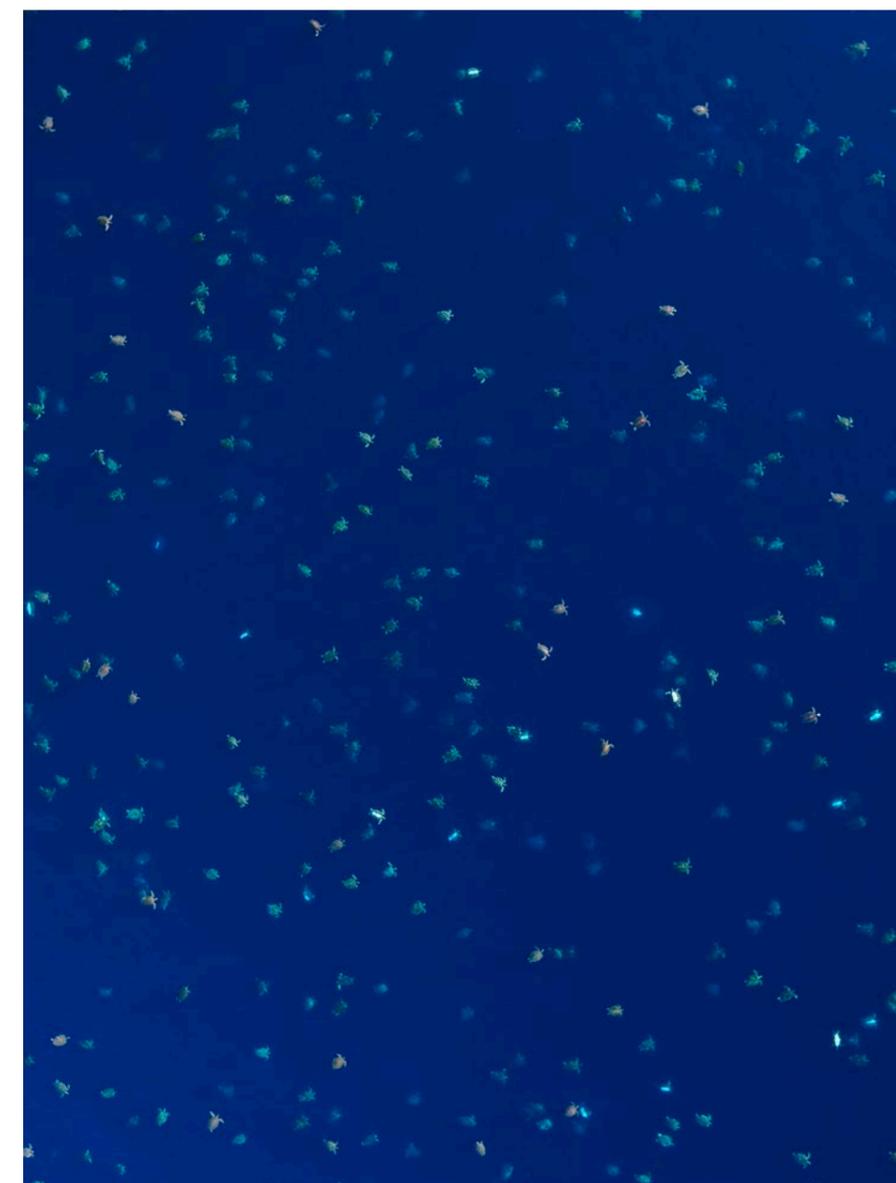
Drones de mapeamento equipados com câmeras e GPS integrados possuem tudo o que você vai precisar para criar produtos básicos de mapeamento. No entanto, se você necessita de uma melhor precisão ou de uma forma de validação da qualidade dos dados que coletou, também pode considerar incluir os seguintes equipamentos no seu kit:

1. Alvos podem ser posicionados em campo para oferecer controle em solo, para aprimorar a precisão do equipamento de fotogrametria (se aplicável) e para validação. Eles costumam ser alvos plásticos de 30 x 30 cm fixados com estacas para barracas. Idealmente, você deve fixar de 5 a 15 alvos na área para resultados mais robustos, embora isso seja debatido na literatura (James et al., 2017A). Cunliffe e Anderson (2019) oferecem mais detalhes (ver seção 7.4).
2. Um GPS de alta precisão que supere o GPS a bordo do drone. Ele pode ser usado para mapear os pontos de controle no solo em uma maior precisão, com os dados decorrentes sendo usados para restringir as dimensões dos fluxos de trabalho fotogramétricos.
3. Alvos de calibração, coloridos em diferentes tons, para oferecer uma variedade de superfícies refletoras no espectro visível e próximo do infravermelho, serão necessários ou essenciais caso esteja utilizando sensores multiespectrais ou hiperespectrais totalmente radiométricos.
4. Cadernos de campo são fundamentais para registrar os detalhes de cada voo (horário de decolagem e pouso, condições de iluminação, problemas encontrados, quantidade e fim da bateria).



5. Uma caixa de transporte impermeável é útil para proteger o drone em caso de tempo chuvoso inesperado.
6. Espectrorradiômetros de campo para medir a reflectância de objetos *in situ* podem ser necessários caso também esteja utilizando sensores multiespectrais ou hiperespectrais totalmente radiométricos.
7. Panos de limpeza para as lentes são especialmente úteis para garantir boa qualidade de imagem.

Em situações específicas de campo, há outros equipamentos que você pode precisar. Nós recomendamos consultar Duffy et al. (2017) para informações sobre os desafios metodológicos de se trabalhar em ambientes remotos difíceis com um drone, incluindo diversas sugestões de itens adicionais para o kit de campo para uso em altas latitudes, climas tropicais úmidos ou desertos áridos.



Drones foram usados para examinar a maior colônia de tartarugas-verdes do mundo, na Grande Barreira de Corais.  
© Governo de Queensland

## 1

## PREFÁCIO

### 1.1 Introdução

O Antropoceno – a era atual na qual vivemos – define o período geológico atual de rápidas mudanças globais (Steffen et al., 2011, Dirzo et al., 2014). Além dos aspectos negativos da vida no Antropoceno (poluição, perda e degradação de habitats, extinção e rápidas mudanças climáticas), avanços paralelos estão acontecendo – a tecnologia está em rápida evolução, e há vastas fronteiras para explorar e observar. Nesta era de rápidas mudanças tecnológicas e globais, as pessoas enfrentam desafios multifacetados associados à administração e mitigação de mudanças no clima, crescimento populacional, exploração excessiva dos recursos naturais e seus impactos subsequentes. Os dados (principalmente dados espaciais) oferecem um alicerce de crucial importância para a tomada de decisões ambientais para um futuro sustentável. Conforme apresentado em edições anteriores da Série de Tecnologias e Metodologias da Conservação do WWF (Melin et al., 2017, Wearn e Glover-Kaepfer, 2017, Browning et al., 2017, Pettorelli et al., 2018A), os dados de sensoriamento remoto (dados e produtos espaciais de imagens criados por sensores a bordo de satélites e aeronaves) podem oferecer uma forma por meio da qual ecossistemas podem ser mapeados em diversas escalas, permitindo o planejamento e implementação de contramedidas nessas escalas. Embora os dados de satélite possam fornecer um quadro em larga escala das mudanças contemporâneas nos continentes e oceanos, a resolução espacial (grau de granulação ou tamanho do pixel) dos dados, ou o momento da coleta dos dados, ou a qualidade influenciada por nuvens ou atmosfera, podem não atender às necessidades específicas de investigação para determinado local. Muitos dos problemas de gestão relacionados a uma única espécie ou a áreas de habitats sensíveis requerem dados de melhor resolução espacial e temporal, com os quais os sensores equipados em aeronaves pilotadas podem ajudar. No entanto, esses dados podem ter uma aquisição dispendiosa: eles queimam combustível fóssil e requerem acesso a uma aeronave adequadamente equipada, um piloto e licenças, o que pode estar fora do alcance de muitos pesquisadores. Ademais, voos de mapeamento sobre territórios remotos ou áreas instáveis podem ser arriscados, colocando os conservacionistas e equipes de campo em risco de ferimentos ou morte.

Drones, ou sistemas de aeronaves remotamente pilotadas, surgiram agora no mercado consumidor e são de grande utilidade para mapeamentos e observações locais (1-100 ha por voo), sendo amplamente utilizados por pesquisadores (Schiffman, 2014), seguindo um longo histórico de uso militar para vigilância e guerra. Os conservacionistas adaptaram rapidamente os drones comerciais para fins de sensoriamento “proximal”, além de outras aplicações (Sandbrook, 2015, Koh and Wich, 2012). No momento de elaboração deste guia, o uso de drones estava em alta na conservação, com plataformas leves sendo utilizadas em diversos campos, desde a coleta de amostras de esputo (*sputum*) de baleias (Geoghegan et al., 2018) à aquisição de dados aéreos para o mapeamento de vegetação (Dandois e Ellis, 2010, Zahawi et al., 2015), monitoramento de animais (Pomeroy et al., 2015), operações contra a caça ilegal (Massé, 2018) e habitats de recifes de corais e as espécies a eles associadas (Casella et al., 2017, Chirayath e Earle, 2016, Kiszka et al., 2016). Após cerca de uma década de experiências com a tecnologia de drones comerciais, este relatório busca iluminar as oportunidades que os drones customizados de baixo custo (geralmente entre US\$ 100-2.000) podem oferecer para a conservação. Com resolução espacial de centímetros, os produtos de sensoriamento proximal criados por drones superaram as resoluções espaciais e temporais e solucionam os problemas de custo dos seus concorrentes, os satélites, além das questões de custo e de segurança associadas aos

**Os drones oferecem a capacidade de autosserviço para que o momento, resolução e dimensão dos mapeamentos sejam totalmente controlados pelo usuário.**

mapeamentos com aviões. A capacidade de autosserviço do drone significa que o cronograma, resolução e dimensão dos mapeamentos podem ser totalmente controlados pelo usuário, oferecendo benefícios significativos quando comparados a outras ferramentas de sensoriamento remoto, principalmente quando variáveis ambientais e de clima prejudicam a coleta a partir de plataformas espaciais ou aéreas. No entanto, se as metodologias do drone não tivessem nenhuma complexidade, não haveria a necessidade de um guia. Por isso, apresentamos aqui uma série de capítulos que esclarecem as principais considerações associadas à implementação de drones especificamente na conservação e ecologia, e as questões decorrentes associadas às informações coletadas por eles.

### 1.2 Escopo

Este guia tem como objetivo ser um texto introdutório para o conservacionista interessado em drones. Nós não almejamos oferecer uma introdução detalhada aos princípios de sensoriamento remoto ou proximal, mas, por meio de uma série de capítulos informativos, estudos de caso de conservação e aplicações, os aspectos técnicos da ciência dos drones ou do sensoriamento por drones ganharão vida. Nós supomos que os leitores deste guia possuam um entendimento básico de ecologia e/ou conservação, e um conhecimento dos princípios básicos de sensoriamento remoto (Pettorelli et al., 2018A). Bons textos introdutórios que abrangem as metodologias para drones em sensoriamento remoto e ecologia e conservação incluem os de Anderson e Gaston (2013), Duffy et al. (2017), Sandbrook (2015), Koh and Wich (2012). Sobretudo, nós buscamos guiar os usuários na direção de uma implementação crítica, deliberada e ética de drones leves para responder a uma ampla gama de questões de conservação. Está além do escopo deste relatório considerar todos os tipos de drone e, por isso, focamos nos sistemas leves, os quais são definidos na maioria dos países por não excederem o peso máximo de decolagem (incluindo sensores e todas as baterias) de 7 kg. A categoria de peso mais baixa normalmente confere poucos obstáculos legislativos para os usuários na maior parte das regiões do mundo. As regras que regem como, onde e quando tais aeronaves podem voar mudarão conforme as políticas locais, nacionais e internacionais (Capítulo 7). Espera-se que todos os usuários leiam e cumpram os procedimentos operacionais da autoridade de aviação civil do seu país antes de levantar voo, independente da sua missão científica ou de conservação.

### 1.3 A estrutura do guia

Embora este guia seja destinado àqueles com pouco ou nenhum conhecimento, ou sem nenhuma experiência com drones, o conteúdo abordará as aplicações sempre dinâmicas dos drones de conservação para um público mais amplo e mais experiente. Os autores se empenharam em equilibrar abrangência, profundidade e acessibilidade para um material mais complexo. Nós abrangemos uma grande variedade de materiais, começando com a evolução do drone de conservação (Capítulo 2); uma revisão da literatura resumindo a mais avançada tecnologia em drones para a ciência da conservação, e as principais considerações sobre as aplicações dos drones (Capítulo 3). Depois, oferecemos orientações quanto à realização de um mapeamento por drone em dez passos claros (Capítulo 4), seguidas de detalhes da anatomia do drone (Capítulo 5) e a grande variedade de sensores disponíveis hoje (Capítulo 6). Na sequência, exploramos as diretrizes operacionais para o planejamento de voo, coleta de dados (Capítulo 7) e análise de dados (Capítulo 8). Depois, destacamos como o WWF está utilizando os drones em pesquisas operacionais de conservação (Capítulo 9). Apresentamos as limitações tecnológicas dos drones atuais, restrições e soluções (Capítulo 10); e concluímos com um resumo das possibilidades e tendências futuras na dinâmica indústria de drones, e como isso pode beneficiar os cientistas da conservação (Capítulo 11).



Um grupo de elefantes-de-Sumatra é rastreado por um drone na plantação comunitária de Musarapakat, Aceh, Indonésia. © Mahmud Yani/WWF-Indonésia

# 2

## A EVOLUÇÃO DO DRONE

Nós começamos este relatório situando os drones dentro de sua longa história de desenvolvimento e experimentação militar. Em concordância com outros, afirmamos que essa é uma consideração importante para os usuários de drone de todas as disciplinas, uma vez que o surgimento do drone a partir de um ambiente militar pode influenciar a percepção do público em relação às práticas com drones (Garrett e Anderson, 2017). Por essas razões, a aparência de um drone em campo pode fazer com que surjam diferentes respostas entre o público, algumas positivas, outras nem tanto. De fato, em determinados contextos, a implementação de drones de conservação pode enfrentar resistência, medo, animosidade, demandas de documentação e prova de competência do piloto. Humle et al. (2014) argumenta que, em um contexto de conservação, o drone pode ser considerado por alguns uma representação das “sinistras tecnologias de vigilância ou ser associado a guerras e fatalidades de civis”, podendo tais percepções tão negativas serem vistas como a volta da “conservação de fortaleza, reduzindo o suporte às áreas protegidas e comprometendo os relacionamentos sobre os quais projetos de pesquisa e de conservação de sucesso são construídos”. Algumas agências simplesmente se recusam a autorizar voos de drone por diversos motivos. Nós propomos que, ao entender a história militar do drone, os conservacionistas estarão mais bem equipados para navegar por esses cenários complexos. Sobretudo, isso pode permitir uma ressituação mais sensível do drone de conservação como uma força positiva para o bem, em vez de, como pode ser visto por alguns, uma extensão das tecnologias de vigilância que poderiam, em determinados cenários, serem consideradas capazes de causar danos.

### 2.1 Origens militares

Os drones comerciais, como os sistemas para sensoriamento remoto e informações geográficas, possuem um passado militar (Garrett and Anderson, 2018). Os primeiros drones foram desenvolvidos durante a Primeira Guerra Mundial, e eram lançados de catapultas. Esses sistemas eram muito grandes quando comparados à maioria dos drones comerciais modernos, e foram desenvolvidos para uso em missões de reconhecimento ou como armas aéreas. Durante a Segunda Guerra Mundial, a empresa americana Radioplane Company produziu milhares de “drones” sem piloto para uso como alvos de artilharia. As aplicações militares continuaram a ser o foco principal dos drones até meados do século XX, com grandes quantidades sendo empregadas durante a Guerra do Vietnã para o envio de propaganda e como armadilhas militares. A partir desse legado, os drones modernos evoluíram e desempenham hoje uma gama muito maior de funções. Embora as Forças Armadas ainda utilizem o drone amplamente, elas não são mais os únicos usuários da tecnologia no mundo atual. A própria palavra “drone” é um simples descritor que contradiz suas origens e taxonomia complexa – mas, mesmo assim, a maioria dos drones apresenta uma capacidade unificadora, descrita sucintamente por Wallace-Wells (2014): “Cada uma dessas máquinas oferece ao seu operador humano o mesmo poder: elas permitem que projetemos nossa inteligência ao ar e exerçamos nossa influência sobre vastas áreas”.

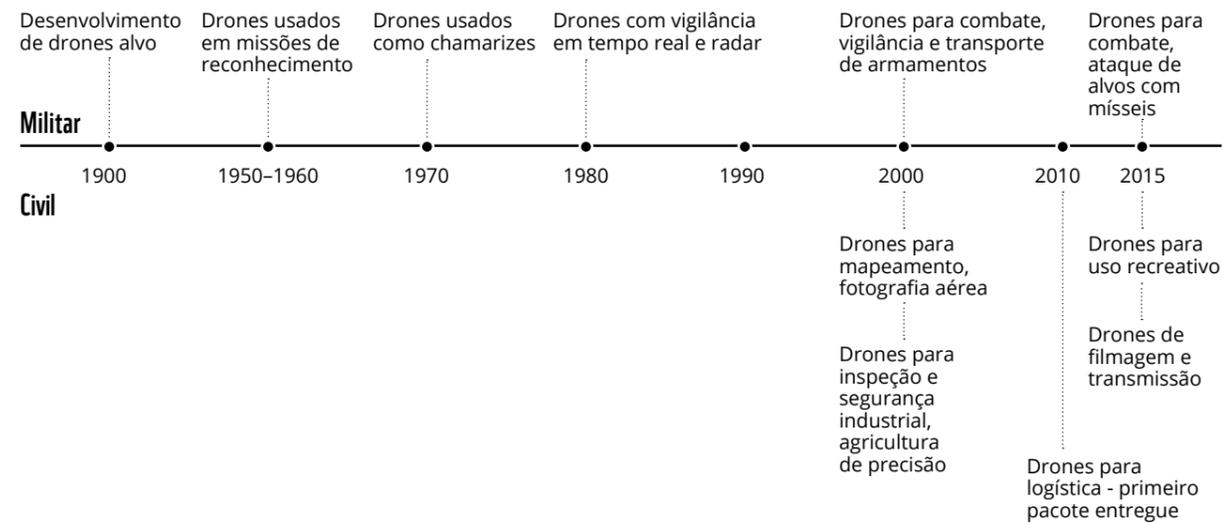
Todos os drones, se equipados com uma câmera, podem oferecer uma visão de cima, um recurso há muito criticado por geógrafos no contexto das características aéreas do olhar do drone (Klauser e Pedrozo, 2015). Até o recente frenesi da tecnologia de drones comerciais, o drone era conhecido por seu papel no exercício do poder militar/governamental por todo o espaço; exercendo superioridade sobre os seres humanos (ou não humanos). Isso conecta a visão de cima do drone a uma longa história de subjugação pela visualização do espaço aéreo (Graham, 2016). Nesse ponto de vista, os drones podem ser considerados parte de um conjunto aéreo que inclui: fotografia aérea, vigilância militar, policiamento aéreo, reconhecimento fotográfico,

As primeiras aeronaves sem piloto foram desenvolvidas durante a Primeira Guerra Mundial e eram lançadas de catapultas.

Para saber mais, visite:

<https://www.iwm.org.uk/history/a-brief-history-of-drones>

comunicações de satélite e mapeamento espacial; todos associados a uma “dinâmica de poder” inerente (Klauser e Pedrozo, 2015, Adey, 2010). A visão de cima para baixo oferecida por uma câmera aérea, quando considerado um contexto militar, pode dar ao operador do drone a noção de “superioridade inerente” sobre pessoas ou objetos “sob o seu olhar” (Graham, 2016, Garrett e Anderson, 2017). A **Figura 1**, tirada de Giones e Brem (2017), evidencia as vertentes entrelaçadas do desenvolvimento dos drones, das suas origens militares às suas aplicações civis.



**Figura 1:** Uma linha cronológica do uso militar e civil do drone – tirado de Giones e Brem (2017).

## 2.2 A dicotomia do drone na conservação

A dicotomia do drone fez com que Wallace-Wells (2014) convocasse uma taxonomia ecológica mais moderada na classificação dos drones. Há milhares de tipos diferentes de drones, com uma diversidade de usos para diferentes contextos (**ver Figura 2**) – e Wallace-Wells (2014) argumenta que muitos dos drones utilizados por cientistas e conservacionistas poderiam ser classificados em uma família separada dos drones militares ou policiais. Mesmo dentre as aplicações civis, há uma grande variedade de usos – um drone de conservação possui características diferentes quando comparado a um drone de corrida. De fato, os métodos operacionais de voo e sua finalidade subjacente são completamente diferentes nos exemplos mostrados aqui. No entanto, essas classificações se confundem pelo fato de que, à data de elaboração deste guia, drones comerciais amplamente disponíveis, como o DJI Phantom, estão sendo usados paralelamente por grupos diferentes, como para a ciência e conservação (Rush et al., 2018), e também para uso militar e policial (Wall, 2016). A ecologia da conservação é, na verdade, um nexos do espectro das aplicações – com drones hoje sendo amplamente utilizados na observação e inventário de animais ameaçados (Wich et al., 2015, Linchant et al., 2013, van Gemert et al., 2015) e na redução de conflitos entre pessoas e animais selvagens (como para impedir que elefantes entrem em vilarejos (Hahn et al., 2016). Em paralelo, os drones são muito usados por agências anticapaça ilegal (denominada “militarização verde” por Lunstrum, 2014) ou conservação “militarizada” ou “armada” (Duffy, 2014, Wall e McClanahan, 2015), enquanto surgem novas evidências de uma corrida armamentista da caça ilegal, na qual os próprios caçadores podem vir a fazer uso de drones leves para encontrar sua presa com maior eficácia (Sociedade Ecológica da América, 2018).

A conservação e a ecologia oferecem uma perspectiva sobre os limites complexos, e às vezes incertos, entre o drone de vigilância e o drone científico, dando origem ao que Massé (2018) define como “as diversas espacialidades do poder da conservação”. É exatamente por esse motivo que enfatizamos as origens militares do drone. Muitas vezes, a inexistência de definições pode gerar confusão entre as partes interessadas com as quais os praticantes podem querer adquirir confiança antes da implementação dos drones em atividades relacionadas à conservação. Essas questões devem ser consideradas e debatidas criteriosamente com as partes antes dos experimentos aéreos. Embora haja a tentação constante de considerar apenas os passos metodológicos (como, onde e quando voar) no que se refere às perguntas científicas, a história mostra que os pilotos de drones de conservação deveriam levar em conta também as implicações sociais, geopolíticas e éticas das suas práticas. Sandbrook (2015), neste contexto, oferece um excelente ponto de partida que os ecologistas podem considerar a base ética para a utilização planejada de drones.

Para uma maior reflexão sobre essa área filosófica, consulte Adey (2010), Garrett e Anderson (2018) e Chamayou (2015) para desenvolver esse debate em maiores detalhes. Nós sugerimos que há a necessidade de enxergar o drone através das lentes do otimismo ambiental. Como muitas tecnologias geoespaciais que se provaram úteis na ecologia e na conservação, os drones não são os únicos com um passado militar. Dados de satélite, sistemas de informações geográficas e conjuntos de ferramentas como o Google Earth possuem origens militares similares, mas foram reapropriados com sucesso para fins socialmente produtivos – possibilitando o surgimento de abordagens de mapeamento mais participativas e democráticas a partir de uma gênese militar (Garrett e Anderson, 2018). Nos últimos cinco anos, a metamorfose do drone ocorreu de tal forma que há uma grande diversidade de atividades com drones ao redor e sobre nós, e muitos futuros imaginados para o que a tecnologia poderá proporcionar, tanto fisicamente quanto filosoficamente, para a raça humana.

## 2.3 Plataformas amadoras para ciência e conservação

Plataformas modernas comerciais formam a base da maior parte das pesquisas ecológicas ou de conservação baseadas em drones e realizadas no espaço aéreo próximo (próximo ao solo, dentro do limite de voo da maioria dos drones de conservação e ecologia, <120 m). A



**Figura 2:** A Zipline utiliza o drone para entrega de suprimentos médicos de emergência em comunidades locais. © Sarah Farhat/World Bank

miniaturização de componentes eletrônicos, materiais mais leves e mais baratos, uma maior capacidade computacional em chipsets cada vez menores, em conjunto com a miniaturização dos sensores de câmeras digitais, tornaram os drones leves mais acessíveis (Giones e Brem, 2017). Drones de mapeamento altamente especializados também estão no mercado, como os de empresas como a Leica<sup>1</sup>, mas seu custo mais alto e, presumivelmente, recursos de código fechado, impossibilitaram o uso mais abrangente dentre as aplicações da ecologia e conservação. Dentre os grupos de ecologia e conservação, houve um aumento no uso de sistemas comerciais amadores na última década, nos quais os drones são configurados especificamente para determinadas aplicações, ou nos quais os sistemas são pilotados com configuração de fábrica para a coleta de dados (González-Jorge et al., 2017). No sensoriamento por drone, há uma certa dicotomia entre o método de aquisição de dados de baixo custo, que depende de aeronaves acessíveis comerciais para a coleta de dados, e as habilidades geoespaciais relativamente elevadas necessárias para extrair as informações desses dados (ou seja, a utilização de software avançado para gerar nuvens de pontos, conjuntos de dados bi ou tridimensionais para o mapeamento de habitats ou espécies). É possível que essa barreira seja similar a muitas tecnologias de conservação, como o LiDAR (Melin et al., 2017) – a complexidade está no estágio no qual os dados são convertidos em informações.

Mesmo assim, o fluxo de trabalho da ciência de drones é novo e diferente dos métodos bem compreendidos de sensoriamento remoto do passado. Esses dados eram muitas vezes coletados por sensores equipados em aeronaves, navegados por pilotos experientes; ou a partir de satélites no espaço operados por agências multinacionais e pré-processados para usos específicos. Hoje, os cientistas de drone são os provedores dos dados, os pilotos e os analistas de dados. Com isso, surge a necessidade de compreender os impactos do design do mapeamento, fotogrametria, sobreposição de imagens, distribuição de pontos no controle em solo e configurações da câmera na qualidade dos dados gerados.



O fotógrafo californiano Chris Willis integrou o drone à sua arte  
© snapchris.com

**Drones de asa fixa podem cobrir uma área maior por mapeamento, com um tempo superior de voo, mas requerem uma área maior para decolagem e pouso.**

**Os multirotores têm tempo mais curto de voo, são mais barulhentos, mas são mais fáceis de manobrar, podem pairar e requerem menos espaço para decolagem e pouso.**

A **Tabela 1** apresenta uma visão geral dos drones mais usados com algumas publicações científicas destacadas, mostrando seu uso em aplicações de ecologia e conservação. Em resumo, há duas famílias principais de drones leves disponíveis para uso em trabalhos de ecologia e conservação: o sistema de asa fixa e o multirotor. Os sistemas de asa fixa oferecem uma duração consideravelmente maior (1-2 horas por bateria em alguns casos), permitindo uma cobertura de área maior por levantamento, já que são mais aerodinâmicos. Nos locais onde a legislação permite, mapeamentos além da linha de visada visual (BVLOS) podem ser realizados com eficácia por esse tipo de plataforma. Por essa razão, eles foram bem utilizados no mapeamento de áreas remotas em florestas tropicais, por exemplo. Os drones multirotores, ou “cópteros”, por outro lado, são menos aerodinâmicos, oferecendo menos tempo de voo por bateria, mas tendem a ser mais estáveis e maneáveis, e são mais comuns no mercado comercial do que os sistemas de asa fixa, tornando-os o esteio da maioria das pesquisas com drones em ecologia e conservação. Avanços no software de piloto automático significam que, no geral, os sistemas multirotores e de asa fixa podem se estabilizar em voo com a mínima contribuição do piloto. Os multirotores são mais barulhentos do que os drones de asa fixa, uma vez que possuem mais rotores e motores e, por isso, podem causar perturbações à vida selvagem, o que pode prejudicar o objetivo de um mapeamento. Consequentemente, planos de voo sensíveis a essas questões devem ser elaborados para gerar o mínimo de estresse nos organismos-alvo. Por outro lado, a decolagem e pouso dos drones de asa fixa requerem uma maior habilidade do piloto, mais espaço e, às vezes, mais infraestrutura do que os multirotores, que decolam verticalmente. Alguns sistemas de asa fixa, por exemplo, podem ser lançados à mão, enquanto outros requerem propulsão, como uma catapulta acionada por mola. Exploraremos esses tipos de drone em maiores detalhes no **CAPÍTULO 5**.

Para saber mais, visite:

[Drones - Revista de Acesso Aberto](#)

[Journal of Unmanned Vehicle Systems](#)

[Remote Sensing in Ecology and Conservation](#)

[Remote Sensing of Environment](#)

[Remote Sensing - Revista de Acesso Aberto](#)

Há uma grande variedade de publicações acadêmicas hoje que resumem as capacidades e recursos desses sistemas leves (menos de 7 kg) para trabalhos de ecologia e conservação. Nós indicamos aos leitores algumas publicações principais que oferecem informações úteis, incluindo Anderson e Gaston (2013), que dão uma base para o entendimento dos recursos das diferentes plataformas de drones de tamanhos e capacidades de carga variados, com foco específico na ecologia terrestre. Rees et al. (2018) oferece um relato detalhado dos usos comprovados e das possibilidades de abordagem com drones para o mapeamento de tartarugas-marinhas. Woodget et al. (2017), similarmente, oferece ótimas informações quanto aos métodos do uso de drones no mapeamento de habitats fluviais. Muitas das abordagens aqui descritas poderiam ser prontamente adaptadas para o monitoramento de outras espécies e seus habitats, em ambientes terrestres, aquáticos e costeiros. Há também periódicos revisados por pares com foco na pesquisa baseada em drones, como o “Drones” e o “Journal of Unmanned Vehicle Systems”; além de periódicos mais amplos na área de sensoriamento remoto, os quais incluem artigos que empregam metodologias com drones, como “Remote Sensing in Ecology and Conservation”, “Remote Sensing of Environment” e “Remote Sensing”. Algumas dessas revistas também lançaram edições especiais sobre as aplicações de drones no passado, como a edição especial da Remote Sensing in Ecology and Conservation sobre “Aplicações RPAS em Conservação e Ecologia”.

1 <https://leica-geosystems.com/en-GB/products/uav-systems>

**Tabela 1:** Exemplos de drones leves usados em pesquisas ecológicas

TIPO	FABRICANTE E MODELO	PESO DE DECOLAGEM (TOW) MÁXIMO OU TÍPICO INC. BATERIAS E SENSORES (SE APLICÁVEL)	CUSTO	SENSOR	COMENTÁRIOS	APLICAÇÕES
MULTIROTOR	DJI Phantom (versions 1 to 4 and 'Pro')	TOW típico de 1,4 kg quando equipado com a câmera padrão DJI em um estabilizador.	US\$ 1-2.000	Sim, câmera. O Phantom 4 Pro inclui um sensor CMOS de 1 polegada e 20 megapixels compatível com a captura de imagens e vídeo.	Pronto para uso, out-of-the-box. Câmera integrada com estabilizador e software de controle fácil de usar. Código relativamente fechado comparado ao 3DR.	Bevan et al., 2015, McLelland et al., 2016, Kiszka et al., 2016, Marcaccio et al., 2015, McNeil et al., 2016
	3DRobotics Solo	TOW máximo de 1,8 kg, mas o peso pode variar conforme os sensores adicionados pelo usuário.	US\$400-800	Não, mas há inúmeros suportes e estabilizadores que podem ser configurados para a maioria das câmeras.	Pronto para uso, out-of-the-box, mas para instalar os sensores ou estabilizadores é necessário conhecimento técnico básico. Voa com o piloto automático 3DR Pixhawk, o qual é totalmente de código aberto, então todos os parâmetros de voo podem ser facilmente obtidos. Software Mission Planner de código aberto pode ser usado para planejar e executar voos autônomos.	Duffy et al., 2018b, Vattapparamban et al., 2016, Hogan et al., 2017, Crutsinger et al., 2016, Fernandes et al., 2018
	3D Robotics Y6	TOW máximo de 1,8 kg, mas o peso pode variar conforme os sensores adicionados pelo usuário.	<US\$ 500	Não, os suportes de câmeras podem ser adquiridos no mercado ou impressos em 3D.	Costuma ser construído a partir de um kit, mas é totalmente customizável. Utiliza um Pixhawk (ver observações do 3DR Solo).	Cunliffe et al., 2016, Puttock et al., 2015
	Draganflyer X6	Capacidade de carga de 2,6 kg.	US\$ 10.000	Não, usuários relatam a fixação de câmeras reforçadas na parte inferior utilizando fixadores personalizados.	Sistema pronto para uso, mas para instalar os sensores ou estabilizadores é necessário conhecimento técnico básico. Comercial.	Woodget et al., 2017, Woodget et al., 2015
	DJI Mavic Pro/Mavic Air	TOW pronto para voar, com câmera integrada, de 0,4 kg (Air) - 0,725 kg (Pro).	US\$ 700–U\$1.500	Sim.	Câmera de 12 MP integrada ao drone.	Fernandes et al., 2018
	Parrot Anafi	TOW de 374 g com câmera integrada.	US\$ 1–2.000	Sim.	Câmera de 21 MP integrada ao drone	Borrelli et al., 2019
ASA FIXA	Skywalker 2013	Variável conforme o peso da carga.	US\$ 700-1.000	Não, deve ser customizado pelo usuário. Utiliza muitas vezes câmeras compactas, por ex. a Canon S100 com o 'Canon Hack Development Kit' (CHDK) para acionamento autônomo.	Utiliza o piloto automático HK 2.7, compatível com o software de código aberto Mission Planner.	Wich et al., 2015
	Parrot Disco	700 g, tempo de voo de 45 minutos e velocidade máxima de 80 km/h.	US\$ 800	Câmera integrada de 14 MP.	Pronto para uso, out-of-the-box, pouso e decolagem automatizados, software Parrot FreeFlight Pro para planejamento de missões	Cerreta and Kiernan, 2019
	TBS Caipirinha	Normalmente 650 g, se equipado com uma câmera GoPro.	US\$ 500	Não, mas os usuários relatam a instalação fácil da câmera GoPro.	Equipado com o controlador de voo APM2, compatível com o software de código aberto Mission Planner.	Thapa et al., 2018
	SenseFly Ebee	700 g.	US\$ 15.000	Sim – inclui a câmera RGB SenseFly S.O.D.A ou pode ser equipado com uma Parrot Sequoia para mapeamentos multispectrais.	Uma versão relativamente mais sofisticada de uma aeronave de asa fixa, mas bem suportado por fornecedores comuns.	Scobie and Hugenholtz, 2016



A área protegida de Amoron'i Onilahy, em Madagascar, é gerenciada pelas comunidades locais em parceria com o WWF, que protegem suas riquezas naturais por meio do ecoturismo, promovendo a biodiversidade.

© Martina Lippuner/WWF-África

# 3

## ENTÃO VOCÊ QUER USAR O DRONE PARA CONSERVAÇÃO?

Você deve estar lendo este relatório porque está interessado em saber se dados coletados por drones seriam úteis para a sua aplicação ecológica ou de conservação. Provavelmente, algumas das perguntas para as quais você precisa de respostas já foram abordadas por outros em experimentos com a tecnologia e na realização de investigações científicas ou outros estudos com drones. Neste capítulo, nós:

- Sintetizamos as metodologias atuais de última geração no uso de drones dentro da ecologia e conservação;
- Esboçamos as principais considerações que todos os operadores de drones devem analisar antes de levantar voo (**melhores práticas, Figura 8**);
- Indicamos as seções deste relatório que oferecem detalhes sobre os tipos de dados que podem ser coletados, e como;
- Resumimos brevemente as dificuldades e desafios operacionais que os operadores de drones enfrentam em determinadas situações.

### 3.1 Drones de última geração na conservação

Novas pesquisas mostram que os dados obtidos por drones podem oferecer leituras científicas otimizadas de fenômenos naturais quando comparados à observação humana. Hodgson et al. (2018), por exemplo, evidenciou contagens mais precisas de animais a partir de dados de imagem de drones. Da mesma forma, os drones podem oferecer dados geoespaciais mais precisos a um custo inferior quando comparados a outras tecnologias de mapeamento (Glendell et al., 2017, Castillo et al., 2012), além de serem visualmente atrativos e de fácil interpretação e compreensão para os não especialistas – podendo influenciar e informar diretamente mudanças de políticas de forma direta (Stark et al., 2018). Os dados coletados por drones estão, assim, sendo cada vez mais usados para dar suporte aos gestores de parques e comunidades locais no monitoramento e proteção de suas áreas em tempo real (Ancin-Murguzur et al., 2020, López J, Mulero-Pázmány, 2019; **ver seção 3.7**). No contexto da ecologia animal, Koh e Wich (2012) argumentam que os drones oferecem uma abordagem não técnica para a coleta de dados em uma boa resolução espacial e temporal. As seções a seguir apresentam uma breve exposição da amplitude de aplicações científicas para as quais os dados de drones contribuíram para uma compreensão avançada das questões relacionadas à ecologia e à conservação.

### 3.2 Flora terrestre

No âmbito da ecologia terrestre, os drones têm sido utilizados de forma eficaz no mapeamento de baixo custo de habitats florestais para a avaliação de carbono (Mlambo et al., 2017) e para a avaliação espacial e volumétrica da estrutura florestal (Dandois et al., 2015, Dandois e Ellis, 2010, Dandois e Ellis, 2013, Zahawi et al., 2015). Na Amazônia brasileira, d'Oliveira et al. (2020) obteve estimativas de biomassa acima do solo (AGB), além de informações da estrutura das copas e da distribuição de densidade de área foliar a partir de um LiDAR acoplado em um drone. Baena et al. (2018) mostrou como os dados obtidos por drones podem ser utilizados para a avaliação de ecossistemas terrestres, além de fornecer informações úteis que orientem as estratégias de manejo de comunidades de animais selvagens e plantas (Lyons et al., 2018B). Em ambientes áridos, trabalhos

anteriores mostraram o potencial das metodologias baseadas em drone para o mapeamento de grandes tipos de vegetação em diversos terrenos – a alta resolução espacial do drone revelou padrões escondidos nos pixels de escala mais grosseira dos satélites (Laliberte e Rango, 2009, Rango et al., 2006). Trabalhos mais recentes mostram que nuvens de pontos derivadas de fotografias aéreas capturadas por drones podem fornecer informações cruciais sobre as estruturas de plantas desérticas e da biomassa acima do solo (Cunliffe et al., 2016), levando ao desenvolvimento de um novo protocolo reproduzível para a expansão de tais observações para uma ampla gama de sistemas ecológicos (Cunliffe e Anderson, 2019). Em ecossistemas de vegetação rasteira, novas pesquisas comprovam a capacidade dos dados obtidos por drones de fornecer informações sobre a altura da vegetação, fundamental para o entendimento da distribuição espaço-temporal do ecossistema em sistemas onde o LiDAR não forneceria dados úteis sobre a estrutura ecológica (Forsmo et al., 2018). Os drones também podem oferecer uma nova perspectiva – Liang et al. (2019) demonstra o valor dos dados de scanners a laser a partir de drones ao mostrar como os scanners prontos para uso baseados em drones disponíveis hoje podem fornecer “excelente performance na medição da altura/copa das árvores”. Ainda que eles demonstrem que a precisão geométrica da coleta na origem seja menor que a do scanner a laser, a “alta mobilidade e rápida aquisição de dados” (ibid) oferecem benefícios comparados ao TLS em sistemas florestais.



**Figura 3:** Uma imagem de drone mostra a vegetação árida do Deserto do Novo México, tirada por um DJI Phantom 4.  
© Dr. Andy Cunliffe

## MONITORANDO A BIOMASSA VEGETAL COM FOTOGRAMETRIA DE DRONE

Dr. Andrew Cunliffe, Universidade de Exeter



Andy é um pesquisador que investiga as dinâmicas do carbono nos ecossistemas terrestres. Ele utiliza a fotogrametria de drones como uma ferramenta versátil para coletar observações refinadas sobre plantas e terrenos em locais de todo o mundo.

As plantas são componentes críticos da maioria dos ecossistemas, mediando as trocas de água e de carbono entre a terra e a atmosfera, e formando a base para a maioria das teias alimentares. Os conservacionistas podem utilizar os drones como uma ferramenta de observação das plantas, buscando mudanças dentro e entre os ecossistemas que venham a oferecer uma compreensão da saúde dessas plantas, disponibilidade de forragem, quantidades de combustível e respostas ecológicas às mudanças ambientais.

Os drones podem registrar fotografias de ecossistemas de cima de forma reproduzível e minimamente invasiva. Essas fotografias aéreas podem ser processadas com técnicas de fotogrametria, gerando um mosaico de imagens geolocalizadas e modelos tridimensionais. Essas imagens podem ser analisadas para detectar a presença de organismos específicos, como uma espécie invasora. Os modelos também suportam a extração da altura das copas das árvores e atributos associados, como o biovolume, que pode ser usado para inferir a biomassa acima do solo. Com mapeamentos recorrentes, é possível monitorar as mudanças da cobertura vegetal, da altura das copas das árvores e do armazenamento de carbono na biomassa ao longo do tempo.

### Recomendações fundamentais para o novo cientista de drone:

1. Reserve tempo para pensar sobre como os atributos coletados remotamente estão relacionados às propriedades que você quer medir.
2. Ao trabalhar com novas abordagens, realize testes em campo para garantir que a sua coleta de dados atenderá às suas necessidades.

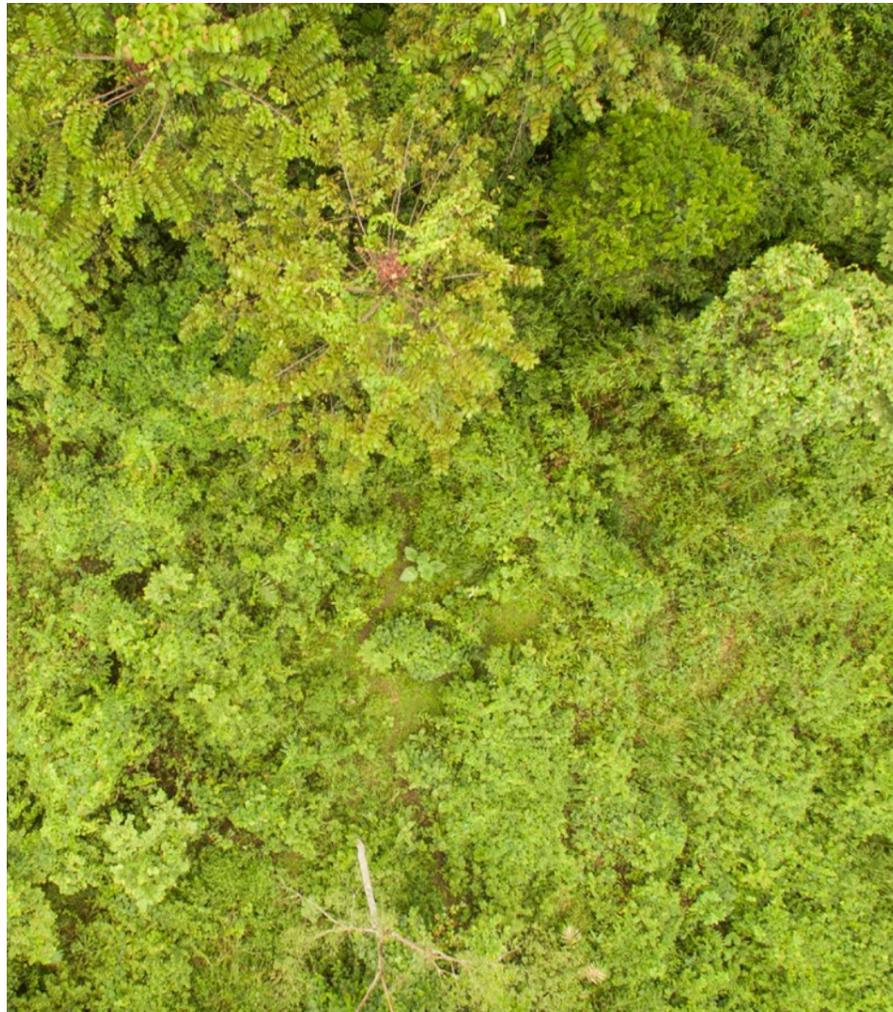
### Mais informações:

Andrew M. Cunliffe, Richard E. Brazier, Karen Anderson. 2016. Ultra-fine grain landscape-scale quantification of dryland vegetation structure with drone-acquired structure-from-motion photogrammetry, *Remote Sensing of Environment*, Volume 183, Pages 129–143.



### 3.3 Fauna terrestre

Nos estudos de fauna, os drones forneceram dados inovadores. Alguns desses dados foram usados, por exemplo, para uma melhor compreensão da ecologia dos macacos-narigudos, complementando o rastreamento e mapeamento do habitat por satélite (Stark et al., 2018). Ninhos de orangotangos (Wich et al., 2015) e de chimpanzés (Bonnin et al., 2018) foram mapeados por drones em locais onde os dados de alta resolução espacial são essenciais para distinguir as características das copas das árvores associadas aos locais dos ninhos. Sensores de temperatura em drones foram fundamentais no monitoramento de animais que habitam as copas das árvores, como os macacos (Kays et al., 2019). Van Gemert et al. (2015) foi pioneiro na aplicação de sistemas de contagem automática aos dados de drones com o objetivo de contagens populacionais, enquanto Weimerskirch et al. (2018) utilizou drones para ampliar o entendimento do comportamento e fisiologia animal. Nos âmbitos terrestre e marinho, o novo trabalho de Nowlin et al. (2019) começou a avaliar o papel dos dados de drones no monitoramento do comportamento humano dentro de projetos de conservação. Por meio desse trabalho, eles debatem os “contextos legais e regulatórios que os cientistas enfrentam quando as pessoas são seus principais objetos de estudo” e, como resultado, oferecem um conjunto útil de diretrizes para os pesquisadores que estudam as interações humanas com os recursos naturais no ambiente marinho.



**Figura 4:** Ninho de orangotangos observado durante um mapeamento aéreo por drone na Reserva Florestal de Bukit Puton. © WWF-Malásia/Mazidi Abd Ghani



**Figura 5:** Barcos pesqueiros são descarregados em Kayar, Senegal. © Aurélie Shapiro/WWF

### 3.4 Flora marinha/costeira

Na zona costeira próxima ao litoral, mapeamentos de angiospermas marinhas foram entregues com sucesso por drones (Duffy et al., 2018B). Nas dunas, os drones foram usados para fornecer dados ecológicos espaciais e informações geomórficas volumétricas (Duffy et al., 2018A, Mancini et al., 2013). Na conservação de tartarugas-marinhas, Varela et al. (2019) demonstrou o valor de modelos topográficos costeiros refinados fornecidos a partir de fluxos de trabalho de fotogrametria de estrutura a partir do movimento para a avaliação da compressão costeira e o impacto da elevação dos níveis do mar nas praias de aninhamento de tartarugas. A avaliação das zonas de vegetação costeira utilizando drones leves também foi realizada com sucesso por Ventura et al. (2018). O trabalho de Gray et al. (2018) evidencia que os dados de drones são “altamente eficazes” no treinamento de algoritmos de classificação e validação de dados de satélite de alta resolução espacial: neste exemplo, essa abordagem foi demonstrada para os produtos de mapeamento de habitats costeiros gerados a partir de dados de satélite de pior resolução.

### 3.5 Sistemas aquáticos

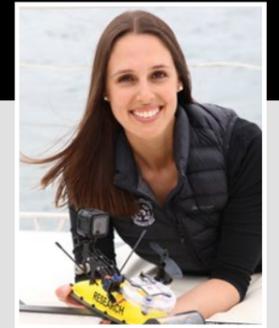
Em sistemas aquáticos, a presença da água e de estruturas de variação espacial/temporal (como ondas, espuma) pode criar incerteza nos dados coletados por drones, tornando difícil unir imagens ou gerar imagens de alta qualidade. Há hoje o desenvolvimento de ciência de ponta para tentar solucionar esse problema com “lente fluida” (ou seja, “utilizando comprimentos de onda transmitidos pela água para registrar objetos submersos em alta resolução ao explorar eventos de refração óptica variáveis no tempo causados pela superfície das ondas” (Chirayath and Earle, 2016). A técnica depende de algoritmos complexos e experimentais para modelar o efeito dos movimentos da superfície em sinais captados remotamente. Ela provavelmente estaria fora do alcance da maioria dos conservacionistas hoje, mas, no futuro, é possível que faça parte dos fluxos padrões de trabalho de processamento marinho. Por outro lado, em condições ideais e de vento mínimo, há grandes oportunidades para os conservacionistas se beneficiarem dos dados de drones. Cientistas estudando os recifes de corais tiraram proveito do drone devido à natureza rasa de muitos recifes, o que significa que, em condições calmas, a estrutura do recife pode ser detectada com eficácia pelos drones. Casella et al. (2017), por exemplo, mostra como a morfologia de recifes submersos pode ser obtida ao aplicar fluxos de trabalho de fotogrametria para sobrepor imagens aéreas. Mamíferos marinhos receberam muita atenção nesse campo – com o mapeamento de dugongos (Hodgson et al., 2013), tubarões e raias (Kiszka et al., 2016), focas (Pomeroy et al., 2015), aglomerações de águas-vivas (Schaub et al., 2018), cetáceos (Gray et al., 2019) e baleias (consultar estudo de caso, página 33). De fato, no caso dos cetáceos, Gray et al. (2019) demonstrou que, ao utilizar fluxos de trabalho de fotogrametria e redes neurais de ponta, é possível classificar corretamente espécies de baleias a partir de imagens de drones com precisão de 98% (57/58) para baleias-jubarte, baleias-minke e baleias-azuis, o que significa que o reconhecimento automático de espécies é uma possibilidade no futuro. Ainda sobre baleias, um trabalho recente de Christiansen et al. (2019) destacou a capacidade de “pesar” os mamíferos marinhos indiretamente por meio de técnicas de fotogrametria que descrevam as características volumétricas dos indivíduos. No âmbito da água doce, há também estudos que estão começando a mostrar a capacidade dos drones de fornecer novas informações sobre a estrutura e função dos rios (Woodget et al., 2017, Husson et al., 2016, Husson et al., 2014).



**Figur 6:** Mapeamento com drone de botos-cor-de-rosa, Brasil. © Mauro/AFP

### UTILIZANDO DRONES PARA COLETAR AMOSTRAS PULMONARES DE BALEIAS

Dr. Vanessa Pirotta, Universidade Macquarie



Vanessa Pirotta é bióloga conservacionista e divulgadora científica, e concluiu recentemente seu PhD na Universidade Macquarie. Sua pesquisa foca na identificação de lacunas na conservação de cetáceos: baleias, golfinhos e toninhas.

Como parte do PhD da Vanessa, drones à prova de água foram construídos para coletar amostras da microbiota dos pulmões de baleias de modo a avaliar a saúde dos animais. Anteriormente, coletar amostras da saúde das baleias era limitado àquelas encalhadas, com a saúde comprometida, ou baleias caçadas. A transição para a coleta de amostras a partir de baleias vivas e em liberdade incluía originalmente hastes com placas de Petri estendidas sobre seus espiráculos a partir de barcos. Este era e ainda é um método bem-sucedido para a coleta de microbiota dos pulmões, mas a aplicação requer aproximar os barcos das baleias, o que pode ser perigoso e invasivo.

A aplicação do drone na coleta de amostras da microbiota dos pulmões da baleia-jubarte na costa de Sydney obteve tremendo sucesso. Em colaboração com a indústria (Heliguy Scientific), um mecanismo com tampa operado remotamente no drone permite que a placa de Petri seja aberta e fechada durante o voo para minimizar a contaminação da amostra. A partir disso, a microbiota e os vírus dos pulmões foram coletados com esse método não invasivo.

#### Principais conselhos para os conservacionistas:

1. Colabore com a indústria para desenvolver ferramentas para a sua pesquisa.
2. Vá além da sua especialidade e aprenda com aqueles que fazem coisas similares em ambientes diferentes.

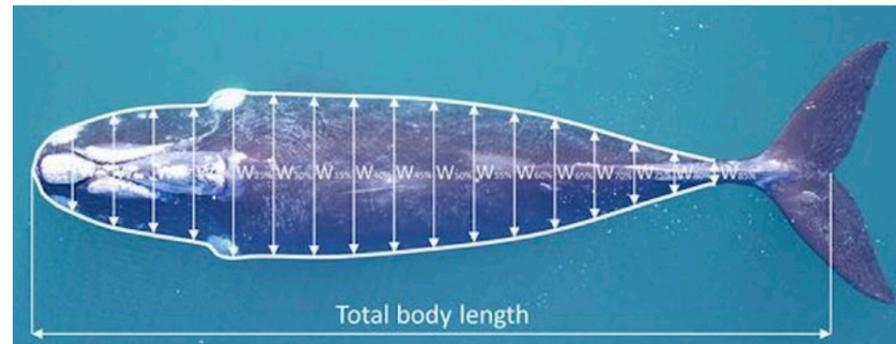
#### Mais informações:

Pirotta, V., Smith, A., Ostrowski, M., Russell, D., Jonsen, I.D., Grech, A., et al. (2017). An economical Custom Built drone for assessing whale health. *Frontiers in Marine Science*, 4.

[www.vanessapirotta.com](http://www.vanessapirotta.com)



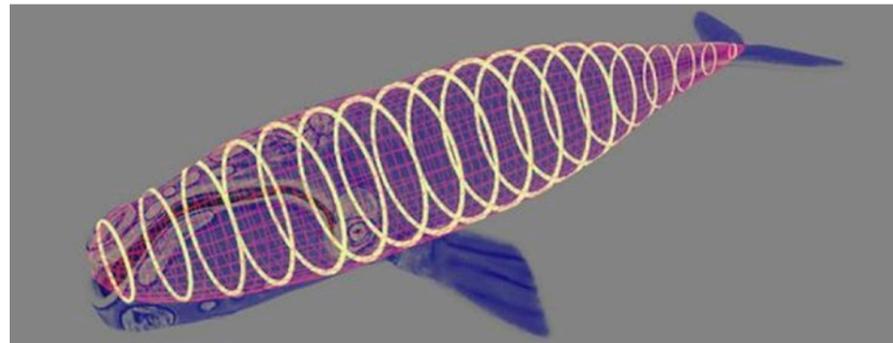
Coleta de amostras pulmonares de baleias em ação. Utilização de drones para a coleta de microbiota dos pulmões para análise remota da saúde das baleias na costa de Sydney, Austrália. © Vanessa Pirotta



Exemplo de fotografias aéreas da superfície dorsal de uma baleia-franca-austral, utilizadas para medir comprimento e largura corporais em incrementos de 5% ao longo do eixo do corpo e de 5 a 85% do comprimento a partir do rostro (setas brancas).



Lateral da mesma baleia, utilizada para extrair a altura do corpo (distância dorso-ventral) ao longo dos mesmos locais de medida. As linhas brancas sólidas indicam a localização da circunferência prevista (a 25,5 e 75% BL do rostro) ao longo do eixo do corpo (linha branca pontilhada).



Modelo em 3D da mesma baleia, usado para estimar o volume do corpo. As elipses transversais ilustram a variação da relação entre altura e comprimento ao longo do corpo da baleia.

**Figura 7:** Utilização de drones para estimar características corporais de cetáceos – de Christiansen et al. 2019.

### 3.6 Relação entre seres humanos, drones e vida selvagem

A “interferência” dos drones tem sido uma preocupação dos ecologistas, uma vez que os drones criam perturbações visuais e sonoras, além de ocupar o mesmo espaço aéreo das aves. Felizmente, há diversos estudos que avaliam as implicações éticas das operações com drones próximas à vida selvagem ou em locais selvagens. Lyons et al. (2018A) estudou as mudanças comportamentais das aves em relação aos drones durante o período de acasalamento, além das interações com aves de rapina e os efeitos nas aves em nidificação em grandes colônias. Os estudos relatam que, em mais de 70 horas de voo, não se depararam com nenhum incidente com as aves, exceto alguns comportamentos agressivos de indivíduos específicos na temporada de acasalamento. Nossa própria experiência a partir de centenas de horas de voo com drones é similar – as aves (principalmente aves de rapina ou corvos grandes) notam o drone e o acham interessante. Nós não observamos nenhum ataque de ave aos drones, tanto os multirotores quanto os de asa fixa. Em corroboração, Vas et al. (2015) mostrou que, durante 204 voos de aproximação com um drone quadricóptero, 80% permitiram a aproximação em até 4 metros de distância sem nenhum efeito comportamental mensurável da velocidade de aproximação ou da cor do drone nas aves, com uma reação ligeiramente mais forte aos drones que se aproximaram verticalmente. Eles recomendam o lançamento dos drones a >100 m de distância de qualquer organismo alvo “ajustando a distância de aproximação conforme a espécie” (Vas et al., 2015). Dentre os outros animais, a resposta fisiológica de mamíferos grandes aos estímulos dos drones foi testada. Os ursos-negros apresentaram um aumento da frequência cardíaca quando expostos aos drones, com uma resposta fisiológica cada vez menor após exposições recorrentes (Ditmer et al., 2019). Pomeroy et al. (2015) estudou focas-cinzentas e focas-comuns no Reino Unido com drones e apresentou respostas variadas a voos de VANTs, as quais explicou como relacionadas à exposição anterior dos animais à interferência. No monitoramento de lobos-marinhos, que seria normalmente realizado a pé, McIntosh et al. (2018) mostrou que “com os testes adequados e considerações éticas; em muitas situações, os RPAS podem realizar mapeamentos com maior frequência, melhor resolução dos dados [sic] e menos interferência” do que métodos *in situ*. Para aqueles que buscam uma orientação geral sobre as melhores práticas para o uso de drones perto de animais, indicamos aos leitores o trabalho de Hodgson e Koh (2016), que apresenta um conjunto simples de pontos (os quais destacamos na **Figura 8**) para guiar todos os levantamentos com drones. Nós argumentamos que esses pontos de orientação são pragmáticos para todos os usuários de drones independentemente do tipo de mapeamento ou espécie-alvo. Além dos pontos de orientação de Hodgson e Koh (2016), Mulero-Pázmány et al. (2017) e Sandbrook (2015) oferecem excelentes revisões críticas que abrangem a interferência e ética dos mapeamentos por drone que todos os conservacionistas e cientistas deveriam ler antes de qualquer operação aérea.

### 3.7 Manejo de áreas protegidas

Áreas protegidas (APs) bem gerenciadas, incluindo APs de uso sustentável que abrangem comunidades tradicionais locais, podem exercer um grande papel na conservação das florestas, oferecendo proteção para a biodiversidade e servindo como uma reserva para futuros esforços de reflorestamento. No entanto, é improvável que APs mal gerenciadas e desprovidas de recursos sobrevivam às crescentes pressões que enfrentam e, embora as áreas protegidas devam ser expandidas, é imperativo que elas também sejam melhor gerenciadas e monitoradas. Monitorar e proteger vastas APs e a vida selvagem com recursos limitados e equipes pequenas é um enorme desafio em muitos países ricos em florestas tropicais,

### ADOTE O PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO EM VEZ DA EVIDÊNCIA.

- É necessário o cuidado redobrado em casos que envolvam animais ameaçados ou habitats sensíveis.
- O leque de animais e ambientes avaliados para sensibilidade aos drones é limitado – lembre-se que a resposta do seu organismo-alvo pode ser inesperada. Busque a orientação de especialistas em caso de dúvida.

### FAÇA USO DOS PROCESSOS ÉTICOS INSTITUCIONAIS REFERENTES AOS ANIMAIS PARA SUPERVISIONAR AS OBSERVAÇÕES E EXPERIMENTOS COM VANTS.

- Tenha a certeza de que todas as metodologias para uso do drone estão de acordo com as licenças éticas institucionais aprovadas.

### RESPEITE AS REGRAS RELEVANTES DA AVIAÇÃO CIVIL E ADOTE OS CRONOGRAMAS DE MANUTENÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E TREINAMENTO DE OPERADORES.

- Observe as restrições locais e leis nacionais.
- Quando as regras não forem claras, redobre o cuidado.
- Realize regularmente a manutenção do equipamento do drone e mantenha registros da manutenção e dos voos.
- Busque aprovação para o voo com comunidades indígenas ou locais quando apropriado.

### SELECIONE O VANT E SENSORES ADEQUADOS.

- Escolha o drone certo para reduzir os estímulos sonoros e visuais ao mínimo, tanto para os organismos-alvo e não alvo, considerando tipo, formato, tamanho e cor.
- Considere modificar o drone caso necessário para reduzir o barulho e a interferência.
- Escolha um sensor que permita a coleta de dados suficientes a partir de uma distância segura.

### REALIZE PRÁTICAS DE VOO COM O MÍNIMO DE PERTURBAÇÃO À VIDA SELVAGEM.

- Determine os locais de decolagem e pouso com antecedência e longe dos animais (fora de vista, se possível).
- Mantenha sempre distância dos animais durante o voo.
- Evite trajetórias de aproximação ameaçadoras e movimentos esporádicos.
- Desenvolva protocolos que minimizem a interferência com a sua espécie-alvo e dos demais que vivem por perto.

### INTERROMPA AS OPERAÇÕES CASO SEJAM EXCESSIVAMENTE DIRUPTIVAS.

- Monitore o comportamento de pessoas e animais durante o voo do drone.
- Interrompa as operações com o drone caso a resposta seja adversa.

### PUBLIQUE RELATÓRIOS DETALHADOS E PRECISOS DOS MÉTODOS E RESULTADOS.

- Não deixe de compartilhar suas metodologias e experiências com os demais ao desenvolver uma pesquisa reproduzível e rastreável. Boas práticas resultarão em boas práticas dos demais.

**Figura 8:** Sete pontos de boas práticas com operações com drones – adaptado de Hodgson e Koh (2016).

mas tecnologias da conservação, como os drones, podem exercer um papel importante na assistência da conservação de linha de frente e complementando os recursos para gestão e proteção das APs (Ancin-Murguzur et al., 2020, López J & Mulero-Pázmány, 2019).

Além de ser usado em estudos da vida selvagem e de vegetação, o drone pode ser um ótimo recurso para auxiliar os gestores de parques e comunidades locais no monitoramento e proteção de suas áreas. No contexto de manejo de APs, os drones já foram utilizados na assistência de diversas tarefas, como no patrulhamento anticapa ilegal (Hambrecht et al., 2019); detecção e combate de incêndios florestais (Ferreira et al., 2019, Merino et al., 2012); no registro de desmatamento e mineração ilegais (Koh & Wich, 2012); no suporte de buscas e resgates (Burke et al., 2019, Goodrich et al., 2008); no uso público (Ancin-Murguzur et al., 2020, Sabella et al., 2017); mapeamento (Paneque-Gálvez, 2014, 2017, d'Oliveira et al., 2020), entre outros.

No entanto, o uso de drones na gestão de APs é restrito por muitos fatores, como custo e obstáculos tecnológicos, além da praticidade e facilidade de uso. Muitas vezes, a maioria dos drones comerciais apresenta cobertura e tempo de voo insuficientes para abranger as grandes extensões das APs, mas a tecnologia evoluiu rapidamente, e o uso localizado de drones tem se mostrado promissor. Implicações legais e éticas do uso de drones para a gestão de APs também precisam ser cuidadosamente levadas em consideração, uma vez que muitos países possuem restrições para o voo de drones além da linha de visada visual ou acima de determinada altitude, ou pode haver sensibilidades culturais, religiosas ou políticas no que se refere às comunidades tradicionais.

Apesar dos desafios, os drones podem ampliar a precisão e eficiência dos esforços de monitoramento das APs, ser uma ótima ferramenta no auxílio ao manejo e ajudar a monitorar os impactos e ameaças à conservação. Ademais, o baixo custo e economia de tempo da aplicação de drones em tarefas como mapeamento ou inventário florestal, comparado ao trabalho de campo tradicional, podem ampliar a precisão e eficiência da coleta e análise de dados, de forma mais abrangente, em uma maior escala espacial, em um intervalo temporal apropriado e com melhor resolução. Os drones também podem ser usados em conjunto com imagens de satélite, as quais podem detectar previamente sinais precoces de perturbação, em áreas onde o drone possa ser rapidamente mobilizado para uma maior investigação e registro.



**Figura 9:** Treinamento de grupos indígenas na Floresta Amazônica para monitorar incêndios florestais e desmatamentos com a ajuda de drones. © Marizilda Cruppe/WWF-UK



O Parque Nacional de Quirimbas e Reserva da Biosfera da UNESCO, no norte de Moçambique, é lar de ricos recursos marinhos, sustentando uma pesca vibrante. © WWF-Moçambique

# 4

## REALIZANDO UM MAPEAMENTO COM DRONE EM 10 PASSOS CLAROS

Aqui, apresentamos um fluxo de trabalho típico para a realização bem-sucedida de um mapeamento por drone e o capítulo relevante deste relatório que oferece mais informações.

PASSO	CONSIDERAÇÕES	CAPÍTULO
1. Formular a pergunta da pesquisa / selecionar local de estudo	O drone é a melhor ferramenta para esta tarefa? Você tem acesso ao equipamento e experiência relevante? Há algum obstáculo ou consideração legal? São necessárias licenças?	3, 5, 6 & 7
2. Seleção e preparação de equipamentos	Qual tipo de drone é mais adequado para a coleta de dados? Qual sensor coletará os dados na escala/comprimento de onda desejado?	5 & 6
3. Teste operacional do equipamento e capacidades do sensor	Você testou o equipamento em um ambiente 'seguro' para testes? A tecnologia teve o desempenho esperado? O sensor coleta dados compatíveis com a sua aplicação?	5, 6, 7, 8 & 10
4. Análise do local de estudo	É necessário ter licença ou autorização para voar? O local é acessível? Há um local seguro para decolagem e pouso e você tem a permissão do proprietário para acessar a área? Quais são os riscos presentes no local? Eles podem ser vistos por satélite ou apenas pessoalmente? (ex. cabos telegráficos). Há alguma restrição do espaço aéreo?	3 & 7
5. Planejamento de voo	Qual é a cobertura do seu sensor? Você precisa de redundância nos dados coletados (como dobrar a quantidade de fotos)? Você precisa de redundância no hardware? Verifique a previsão do tempo - implicações para segurança e qualidade dos dados.	3, 6, 7 & 10
6. Voos de mapeamento	Você possui a equipe necessária para operar de forma segura? Quais são seus planos de emergência caso algo dê errado?	7 & 10
7. Backup dos dados	O backup dos dados deve ser realizado em campo, se possível, ou ao menos removido do sensor/drone a cada voo (em caso de mais de um voo). O backup dos dados deve ser realizado ao sair de campo (para a nuvem ou disco rígido externo).	8
8. Dados limpos e pré-processados se necessário	Como você organizará e armazenará os dados para processamento? Métodos e fluxo de trabalho para a remoção de dados não desejados para otimização do processamento.	8
9. Process data	Um teste com um subconjunto de dados ajudaria a identificar problemas no processamento? Você possui armazenamento suficiente para os dados processados? Você possui o software e hardware necessários?	8
10. Dissemine as informações	Software de processamento, como a fotogrametria, pode produzir muitas informações. Selecione as informações críticas para o seu projeto.	8



“A floresta escondida” mostra as diferenças na atividade fotossintética conforme a reflectância no infravermelho próximo. Este mosaico foi criado a partir de 431 imagens tiradas na Floresta Negra do Sul, Alemanha. © Adrian Meyer

# 5

## ANATOMIA DO DRONE

Faça uma busca na internet pela palavra “drone” e você provavelmente verá imagens de drones comerciais multirotores (**Figura 10**). Eles se tornaram sinônimos da descrição e definição de drone, o que aparenta ser justificável. Ainda assim, há toda uma taxonomia de drones, de militares a civis, pesquisa a recreação. Wallace-Wells (2014) escreveu que, se você estivesse desenvolvendo “uma taxonomia para descrever todas as máquinas, esses drones não pertenceriam à mesma espécie. Eles provavelmente não pertenceriam ao mesmo filo”. A tecnologia dos drones se diversificou muito rapidamente, com mais de 1.500 tipos diferentes sendo produzidos com diversas aplicações, resultando em “toda uma ecologia de robôs voadores tão vasta que chamar todos pelo mesmo nome pode parecer absurdo”. Drones multirotores certamente inspiraram todo um mercado consumidor, fazendo surgir novas oportunidades na ciência, no comércio e na recreação.



**Figura 10:** O mercado consumidor de drones é composto em grande parte por drones multirotores. © Laboratório de Drones da Universidade de Exeter

Como é de se esperar, apesar da versatilidade e domínio do multirotor dentro do mundo dos drones, há falhas e limitações que podem fazê-lo deixar de ser a melhor ferramenta para a coleta dos dados desejados por um conservacionista. A compreensão das capacidades e limitações comuns de cada tipo de plataforma pode ajudar os usuários a tomar uma decisão informada na hora de escolher a ferramenta certa para a tarefa, como parte de qualquer plano de ação. Recursos limitados, terreno difícil, localização remota e inexperiência são todos problemas que podem ser antecipados e mitigados (Duffy et al., 2017), seja integralmente ou em parte, com um pouco de conhecimento sobre a anatomia dos drones, contribuindo muito para a realização de uma coleta segura dos dados desejados.

Uma razão fundamental para se obter um conhecimento mais profundo da anatomia dos drones é a segurança. Não apenas para o piloto, sua equipe ou a população no geral, mas também para o ambiente no qual o operador está trabalhando. Sem o conhecimento prático de como o seu drone funciona e, assim, suas limitações, acidentes relacionados ao uso incorreto podem levar a lesões e danos à propriedade, perturbação de animais, como respostas físicas adversas, eventos de estresse (Ditmer et al., 2015, Ditmer et al., 2019, Hodgson e Koh, 2016, Mulero-Pázmány et al., 2017), poluição por plástico, gases nocivos e até mesmo incêndios; todos os quais, dependendo do ambiente, podem ser catastróficos.

Há uma infinidade de postagens em fóruns e outras fontes de informações que discutem e debatem as qualidades e especificações dos componentes dos drones, sendo a física do voo no mínimo complexa, principalmente para aqueles sem experiência em matemática, física ou engenharia. O objetivo deste capítulo é sintetizar esse conhecimento e introduzir o leitor aos diferentes tipos de plataforma de aeronaves disponíveis para uso. Aqui, oferecemos uma maior clareza sobre o que pode ser esperado de cada tipo de plataforma no que se refere às suas capacidades e limitações de voo, além da dissecação dos principais componentes que, juntos, formam um drone, para aqueles sem o conhecimento técnico. Nós incluímos elementos essenciais de segurança e da legislação que são vitais para o sucesso das operações e da sua implementação.

## 5.1 Tipos de aeronave

Conforme descrito por DeBell et al. (2015), há quatro tipos principais de drone: o de asa fixa, o multirotor, os de pipa (operados por linha) ou balão e, por fim, os dirigíveis (que podem ser a bateria ou cabeados). Aeronaves mais tradicionais similares a um helicóptero (rotor único e grande e rotores estabilizadores menores de cauda) podem ser usados como plataformas de drone, mas tendem a ser um produto de nicho, com estruturas mais específicas (ou seja, que permitem a acomodação dos eletrônicos necessários, como o piloto automático), não estando amplamente disponíveis. Os helicópteros tradicionais têm seu mérito no mapeamento – eles tendem a ser mais estáveis e eficientes do que os multirotores –, mas sua complexidade mecânica geralmente os inviabiliza como uma opção de baixo custo e, por isso, não acrescentaremos essas plataformas à discussão. Embora também tenhamos visto desenvolvimentos recentes nos drones tipo dirigíveis, o foco desses drones foi desviado para o uso interno ou para sistemas que estão além dos orçamentos debatidos no **Capítulo 3** e, por isso, o foco deste capítulo será nos três principais tipos de drones que são amplamente utilizados na ciência ambiental.

Quanto mais complexo for o sistema, maiores são as chances de altos custos, redução da estabilidade em longo prazo e possível perda de confiabilidade e robustez do sistema. Para um conservacionista que deseja coletar dados de sensoriamento remotamente, a opção mais simples é aquela com maior chance de sucesso. E isso pode significar que escolher uma simples pipa ou balão poderia, de fato, ser a melhor opção (Duffy e Anderson, 2016), principalmente quando fatores como custo e transporte do equipamento, distância, velocidade do vento, terreno e altitudes acima do nível do mar são levados em consideração. É também por isso que opções mais simples e de baixo custo são mais favoráveis do que sistemas proprietários mais caros, os quais possuem peças de reposição ou componentes inteiros à pronta entrega e, em alguns casos, controles de voo que foram simplificados com funcionalidades limitadas para o piloto iniciante.

### 5.1.1 Balões cabeados e pipas

A simplicidade dessas plataformas é seu ponto forte. Balões cabeados e pipas são basicamente autoexplicativos. Drones tipo pipa para fotografias aéreas ou Fotografia Aérea com Pipa (KAP) são sistemas fixos por uma linha e, por isso, estáveis e fáceis de manobrar. Eles são normalmente construídos de um material em nylon leve e robusto chamado Ripstop, criando um aerofólio simples. Balões cabeados podem ser construídos a partir de diversos materiais diferentes, mas, geralmente, se parecem exatamente com as bolas de látex que conhecemos bem. Os balões e pipas não necessitam de fonte de energia, o que significa que podem ser operados de forma mais consistente em locais remotos, ou em áreas com acesso limitado a fontes de energia. Os únicos fatores limitantes são as condições climáticas. A principal diferença entre os balões e as pipas é sua capacidade respectiva no vento. Enquanto a pipa precisa do vento para voar, os balões não funcionam bem em condições de vento forte. Ambos os sistemas são mais adequados para aplicações de fotografia aérea, ao contrário de dispositivos para coleta de dados em vídeo ou com sensores de movimento (multiespectrais e hiperspectrais). Quando há a necessidade de dados geolocalizados, a utilização de câmeras ou smartphones com GPS (Anderson et al., 2016) permite que o balão ou a pipa colete fotos aéreas com posição geográfica. Nem as pipas ou os balões foram desenvolvidos para transportar cargas pesadas, tendo os balões comuns uma capacidade de carga de 0,2-0,3 kg, enquanto as pipas podem carregar até 1 kg. Apesar de suas limitações inerentes, as pipas e os balões podem ser efetivamente utilizados em aplicações nas quais outros drones podem não ser viáveis devido às condições de vento ou ao terreno. Embora as pipas e os balões possam, às vezes, ajudar em ambientes desafiadores, eles também podem apresentar riscos de acidentes. Como as pipas e os balões são presos por um cabo, eles precisam ser manobrados manualmente sobre a área de interesse. Áreas de terreno difícil ou com obstáculos podem não ser propícias, ou podem requerer esforço físico intenso, para manobrar o equipamento durante os mapeamentos.

**Balões e pipas podem se manter em voo enquanto houver vento, oferecendo a oportunidade de cobrir áreas extensas, mas não podem ser pré-programados para mapeamentos como os drones.**

Uma vez que nem as pipas ou os balões requerem energia para se manter no ar, a área que são capazes de mapear é determinada principalmente pela condição física do operador e pela facilidade de travessia do terreno. No entanto, como os balões são capazes de se manter no ar por 2-4 dias, e as pipas conseguem se manter em voo desde que haja vento, ambos possuem o potencial de cobrir grandes áreas. Mapeamentos com uma altura fixa ou de repetição exata também são difíceis, uma vez que, diferente dos drones de asa fixa ou multirotores com piloto automático, não se pode especificar ou programar uma altura de voo ou percurso de voo definidos, além de estarem sujeitos às condições de vento. Desse modo, se há a necessidade de mapeamentos replicados com métodos idênticos, os sistemas sem fonte de energia podem não oferecer o nível adequado de controle do piloto. Para análises que envolvam produtos derivados de fotogrametria, tais limitações podem hoje ser superadas com métodos complexos de Monte Carlo, que permitem levar em consideração as incertezas resultantes dos diferentes mapeamentos (para maiores detalhes, ver Duffy et al., 2018A, James et al., 2017B).

### 5.1.2 Asa fixa

Drones de asa fixa (**Figuras 11 e 12**) são reconhecidos principalmente pela sua similaridade visual a uma aeronave pilotada. Eles apresentam uma fuselagem longa, com formato tipicamente cilíndrico ou quase cilíndrico, com asas rígidas e imóveis que se estendem a partir da fuselagem. Drones modernos de asa fixa não estão estritamente limitados a apenas esse formato, com uma ampla variedade de formas e funções. Esses drones devem muito do seu desenvolvimento à tradicional comunidade de entusiastas de controle por rádio. As primeiras pesquisas realizadas empregaram aviões modelo com câmeras 35 mm, mas, na época, uma utilização mais ampla era limitada devido ao alto nível de expertise necessário para a construção e operação dessas máquinas. Conforme discutido no **Capítulo 1** e, em grande parte, devido à crescente comunidade de FPV (Visão em Primeira Pessoa), há hoje diversos designs de fuselagens disponíveis

Diversos exemplos de modelos de drones de asa fixa e guias detalhados para aquisição ou construção do zero estão disponíveis em [ConservationDrones.org](http://ConservationDrones.org)

que oferecem excelentes plataformas versáteis e a baixo custo para a coleta de dados de sensoriamento remoto proximais. Inúmeros exemplos de drones de asa fixa podem ser encontrados no [ConservationDrones.org](http://ConservationDrones.org), além de guias detalhados para compra e construção do zero (Figuras 11 e 15; Wich, Serge & Koh, Lian Pin, 2012). Além das opções de construção própria, há uma variedade de drones de mapeamento de asa fixa mais caros e prontos para usar, equipados com uma variedade de sensores integrados. Entre eles, o drone de mapeamento Ebee (Figura 12), que pode ser usado assim que comprado, mas seu valor pode muitas vezes ultrapassar US\$ 10.000 e, assim, é uma opção viável apenas para aqueles com acesso a grandes orçamentos.

Uma das principais considerações no uso dos drones de asa fixa é a quantidade de espaço disponível para decolagem e pouso. Para os usuários iniciantes, a decolagem e pouso lineares devem ser contra o vento. Criar uma área adequada para decolagem e pouso lineares requer espaço excedente suficiente para acomodar os ajustes necessários devido a mudanças na direção do vento, sem introduzir riscos, como arbustos, árvores, veículos ou edifícios. Para identificar a área necessária, uma fórmula simples pode ser usada na qual se utiliza uma abordagem típica de pouso para um drone de asa fixa (uma rampa de planeio com o valor máximo recomendado para o piloto iniciante de 10%; Figura 13). Aplicando esse cálculo para uma altitude de voo no último ponto de passagem de 50 m, o comprimento da rampa de planeio (ou distância necessária para o pouso) seria de 500 m.

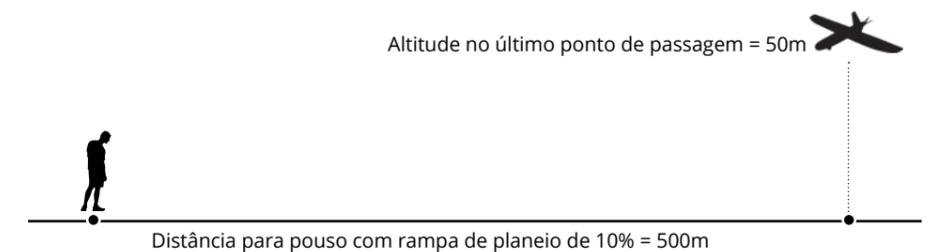
A direção do vento na decolagem e no pouso, a necessidade de espaço e, em alguns casos, um sistema de lançamento que normalmente utilize algo parecido com uma catapulta ou elástico, também tornam as decolagens dos sistemas de asa fixa um pouco mais complexas no que se refere à autonomia geral quando comparadas às de outros sistemas de drone. Drones de asa fixa com decolagem e pouso verticais (VTOL) estão hoje disponíveis no mercado, além de estarem sendo testados por empresas de entrega, como a Amazon (Figura 14). Essas são plataformas caras, mas oferecem as vantagens de decolagem e pouso mais controlados, similar a um multi-rotor, com a eficiência em voo e planeio de um sistema de asa fixa. No momento de elaboração deste relatório, essas plataformas tendiam a ser mais caras do que os sistemas padrões de asa fixa, e ainda não haviam sido amplamente testadas na ciência da conservação, de modo que não continuaremos sua discussão. Talvez no futuro elas se tornem mais disponíveis a um custo mais baixo com o desenvolver da tecnologia.



**Figura 11:** Drone de asa fixa de construção customizada. Fuselagem X-UAV Skua com piloto automático 3DR Pixhawk, GNSS uBlox M8N, Motor Profissional Sem Escovas Purple Power PO-3548-1100, hélice de madeira 10X6, T-motor ESC 60A, servos de metal digital FrSky e bateria de 10000MAH. © Laboratório de Drones da Universidade de Exeter



**Figura 12:** Drone comercial eBee de asa fixa para mapeamento. © Tegan Sampson



**Figura 13:** Cálculo da posição de pouso para drones de asa fixa.



**Figura 14:** Protótipo do Amazon Prime Air Drone. © Amazon

No que se refere à capacidade de carga, a maioria dos drones leves de asa fixa disponíveis no mercado podem transportar 0,5 kg, podendo ser capazes de carregar 1,5-2 kg caso os componentes sejam selecionados ou desenvolvidos cuidadosamente, em vez de depender de sistemas pré-fabricados ou quase prontos para voar (RTF). Espera-se também um tempo de voo de pelo menos 30 minutos, podendo facilmente alcançar uma hora.

Normalmente, um drone de asa fixa de nível amador, como os usados pela organização “Conservation Drones” (**Figura 15**), é capaz de cobrir de 10-100 ha em um único voo, quando operado dentro dos limites legais do Reino Unido e da UE de 500 m de linha de visão e 120 m acima do nível do solo (*above ground level* – AGL). Uma vez que as velocidades nas quais os drones de asa fixa operam são geralmente muito maiores que aquelas de outros drones, é melhor considerar utilizá-los para mapeamentos de áreas maiores. Considere que os drones de asa fixa também precisam de mais altitude para reduzir possíveis distorções nos dados coletados (por exemplo, por uma câmera digital) devido à velocidade relativa do solo. Os drones de asa fixa são maneáveis, mas uma mudança de direção precisa acontecer em uma escala maior do que com os multirrotores, e pilotá-los em baixas altitudes tem o potencial de trazer curvas perigosas ou lacunas nos dados.

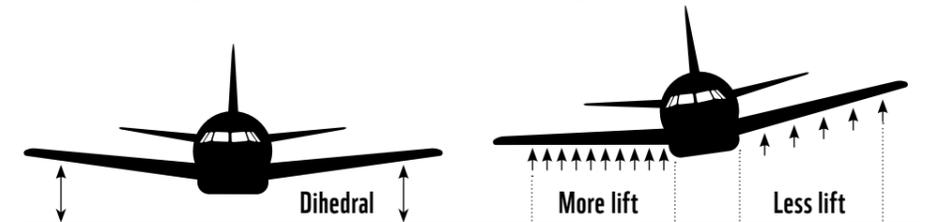


**Figura 15:** Sistema de asa fixa de baixo custo utilizado por “Drones de Conservação”.

O vento é um grande fator em qualquer tipo de operação com drones, e é importante considerar o tipo de fuselagem em um sistema de asa fixa para uma operação de sucesso em condições de ventos mais fortes. Uma aeronave de asa com ângulo diedro (uma asa com ângulo para cima a partir da fuselagem em direção à ponta; **Figura 16**) pode oferecer alguma instabilidade de voo inerente, exclusiva do piloto automático. No entanto, esse design pode ser mais suscetível a maus voos em condições de ventos mais fortes. O mesmo também pode ser dito de estruturas que incorporem fuselagens maiores, já que correntes ou rajadas de vento podem agir no corpo da aeronave e torná-la instável. Designs chamados de asas voadoras (ver o design do eBee na **Figura 12**), populares em drones proprietários mais caros, oferecem um melhor desempenho em condições de vento devido

a seus perfis mais baixos, mas costumam precisar voar a uma maior velocidade, além da possibilidade de instabilidade quando operados no modo manual. O nível de controle manual merece consideração para os operadores inexperientes e, conforme a discussão no **Capítulo 7**, é parte integral de qualquer operação segura.

Uma última consideração sobre os sistemas de asa fixa é o custo e fragilidade dos sensores a bordo usados para coletar os dados. Na maior parte dos casos, e certamente nas opções mais baratas do mercado de drones, os sistemas de asa fixa oferecem maior proteção para os sensores em questão. Muitos podem ser abrigados sobre as asas ou dentro da fuselagem para proteção em caso de falha na propulsão, e há a oportunidade de pousar o drone de asa fixa com um planeio (como em um pouso normal), ou utilizando um paraquedas para diminuir a velocidade da queda. Isso reduz imensamente a probabilidade de os sensores de asa fixa sofrerem a força total de uma queda vertical de determinada altura. O QuestUAV DATAHawk é um sistema de asa fixa no estilo “asa voadora”, que oferece pouso com paraquedas exatamente por esse motivo (**Figura 17**).



**Figura 16:** Representação do diedro da asa – o ângulo ascendente da asa em relação ao corpo/fuselagem – projetado para ter um impacto na estabilidade do voo.



**Figura 17:** Recurso de pouso com paraquedas para um drone de asa fixa © Quest UAV.

**Se o seu objetivo é gravar um vídeo estabilizado, o multirrotor é a melhor opção**

### 5.1.3 Drones multirrotoreiros

Os drones multirrotoreiros possuem diversas formas e tamanhos, mas são caracterizados pelos braços projetados a partir de um corpo central, abrigando um motor e uma hélice em cada um deles (**Figura 18**). Os braços vêm sempre em número par e variam de quatro a seis, ou até mesmo oito, em cada máquina. Se seus objetivos exigirem a coleta de vídeo estabilizado, talvez para o monitoramento ou observação da vida selvagem, o multirrotor é, sem dúvida, a melhor opção disponível. Muitos sistemas prontos para uso no mercado vêm hoje completos com câmeras integradas fixadas em estabilizadores, as quais foram desenvolvidas intencionalmente para a estabilização da imagem e controle de ângulo. No mundo dos drones, a empresa chinesa DJI dominou o mercado ao oferecer produtos de alta qualidade relativamente acessíveis (de US\$ 700–US\$ 5.000 conforme sua capacidade), e fáceis de usar. Embora o foco principal da DJI tenha sido o vídeo, eles também se tornaram populares na comunidade científica devido à sua facilidade de operação, programação e alta qualidade das imagens. A maioria dos seus sistemas vem hoje equipada como padrão com decolagem e pouso automáticos, GPS com recurso contra falhas, *geofencing* automático e desvio de obstáculos. Se você deseja planejar e coletar voos totalmente autônomos utilizando pontos de passagem pré-programados, a DJI oferece um software para isso (atualmente chamado de Ground Station Pro). Para os demais sistemas que não sejam da DJI, há diversas opções disponíveis, como o DroneDeploy e o Pix4D.

Se você quer acoplar sensores de terceiros a um drone, há diversas opções. Uma empresa californiana chamada MAPIR<sup>2</sup> oferece upgrades de alta qualidade e baixo custo, como acessórios pós-mercado para câmeras de infravermelho próximo para sistemas multirrotoreiros da DJI. Infelizmente, devido às forças do mercado, os concorrentes da DJI que antes ofereciam multirrotoreiros com recursos mais flexíveis e de código aberto, não estão tão amplamente disponíveis, uma vez que tanto a 3D Robotics quanto a Hobby-King descontinuaram seus produtos de código aberto baseados no Arducopter. No entanto, há ainda opções pré-fabricadas oferecidas por pequenos fabricantes, como a Drotek na França<sup>3</sup>. Destinados aos mais aventureiros, e devido à sua simplicidade mecânica, é relativamente simples montar o seu próprio multirrotor dentro de um orçamento de US\$ 500–1.000 que oferecerá missões estáveis, totalmente automatizadas e reproduzíveis, com a habilidade de transportar cargas customizadas – a **Figura 19** é um exemplo de construção própria que custa <US\$ 500 (sem os sensores).

Você também pode construir o seu próprio multirrotor com um orçamento de €500–1.000 que ofereça missões estáveis e reproduzíveis com a habilidade de transportar cargas customizadas.



**Figura 18:** Drones comerciais: à esquerda, o 3DR Solo, e à direita, o DJI Phantom 4. Ambos incluem câmeras em estabilizadores, peso de decolagem <2kg e podem voar por 15–25 minutos com uma única bateria (<US\$ 1.500). © Laboratório de Drones da Universidade de Exeter

<sup>2</sup> <https://www.mapir.camera/>

<sup>3</sup> <https://drotek.com/>



**Figura 19:** Quadricóptero Tarot 650 modificado com piloto automático 3DR Pixhawk, motor e hélices Multistar, GNSS u-blox M8N e bateria de 1.000 MAH. © Laboratório de Drones da Universidade de Exeter

De forma geral, há menos fatores para o piloto considerar na realização de uma missão segura e bem-sucedida com um drone multirrotor. Uma das principais vantagens do multirrotor é sua capacidade de VTOL. É comum que os pilotos se encontrem em locais que não ofereçam o espaço necessário para pouso e decolagem com um drone de asa fixa (Duffy et al., 2017). Os multirrotoreiros também não são afetados pela direção do vento da mesma forma que os sistemas de asa fixa e, assim, oferecem casos de uso mais flexíveis. O design do multirrotor também significa que sua manobrabilidade é muito precisa. Em relação a seus colegas de asa fixa, os sistemas multirrotoreiros são capazes de mudar de direção em áreas pequenas. A facilidade com a qual os multirrotoreiros podem ser manobrados também faz com que missões totalmente automáticas sejam muito mais objetivas de executar e, em alguns casos, depois da missão pré-programada ter sido carregada no multirrotor, as verificações concluídas e a partida dada nos motores, apertar um único botão ou virar uma chave pode permitir que a máquina conclua sua tarefa com quase nenhuma contribuição do piloto.

Como com os drones de asa fixa, a capacidade de carga típica de um multirrotor leve disponível no mercado tende a ser de até 0,5 kg. No entanto, multirrotoreiros customizados podem ser construídos de forma relativamente fácil, aumentando sua capacidade de carga para 2,5–3 kg se selecionar com cuidado os componentes, em vez de depender de sistemas pré-fabricados. Pode-se esperar um tempo de voo típico de 15–25 minutos, embora esse tempo dos multirrotoreiros seja muito mais afetado por fatores como a capacidade de carga e velocidade do vento quando comparado ao de asa fixa, e o piloto pode facilmente descobrir que tem apenas 10–15 minutos para a conclusão segura e prudente da missão. Pode ser necessário experimentar com diferentes velocidades para estabelecer um “ponto ideal” para maximizar a distância, enquanto mantém a qualidade dos dados.

**Espera-se a cobertura de 20–30 ha durante um voo de multirrotor no limite legal típico de 120 m AGL.**

Os pilotos devem esperar cobrir 20–30 ha ao voar dentro do limite legal típico de 120 m AGL (*above ground level*) com um multirrotor leve de baixo custo. No entanto, a precisão de um multirrotor significa que, como é o caso das pipas e balões cabeados, a altitude que podem alcançar para a coleta de dados é muito mais flexível do que a dos sistemas de asa fixa, os quais precisam voar em maiores altitudes a fim de reduzir distorções. Devido à velocidade relativa do solo e da distorção que isso causa nos dados de imagem, quanto mais baixa uma aeronave voar, o mais devagar ela deve voar. Isso significa menos ha que podem ser abrangidos em uma única missão devido à menor velocidade e altitude. Isso é

especialmente verdade na coleta de dados de precisão com necessidade de sobreposição para fotogrametria ou mapeamento tridimensional.

O software de controle de voo depende do drone e do dispositivo de pilotagem (notebook, celular ou tablet).

Para uma lista dos softwares comuns de planejamento e controle de voo, ver a tabela 5, capítulo 8.

## 5.2 Controle de voo

Há dois componentes principais no controle de voo dos drones: o piloto automático e o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS). O piloto automático é uma combinação de hardware e firmware que funciona como o cérebro da máquina, controlando uma gama de funções, desde uma simples estabilização a missões totalmente automatizadas, incluindo o acionamento de sensores. O piloto automático se comunica com o software associado, permitindo o controle remoto do drone, geralmente por um notebook ou tablet. O GNSS, embora não seja inteiramente necessário para o voo, oferece as informações de localização para o piloto automático, facilitando, assim, sua autonomia, e pode associar dados coletados por sensores (como imagens aéreas) às coordenadas temporais e espaciais, além de oferecer o rastreamento em tempo real do drone para o piloto.

São diversas as opções de hardware físico (pilotos automáticos) de baixo custo no mercado de drones de construção própria, mas o firmware e software para acompanhá-las são limitados. A DJI oferece um piloto automático independente, mas o firmware é próprio e fechado, impedindo que o usuário modifique determinados programas, sendo menos customizável que os de outros fabricantes. Ademais, o piloto automático da DJI é específico para multirotores, enquanto os pilotos automáticos com o firmware PX4/Ardupilot permitem a conversão de qualquer tipo de veículo controlado por rádio. O PX4/Ardupilot também pode se comunicar com uma maior variedade de sensores e software associados, permitindo uma maior customização, o que os torna especialmente populares na comunidade de drones de



**Figura 20:** Montando drones multirotores de baixo custo com o piloto automático Pixhawk no Cerrado brasileiro. © WWF-Brasil

construção própria. Há outros tipos de controladores de voo que oferecem alguns recursos básicos e permitem a exibição na tela (OSD), mas são diretamente voltados para a comunidade FPV e não são muito úteis para fins de mapeamento.

Já que os drones são capazes de voar além do controle de rádio e/ou podem despençar do céu, é importante ter um piloto automático que possa oferecer assistência na forma de prevenção de falhas. Algumas prevenções comuns incluem: recurso de retorno para o local de lançamento/casa (RTL/RTH) com apenas um botão, criação de um perímetro geográfico predefinido, determinado por uma altura ou distância específicas, que funciona como uma fronteira virtual para um voo específico, a garantia de que ele não se afastará para longe ou para cima, ou avisos de bateria fraca que acionam eventos específicos, como RTL/RTH, ou o pouso imediato. Outros eventos que podem acionar prevenções de falhas incluem a perda do controle de rádio e do GNSS.

Para aplicações de sensoriamento remoto, uma funcionalidade importante consiste no acionamento de um sensor em momentos ou locais predefinidos, oferecendo ao piloto a habilidade de controlar a coleta de dados no tempo e no espaço. Pilotos automáticos como o Pixhawk e variações desse controlador de voo permitem isso. Há também pilotos automáticos utilizando Raspberry Pi (RPi) via HAT Arduino, como os fabricados pela Emlid<sup>4</sup>. Eles utilizam o firmware PX4/Ardupilot e permitem o uso da variedade típica de sensores. Também permitem a utilização do RPi como um computador Linux de bordo para controlar sensores, além de coletar e processar dados de formas que não seriam possíveis a partir de outro piloto automático na mesma faixa de preço.

## 5.3 Baterias

Dos smartphones e notebooks aos carros e caminhões híbridos ou totalmente elétricos, além do armazenamento de energia residencial e industrial, as baterias de íon de lítio (Li-Ion) e, mais recentemente, as de polímero de lítio (Li-Po ou LiPo) foram essenciais para seu sucesso e evolução, e o mesmo é verdade para os drones. A relação entre potência e peso oferecida pela nova geração de baterias deixou os eletrônicos mais portáteis, mas, também, devido a essa mesma densidade de energia e dos compostos químicos envolvidos, elas precisam ser tratadas com cuidado e recicladas de forma responsável. Embora as baterias LiPo sejam geralmente seguras (Wang et al., 2012), o manuseio incorreto, uso indevido ou acidentes com baterias de lítio podem ter consequências inesperadas que não são fáceis de solucionar, como uma combustão repentina que não pode ser extinguida com água. Há diversas medidas preventivas que podem ser tomadas para reduzir o risco de acidentes graves, permitindo que o operador utilize as baterias de lítio de forma segura, o que discutiremos nas próximas seções.

### 5.3.1 Segurança das LiPos

O tipo mais comum de bateria utilizado nos drones é a bateria de polímero de lítio (LiPo). Algumas baterias LiPo, como as fabricadas pela DJI ou 3DR, são consideradas “inteligentes”, nas quais o nível de carga e descarga e seu status atual são monitorados pela própria bateria e, assim, a saúde da bateria pode ser informada ao drone e ao piloto. Algumas baterias, incluindo a Parrot Anafi, são descarregadas automaticamente após um período de inatividade. No entanto, a maioria das LiPo não contam com esses recursos, mas seus princípios básicos se aplicam a todas.

A voltagem (V) é um indicador importante e pode ser usado para acionar uma resposta

<sup>4</sup> <https://emlid.com/>

automática de proteção contra falhas do drone. Cada célula de uma bateria LiPo é classificada em 3,7 V (sua voltagem nominal) e em determinada capacidade de armazenamento classificada em ampères-hora (Ah) ou, mais frequentemente com baterias de drones, miliampères-hora (mAh – observe que há 1.000 mAh em 1 Ah). A taxa de ampères-hora indica a quantidade de ampères que podem ser extraídos constantemente para fornecer energia por uma hora. Essas células individuais são combinadas em um conjunto, seja em série ou em paralelo (às vezes, ambos) para produzir a potência desejada. Essas combinações são identificadas nos conjuntos de bateria LiPo com um ‘S’ representando a quantidade de células em série ou um ‘P’ indicando a quantidade de conjuntos em paralelo, seguido pela voltagem nominal total. O outro indicador importante nas baterias LiPo são as taxas ‘C’, sendo que C é o multiplicador da capacidade de mAh da LiPo para indicar a quantidade máxima de ampères disponível a uma descarga segura constante. Para recapitular com um exemplo: uma bateria 3S1P DE 3.000 mAh E 20 C = uma bateria de 3.000 mAh com conjunto único de 11,1 V, que pode gerar 3A (1C) de energia por uma hora, ou que pode fornecer uma descarga máxima segura constante de 60 A (20C).

Uma avalanche térmica, ou aquecimento espontâneo, é a maior preocupação de segurança em relação às baterias de lítio, e pode ser causada por diversos catalisadores diferentes, incluindo sobrecarga/descarga, danos físicos, superaquecimento ou curtos-circuitos (Wang et al., 2012). Baterias de lítio que sofrem alterações bruscas de temperatura podem emitir gases tóxicos, causar incêndios e, em alguns casos, explodir. Incêndios de baterias de lítio também são difíceis de extinguir na fonte devido ao potencial da bateria de gerar seu próprio oxigênio e hidrogênio.

Todas as baterias LiPo apresentarão algum tipo de queda ao alimentar lançamentos de drones, o que será tipicamente visto como uma queda de tensão de aproximadamente 0,2–0,3 V por célula (S). Para um voo seguro, recomenda-se voar até que você tenha a carga mínima de 3,5 V por célula, quando o drone já deve estar, ou estar muito próximo, de pousar. Sob carga durante o voo, e principalmente nos multirotores, quando a LiPo cair para 3,4 V por célula, a voltagem passa por uma queda exponencial relativamente rápida de potência, que pode resultar rapidamente em um acidente ou avalanche térmica. Em sistemas inteligentes de baterias LiPo, o drone muitas vezes conta com configurações contra falhas para que, quando a bateria alcançar um limite mínimo, o controlador apitará para notificar o piloto da necessidade de trazer o drone para pouso (25% de energia) ou automaticamente retornará para casa e pousará (10% de energia).

Embora as baterias LiPo possam rapidamente se tornar inseguras se manuseadas de forma inadequada, manter-se extremamente atento aos primeiros sinais de perigo de dano ou uso excessivo pode reduzir drasticamente a possibilidade de acidentes. Saber quando a bateria deve ser considerada inutilizável é crucial para seu funcionamento seguro. Um sinal precoce de que a LiPo está se tornando perigosa é quando ela se torna “estufada” ou distorcida do seu formato original. Internamente, a bateria começou a produzir gases, expandindo seu recipiente, e deve ser retirada de uso. Qualquer sinal visível de avaria no exterior da bateria também deve torná-la inutilizável e, em caso de acidente ou colisão com o drone, mesmo sem o inchaço ou dano aparente, uma bateria LiPo deve ser tratada como inutilizável até ser rigorosamente

**Verifique sempre a sua bateria LiPo em busca de sinais de avarias antes de todos os voos para evitar acidentes perigosos. Indicações de que a bateria não é mais segura para voar incluem estufamento ou distorção.**

verificada em busca de sinais de deterioração ou estufamento visível.

Há uma infinidade de técnicas de descarte adequado debatidas em fóruns e postagens em blogs na internet em caso de inutilização da bateria. O único conselho que podemos dar aqui é o de seguir as orientações do fabricante e, quando possível, encontrar um local apropriado para descarte de lixo eletrônico ou resíduos perigosos. Caso esteja trabalhando em um local onde isso não é viável, pesquise um método de descarte antes de iniciar o trabalho de campo. Decida a solução adequada caso haja a necessidade de descarte e se prepare para o pior. Tenha a certeza de estar totalmente ciente dos possíveis riscos envolvidos em qualquer um dos métodos e tenha os protocolos adequados de mitigação implementados. O método de descarte é uma escolha pessoal e a responsabilidade cabe a todos os usuários de drones. Alguns centros de reciclagem municipais aceitam baterias LiPo para reciclagem.

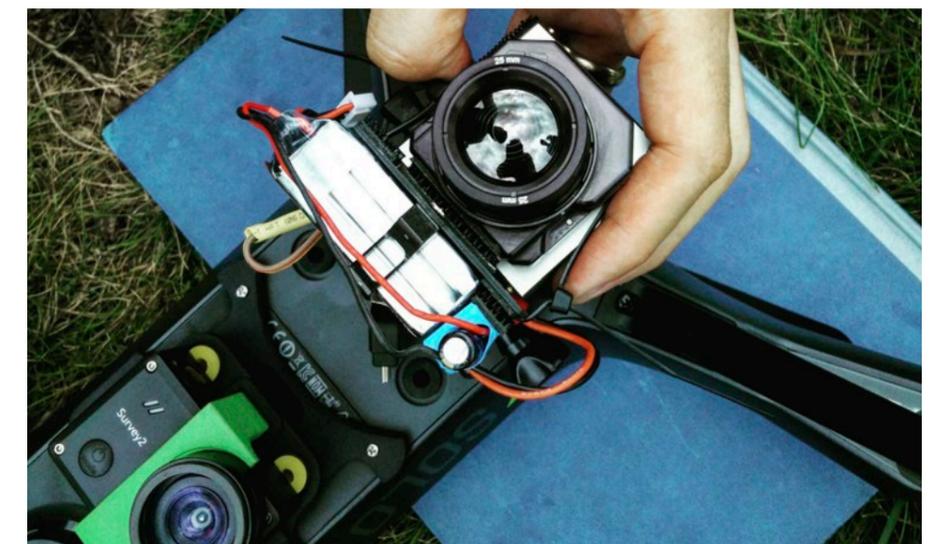
**Sempre leia as instruções e orientações do fabricante da LiPo sobre o uso e descarte adequados das baterias.**

### 5.3.2 Carga, descarga e duração da bateria

Caso não esteja usando o carregador fornecido pelo fabricante, é importante usar um que tenha a função específica para baterias LiPo, incluindo uma entrada dedicada de balanceamento que suporte a quantidade equivalente de células da sua LiPo (valor S). O regime de carga típico não deve exceder 1 C da bateria e, dando continuidade ao exemplo da seção anterior, essa bateria deve ser carregada a um máximo de 3 A e até o máximo de 12,6 V. A maioria dos carregadores de baterias LiPo controlará automaticamente a voltagem máxima de determinada bateria conforme a entrada de S no carregador, mas a amperagem de entrada costuma poder ser ajustada, e é possível carregar a uma taxa menor que 1 C, o que pode ajudar a estender a vida útil da bateria. Além das orientações gerais acima, sempre leia as instruções do fabricante da bateria, uma vez que elas devem sempre suplantar o que está escrito aqui ou em qualquer outro lugar. O carregamento inadequado pode resultar na carga/descarga interna entre as células (balanceamento) ou no sobre/subcarregamento de todo o conjunto, e ambos podem resultar, conseqüentemente, em avalanche térmica e, possivelmente, em um acidente com o drone.

Para baterias que não são ‘inteligentes’, por ex. não medem sua carga e descarga, convém considerar manter um diário de bordo da bateria, registrando cada carga/descarga/voo, assinalando valores de ampères e tempos de voo.

Quando a quantidade de ampères da carga total começar a diminuir, ou o tempo de voo encurtar, considere substituir a bateria.



**Figura 21:** Um drone 3DR Solo equipado com diversas câmeras e baterias extras, verificadas antes de cada voo. © Laboratório de Drones da Universidade de Exeter

Se você vai viajar de avião com o seu drone, é crucial verificar as regras sobre o transporte de baterias de drone com a sua companhia aérea antes da viagem.

Há grandes restrições que impedem despachar ou transportar em bagagem de mão as baterias de lítio.

Embora seja considerado que as baterias LiPo tenham uma vida útil relativamente longa (Scrosati e Garche, 2010), durando geralmente 300 ciclos de carga, essa vida útil é baseada no uso no qual a descarga da bateria é baixa em relação à sua capacidade ( $\leq 1C$ ). Nas operações com drones, isso é raramente possível, e as baterias passam por pressões que reduzem sua vida útil, com algumas durando apenas 20 ou 30 voos. Uma vez que as baterias LiPo possuem uma taxa C comparativa mais alta que o consumo de ampères do drone, elas tendem a ser menos sobrecarregadas e, por isso, apresentam uma vida útil mais longa. Por exemplo, se o seu drone geralmente consome 15 A durante um voo normal, e suas duas baterias de 3.000 mAh estão classificadas em 10 C e 20 C respectivamente, então é provável que a sua bateria de 20 C terá uma vida útil mais longa. Para baterias que não são “inteligentes”, convém considerar manter um diário de bordo da bateria, registrando cada carga/descarga/voo, assinalando valores de ampères e tempos de voo. Quando o valor de ampères da carga total começar a diminuir, ou o tempo de voo encurtar, é provável que a bateria esteja se tornando desgastada, e você deve considerar substituí-la.

### 5.3.3 Viajando com baterias LiPo

Viajar com baterias LiPo se tornou mais complicado nos últimos anos, com a maioria das companhias aéreas aumentando suas restrições para o seu transporte. No entanto, tais restrições não se aplicam apenas aos passageiros das companhias, e muitos serviços postais e de entrega estão limitando o tamanho das baterias que transportam ou enviam. Como resultado, pode ser necessário utilizar serviços certificados e mais especializados para o transporte de materiais perigosos, embora eles possam ser relativamente custosos. As companhias aéreas hoje especificam a densidade de energia total que um passageiro pode transportar, normalmente descrito em watt-hora (Wh). O Wh pode ser calculado ao se multiplicar o número de volts na bateria pelo Ah da bateria (se estiver trabalhando com mAh, dividir por 1.000). Essas diretrizes são oferecidas pela maioria das autoridades nacionais de aviação, mas sempre verifique com a sua companhia aérea os Wh exatos e o limite de itens individuais antes de viajar.

É importante lembrar que, ao viajar com baterias LiPo, elas devem sempre ser carregadas/descarregadas à sua voltagem nominal, armazenadas em sacos de segurança e, quando aplicável, suas extremidades devem estar protegidas com fita ou cobertura isolante. Nós recomendamos portar uma carta oficial detalhando o conteúdo da sua bolsa de segurança ao viajar para mitigar confrontos com a segurança.



**Figura 22:** Este drone customizado conta com 6 rotores para transportar uma câmera SLR para fotografias profissionais. © Chris Hunkeler/Creative Commons

### 5.3.4 Resumo

- Sempre transporte e armazene as baterias em uma bolsa de segurança para LiPos ou em um receptáculo à prova de fogo.
- Mantenha as baterias em local arejado e nunca as deixe sob a luz solar direta. Temperatura ambiente é normalmente suficiente, mas, em climas mais quentes, um espaço mais fresco e sombreado pode ser necessário.
- Células LiPo possuem um nível mínimo absoluto de descarga de 3 V por célula e nunca devem ser carregadas além de 4,2 V por célula.
- Verifique as voltagens da bateria antes de carregá-las ou descarregá-las para respeitar os limites normais.
- Quando possível, carregar/descarregar as baterias dentro de uma bolsa de segurança, mas garanta que a bateria esteja visível para verificar superaquecimento, estufamento ou fumaça.
- Carregue as baterias longe de materiais ou líquidos inflamáveis e, quando possível, sobre superfícies incombustíveis, como o concreto ou o mármore.
- Não deixe as baterias carregando ou descarregando desacompanhadas.
- Tenha um extintor de classe D em mãos. Em locais remotos ou onde isso não for possível, utilize um balde de areia. Nunca tente extinguir o fogo com água.
- Não deixe as baterias totalmente carregadas por longos períodos de tempo. Caso a bateria tenha sido carregada para uso, mas não foi utilizada dentro de alguns dias, o melhor é descarregá-la até sua capacidade de armazenamento.
- Deixe a bateria esfriar antes de carregá-la (após o voo) ou após carregá-la (antes do voo).
- Outra opção útil para o transporte, carga/descarga e armazenamento (em paralelo ou em conjunto com uma bolsa de segurança para LiPo) é uma antiga caixa de munição militar. No entanto, é crucial fazer furos na caixa de munição para permitir que qualquer acúmulo de gás se dissipe no caso improvável de avalanche térmica.
- Finalmente, NUNCA envie, despache ou transporte uma LiPo danificada, estufada ou com suspeita de defeito em um avião (e tenha cuidado caso a transporte de algum outro modo).
- Para o transporte em aviões comerciais, verifique as regulamentações do provedor do serviço no que se refere às baterias LiPo. A autoridade de aviação civil dos EUA oferece um bom exemplo de regras gerais<sup>5</sup>, mas elas podem variar conforme o país ou companhia aérea.

<sup>5</sup> [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ash/ash\\_programs/hazmat/passenger\\_info/media/Airline\\_passengers\\_and\\_batteries.pdf](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ash/ash_programs/hazmat/passenger_info/media/Airline_passengers_and_batteries.pdf)

#### 5.4 Motores, hélices e controladores eletrônicos de velocidade

O excesso de carga, resultando em uma aeronave sem potência suficiente, pode levar rapidamente a um acidente. Compreender os controladores eletrônicos de velocidade (ESCs), os motores sem escovas e as hélices, além do seu relacionamento com os princípios básicos de voo dos drones, pode ajudar a minimizar as chances de acidentes antes da decolagem.

Basicamente, os ESCs, motores e hélices utilizam a energia química de uma bateria LiPo como eletricidade e, então, a convertem em energia mecânica e, finalmente, propulsão. O ESC é responsável por regular a energia fornecida ao(s) motor(es). O motor, por sua vez, fornece uma combinação de velocidade e torque às hélices que, então, geram a propulsão necessária para o voo.

Para calcular a propulsão necessária, você deve considerar o tipo de drone que está usando, uma vez que o cálculo varia conforme a máquina. Em comparação aos drones de asa fixa, calcular a propulsão necessária para o voo de um multirrotor é bastante objetivo: um total superior a 100% da massa da aeronave é necessário para o voo, o que significa que você precisará de motores e hélices capazes de gerar propulsão maior que o peso da aeronave. Um princípio geral para qualquer multirrotor é que ele crie, de preferência, duas vezes sua massa em propulsão em aceleração máxima. Por exemplo, um multirrotor que pesa 2 kg gerará 4 kg de propulsão em aceleração total, representando uma relação de 2:1 entre propulsão e peso. É basicamente aviação por força bruta.

Para os drones de asa fixa, a quantidade de propulsão necessária para levantar voo é baseada em watts (W) por unidade de massa (ex. kg), e pode variar conforme a fuselagem e tipo de estilo de voo necessário. Fatores como a força de sustentação gerada pelas asas e a resistência da fuselagem exercem um papel importante. Deve-se também estar ciente de que a propulsão necessária para se manter em voo será provavelmente menor do que a necessária para decolagem. Drones de asa fixa com um piloto automático em controle do voo são incrivelmente estáveis e possuem padrões de voo quase estáticos quando comparados ao controle inconstante de um voo manual. No entanto, eles tendem a ser mais pesados que os multirotores e provavelmente necessitarão de uma catapulta ou lançamento manual para decolagem. O lançamento manual requer que o copiloto lance fisicamente o drone no ar, e a decolagem por catapulta é alcançada com um elástico grosso que lança o drone para frente. Se não estiver usando um drone pronto para uso, muitas das informações mais detalhadas disponíveis para a escolha do motor correto podem ser confusas. Kits de fuselagem que são “prontos para voo” (RTF) ou “plug-and-play” (PNP) são considerados “prontos para uso” e podem simplificar o processo de seleção. No caso dos “quase prontos para voo” (ARF), siga as orientações do fabricante, mas esteja ciente do peso adicional de qualquer eletrônico ou sensor extra que precise ser acrescentado.

##### 5.4.1 Motores

Embora haja dois tipos diferentes de motores – os *brushed* (escovados) e os *brushless* (sem escovas) –, os motores escovados são uma tecnologia mais antiga e se tornaram obsoletos na comunidade dos drones, com os motores sem escovas constituindo a preferência e sendo os mais usados. Todos os motores sem escovas seguem um sistema de nomenclatura que indica seu nome, tamanho e taxa de rotações por minuto por volt (Kv), permitindo uma seleção rápida baseada nas orientações do fabricante. Os primeiros quatro números são essencialmente dois pares de medidas em milímetros, sendo o primeiro par referente ao diâmetro do motor, podendo se referir ao diâmetro externo total (bordas externas do rotor, a parte móvel do motor) ou ao diâmetro do estator

interno (a parte fixa do motor). O segundo par de números indica a altura do motor, novamente podendo se referir ao estator interno ou ao rotor externo. Em seguida, há a constante Kv (que não é o mesmo que kV – quilovolt), que é o RPM do motor (rotações por minuto) por volt aplicado (ou seja, sua velocidade constante). A constante Kv também é um indicador do tamanho da hélice que o motor pode girar. Índices maiores de Kv girarão uma hélice menor, mais rápida, e índices menores de Kv girarão uma hélice maior, mais devagar. É basicamente uma relação de torque versus velocidade.

Para escolher a combinação certa de motor e hélice, é importante saber um conjunto de informações sobre o motor. Os fabricantes também fornecerão detalhes quanto à voltagem de entrada mínima e máxima, o máximo de ampères e, com as mais recentes mudanças nos multirotores, fichas de especificações para informar sobre as diversas voltagens de bateria, combinações de motor e hélice e, subsequentemente, sua demanda de energia e potência de saída em ampères (A), watts (W) e propulsão em gramas (g). Essa pode ser uma ajuda importante ao tentar selecionar a combinação certa de motor e hélice, mas a maioria dos motores projetados especificamente para aeronaves de asa fixa não apresentam os dados adicionais de propulsão (g). Eles normalmente oferecem apenas a combinação de voltagem da bateria e hélice, com os ampères e watts subsequentes. Também está se tornando mais comum para os motores de multirotores serem especificados como em sentido horário (CW) ou anti-horário (CCW), uma vez que os multirotores operam com um número par igual de cada (2CW e 2CCW para um quadricóptero). Caso não encontre essa informação, o motor pode ser facilmente alterado para girar na outra direção trocando as conexões positiva e negativa do ESC (é também possível especificar a direção do giro dentro do firmware do ESC, mas isso é mais complexo do que apenas trocar as ligações positiva e negativa).

##### 5.4.2 Hélices

As hélices são um tipo de aerófilo, não diferente das asas, exceto pelo fato de não serem estáticas em relação ao corpo da aeronave. Quando uma hélice gira, seu aerófilo é projetado para “enroscar” a lâmina pelo ar, com mudanças na pressão do ar geradas pela propulsão da hélice. É semelhante a um saca-rolhas abrindo uma garrafa de vinho, ou inserindo um parafuso na madeira – a hélice “parafusa” no ar. No caso dos multirotores, é também possível obter alguma sustentação transicional a partir das hélices quando se movem para frente, agindo como uma asa fixa e uma hélice ao mesmo tempo. Se você notar o seu multirrotor consumindo menos energia do que o esperado em determinada velocidade, é possível que ele tenha alcançado a sustentação transicional (condição ideal para eficiência).

Como os motores de um multirrotor, as hélices são necessárias em números pares iguais de CW e CCW, as quais precisam ser acopladas a seu motor correspondente (hélice CW no motor CW). Na terminologia dos drones de asa fixa, o CCW é conhecido como normal ou trator, e o CW são as hélices reversas ou propulsoras. As hélices são dimensionadas em polegadas, com o diâmetro geral dando origem ao passo da hélice. Basicamente, o passo das pás é a distância que a hélice se moverá no ar a cada rotação. Como a propulsão e a sustentação estão relacionadas à área geral de superfície da hélice, e a eficiência da hélice cresce com seu tamanho, pode ser tentador sempre escolher hélices maiores. No entanto, tanto um aumento do passo quanto do diâmetro da hélice pode aumentar o torque necessário e, subsequentemente, a saída de ampères (estando relacionado ao Kv do motor mencionado anteriormente), e uma configuração mal combinada pode superaquecer rapidamente e queimar os componentes.

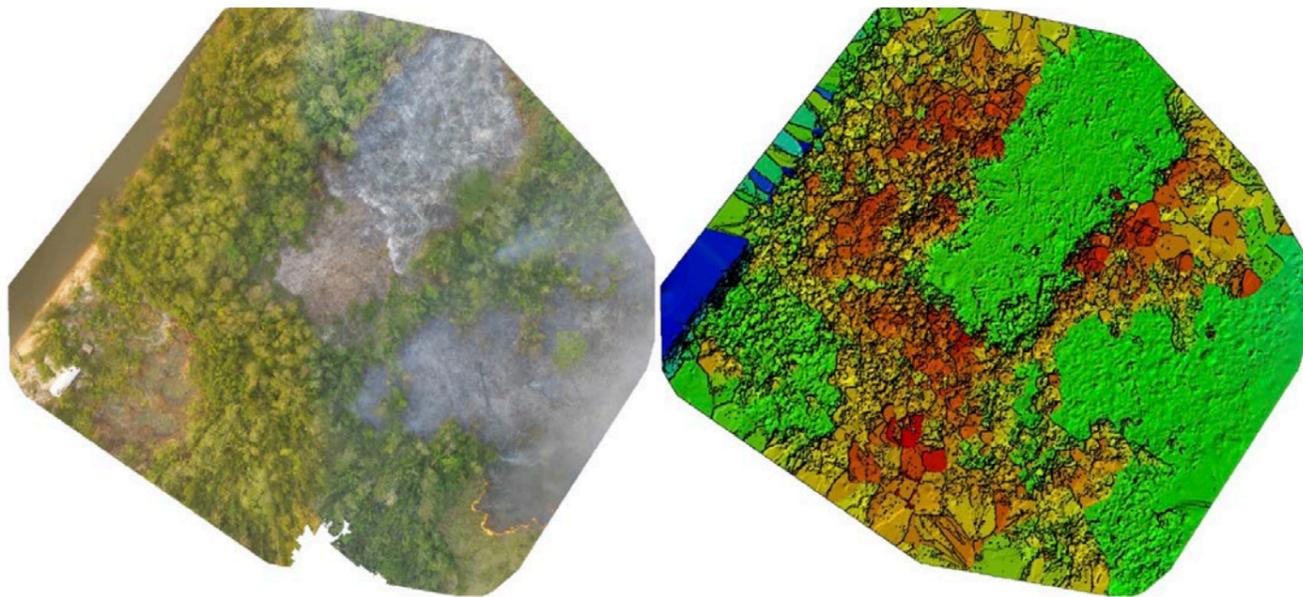
Hélices de plástico são mais baratas, mas mais flexíveis. Hélices de madeira oferecem uma opção mais ecológica com o bônus de serem mais silenciosas durante sua operação.

**Sempre verifique as hélices em busca de avarias, como rachaduras, lascas ou fissuras antes de voar, e faça a substituição caso necessário**

Normalmente, os multirrotores costumam utilizar passos de 8 a 12 cm, com passos menores oferecendo uma aceleração mais rápida, e por isso dependem do aumento do diâmetro das hélices para gerar a propulsão adicional necessária. Eles também evoluíram e passaram a incluir uma pá mais plana e mais larga. Os drones de asa fixa são o contrário, o passo exerce um papel importante, uma vez que equivale a uma maior velocidade máxima, o que é mais importante na velocidade para frente necessária pela aeronave.

As hélices se apresentam em diversos materiais, incluindo plástico, fibra de carbono, híbridos de plástico e fibra de carbono e madeira. O peso das hélices tem geralmente um impacto irrelevante no consumo de energia, enquanto a flexibilidade do material pode ter um grande impacto. As pontas das hélices, que são muito flexíveis, podem se dobrar para cima em altas velocidades, já que boa parte da propulsão e sustentação é gerada na direção da ponta, causando uma diferença na força em uma das pontas da pá, o que deformará a hélice. Se isso acontecer, haverá uma redução da eficiência da hélice, o que poderá, no caso de multirrotores sobrecarregados, resultar em instabilidade e, por fim, em um acidente. A hélice é um dos componentes com maior probabilidade de ser danificada durante o uso. Por isso, como são mais baratas, os usuários podem ficar tentados a usar hélices de plástico, mas, devido à sua flexibilidade e propriedades não recicláveis, outros tipos de hélice, principalmente os de madeira, devem ser considerados como uma opção ecológica correta.

Para a maioria dos usuários de drone, o barulho do drone é de importância limitada, mas, quando utilizamos drones para fins de conservação ou de pesquisa em ecologia, principalmente quando se trata do bem-estar de animais, é uma consideração importante, uma vez que os drones podem perturbar ou estressar o objeto de pesquisa (ver seção 3.6). Reduzir o Kv do motor e escolher voar com hélices maiores feitas de material mais rígido podem reduzir o barulho gerado pela aeronave.



**Figura 22:** Ortomosaico e DSM sobre uma floresta incendiada ilegalmente em uma área protegida na Amazônia brasileira. © Felipe Spina Avino/WWF Brasil

Além do tamanho e material da hélice, o balanceamento é uma consideração importante quando discutimos hélices em geral. O balanceamento das hélices pode afetar a eficiência e estabilidade do voo, além da qualidade dos dados registrados pelos sensores a bordo. Hélices mal balanceadas serão menos eficientes durante o voo, e também resultarão em vibrações, podendo afetar negativamente os dados coletados pelos sensores. Uma das razões para o sucesso da DJI se deve à estabilidade de seus estabilizadores para câmeras. No entanto, quando os sensores não estão fixados em um estabilizador, a vibração continua sendo um problema. No mínimo, as hélices devem sempre ser limpas e verificadas para avarias, como rachaduras ou fissuras. Riscos leves podem ser solucionados com o balanceamento da hélice ou lixamento leve, a aplicação de fita adesiva ou leves escovadas com fluido de correção. Se uma hélice está lascada ou rachada, ela precisa ser substituída.

#### 5.4.3 Controladores Eletrônicos de Velocidade (ESCs)

Os ESCs funcionam como um sistema regulador que é iniciado pelo piloto automático como um mecanismo para controlar a quantidade de energia que a bateria fornece ao motor. O piloto automático diz ao ESC quanta energia é necessária para o motor e, por sua vez, o ESC regula adequadamente o fluxo de energia da bateria para o motor.

Embora raro, algumas combinações de motor e ESC não funcionam bem juntas e, quando possível, os usuários construindo seus próprios drones devem selecionar um ESC recomendado pelo fabricante do motor. Como regra geral, ao escolher um ESC, seja para um multirotor ou asa fixa, escolha um ESC com amperagem pelo menos 20% maior do que se espera que a combinação de motor e hélice necessite. Os ESCs podem gerar muito calor quando sob carga, e o calor em excesso pode ser prejudicial, resultando na falha do ESC e um possível acidente.

Os ESCs podem ser classificados em dois tipos, com circuito eliminador de bateria (BEC) ou não. Os BECs permitem que o ESC alimente outros eletrônicos em conjunto com o(s) motor(es). Os ESCs sem um BEC são chamados de optoisoladores, ou OPTO, e não podem alimentar eletrônicos adicionais. Para drones de asa fixa, ter um ESC com um BEC integrado pode reduzir a quantidade de eletrônicos necessários, uma vez que o BEC pode fornecer 5 V de forma estável para o servo do controlador de voo, além de agir como uma fonte de energia de backup para o controlador de voo. O mesmo é possível com os multirrotores, mas apenas um ESC deve ser usado como BEC, com os outros tendo os pinos da fonte de energia removidos do conector no controlador de voo. Isso é necessário para evitar interferência de sinal entre as quatro fontes de energia do BEC e o controlador de voo, causando o que é conhecido como “brown out” (conflito dentro do sistema causado pelos sinais concorrentes), o que pode resultar em problemas no fornecimento de energia para o motor. A desvantagem é que o ESC trabalhará mais e gerará mais calor do que os outros e, subsequentemente, terá um maior risco de falha. Em caso de falha de um ESC em um quadricóptero, há uma probabilidade muito maior de queda do que com um hexacóptero, octocóptero ou asa fixa. Assim, escolher um ESC 4 em 1 dedicado para um quadricóptero pode ser uma boa escolha, uma vez que eles possuem uma pegada menor, são fáceis de integrar e, normalmente, vêm com um BEC dedicado de impacto menor na carga de trabalho do ESC. Após a instalação dos ESCs e antes do primeiro voo de teste de um drone novo, é muito importante seguir as orientações do controlador de voo para a calibração dos ESCs. O objetivo é garantir que o processamento do sinal e fornecimento de energia estejam sincronizados para que todos os motores funcionem corretamente.

#### 5.4.4 Controle por rádio (Rx/Tx) e telemetria

O controle por rádio e a telemetria facilitam a comunicação por rádio entre o piloto, o drone e o copiloto, tornando-o um sistema essencial no design do drone. Os drones prontos no mercado geralmente contam com sistemas que utilizam as frequências de Wi-Fi de 2,4 ou 5,8 GHz (gigahertz). Eles são excelentes para transmitir diversos fluxos de dados, como vídeos em alta definição, telemetria e controle, tudo dentro de uma largura de banda ampla em uma única frequência. No entanto, é importante notar que esses sistemas Wi-Fi não são ubíquos a todas as configurações de drones. Na maior parte dos casos, sobrevoar áreas de 1–100 ha com 2,4 ou 5,8 GHz deve fornecer cobertura suficiente para uma conectividade contínua, mas, em áreas com possíveis obstáculos (como árvores) que possam interferir com o sinal, essas frequências podem não ser ideais. A frequência certa para determinada situação depende do equilíbrio entre distância da transmissão, obstáculos e o tipo ou volume de dados que precisam ser transmitidos. Frequências mais altas, como aquelas usadas pelo Wi-Fi, são capazes de transmitir um grande volume de dados em distâncias curtas, mas não são especialmente adequadas para penetrar obstáculos, enquanto frequências mais baixas são capazes de transmitir por longas distâncias e penetrar obstáculos, mas possuem uma quantidade limitada de dados que podem transmitir. Opções alternativas comuns de frequência incluem 433, 868, 915 MHz (megahertz) e 1,2/1,3 GHz.

O controle por rádio e sistemas de vídeo consiste de duas unidades: o transmissor (Tx) e o receptor a bordo (Rx). As frequências 433, 868 e 915 MHz, e 2,4 (5,8 é menos útil nesse caso devido ao seu alcance limitado) GHz são geralmente usadas para controle e telemetria, enquanto 1,2/1,3 e 2,4 ou 5,8 GHz são usadas para transmissões de vídeo. A maioria das unidades de controle de rádio portáteis prontas para uso vem hoje com Tx e Rx de 2,4 GHz como padrão, mas muitos podem ser trocados por sistemas de longo alcance (LRS) que utilizem as frequências 433, 868 ou 915 MHz, e que possam possivelmente controlar os drones por mais de dezenas ou até centenas de quilômetros.

É importante lembrar que o uso de frequências de rádio é regido por leis nacionais e governamentais, o que deve ser levado em consideração ao adquirir um drone para uso em um determinado país. Alguns pontos importantes no que se refere às frequências de rádio são as leis nacionais que regem seu uso. Isso inclui as bandas e o respectivo fornecimento de energia (ver **Capítulo 7**). A frequência de 2,4 GHz é uma banda comum e amplamente utilizada devido à infraestrutura do Wi-Fi. Embora seja improvável que isso seja um problema em operações em áreas remotas, ainda é importante desligar outras fontes de Wi-Fi em celulares, em alguns casos ativando o modo avião, para evitar interferências com os sensores Wi-Fi sendo transportados pelo drone, como as câmeras GoPro. O sinal pode ficar facilmente sobrecarregado e o controle do drone pode ser perdido devido à competição dos sinais. Ao tentar utilizar um sistema de retransmissão de vídeo ou FPV, é importante fazer uso de frequências diferentes para o controle e telemetria e para a retransmissão de vídeo. Uma vez que todas essas frequências são ondas senoidais, usar 2,4 para controle e 1,2 para vídeo resultará em interferência quando as duas ondas senoidais se sincronizarem.

**Tabela 2:** : Resumo dos diferentes recursos dos drones

	Asa Fixa	Multirotor	Balão	Pipa
Espaço para pouso/ decolagem	Grande	Pequeno	Pequeno	Médio
Duração	30–60 min	20 min	2–4 dias	horas
Capacidade de carga	0,5–2 kg	0,5–3 kg	0,3 kg	0,5 kg
Agilidade	Média	Alta	Baixa/Baixa	Baixa
Maneabilidade	Média	Alta	Baixa/Baixa	Baixa
Autonomia	Total	Total	Câmera	Câmera

### CAPACITANDO COMUNIDADES TRADICIONAIS E EQUIPES DE LINHA DE FRENTE PARA O USO DOS DRONES PELA CONSERVAÇÃO.

Felipe Spina Avino, WWF-Brazil



Felipe Spina Avino é um biólogo conservacionista brasileiro e já trabalhou na América do Sul, África e Europa. Atualmente, ele lidera o trabalho em Tecnologias da Conservação da equipe de Ciências do WWF-Brazil, onde vem capacitando as comunidades locais, guarda-parques e gestores de áreas protegidas a usar as tecnologias para conservação, incluindo drones, para monitorar e proteger os territórios.

Felipe e seus colegas vêm promovendo os drones como forma eficaz de envolver as comunidades tradicionais, combinando conhecimentos tradicionais, tecnologia e ciência para auxiliar no monitoramento e combate ao desmatamento e incêndios em áreas protegidas na Amazônia e no Cerrado.

#### Principais conselhos para os conservacionistas:

1. Antes de comprar um drone, aprenda com os demais por meio de pesquisa, por exemplo, com a revisão de Paneque- Gálvez et al. no Small Drones for Community-Based Forest Monitoring, e nas plataformas online Wildlabs e ConservationDrones.
2. Para ser mais eficiente, principalmente em áreas maiores, drones devem ser usados em conjunto com outras tecnologias, como dados de satélite, para oferecer dados quase em tempo real sobre desmatamento e incêndios florestais.



3. Se você está trabalhando com membros de comunidades tradicionais, é essencial envolvê-los em todas as fases do projeto para capacitá-los a trabalhar de forma independente com o objetivo de proteger e monitorar seus territórios. Garanta que sejam qualificados para todos os aspectos do projeto, incluindo capacitação prática de voo, coleta e análise eficiente de dados, e na manutenção dos equipamentos.

#### Mais informações:

Ferreira, Manuel Eduardo et al. "Zoning the Fire-Risk in Protected Areas in Brazil with Drones: A Study Case for the Brasília National Park." IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (2019): 9097-9100. DOI:10.1109/IGARSS.2019.8900421

Treinamento de comunidades tradicionais e gestores de APs no uso de drones para auxiliar na conservação do Cerrado na gestão sustentável de produtos florestais não madeireiros.

© Paulo Henrique-Funatura/WWF-Brazil



Os cânions Little Wild Horse & Bell Canyon são áreas incríveis para caminhadas no ambiente árido de Green River, Utah, EUA. © Michael Tuszynski/Unsplash.com

# 6

## SENSORES PARA DRONES

### 6.1 Introdução

Existe uma grande variedade de sensores disponíveis para drones e, embora não seja possível abordar todos eles aqui em detalhe, nós revisamos algumas das limitações e considerações comuns ao tentar incorporar um sensor pós-mercado em um drone. Os pontos a seguir abrangem algumas dessas considerações principais:

- Compreender como os dados precisam ser coletados e se o sensor poderá ajudar é importante. Comprar um sensor às cegas para fazer isso sem essas considerações pode rapidamente resultar na aquisição de um dispositivo que não oferece o que você precisa e que provavelmente não atenderá às suas expectativas. O usuário deve considerar cuidadosamente se o sensor precisa ser acionado remotamente. Senão, pode ser necessário acioná-lo antes da decolagem para a coleta de dados, o que necessitará de um armazenamento de dados adicional e da edição dos dados adicionais após o voo. Por outro lado, alguns sensores oferecerão o recurso de time-lapse ou um intervalômetro por firmware/software interno (permitindo que os usuários colem dados em intervalos de tempo definidos), enquanto outros não oferecem esses recursos. Em alguns casos, o comportamento pode ser alterado com hacks no firmware, como o Canon Hack Development Kit<sup>6</sup>. Alguns sensores também podem vir acompanhados de uma sapata “hot-shoe” (o ponto de contato metálico encontrado no topo de alguns sensores) ou uma entrada dedicada de controle (por meio de cabo conectado ao sensor), ou ainda com um servo dedicado agindo como um dedo (um mecanismo físico usado para apertar o disparador), podendo todos serem controlados pelo piloto automático.
- É válido considerar a sensibilidade do sensor em relação às características de voo do drone para garantir a alta qualidade dos dados coletados. Em sensores mais sensíveis, as vibrações produzidas pelos motores e hélices do drone podem distorcer as imagens ou introduzir anomalias nos dados. A velocidade ou o voo instável pode causar problemas, e é por isso que os estabilizadores ou outras formas de estabilização são tão importantes para a gravação de vídeos nos drones ou para a utilização de câmeras com velocidade de obturação ajustável.
- Para a maior parte dos tipos de sensores, o peso não é tanto um fator quanto costumava ser. Nos últimos anos, uma quantidade crescente de dispositivos foi adaptada para o uso em drones (principalmente pela miniaturização de peças), mas o tamanho físico dos sensores ainda precisa ser considerado. Caso o sensor não possa ser instalado com segurança sobre, dentro ou a bordo da plataforma do drone, ele não deve ser usado.
- O custo também é um fator, uma vez que muitos sensores podem custar mais que o próprio drone e, conforme discutimos no Capítulo 3, a escolha do sensor pode determinar qual drone usar, simplesmente do ponto de vista de proteção do sensor.
- A última questão é o uso de dados de posicionamento (por exemplo: a partir de GPS ou GNSS a bordo), e se eles precisam ser utilizados ou incorporados aos dados coletados pelos sensores, como por meio de uma câmera que incorpore latitude e longitude aos dados EXIF das fotos coletadas. Novamente, alguns podem acompanhar um GNSS integrado simples, que é suficiente, mas, nos casos em que um GNSS é necessário, descobrir como isso pode ser alcançado poderá exercer um papel na escolha do sensor.

<sup>6</sup> <http://chdk.wikia.com/wiki/CHDK>



## 6.2 Visão geral dos sensores para drones

Os drones podem ser equipados e customizados com uma variedade de tipos de sensores conforme os requisitos de dados do seu mapeamento ou área de estudo, e a capacidade de carga do seu drone. Aqui, mostraremos os diferentes tipos de sensores para drones, seus custos, vantagens e alguns exemplos comuns. As referências oferecem aplicações e usos mais específicos.

### MULTIESPECTRAL — BAIXO CUSTO



AGROCAM

<b>Exemplos de Modelos</b>	Agrocam, MAPIR Survey2
<b>Faixa de Preço Média</b>	US\$ 200–500
<b>Faixa de Peso Média</b>	50–150 g
<b>Exemplos de Aplicações</b>	Saúde das plantas, classificação da cobertura de solo
<b>Observações</b>	Normalmente operado em pares ou como parte de um conjunto
<b>Referências</b>	Koucká et al. 2018

### MULTIESPECTRAL — RADIOMETRIA COMPLETA



PARROT SEQUOIA

<b>Exemplo de Modelos</b>	Tetracam Mini-MCA, Parrot Sequoia, Micasense Altum
<b>Faixa de Preço Média</b>	US\$ 2.000–8.000
<b>Faixa de Peso Média</b>	500–1.500 g
<b>Exemplos de Aplicações</b>	Saúde das plantas, classificação da cobertura de solo
<b>Observações</b>	A radiometria completa pode oferecer uma melhor integração com outros produtos RS
<b>Referências</b>	Ahmed et al., 2017

### ÓPTICOS — CÂMERAS DE AÇÃO



GOPRO HERO 3+

<b>Exemplo de Modelos</b>	GoPro, Yi Action Camera
<b>Faixa de Preço Média</b>	US\$ 100–500
<b>Faixa de Peso Média</b>	100–150 g
<b>Exemplos de Aplicações</b>	Filmagem do movimento de animais, criação de filmes, ortomosaicos, nuvens de pontos
<b>Observações</b>	Pode oferecer transmissão ao vivo para o piloto; cuidado com lentes grande-angulares, que distorcem os dados
<b>Referências</b>	Ventura et al. 2016

### ÓPTICOS — CÂMERAS COMPACTAS COMERCIAIS



CANON S110

<b>Exemplo de Modelos</b>	Ricoh GR II, Canon S110
<b>Faixa de Preço Média</b>	US\$ 200–500
<b>Faixa de Peso Média</b>	200–400 g
<b>Exemplos de Aplicações</b>	Ortomosaicos, nuvens de pontos
<b>Observações</b>	Busque modos manuais, RAW e intervalômetros para uma maior flexibilidade
<b>Referências</b>	Jensen & Mathews 2016

### ÓPTICOS — REFLEXO DE LENTE ÚNICA (SLR)



NIKON D 700

<b>Exemplo de Modelos</b>	Nikon D3000, Canon 5D
<b>Faixa de Preço Média</b>	US\$ 400–3.000
<b>Faixa de Peso Média</b>	750–1.500 g
<b>Exemplos de Aplicações</b>	Ortomosaicos, nuvens de pontos
<b>Observações</b>	Costumam exigir drones maiores, que suportem uma carga mais pesada
<b>Referências</b>	Hodgson et al. 2013

### ÓPTICOS — CELULARES



SMARTPHONE

<b>Exemplo de Modelos</b>	iPhone, celulares Android
<b>Faixa de Preço Média</b>	US\$ 50–500
<b>Faixa de Peso Média</b>	100–200 g
<b>Exemplos de Aplicações</b>	Ortomosaicos, nuvens de pontos
<b>Observações</b>	Requer um aplicativo para a coleta automática dos dados do sensor
<b>Referências</b>	Anderson et al. 2016



## HYPERSPECTRAL



### SENOP HSC-2

<b>Exemplo de Modelos</b>	Senop HSC-2, Optronics Hyperspectral
<b>Faixa de Preço Média</b>	>US\$ 30.000
<b>Faixa de Peso Média</b>	600-1.000 g
<b>Exemplos de Aplicações</b>	Setor florestal, saúde das plantas, classificação da cobertura de solo
<b>Observações</b>	Pode envolver processamento radiométrico e geométrico complexo
<b>Referências</b>	Nezami et al., 2020; senop.fi

## LIGHT DETECTION AND RANGING (LIDAR)



### YELLOWSCAN VX-20

<b>Exemplo de Modelos</b>	RIEGL VUX-1UAV, YellowScan Vx, Velodyne puck
<b>Faixa de Preço Média</b>	US\$ 6.000-30.000
<b>Faixa de Peso Média</b>	1-3,5 kg
<b>Exemplos de Aplicações</b>	Nuvens de pontos
<b>Observações</b>	Pode não acompanhar unidade de medida inercial ou GNSS integrados
<b>Referências</b>	www.yellowscan-lidar.com

## THERMAL



<b>Exemplo de Modelos</b>	FLIR Vue Pro
<b>Faixa de Preço Média</b>	US\$ 2.000-5.000
<b>Faixa de Peso Média</b>	100-300 g
<b>Exemplos de Aplicações</b>	Contagem populacional, detecção de características crípticas
<b>Observações</b>	Atenção às diferenças entre medidas radiométricas e relativas
<b>Referências</b>	Kays et al. 2018

## UAS4ECOLOGY: DRONES PARA PESQUISAS ECOLÓGICAS

Urs A. Treier & Signe Normand, Eco-Informática & Biodiversidade, Universidade de Aarhus, Dinamarca.



Urs A. Treier e Signe Normand são ecologistas que utilizam o sensoriamento remoto baseado em drones para responder a perguntas de ecologia e conservação. Eles comandam o UAS4Ecology Lab, fundado e comandado por Signe Normand e chefiado por Urs Treier.

Eles utilizam os VANTs para compreender as mudanças da vegetação nos ambientes do Ártico devido às mudanças climáticas ao combinar amostras abrangentes do solo com informações derivadas do sensoriamento remoto por drones. Utilizam câmeras simples comerciais, sensores multiespectrais ou LiDAR acoplados em quadricópteros ou octocópteros leves. Além de documentar os locais antes de coletar as amostras, eles buscam quantificar a cobertura vegetal, produtividade e outros parâmetros específicos do local que possam ser derivados de nuvens de pontos, informações espectrais ou resolução espacial ultraelevada. Os drones oferecem a ligação entre as altamente valorizadas observações de campo e as observações da Terra em grande escala a partir de satélites, permitindo, por fim, incrementar as informações importantes para a conservação e manejo da natureza. Utilizar drones nos ambientes árticos é um desafio. As condições extremas e locais remotos acessíveis apenas por helicóptero, barco ou a pé demandam equipamentos robustos, ultraleves e modulares. Ademais, para períodos mais longos em locais remotos, é preciso produzir eletricidade a partir de painéis solares para recarregar as baterias. Apesar da indústria do drone ter se desenvolvido rapidamente nos últimos anos, novas soluções precisam ser concebidas e otimizadas para necessidades específicas.

### Recomendações fundamentais para o novo cientista de drone:

1. Faça uma coleta de dados fácil, simples, leve e o mais barata possível – foque na sua pergunta. Considere o objetivo e a hipótese, a coleta e o processamento de dados, e os resultados antes de começar o seu projeto com o drone.
2. Referencie e padronize os dados do seu drone com dados do controle em solo, dados fatídicos e de reflectância, principalmente se o seu objetivo for o monitoramento ou detecção de mudanças.

### Mais informações:

<https://twitter.com/UAS4Ecology>



© Urs. A. Trier



Drones de asa fixa estão sendo usados na Malásia para monitorar ninhos de orangotangos. O uso do drone não é apenas mais economicamente viável, mas também mais preciso que os levantamentos feitos do solo ou de helicópteros. © K. Yoganand/WWF-Malásia

# 7

## PLANEJAMENTO DE VOO E OPERAÇÕES

### 7.1 Introdução

Ao planejar voos de drone, é muito importante que os operadores considerem o complexo espaço aéreo dentro do qual acontecerão as operações. Conhecer as regras desse espaço é uma parte essencial de se tornar um piloto de drone. Para países com regulamentações nacionais, pilotos comerciais de drone devem passar por avaliações para provar que conhecem e compreendem essas regras básicas. Em se tratando de pesquisadores científicos ou aqueles trabalhando em organizações sem fins lucrativos, muitos países não possuem pré-requisitos para que os pilotos obtenham uma licença especial da autoridade de aviação, uma vez que os voos para pesquisa em áreas remotas são muitas vezes classificados separadamente daqueles realizados em operações comerciais. No entanto, lembre-se de que o licenciamento muda rapidamente, e se familiarizar com as informações básicas sobre o espaço aéreo é essencial para as operações com drones.

Compreender os recursos dos drones quando operados em um modo específico também é crucial, uma vez que esses fatores e configurações definirão a mobilidade do drone e o controle da aeronave pelo piloto no espaço aéreo. Com o aumento da disponibilidade de drones em todo o mundo, os usuários devem estar atentos para a grande variedade de repostas legislativas que cada governo implementou para controlar ou policiar o uso dos drones. Estar ciente das variações nas políticas nacionais é fundamental, uma vez que, em alguns países ou áreas, a legislação proibirá totalmente o uso do drone. Este capítulo oferece uma visão geral relativamente curta, mas imprescindível, dessas questões principais, enquadrando-as para o usuário da conservação e concluindo com algumas recomendações-chave de melhores práticas.

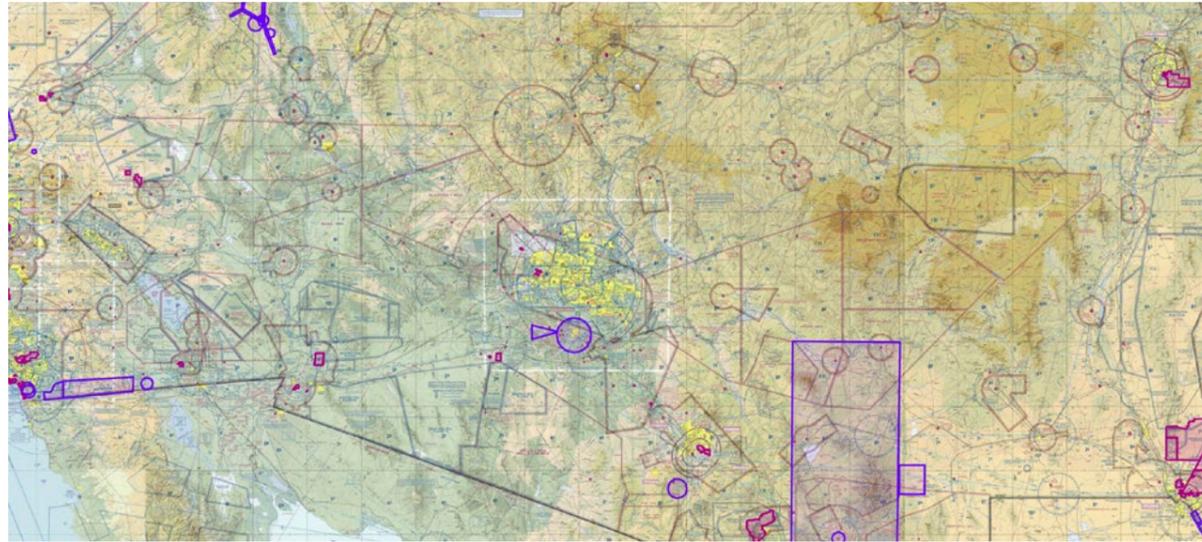
### 7.2 Espaço aéreo

O espaço aéreo deveria ser considerado, na verdade, “volume aéreo”. Espaço aéreo é um termo abrangente que define a complexa infraestrutura volumétrica invisível que controla os movimentos das aeronaves na atmosfera sobre nossas cabeças. O espaço aéreo mundial é geralmente classificado em blocos volumétricos identificados pelas letras ‘A’ a ‘G’. Essas zonas volumétricas variam conforme seu nível de uso de um país para o outro, mas incluem dois extremos importantes do espaço aéreo:

- Classe A (rigorosamente controlada: reservada para jatos de alta velocidade e para voos dentro das regras de voo por instrumentos)
- Classe G (não controlada: onde a aeronave deve seguir apenas regras simples)

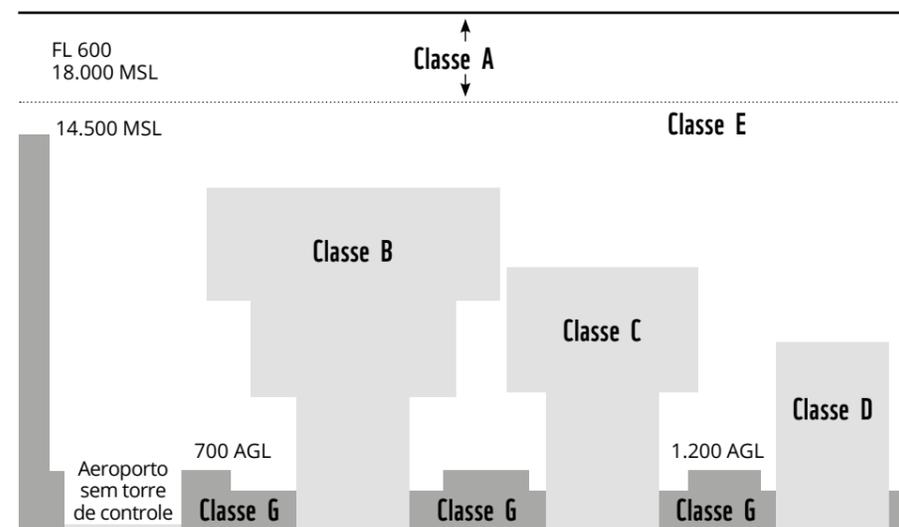
Entre as classes A e G, há uma série de outras zonas de espaço aéreo, nas quais os pilotos devem manter algum nível de contato por rádio com os controladores de tráfego aéreo. As zonas do espaço aéreo podem se estender a diferentes altitudes acima do nível do solo, conforme o tipo de operação que estão designadas a controlar. A melhor fonte de informação sobre zonas permanentes de tráfego aéreo é um mapa formal do espaço aéreo, o qual pode ser obtido com a autoridade nacional de aviação civil – mas lembre que eles podem ser alterados regularmente e, por isso, os usuários devem consultar as fontes de informação mais atualizadas. Zonas temporárias de tráfego aéreo podem ser estabelecidas para respaldar determinados tipos de operações militares ou civis, e tendem a utilizar um NOTAM (aviso aos aeronavegantes). Informações sobre NOTAMs podem ser obtidas na internet<sup>7</sup> (**Figura 24**) – e os mapas disponíveis também incluem NOTAMs permanentes, além dos temporários. NOTAMs temporários podem incluir atividades tão diversas quanto exercícios militares, shows aéreos, saltos de paraquedas, espetáculos de fogos de artifício e a presença de guindastes que ultrapassem o espaço aéreo ativo.

<sup>7</sup> <https://notaminfo.com/ukmap>,  
<https://skyvector.com/>



**Figura 24:** Exemplo de mapa NOTAM da região sudoeste dos Estados Unidos em 9 de setembro de 2020. Os NOTAMs em vermelho e roxo são espaços aéreos restritos para VANTs devido a atividades militares ou outras atividades planejadas. Os círculos contêm informações que indicam outras restrições do espaço aéreo para determinadas altitudes.

É oportuno considerar essas designações volumétricas do espaço aéreo como uma série de segmentos cônicos que se estendem em direção à alta atmosfera. Muitas vezes, haverá uma série de designações concêntricas que se estendem a partir de grandes aeroportos a diferentes altitudes, viabilizando circuitos de espera e trajetórias de decolagem e pouso para grandes aviões (**Figura 25**).



**Figura 25:** As complexas designações volumétricas do espaço aéreo que se aplicam amplamente ao mundo inteiro.

AGL = acima do nível do solo.

FL = nível de voo (= altitude acima do nível do solo/100).

MSL = nível médio do mar.

Como regra geral, todos os drones devem voar dentro da linha de visada visual do operador e abaixo de 120 m.

Em geral, este guia do usuário está relacionado ao uso de drones leves (<7 kg), os quais possuem limites operacionais próprios relacionados à duração da bateria e distância operacional limitada do piloto (imposta pelos limites do controle por rádio, Wi-Fi ou linha de visada visual). Ademais, dado ser ilegal operar drones próximo a grandes aeroportos (além de ser uma ideia terrível), e que a maioria das áreas de prioridade para a conservação e da ecologia estão localizadas longe de tais estruturas, suponhamos que os drones estejam operando no espaço aéreo G (Garrett e Anderson, 2018). Se seguirmos as Orientações da Autoridade de Aviação Civil do Reino Unido (as quais são compartilhadas por muitos outros países com regulações para drones), consideramos que as regras de voo a seguir se aplicam:

A aeronave deve se manter dentro do **campo de visão** do operador, e **não deve voar acima de 120 m do nível do solo no ponto de decolagem**. A distância máxima para um único voo em linha de visada visual é de **500 m do piloto** em comando.

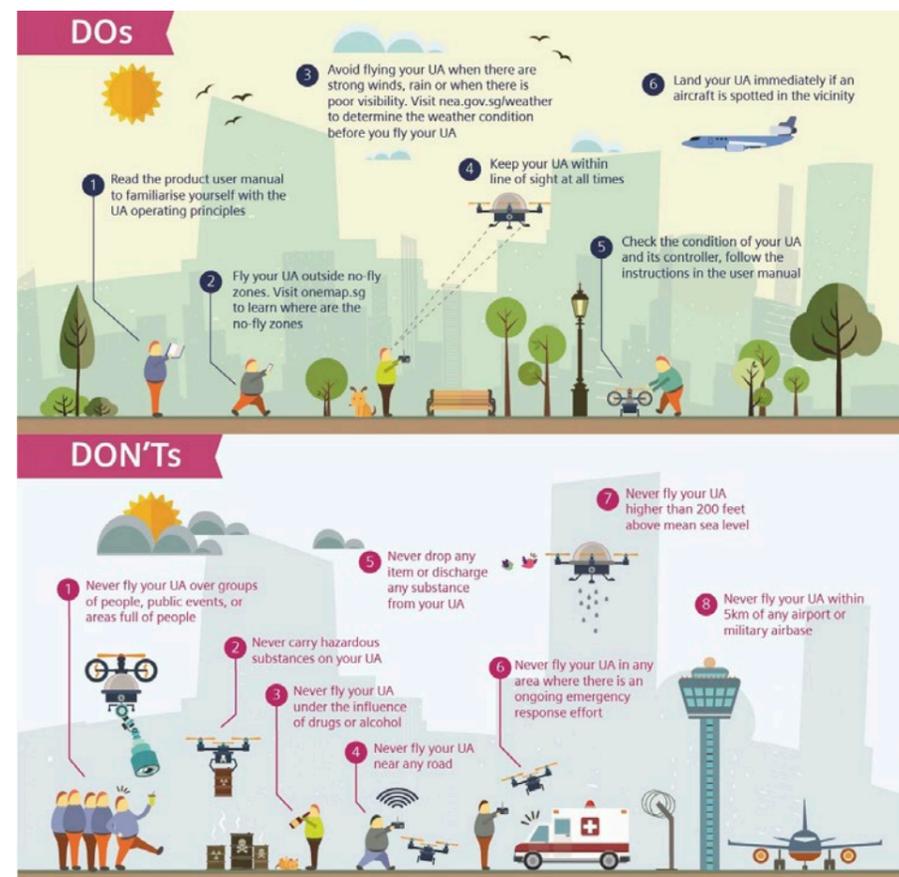
“Embora os operadores de drones que pesem 7 kg ou menos **não requeiram a permissão do Controle de Tráfego Aéreo** (mesmo em voos dentro de um espaço aéreo controlado ou de uma zona de tráfego de aeródromo), a Ordem de Navegação Aérea estabelece que qualquer pessoa responsável por um drone pequeno **só poderá operar a aeronave quando adequadamente satisfeito com a segurança do voo**; e deve manter contato visual direto a olho nu com a aeronave”<sup>8</sup>

Ademais, **a responsabilidade “é do operador** de determinar se a área que ele (sic) escolheu para voar é adequada”.

Sobretudo, para drones equipados com câmeras, aqueles sem uma permissão adicional da CAA estão “restritos a **permanecer a pelo menos 150 metros de áreas congestionadas ou de qualquer agrupamento organizado e a céu aberto de mais de 1.000 pessoas**. Os operadores de drones **não devem operar aeronaves equipadas com câmeras dentro de uma distância de 50 metros de qualquer pessoa, embarcação, veículo ou estrutura que não esteja sob o controle** da pessoa no comando da referida aeronave (durante a decolagem e o pouso, essa distância pode ser reduzida para 30 metros). Isso significa que cada voo terá uma ‘pegada’ sob a aeronave, dentro da qual não poderá haver membros não envolvidos do público.”

O termo “trazer para o controle do piloto” é ambíguo e não pode ser interpretado simplesmente como a necessidade de notificação, já que a pessoa notificada sobre o seu voo, e que possivelmente interferirá nele, pode não estar sob o seu controle. Se você não puder manter o drone a mais de 50 m dos objetos (volumetricamente), não deve colocá-lo para voar. Qualquer imagem registrada que comprometa a privacidade de pessoas não consensuais deve ser apagada da memória da câmera imediatamente após o pouso e nunca deve ser compartilhada.

Essas regras foram determinadas pelas autoridades de aviação civil de todo o mundo, com o exemplo de Singapura ilustrado na **Figura 26**. Sobretudo, a exigência de voo dentro das regras de voo visual, nas quais o drone está sempre dentro da linha de visão do piloto, é muito pertinente para aqueles que pilotam drones pequenos – quanto menor for o drone, menor será a distância (vertical ou horizontal) em que o piloto perderá a aeronave de vista e, por isso, menor será a área que pode ser mapeada por voo.

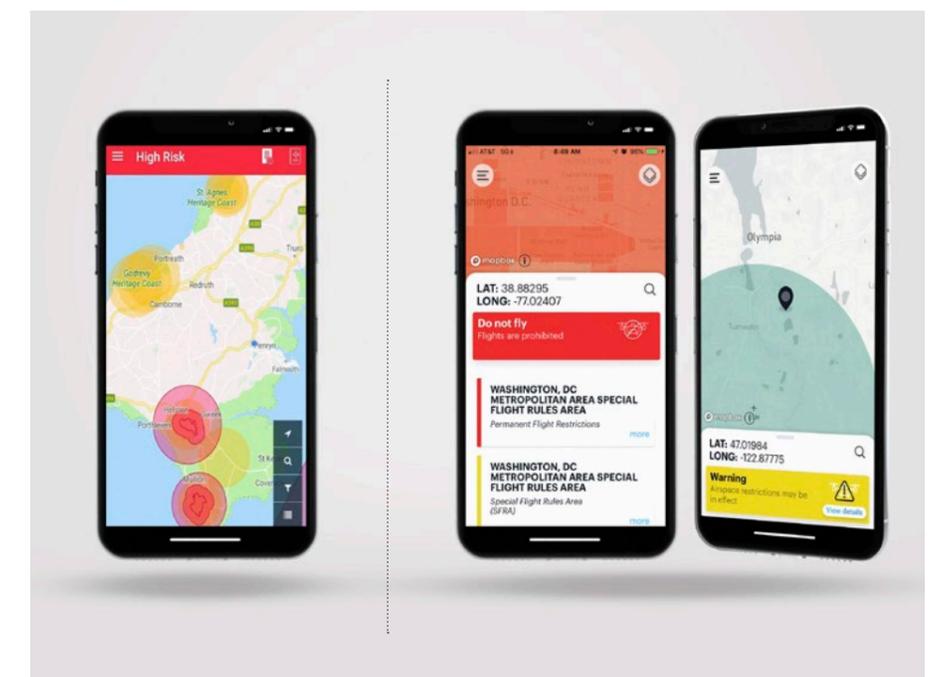


**Figura 26:** Recomendações para drones da autoridade de aviação civil de Singapura.  
© Autoridade de Aviação Civil de Singapura



No Reino Unido, há hoje um aplicativo para celular chamado NATS Assist, desenvolvido especificamente para os usuários de drones. Seu download é gratuito e ele oferece aos pilotos informações atualizadas de NOTAMs para a sua localização. Também pode ser usado para a criação de NOTAMs – para que, quando o piloto chegar ao local, ele possa compartilhar sua localização e inserir alguns detalhes que serão publicados como um NOTAM temporário para informar os outros usuários do espaço aéreo sobre a operação com o drone. A **Figura 27** mostra uma captura de tela deste aplicativo, na qual o ponto azul é a localização do usuário. As restrições do espaço aéreo são exibidas como círculos amarelos ou vermelhos. Nos EUA, o B4UFLY<sup>9</sup> é um aplicativo que verifica as restrições e permissões locais de voo nos arredores de uma localização selecionada.

Talvez o melhor conselho que possamos oferecer sobre o espaço aéreo é que os pilotos devem verificar o espaço aéreo tanto antes (documental e *in situ*) quanto durante o voo e, então, empenhar-se para notificar os outros usuários de suas operações de voo planejadas, independente se os voos serão em baixa altitude ou de curta duração. No espaço aéreo G, qualquer usuário pode entrar no volume de ar e voar fazendo uso das regras de voo visual, o que significa que essas zonas descongestionadas são muitas vezes escolhidas pelas Forças Armadas para a realização de operações inesperadas de voos de baixa altitude ou missões de exercício, ou onde aeronaves de emergência, como helicópteros, operam. Por isso, uma boa sugestão é fazer uma chamada de cortesia para todas as torres de controle de tráfego aéreo próximas para notificá-las da sua localização, duração da operação, altitude máxima de voo e tipo de aeronave. Como operadores de drones de longa data, podemos afirmar que informação é poder – os operadores de tráfego aéreo preferem saber que você está lá, eles não têm a autoridade de impedir que você levante voo e podem notificar outros usuários do espaço aéreo da sua presença.



**Figura 27:** Esquerda: Captura de tela do aplicativo NATS Assist em 20 de dezembro de 2018 no Reino Unido. O ponto azul mostra a localização do operador do drone, e as áreas circulares são os locais onde há restrições no espaço aéreo. Com o aplicativo, os usuários podem criar NOTAMs para operações com drones. Direita: Capturas de tela do aplicativo B4UFLY.

<sup>9</sup> [https://www.faa.gov/uas/recreational\\_fliers/where\\_can\\_i\\_fly/b4ufly/](https://www.faa.gov/uas/recreational_fliers/where_can_i_fly/b4ufly/)

### 7.3 Modos de voo

A quantidade crescente de drones no mercado significa que uma compilação completa das variações de modos de voo disponíveis é impossível. No entanto, nós resumimos os principais tipos de voos que podem ser realizados com drones comerciais no mercado na Tabela 3. Essas configurações se aplicam, em maior parte, aos multirotores, mas algumas também podem ser usadas com sistemas de asa fixa.

**Tabela 3:** Resumo dos modos operacionais para a maioria dos drones leves comerciais

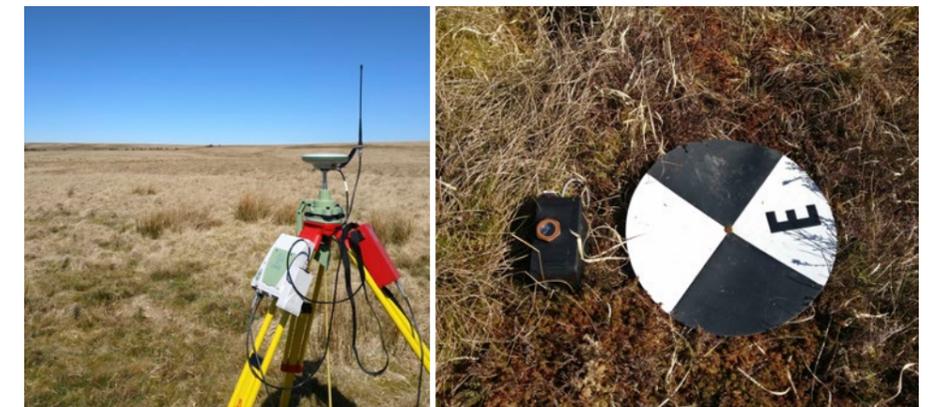
MODO	ASA FIXA OU CÓPTERO?	O QUE ELE FAZ	QUANDO USÁ-LO
Modo estabilizado ou 'posicionado', também chamado de pairar ou planar	Cóptero	Todos os sensores do drone (incluindo o GPS) estarão ativos, garantindo a autoestabilização do drone no ar. Se o piloto soltar os manetes do controle, a aeronave deve parar e pairar sobre uma posição fixa. O voo pode ser controlado nas direções x, y e z pelo controle manual do controle a rádio. Para alguns drones da DJI, essa função inclui o desvio automático de obstáculos.	Para mapeamentos, reconhecimentos, rastreios de indivíduos, foco em áreas específicas ou coleta de amostras, como esputo de baleia (ver estudo de caso na página 33).
Modo Atitude ou 'ATTI' (A) modo	Ambos	Esse modo mantém o drone em uma altitude fixa, mas pode ser movido por x e y. Esse modo pode ser ativado em caso de perda do GPS durante o voo estabilizado. O piloto está no controle de todos os outros comandos.	Esse é um controle abaixo do padrão comparado ao modo estabilizado, mas pode ser útil para o mapeamento de áreas complexas, ou para se manter acima das copas das árvores para pilotos experientes. Melhor evitado para iniciantes.
Modo esportivo	Cóptero	Essa é uma opção relativamente nova em muitos drones da DJI. Ela utiliza o GPS para o posicionamento, mas desativa os sistemas de visão para frente e para baixo, então não há o recurso de desvio de obstáculos. A sensibilidade dos controles é maior no ATTI (modo atitude), tornando o drone responsivo aos comandos do piloto comparado ao modo estabilizado.	Esse é um modo de maior velocidade desenvolvido para dar ao piloto um voo radical, e não é ideal para mapeamentos. Imagens registradas nesse modo provavelmente ficarão desfocadas. Ele pode ser útil se você precisar levar seu drone para algum lugar rapidamente, ou trazê-lo de volta para o local de pouso em caso de emergência.
GPS-modo de ponto de passagem	Ambos	Esse modo permite que o piloto planeje antecipadamente uma rota com pontos de passagem que o drone deverá seguir. Um ponto automático de decolagem e pouso pode ser definido, e o drone pode ser programado para concluir um voo de forma totalmente autônoma. Parâmetros da câmera podem às vezes ser usados para definir as configurações de voo conforme a sobreposição desejada (como para fins de fotogrametria). O piloto deve ser capaz de assumir o controle da aeronave e interromper o voo autônomo em caso de emergência.	Esse é um método amplamente usado para a coleta de dados reproduzíveis de levantamentos para mapeamentos, geração de ortomosaicos ou fluxos de trabalho de fotogrametria de estrutura do movimento.
Totalmente manual	Ambos	Muitos dos sensores do drone estão desativados e o piloto deve controlar tudo. Na realidade, a maioria dos drones não permite o controle manual total, uma vez que é arriscado, exceto para os pilotos mais avançados.	Melhor evitado a não ser que você seja um piloto profissional de drones ou tenha ampla experiência.
Retorno para lançamento (RTL) ou retorno para casa (RTH)	Ambos	Essa é uma função comum na maioria dos drones controlados por GPS. O local de decolagem é armazenado na memória do drone e ele pode retornar e pairar sobre essa posição se o modo RTL for acionado. O RTH retorna para um local pré-definido ou para a localização do piloto/controlador.	Isso é útil no fim de um mapeamento guiado por GPS ou caso a bateria esteja perto do fim e haja a necessidade de uma sequência rápida de pouso. O drone normalmente retorna rapidamente para a posição RTL ou RTH a uma altura pré-determinada.
Pausa no ar	Cópteros	Esse é um recurso recente em alguns drones multirotores. Ele permite que o piloto interrompa uma missão de pontos de passagem com GPS e pause o drone no ar ao acionar o modo ATTI ou estabilizado. A rota de pontos de passagem do GPS pode ser reiniciada da posição pausada.	Isso é muito útil caso algo estranho aconteça no meio do levantamento, como caso encontre um obstáculo, a velocidade do vento aumente repentinamente, uma ave se interesse pelo drone ou um bando de corvos apareça. Ele pode dar ao piloto algum tempo para decidir se é seguro continuar com o mapeamento ou RTL ou RTH para pousar.

### 7.4 Navegação e precisão

Os recursos de GPS a bordo de um drone costumam ser sistemas básicos comerciais, o que significa que os usuários podem esperar uma precisão espacial em x, y e z de +/-2-5 m ou até +/- 10 m. Por essa razão, a precisão posicional do seu drone no espaço volumétrico será, no máximo, dentro desses limites. Por essa razão, é fundamental para o piloto (e preferencialmente para o copiloto ou observador) manter contato visual com o drone durante o voo para que seja possível agir rapidamente caso o drone se aproxime demais de um objeto (como um edifício). Alguns fabricantes de drones dão acesso total aos registros de voo (como a 3DR ou customizados), outros dificultam o acesso a essas informações (DJI), mas, mesmo extraindo os registros de voo, eles oferecerão apenas uma ideia geral da posição dentro dos limites de precisão já citados.

Para uma melhor precisão da localização do drone, é necessário um GPS de alta precisão a bordo, também conhecido como posicionamento cinemático em tempo real (RTK). Com ele, o drone se comunicará com a estação base, cuja posição é conhecida em x, y e z com precisão de poucos cm. A correção diferencial para essa estação base permitirá a determinação de uma localização muito mais precisa do drone. Embora a maioria dos drones comerciais não inclua o recurso RTK, em 2019 a DJI lançou o Phantom 4 compatível com RTK, mas o custo permanece relativamente alto (no momento de elaboração, o custo do drone mais a estação base passava dos US\$ 8.000). Soluções GNSS com PPK (cinemático pós-processado) também estão disponíveis, oferecendo precisão similar ao RTK, mas requerem o pós-processamento dos registros de voo.

Sem o recurso RTK no drone, as informações geoespaciais sobre as características do local só podem ser obtidas por referência independente aos pontos de controle de solo implementados no local e referenciados com o uso de um sistema GNSS diferencial (a **Figura 28** mostra essa metodologia em operação). Para muitas aplicações, esse nível de precisão não será necessário – tal detalhamento só é preciso caso haja a necessidade da posição absoluta dos objetos na superfície da Terra. Para algumas aplicações, o mapeamento com GPS portátil desses marcadores pode oferecer uma validação útil dos produtos do drone. Os marcadores podem ser usados para restringir a localização dos pixels dentro de um fluxo de trabalho geoespacial (como na geração de um ortomosaico) ou para verificar a qualidade dos modelos resultantes em relação a uma medida independente (comparar a localização de um pixel no modelo vs. sua posição aferida no solo).



**Figura 28:** O uso de um sistema de mapeamento RTK em solo inclui uma estação base (esquerda) e marcadores de referência de pontos de controle no solo fixados dentro da área mapeada (direita).

### 7.5 Questões legais e licenças

Todos os países possuem alguma forma de legislação que abrange a prática da aviação e a gestão do espaço aéreo. No entanto, há uma variação na robustez da aplicação da legislação para diferentes tipos de operações com drones. A **Tabela 4**, de DeBell et al., (2015), mostra a diversidade de leis referentes a drones em algumas regiões do mundo.

**Tabela 4:** Indústria de VANTS e legislação para as maiores regiões econômicas do mundo. De DeBell et al. (2015), mas note que essas informações foram publicadas vários anos antes da publicação deste relatório da WWF e podem ter sofrido alterações.

	INDÚSTRIA REFERENTE AOS VANTS	REGULADA?	VOOS COMERCIAIS DE VANTS SÃO PERMITIDOS?	VOOS AMADORES DE VANTS SÃO PERMITIDOS	OUTRAS OBSERVAÇÕES
Austrália	S	S	S	S	2 kg define um VANT "pequeno" (incluindo carga); necessita de licença
Canadá	S	S	S	S	Voos de VANTS permitidos com licença
China	S	N <sup>b</sup>	S <sup>b</sup>	S	
Europa <sup>a</sup>	S	S <sup>c</sup>	S	S	Variação das definições em diferentes Estados membros da UE (Silverburn, 2013)
Índia	S	N	N	? <sup>d</sup>	
México	S	N	S	S	Atitudes liberais quanto ao uso de VANTS (Garcia, 2013)
Estados Unidos	S	S	N	S	Uso comercial sob revisão da FAA. Zonas de exclusão aéreas implementadas em algumas regiões
Brasil	S	S	S	S	Atualmente, proibição total do uso de VANTS comerciais

Observação: dados coletados em janeiro de 2015.

a A Europa foi incluída como uma única entidade devido ao seu mercado e legislação unificados.

b A China parece permitir operações sob autorização a um nível de planejamento provincial ou municipal, mas não há nada a nível nacional.

c Embora haja diretrizes gerais para a UE, observa-se que cada estado membro é responsável pela aplicação das suas próprias leis referentes ao uso de VANTS.

d Há competições que envolvem VANTS e muitos amadores no ar, mas é difícil encontrar uma regulamentação relacionada a atividades amadoras.

Para oferecer um exemplo da diversidade das regulamentações internacionais, no Reino Unido voos com fins de pesquisa ou recreativos com drones pequenos pesando menos de 7 kg requerem uma prova online e registro do drone com um identificador exclusivo<sup>10</sup> (**ver Figura 26**). Os pilotos de pesquisa também devem obter permissão do dono da propriedade de onde o drone decolará e pousará antes do voo. Nos EUA, todos os pilotos devem ser registrados junto à Autoridade Federal de Aviação e ter uma habilitação válida de piloto de drone<sup>11</sup>. Para obter a habilitação, os pilotos devem realizar um teste teórico e prático, precedidos por diversos dias de aulas presenciais. Os EUA também requerem

<sup>10</sup> <https://www.caa.co.uk/Consumers/Unmanned-aircraft-and-drones/>

<sup>11</sup> <https://www.faa.gov/uas/>

que todos os usuários de drones se registrem na FAA e acoplem ao drone uma placa e identificação. Regras similares estão sendo implementadas na Europa<sup>12</sup>. As licenças podem ser exigidas conforme o local do mapeamento, com controles mais rigorosos em áreas federais e em Parques Nacionais, por exemplo. Assim como as rápidas mudanças tecnológicas (B-VLOS, enxames de drones e tecnologia de detecção e desvio (**Capítulo 11**)), a regulação está lutando para se manter atualizada com os desenvolvimentos e, por isso, é fundamental que todos os pilotos obtenham informações atualizadas sobre as regras no seu país de operação antes de voar.

### 7.6 Melhores práticas

Oferecemos aqui um conjunto das principais recomendações e ações que os pilotos de drone podem seguir para ajudar a garantir que não surjam problemas operacionais.

- Em caso de viagem, lembre-se de que drones maiores atraem atenção na alfândega e você deve sempre levar a documentação necessária com você para garantir a entrada tranquila no país. Isso também inclui recibos de compra, informações do seguro e licença de importação. Drones menores ou modelos dobráveis transportados em bolsas de mão atraem menos atenção, mas ainda requerem comprovante de titularidade e licenças onde necessárias. Não transporte uma bateria de drone (geralmente uma LiPo) em bagagens despachadas (**ver Seção 5.3.1**).
- Verifique as leis referentes aos drones no país da operação antes do voo.
- Caso haja a exigência de uma licença para voar o drone, deixe bastante tempo para preencher a documentação e obter as licenças, uma vez que isso, às vezes, pode ser um processo demorado dependendo do país.
- Notifique e, quando necessário, obtenha a permissão do dono da propriedade antes das operações.
- Notifique os outros usuários do espaço aéreo sobre a sua intenção de voar, planos operacionais de voo e, na conclusão do seu mapeamento, repita o processo.
- Utilize cercas geográficas no seu software de planejamento de voo para garantir que você não invada espaços aéreos não autorizados tanto em altitude quanto em limites laterais.
- Esteja ciente das questões de privacidade e remova todas as imagens de pessoas não consensuais dos seus grupos de imagens.
- Caso encontre resistência ou conflitos durante as suas operações, pause o drone antes de conversar.
- Leve toda a sua documentação com você para o local.
- Leve um copiloto ou observador com você sempre que possível durante os voos para ficar de olho em perigos aéreos ou terrestres, além de lidar com espectadores curiosos enquanto você se concentra no voo.

Alguns sites para consulta sobre regulamentações para drones:

Austrália: <https://www.casa.gov.au/drones>

Brasil: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/drones>

<https://www.decea.mil.br/drone/>

EUA: <https://faadronezone.faa.gov/>

Europa: <https://www.easa.europa.eu/domains/civil-drones/naa>

Proibições de drones: <https://uavcoach.com/drone-bans/>

Lista compilada de regulamentações por país e estado: <https://uavcoach.com/drone-laws/>





Um urso polar pula para o gelo em Nunavut, Canadá. Vencedor de 2018 do “Prêmio de Fotógrafo do Ano de Drone” © Florian Ledoux/Drone Awards/Art Photo Travel

# 8

## DADOS DE DRONES

### 8.1 O nicho do drone

Drones revelam o potencial da coleta de dados em resoluções espaciais e temporais melhores que satélites ou plataformas de sensoriamento remoto aéreo. Informações sobre um ambiente, indivíduo ou grupo de organismos específicos podem ser coletadas em maiores detalhes, o que significa que características menores podem ser detectadas, compreendendo uma grande quantidade de pixels em uma resolução maior. Os dados de drones também podem ser coletados com maior frequência (mapeamentos podem ser realizados em frequências variadas, desde diariamente a várias vezes ao dia ou em horários específicos). Para ajudar a descrever o nicho do drone, as seções a seguir compararão a tecnologia de sensoriamento proximal às plataformas existentes de sensoriamento remoto, como satélites e aeronaves leves, além de técnicas de monitoramento *in situ*.

Os satélites oferecem hoje um amplo leque de produtos de dados, os quais podem ser úteis para cientistas, gestores ambientais e conservacionistas (Pettorelli et al., 2018B). Alguns programas de satélite (por ex. Landsat e Copernicus) oferecem dados disponíveis gratuitamente, enquanto operadores comerciais de geradores de imagens/sensores de maior resolução (MAXAR, Planet, Airbus) cobram pelo acesso aos seus dados. As plataformas de satélite são equipadas com uma variedade de sensores que operam tanto ativamente quanto passivamente, realizando detecções por todo o espectro eletromagnético. Algumas plataformas, como a Worldview-3 ou SENTINEL-2, possuem sensores multiespectrais, estendendo a parte visível do espectro, além da banda do infravermelho próximo (Ferreira et al., 2016). Alguns sensores oferecem recursos espectrais na faixa do infravermelho próximo, curto e termográfico. As informações coletadas dentro dessas bandas específicas (ou em combinações delas) podem oferecer informações valiosas sobre diversas características da superfície da Terra (Pettorelli et al., 2018B). Embora haja uma grande variedade de sensores, eles são predeterminados pelas organizações que desenvolvem e operam os sistemas de satélite. É possível que alguns sensores não colem informações suficientes para responder algumas perguntas de pesquisa.

O arquivo de dados de disponibilidade gratuita do programa do satélite Landsat o torna uma ferramenta poderosa para a análise de escalas multidecadais, como na investigação de mudanças no habitat em resposta a tempestades no decorrer do tempo (Douglas et al., 2018). A habilidade de investigar mudanças em extensões temporais tão grandes torna o sensoriamento remoto por satélite útil para fins de pesquisa, gestão e conservação. Dados de satélite podem ser adquiridos em resoluções temporais de apenas dias ou semanas. Com o acréscimo regular de novos sistemas e constelações, o tempo de revisita (isto é, com que frequência as imagens sobre determinada área serão capturadas) está sendo significativamente reduzido (espera-se que as plataformas Sentinel ofereçam revisitas entre 1 e 6 dias – Berger et al., 2012). Independentemente do tempo esperado de revisita, as órbitas da maioria das capturas de imagem de satélite são programadas para ocorrer no mesmo horário do dia, todos os dias, e não se pode garantir sempre dados usáveis. Para sensores ópticos, a nebulosidade e bruma atmosférica são obstáculos significativos, seja pelo obscurecimento de elementos ou pela criação de brilho alterado em áreas de nuvens ou sombra (Zhu and Woodcock, 2012). Ademais, outras características, como a presença de água em zonas entremarés ou sombras no início ou fim do dia, podem reduzir a qualidade ou invalidar os dados obtidos. A inabilidade de ajustar o tempo de aquisição dos dados a partir dos satélites é uma desvantagem significativa desse tipo de técnica de sensoriamento remoto. Isso resulta em regimes possivelmente desiguais de amostras e lacunas nos conjuntos de dados.

Algumas fontes de dados de satélites:

Copernicus Sentinel Hub:  
<https://www.sentinel-hub.com/>

NASA Landsat Science:  
<https://landsat.gsfc.nasa.gov/>

Planet:  
<https://www.planet.com/>

MAXAR (DigitalGlobe):  
<https://discover.digitalglobe.com/>

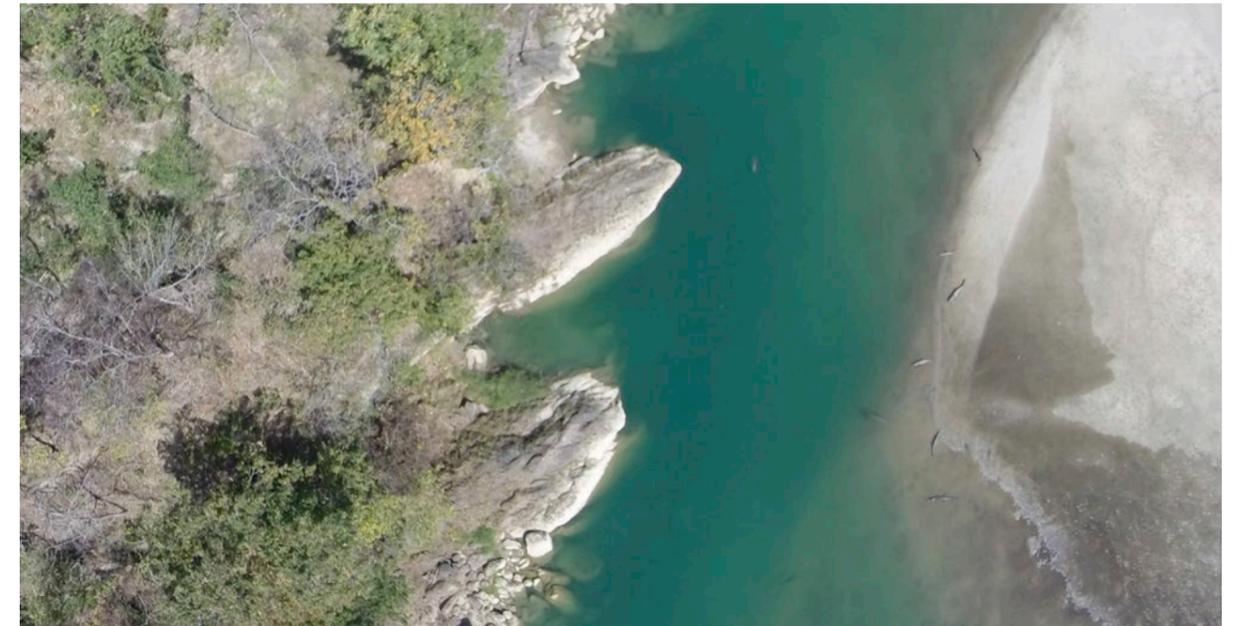
Airbus Geostore:  
<https://www.intelligence-airbusds.com/geostore/>

Plataformas aéreas podem ser usadas para coletar dados de sensoriamento remoto em horários e locais específicos. As vantagens de uma aeronave leve incluem dados de melhor resolução espacial e melhor controle sobre o momento de coleta dos dados. Assim, processos dinâmicos podem ser registrados durante os horários mais adequados para a aplicação em questão. Campanhas aéreas podem ser realizadas em momentos de maré baixa, quando os ambientes entremarés estão expostos e não são ofuscados pela coluna de água, por exemplo, ou para o registro de comportamentos ou movimentos de animais nos momentos mais prováveis. Mapeamentos aéreos também podem abranger áreas consideráveis, por ex. 10-100 km<sup>2</sup>, o que é adequado para estudos em escalas de ambiente ou regionais. No entanto, as principais desvantagens das operações aéreas estão ligadas principalmente à sua complexidade logística. Elas requerem uma equipe de indivíduos treinados (pilotos e operadores de sensores) para a realização de voos bem-sucedidos, além de uma aeronave adequada, combustível, infraestrutura e as respectivas autorizações. Esses fatores as tornam uma forma de coleta de dados dispendiosa e de certa forma exclusiva, a qual é limitada para aqueles com os recursos necessários para lançar tal campanha.

O monitoramento *in situ* com sensores especializados, como o scanner a laser terrestre (TLS), oferece dados refinados medindo as variáveis estruturais e físicas das características do ambiente em um momento específico. Exemplos de aplicações de TSL nas ciências ambientais incluem dunas de areia (Feagin et al., 2012), faces de escarpas (Westoby et al., 2018) e o monitoramento de processos da paisagem, como o desenvolvimento de bacias fluviais (Kociuba et al., 2014). Os dados resultantes dessa tecnologia são tipicamente nuvens de pontos densas em excelente resolução, as quais, se usadas de forma eficiente, podem produzir uma representação 3D da paisagem e suas características. Comparada aos drones, essa é uma abordagem muito útil em situações nas quais o drone seria incapaz de coletar dados de características ocultas do ponto de vista aéreo. No entanto, essas tecnologias ainda são caras (scanners a laser podem custar mais de US\$ 20.000), além de pesadas, tornando-as difíceis de transportar em campo, enquanto a cobertura espacial é limitada a uma extensão relativamente pequena (até 1 ha por varredura). Sua imobilidade pode ser prejudicial para a obtenção de dados quando o tempo é limitado por um processo específico, condições ambientais ou a presença de um indivíduo ou grupo de indivíduos. Outras abordagens de monitoramento remoto *in situ* para o monitoramento ecológico e ambiental incluem a fotografia em solo, como armadilhas fotográficas acionadas por movimento, ou fotografias em time-lapse. Assim como nas outras técnicas destacadas aqui, cada uma delas é vantajosa quando usada em circunstâncias específicas (como time-lapse para monitorar a evolução da costa no decorrer do tempo), mas a falta de perspectiva, devido ao posicionamento no solo, limita a extensão espacial na qual os dados podem ser coletados.

**Os drones são um método de coleta de dados de autosserviço, permitindo ao usuário a coleta de informações no momento mais adequado para a sua pesquisa.**

Ao contrário das abordagens mencionadas acima, o drone democratiza o fluxo de trabalho do sensoriamento remoto, permitindo que indivíduos coletem dados quando e onde quiserem. Os drones podem ser descritos como uma metodologia de coleta de dados de autosserviço, permitindo que o usuário programe a aquisição de dados para o momento mais adequado quanto às condições ambientais ou posição do objeto de interesse (como as estruturas da paisagem de organismos). Nas zonas entremarés, por exemplo, o horário é crucial para a obtenção de dados devido à presença de água durante o ciclo das marés. Cenários como esse são bem adequados para a coleta de dados por drones, tendo sido demonstrado por mapeamento da heterogeneidade espacial nas pradarias de angiospermas marinhas (Duffy et al., 2018B).



**Figura 29:** Mapeamento por drone de gaviais no Nepal, uma espécie de crocodilo seriamente ameaçada, conhecida por seu comprimento significativo. © G. Jung Thapa/WWF-Nepal

Os drones também são altamente flexíveis, seja em design ou nos tipos de sensores que podem ser acoplados a eles (ver **Capítulo 5** e **Capítulo 6**). Isso significa que os usuários de drone podem coletar dados de sensoriamento remoto nos formatos que precisarem, contendo as informações mais úteis para suas aplicações ou perguntas de pesquisa pretendidas. Como foi mostrado nos recursos de destaque deste relatório, há uma grande variedade de tipos de sensores, abrangendo a coleta de dados ópticos e sônicos, além da obtenção de amostras biológicas do meio ambiente. A flexibilidade do design da fuselagem também oferece a oportunidade de acoplar diversos tipos de sensores e realizar voos de diversas maneiras (como planar para obter dados do mesmo local durante um período de tempo definido ou voar a uma velocidade mais rápida para registrar a maior área possível em um único voo).

## 8.2 Softwares disponíveis e custos

Os softwares associados à coleta e processamento de dados por drones podem ser divididos, de forma geral, em três categorias (ao considerarmos dados de sensores ópticos).

- Software para o planejamento de missões
- Software de estação de controle em solo
- Software de processamento e análise de dados

### 8.2.1 Software para o planejamento de missões

O software para o planejamento de missões é usado para configurar o sistema do drone e planejar os voos (caso seja automatizado com o uso de um GPS a bordo). Esse software também pode ser usado para alterar os parâmetros do drone, como sua velocidade padrão e calibração do sensor a bordo do piloto automático, além de programar padrões de comportamento (como comandos de retorno ao local de lançamento) e proteções contra falhas. Alguns sistemas de piloto automático e seus respectivos softwares permitem até que o usuário manipule o desempenho do hardware (como a alimentação de energia dos motores) ou registre informações de sensores específicos dentro do piloto automático.

### 8.2.2 Software de estação de controle em solo

As operações de estação de controle em solo que controlam o drone durante o voo são muitas vezes realizadas em um celular ou tablet, mas também podem ser executadas em um notebook (dependendo do software e piloto automático). As características desses pacotes de software visam auxiliar no lançamento, pouso e operação do drone durante o voo. Em alguns casos, essas particularidades são integradas aos recursos de planejamento de missão em um único pacote de software. Alguns desses pacotes são específicos ao fabricante do drone, alguns funcionam para diversos modelos, e são um misto de softwares gratuitos e pagos (**Tabela 5**). Exemplos incluem o Ground Station Pro (para modelos DJI) e o Solex para o quadricóptero 3DR Solo. Os pilotos automáticos em drones customizados disponibilizarão muitas vezes um software de estação de controle em solo compatível, embora seja melhor verificar essa informação com o fabricante/fornecedor para ter certeza.

**Tabela 5:** Softwares e aplicativos terceiros disponíveis para o planejamento de drones

NOME	SISTEMA OPERACIONAL	DESCRIÇÃO	SITE
B4UFLY	Android e iOS	A Administração Federal de Aviação (FAA) produziu este aplicativo para tornar mais fácil saber onde nos EUA você pode, ou não pode, voar seu drone.	<a href="https://kittyhawk.io/b4ufly/">https://kittyhawk.io/b4ufly/</a>
Airmap	Android e iOS	Aplicativo abrangente de planejamento de voo que também inclui regulamentações de mais de 20 países. Pode ser usado para programar drones DJI.	<a href="http://www.airmap.com">www.airmap.com</a>
DroneDeploy	Android e iOS	Software de planejamento e geoposicionamento de imagem em código aberto para computador. Voltado para drones customizados rodando software Ardupilot.	<a href="http://www.dronedeploy.com">www.dronedeploy.com</a>
Mission Planner	Mac e Windows	Software de planejamento e geoposicionamento de imagem em código aberto para computador. Voltado para drones customizados rodando software Ardupilot.	<a href="http://www.ardupilot.org/planner">www.ardupilot.org/planner</a>
DJI go	Android e iOS	Software de planejamento desenvolvido para todos os modelos de drones DJI.	<a href="http://www.dji.com/de/goapp">www.dji.com/de/goapp</a>
Litschi	Android e iOS	Software de planejamento de missões de código aberto desenvolvido para drones DJI	<a href="http://www.flylitschi.com">www.flylitschi.com</a>
Maps made easy	Web e iOS	Sistema web para processamento em nuvem de dados de drone e um aplicativo integrado de planejamento para drones DJI	<a href="http://www.mapsmadeeasy.com">www.mapsmadeeasy.com</a>

### 8.2.3 Software de processamento e análise de dados

A forma mais comum de processar e obter resultados tangíveis a partir dos dados ópticos e multiespectrais coletados por drones é utilizando abordagens de fotogrametria, chamadas de Estrutura por Movimento e Estéreo por Multi-Visadas (SfM-MVS). Softwares que oferecem esse tipo de processamento normalmente permitem que o usuário produza uma variedade de produtos espaciais a partir de seus resultados. Tais produtos incluem (mas não estão limitados a) ortomosaicos, modelos tridimensionais, modelos digitais de elevação e nuvens de pontos. Cada um desses conjuntos de dados pode ser usado individualmente ou em conjunto para uma variedade de aplicações ecológicas e ambientais. Consultar o **Capítulo 3** para exemplos de utilização dos dados de drones na conservação e ecologia. Pacotes de software de fotogrametria são altamente variados, e cada um é único no que se refere aos recursos que oferecem. É necessária uma consideração criteriosa antes de escolher qual pacote de software usar para o processamento dos seus dados do drone. Muitos dos programas proprietários oferecem uma avaliação gratuita por um período de tempo limitado. Isso pode servir como um bom teste para ver se a sua necessidade específica de processamento pode ser atendida. A **Tabela 6** mostra uma seleção de pacotes de software gratuitos e comerciais tipicamente utilizados. O software usado para processar os dados é raramente capaz de realizar o mapeamento remoto ou análise espacial, como para a classificação de imagens ou análise topográfica. Os usuários devem exportar os produtos (como ortomosaicos ou modelos de superfície) desses softwares de processamento e realizar tal processamento de alto nível em outro lugar. Há uma infinidade de fluxos de trabalho possíveis para os procedimentos post-hoc de conjuntos de dados geoespaciais, incluindo conjuntos de ferramentas de código aberto, como o RQGIS.

**Tabela 6:** Lista não exaustiva de pacotes de software de fotogrametria. Adaptado de Forsmo et al. (2019)

NOME	FONTE	PREÇO INDICATIVO
Agisoft Metashape	<a href="http://www.agisoft.com">www.agisoft.com</a>	US\$ 179 (standard) US\$ 3.499 (profissional)
Pix4D	<a href="http://www.pix4d.com">www.pix4d.com</a>	US\$ 4.400 (standard) US\$ 240 por mês
3DFlow Zephyr Pro	<a href="http://www.3dflow.net/3df-zephyr-pro-3d-models-from-photos/">www.3dflow.net/3df-zephyr-pro-3d-models-from-photos/</a>	Gratuito a US\$ 4.300 conforme a versão/recursos
MICMAC	<a href="https://github.com/micmacIGN/micmac">github.com/micmacIGN/micmac</a>	Gratuito
GRAPHOS	<a href="https://github.com/itos3d/GRAPHOS">github.com/itos3d/GRAPHOS</a>	Gratuito
Autodesk Recap	<a href="http://www.autodesk.com/products/recap/overview">www.autodesk.com/products/recap/overview</a>	US\$ 310 por ano
ESRI Drone2Map	<a href="http://www.esri.com/en-us/arcgis/products/drone2map/overview">www.esri.com/en-us/arcgis/products/drone2map/overview</a>	US\$ 2.500 por ano
Photomodeler Premium	<a href="http://www.photomodeler.com">www.photomodeler.com</a>	US\$ 995 (padrão) US\$ 49 por mês
RealityCapture	<a href="http://www.capturingreality.com">www.capturingreality.com</a>	Opção de preço 'pay-per-input' disponível
OpenDroneMap	<a href="http://www.opendronemap.org">www.opendronemap.org</a>	Gratuito
DroneDeploy	<a href="http://www.dronedeploy.com">www.dronedeploy.com</a>	US\$ 99 por mês

### 8.3 Abordagens de processamento de dados

Para as abordagens de processamento de dados, o planejamento, procedimento de voo e o objetivo da pesquisa impactarão o tipo de método, ou fluxo de processamento, que será exigido para alcançar o resultado desejado. Para algumas aplicações, pode ser necessário nenhum ou mínimo processamento, já que imagens individuais podem oferecer as informações pretendidas. Mas, quando diversas imagens ou diversos tipos de dados precisam ser combinados, o processamento pode se tornar ligeiramente mais complexo.

Começando com nosso primeiro exemplo, é facilmente possível fotografar um hectare com uma única imagem utilizando uma lente grande-angular em uma câmera ou smartphone a cerca de 100 m de altitude. Se essa imagem foi registrada com dados complementares de posicionamento (de um GPS ou GNSS), a latitude e longitude podem ser inseridas por meio das informações EXIF da imagem, ou adicionadas com o software SIG, o que pode ser suficiente para fornecer um mapa-base simples em escala local. No entanto, um dos principais benefícios da utilização da tecnologia de sensoriamento proximal é a maior extensão que pode ser abrangida em uma única missão, na qual a sobreposição de fotografias aéreas, ou de outras imagens, é registrada em sequência com o movimento do drone pela área.

Caso seja necessário abranger áreas maiores, ou haja necessidade de dados 2,5D (dados de superfície ou volumétricos), de voar a uma altitude mais baixa ou sobre um objeto (por exemplo, voar a 100 m de altitude, mas sobre as copas de árvores de 40 m de altura), pode ser preciso “costurar”, ou transformar em mosaico, diversas imagens para produzir o resultado desejado. A seção anterior destacou o SfM-MVS como uma das formas mais populares de processar dados de drone deste tipo, e há inúmeros softwares especializados que realizam o processo SfM-MVS.

Algumas das opções mais populares de software incluem o Agisoft Metashape (antigo PhotoScan), Pix4D e DroneDeploy, todos eles produtos comerciais, e os dois últimos também incluem opções em nuvem. Há diversas outras opções comerciais disponíveis<sup>13</sup>, além de uma opção emergente em código aberto: o OpenDroneMap<sup>14</sup> (ver **Seção 8.2.3**). Há muitos exemplos na literatura que detalham o fluxo de trabalho SfM para a criação de mosaicos com dados de imagem obtidos a partir de plataformas de sensoriamento proximal. Os pacotes de software listados acima também oferecem muitas vezes tutoriais e dados de amostra. Ademais, descrições completas da aplicação da técnica em uma variedade de campos podem ser encontradas na literatura (Burns et al., 2015, Smith et al., 2016, McDowall e Lynch, 2017).

Além do mencionado acima, é útil ter um plano para o armazenamento gerenciado de todos os dados coletados, como registros de voo e suas respectivas imagens. Em caso de missões múltiplas regulares, pode ser fácil perder o controle de qual registro de voo corresponde a qual conjunto de dados, ou acidentalmente sobrescrever o piloto automático com registros de missões mais recentes. Além disso, dispositivos USB de grande capacidade ou discos rígidos externos são recursos essenciais em campo, uma vez que os dados coletados podem crescer rapidamente, às dezenas ou centenas de GB.

<sup>13</sup> <https://geo-matching.com/photogrammetric-imagery-processing-software>

<sup>14</sup> <https://www.opendronemap.org/>

## MAPEANDO OS HABITATS DA GRANDE BARREIRA DE CORAIS

Karen Joyce, Universidade James Cook



Karen é pesquisadora em sensoriamento remoto e educadora em Queensland, Austrália, e adora utilizar satélites e drones para mapear, medir e monitorar de cima para ajudar a cuidar do nosso meio ambiente.

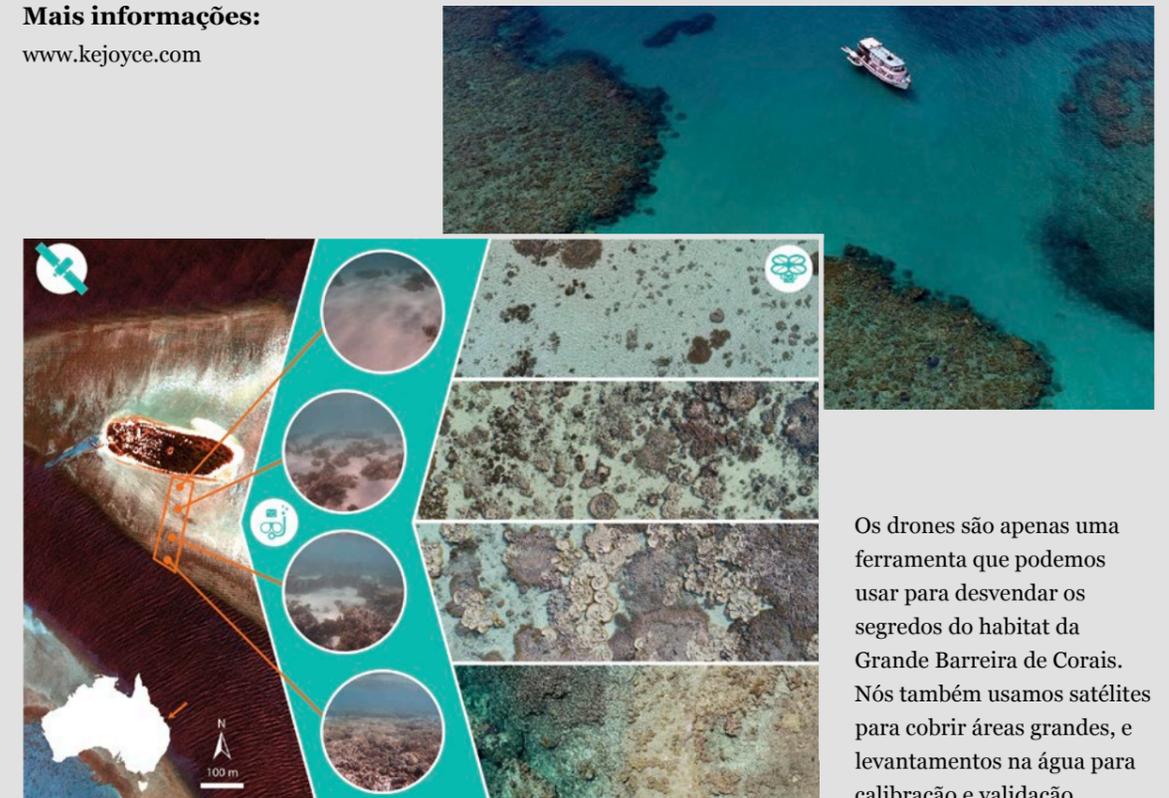
A Karen trabalha na Grande Barreira de Corais desde o fim da década de 1990, mapeando os diferentes corais, algas e outros habitats subaquáticos. Inicialmente, ela usou muitos dados de satélite para criar mapas, mas hoje faz cada vez mais com os drones. Um dos maiores desafios no mapeamento do recife é a água, que impede que os corais sejam vistos claramente. Mas os drones permitem que sejamos flexíveis no que se refere à escolha do momento da captura dos dados alinhada à maré baixa, sendo capaz de ver o recife com menos interferência da coluna de água. Karen e seus colegas coletaram diversos anos de dados de drones sobre o local de estudo no Recife Heron, para que possam hoje quantificar as mudanças que estão ocorrendo em escalas espaciais muito refinadas. Esse nível de detalhe só era possível com a realização de levantamentos dentro da água, os quais têm, muitas vezes, cobertura limitada.

### Principais conselhos para os conservacionistas:

1. Determine as características mínimas dos dados que precisa para responder sua pergunta ANTES de selecionar sua ferramenta geoespacial. Ou seja, não compre um drone até ter a certeza de que ele atenderá seu objetivo!
2. Lembre-se de incluir o software, dispositivos de armazenamento de dados e treinamento suficiente (para o software e operação do drone) no seu orçamento inicial.

### Mais informações:

[www.kejoyce.com](http://www.kejoyce.com)



Os drones são apenas uma ferramenta que podemos usar para desvendar os segredos do habitat da Grande Barreira de Corais. Nós também usamos satélites para cobrir áreas grandes, e levantamentos na água para calibração e validação.



Os manguezais de Mahafaly, no sudoeste de Madagascar, são conhecidos por sua beleza excepcional, preservação e biodiversidade, mas estão sob pressão crescente das atividades humanas.

© Martina Lippuner/WWF-África

# 9

## DESTAQUES DAS ATIVIDADES DE CONSERVAÇÃO DO WWF

Como a maior ONG internacional de conservação do planeta, o World Wide Fund for Nature (WWF) aplica novas tecnologias para mitigar questões ambientais urgentes que afetam pessoas e a vida selvagem. Além da vantagem mais evidente da utilização de drones no combate à caça ilegal, que começou com o Wildlife Crime Technology Project<sup>15</sup>, as outras aplicações para os dados de alta qualidade e alta resolução espacial e temporal, além do acesso remoto a uma variedade de ambientes com o drone, oferecem flexibilidade e inovação para atender às necessidades dos conservacionistas que trabalham enfrentando questões como as mudanças climáticas, uso sustentável de recursos, conservação de espécies e na luta contra crimes contra a vida selvagem.

Os drones estão possibilitando melhores interações entre cientistas e espécies. Observações e estudos de animais selvagens em seus habitats podem envolver o acesso perigoso de cientistas ou, pelo contrário, quando a distância é limitada por leis e regulamentações, limitando o impacto dos estudos. Com o avanço dos drones, incluindo sensores mais potentes e motores silenciosos, os cientistas podem se aproximar (seguindo as melhores práticas; **Capítulo 7**) das espécies de interesse. Na Romênia, o WWF está fazendo uso de drones para lidar com a delicada natureza da reabilitação de filhotes de urso (ver estudo de caso na página 97). No Orfanato de Ursos da Romênia, os filhotes devem aprender a buscar seus alimentos, e os gestores precisam evitar ao máximo sua interação com humanos. Um drone customizado foi desenvolvido para levar comida aos animais, replicando suas atividades forrageiras na natureza enquanto previne o odor das pessoas, sem mencionar a economia de tempo e esforço no transporte.

No oeste dos EUA, um projeto similar utilizando drones customizados foi desenvolvido pelo Serviço de Pesca e Vida Selvagem dos EUA e pelo WWF-EUA para vacinar de forma abrangente cães-de-pradaria contra uma epidemia mortal – visando ajudar as doninhas-de-patas-pretas ameaçadas que os caçam (Ditmer et al., 2015). Um drone octocóptero, equipado com um funil customizado, é usado para lançar pastilhas cobertas por manteiga de amendoim e recheadas de vacina nas tocas dos cães-de-pradaria. Os cães-de-pradaria as comem e se tornam imunes à peste silvestre, uma doença não nativa contra a qual possuem pouca imunidade natural. O método de entrega da vacina por drone é tão eficaz e prático (e mais econômico) quanto a entrega manual em quadriciclos ou a vacinação de animais criados e soltos de cativeiro.

Entretanto, os drones ainda podem causar impactos na vida selvagem, e há a necessidade crescente de análise e desenvolvimento de melhores práticas que visem minimizar o estresse fisiológico causado por esses estudos científicos. A escolha de drones de asa fixa, como aqueles sendo usados pelo WWF-Malásia para quantificar ninhos de orangotangos em Bornéu, são um avanço em relação aos helicópteros, os quais são caros, barulhentos e não muito ecológicos.

Quanto ao mapeamento, levantamento e coleta de dados geoespaciais, os drones estão multiplicando a eficácia dos projetos de campo de conservação. Na África Oriental, o uso de drones está fornecendo informações significativas sobre os manguezais, florestas pantanosas estabelecidas

<sup>15</sup> <https://www.worldwildlife.org/projects/wildlife-crime-technology-project>

em zonas entremarés e de lama profunda e instável, e que são inacessíveis, difíceis e perigosas de alcançar. Há pouco que se pode fazer para evitar crocodilos, cobras e hipopótamos agressivos, ou aglomerados de árvores quase impenetráveis, a não ser não mapear a área. Esses são obstáculos comuns que tendem a influenciar a demarcação e mensurações dos manguezais. Na Tanzânia, o WWF-Alemanha e o WWF-Tanzânia mobilizaram drones quadricópteros equipados com câmeras visíveis e infravermelhas para analisar o povoamento florestal dos manguezais. Os dados dos drones estão sendo usados para identificar as espécies de árvores, além da densidade, heterogeneidade e, em resolução espacial alta, os índices de vegetação para determinar a saúde da floresta (Tian et al., 2017). Por fim, esses levantamentos oferecem o conjunto de dados perfeito em uma escala intermediária entre trabalho de campo e satélites, e podem ser integrados aos fluxos de trabalho de satélite para a estimativa de biomassa, como em Navarro et al. (2019), e aplicados à saúde da floresta no contexto de atividades de certificação.<sup>16</sup>

Também na África Oriental, o WWF-Alemanha e o WWF-Moçambique utilizaram drones para analisar ecossistemas subaquáticos de recifes de corais, os quais são difíceis de observar em grande escala, exigindo equipamentos e métodos de mergulho e snorkeling, além de barcos, tudo dificultado pela profundidade da água, maré e correntes. Algumas áreas são muitas vezes perigosas ou de acesso demasiadamente remoto, e o drone pode facilmente superar isso, sendo menos limitado nesses ambientes pelo terreno ou vegetação. A abordagem fornece imagens geolocalizadas de alta resolução espacial, que podem ser usadas para identificar habitats bentônicos, oferecendo informações abrangentes de campo para a calibração e validação de mapas derivados de imagens de satélite (ver figura). E há outros elementos a considerar no mapeamento de habitats marinhos, especialmente para reduzir os efeitos da luz solar na superfície do oceano (Joyce et al., 2019).

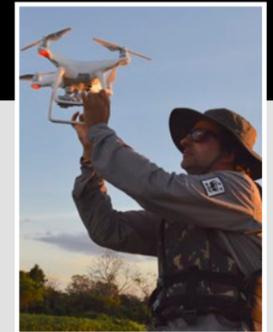
O uso de drones em projetos de conservação é também uma forma eficaz de envolver as comunidades locais. Entre 2018 e 2019, o WWF-Brasil treinou mais de 100 pessoas, incluindo gestores de áreas protegidas, comunidades tradicionais e associações locais, visando aumentar seu envolvimento e combinar o conhecimento tradicional com a ciência para detectar e prevenir incêndios florestais e desmatamentos. Esforços similares existem em todo o mundo, com ONGs envolvendo as comunidades locais em esforços de monitoramento e defesa do território, especialmente no contexto de projetos de redução de emissões de desmatamentos e degradação (REDD+) (Paneque-Gálvez et al., 2014). Envolver mais pessoas na coleta de dados enquanto as educa sobre medidas de segurança e melhores práticas, além de oferecer guias como este, garantirá que a conservação continuará a evoluir e melhorar em conjunto com a tecnologia dinâmica dos drones que usamos.



**Figura 30:** Treinamento de grupos indígenas na Floresta Amazônica para monitorar incêndios e desmatamentos com a ajuda de drones. © WWF-Brasil/Osvaldo Gajardo

## MAPEAMENTO DE BOTOS NA AMAZÔNIA

Marcelo Oliveira, WWF-Brasil



Marcelo é um biólogo conservacionista com 19 anos de experiência na gestão de áreas protegidas e projetos de conservação da vida selvagem em diferentes biomas no Brasil. Após terminar seu mestrado em Liderança da Conservação na Universidade de Cambridge, ele começou sua carreira na Amazônia trabalhando principalmente na conectividade de habitats, na ligação entre habitat e saúde humana e no engajamento social na conservação.

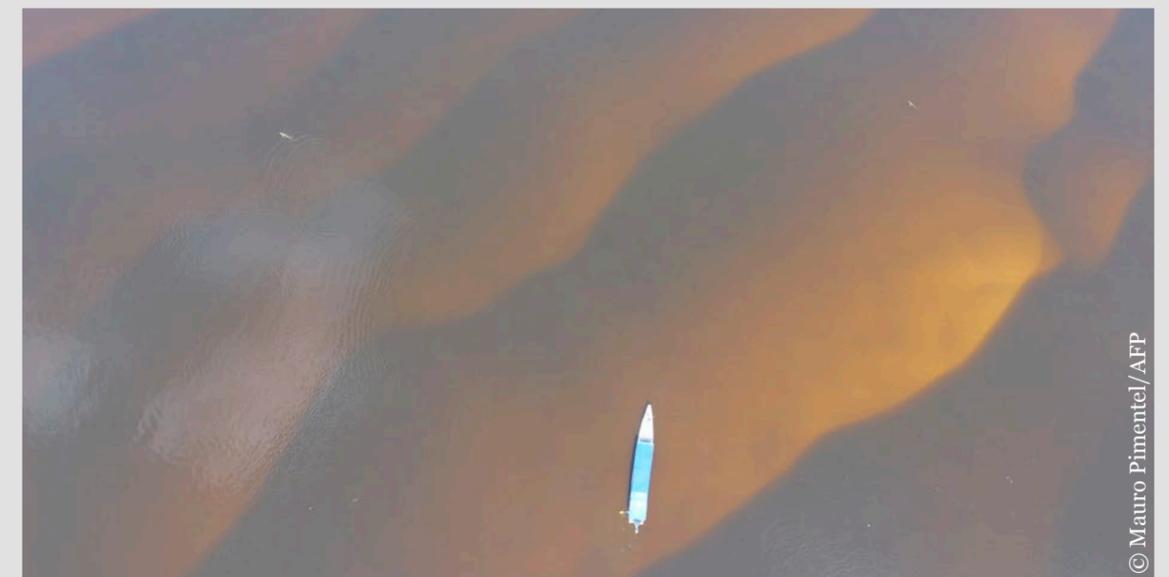
Quantificar a abundância de vida selvagem é fundamental para uma boa gestão e conservação. Muitos esforços foram aplicados no mapeamento de botos na Bacia Amazônica. No entanto, as dimensões dos rios e a logística complexa limitam a replicação desses estudos por toda a região. O WWF avaliou a eficácia de se utilizar veículos aéreos não tripulados (VANTs) no mapeamento de duas espécies de botos da Amazônia, o tucuxi e o boto-rosa, nos rios tropicais. Comparado a estimativas obtidas por mapeamentos visuais, o uso de VANTs poderia oferecer uma estimativa menos dispendiosa e mais precisa dos botos do Rio Amazonas.

### Principais conselhos para os conservacionistas:

1. Pilotos experientes são necessários. Os pequenos VANTs multirotores prontos para uso foram escolhidos devido às suas capacidades de decolagem e pouso verticais, necessárias para operar a partir de um barco em movimento, e da sua estabilidade em voo. No entanto, em situações de vento forte, as operações de decolagem e pouso foram um desafio.
2. Siga os protocolos operacionais definidos, incluindo as melhores práticas descritas na literatura (Hodgson e Koh 2016), e garanta o mínimo de perturbação à vida selvagem e à segurança dos operadores e pesquisadores.

### Mais informações:

Oliveira-da-Costa, M., Marmontel, M., Da-Rosa, D., Coelho, A., Wich, S., Mosquera-Guerra, F., & Trujillo, F. (2019). Effectiveness of unmanned aerial vehicles to detect Amazon dolphins. *Oryx*, 1-3. doi:10.1017/S0030605319000279





A área de conservação comunitária de Spitzkoppe, na Namíbia, empodera as comunidades locais com o direito de gerenciar e de se beneficiar da vida selvagem, fortalecendo direitos, meios de subsistência e o gerenciamento dessas paisagens únicas. © Martina Lippuner/WWF-África

# 10

## LIMITAÇÕES TECNOLÓGICAS, RESSALVAS E SOLUÇÕES

### 10.1 Limitações da plataforma

As plataformas de drone podem ser divididas em dois tipos – os multirotores e asa fixa (conforme descrito no **Capítulo 5**). Há algumas limitações compartilhadas pelos dois tipos de fuselagem, além de algumas desvantagens específicas à aeronave. Nesta seção, abordaremos cada uma delas.

**Plataformas multirotores são geralmente mais fáceis de operar do que as de asa fixa.**

**Drones de asa fixa podem cobrir uma maior distância além da linha de visada visual, mas não exclusivamente. Verifique as permissões de voo.**

Os drones de asa fixa são geralmente mais difíceis de operar que as plataformas multirotores. Em primeiro lugar, eles requerem muitas vezes mais espaço para decolar e pousar, e um maior envolvimento do piloto e copiloto no lançamento. Alguns drones maiores de asa fixa requerem infraestruturas como catapultas ou rampas para o lançamento, enquanto outros podem ser lançados com um elástico. Sistemas pequenos de asa fixa, como o eBee ou o Parrot Disco, podem ser lançados à mão. Para drones que requerem equipamento extra, faz-se necessária uma análise criteriosa para determinar a viabilidade de transportar esse kit extra para o local do mapeamento. Em segundo lugar, drones de asa fixa normalmente requerem espaços abertos onde possam planar até o solo. Essa necessidade é uma consideração fundamental durante o planejamento de voo. Além disso, os pousos podem ser difíceis, e designs que protegem os sensores (ao acondicioná-los em uma cavidade dentro da fuselagem ou instalando uma placa de proteção) são recomendados. Drones de asa fixa voam mais rápido e permanecem em movimento constante no ar. Isso requer pilotos mais experientes e confiantes que estejam confortáveis com a noção de que o drone não pode pairar sobre uma mesma posição como os multirotores. Alguns pilotos automáticos podem oferecer o modo de pairar, o qual instrui o drone a circular um determinado diâmetro de uma posição de GNSS, fazendo a aeronave demonstrar um comportamento previsível enquanto o piloto toma sua próxima decisão. Em relação ao desvio de obstáculos e voo seguro, as velocidades rápidas e inabilidade de pairar requerem habilidades avançadas do piloto e tempo rápido de resposta. Devido ao design da sua fuselagem e configuração de motor único, os drones de asa fixa são mais sensíveis ao vento, principalmente em condições de vento forte. Isso significa que sua cobertura operacional tende a ser menor (em termos de clima e velocidade do vento) do que os multirotores. O vento também pode afetar mais os voos de mapeamento matriciais, nos quais a velocidade do drone será afetada nas pernas a favor e contra o vento. O design do mapeamento pode atenuar esse problema até certo ponto, voando a 90 graus em relação à direção do vento. Finalmente, uma vez que os drones de asa fixa voam por mais tempo, eles podem abranger áreas maiores, o que significa que tendem a ir além da linha de visada visual, o que pode causar alguns desafios legislativos que podem precisar de solução (ver **Capítulo 7**).

As plataformas multirotores são mais fáceis de operar devido à sua habilidade de decolar, pousar e voar verticalmente, ou de pairar sobre uma posição fixa. O espaço de pouso e decolagem necessário é muito menor e, para pilotos mais avançados, pode ser também uma plataforma em movimento, como um barco. No entanto, apresentam diversas limitações, as quais precisam ser consideradas durante o planejamento do seu uso para fins de pesquisa ou conservação. Devido aos diversos motores inerentes ao seu design, esse tipo de drone utiliza muito mais carga da bateria durante o voo e, assim, apresenta tempo de voo muito mais curto do que um drone de asa fixa. Isso pode limitar a cobertura aérea em um único voo e fazer com que os mapeamentos sejam divididos em diversas missões. O planejamento criterioso dos voos, com a possibilidade de diferentes locais de pouso e decolagem, pode ajudar a cobrir áreas maiores em um período menor de tempo. Outra desvantagem do drone multirotor é a exposição dos componentes às intempéries. Drones multirotores customizados costumam ter mais fios e componentes eletrônicos expostos na fuselagem.

**As plataformas multirotores são mais fáceis de operar devido à sua habilidade de decolar, pousar e pairar ou planar sobre uma posição fixa**

Embora isso seja útil para fins de manutenção e modificação, também significa que, assim como os motores, estão vulneráveis ao ingresso de água (salgada, doce ou pluvial), umidade, areia e partículas de poeira (Duffy et al., 2018A). Alguns modelos “prontos para uso”, como o DJI Phantom, contam com uma carcaça plástica que ajuda a proteger boa parte dos componentes dessas condições do ambiente. Além disso, é recomendado ter componentes de reposição a todo momento para substituir quaisquer partes que tenham sido danificadas pela exposição (rotor, bateria, hélice...). Os motores de um drone multirrotor produzem um zumbido alto. Isso pode ser prejudicial ou até nocivo para os animais selvagens (ver **Seção 3.6**) e é, assim, um grande fator limitante no design do mapeamento e para operações que envolvam animais selvagens, ou em ambientes com animais sensíveis a tal proximidade. Caso os sensores, como o microfone, estiverem sendo usados no drone (ver estudo de caso na página 103), o barulho dos motores deve ser considerado no design do sensor, montagem e/ou análise. O barulho é visto como um dos principais aspectos nos quais o mercado consumidor pode ser avançado. Como resultado, os fabricantes de drones estão trabalhando na sua redução para versões mais novas de seus produtos.

### 10.2 Limitações dos sensores

Indiferente do tipo do sensor, o peso da carga é um grande fator limitador na hora de decidir qual tipo de sensor colocar a bordo do drone. A quantidade de propulsão disponível nos motores elétricos a bordo e o tamanho e design da fuselagem determinarão quanto peso pode ser transportado de forma segura. Para plataformas disponíveis no mercado, esse limite é geralmente indicado pelo fabricante, enquanto para plataformas customizadas serão necessários alguns cálculos conforme a potência dos motores. Também é importante notar que, além do peso do sensor, um suporte ou estabilizador pode precisar ser considerado para estabilizar a captura da imagem. Nós aconselhamos que, antes de qualquer voo de mapeamento com uma nova configuração de sensores, testes sejam realizados com peso falso (como sacos de arroz) equivalente ao peso dos sensores propostos, para que o piloto possa observar o desempenho do drone sem o risco de perder um sensor valioso em caso de acidente.

Ao utilizar um drone de construção própria sem sensor integrado, o maior desafio será criar uma ligação harmoniosa e confiável entre o sensor e o drone, ou viabilizar que o sensor/carga opere de forma independente no momento desejado ou em intervalos de tempo. A solução mais simples é operar o sensor de forma autônoma, utilizando, por exemplo, uma câmera com um intervalômetro integrado que tire fotos em intervalos regulares sem depender de nenhuma indicação do piloto automático. Isso pode ser obtido com câmeras como a Ricoh GR II ou GoPros, executando o firmware em um cartão SD para aumentar a funcionalidade da câmera (o Canon Hack Development Kit (CHDK) ou Canon Powershot D30) ou utilizando um cabo para enviar pulsos do piloto automático ao sensor para acionar o disparo (por ex. Canon S110). Alternativas incluem acionamentos predeterminados ligados ao piloto automático e/ou ao sistema Tx/Rx operado pelo piloto. Isso significa que os sensores podem ser acionados quando determinados critérios forem cumpridos (distância viajada, posição ou sobreposição suficiente – Anderson et al., 2016) ou pelo piloto ativando remotamente um botão no controle ou estação no solo. Esses tipos de ligações e configurações são cruciais para a coleta bem-sucedida de dados com os drones. Os operadores de drones devem garantir que seus sensores operem conforme o desejado em diferentes situações, e que o link entre a plataforma e o sensor seja confiável.

Câmeras amadoras se tornaram o sensor preferido de muitos pesquisadores e conservacionistas devido à sua acessibilidade, consistência e facilidade de uso. Para ser utilizado de forma eficaz em um drone, limitações operacionais devem ser superadas ou consideradas. Primei-

## ANALISANDO OS MANGUEZAIS NO DELTA RUFJI, TANZÂNIA

Aurélié Shapiro, WWF-Alemanha



Aurélié é especialista em sensoriamento remoto para o WWF na Alemanha e tem interesse crescente em coletar seus próprios dados utilizando drones multirotores comerciais.

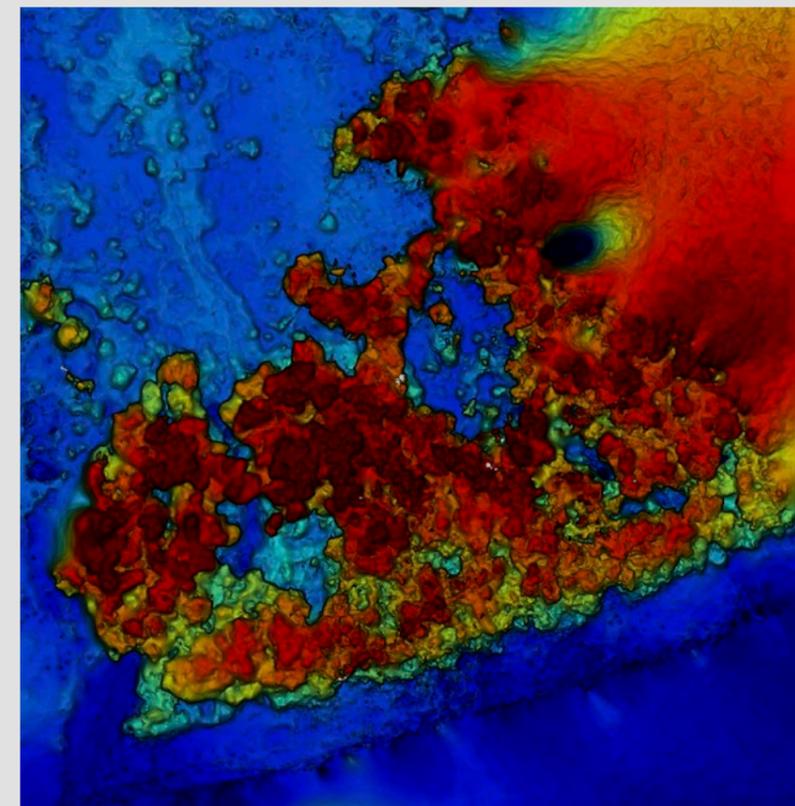
Ela equipou um drone 3DR Solo com uma câmera visível e de infravermelho próximo, permitindo, assim, o mapeamento de índices de vegetação de alta resolução nos manguezais da Tanzânia, além de originar estruturas tridimensionais das copas das árvores. Os manguezais do Delta Rufiji apresentam um longo histórico de impacto humano, resultando na mudança da composição de espécies e em degradação, o que levou ao estabelecimento de lianas invasoras, as quais, em alguns casos, cobriram por completo as árvores remanescentes. Ela utiliza os drones para avaliar a composição e estrutura dos manguezais e determinar indicadores específicos que podemos conectar e monitorar via satélite.

### Principais conselhos para os conservacionistas:

1. A inclusão de uma câmera de infravermelho próximo ofereceu um aspecto totalmente novo ao sensoriamento remoto de florestas via drone, com um conjunto de dados mais rico do que apenas as informações visíveis.
2. Decolar os drones de barcos pode ser complicado, então buscamos bancos de areia expostos na maré baixa.

### Mais informações:

<https://arcg.is/oeXPOM>



Estrutura tridimensional de um trecho de manguezal criada a partir de fotos aéreas tiradas com o drone 3DR Solo. Os vermelhos mais escuros indicam copas mais altas

**As pipas são capazes de fornecer dados aéreos para fins de pesquisa ambiental e ecológica, especialmente em ambientes inacessíveis ou difíceis, ou em locais onde o clima possa ser adverso demais para um drone a motor.**

ramente, no modo automático, muitas câmeras variarão algumas, ou todas, as suas configurações de velocidade do obturador, abertura e ISO entre as fotos para obter uma imagem com boa exposição. Embora isso resulte na criação de fotos com boa exposição (principalmente útil em condições climáticas variadas), também significa que as imagens não serão tão úteis para análises de sensoriamento remoto ou para a criação de mosaicos de imagens posteriormente, uma vez que a exposição varia no espaço e no tempo. Duas formas de ajudar a mitigar esse problema incluem configurar a câmera no modo manual, para garantir que configurações como velocidade do obturador e abertura sejam consistentes, e/ou habilitar a gravação de imagens em RAW além do formato de imagem compactado, como o JPEG. Arquivos RAW são negativos digitais que permitem modificações à exposição após sua captura com menos efeitos negativos na qualidade da imagem. Com um conjunto complementar de imagens em RAW, é possível realizar modificações para tentar corrigir a diferença de exposição entre as imagens, o que é benéfico na composição de imagens em um mosaico. O foco da lente é outro problema que pode resultar na inutilização de todo um conjunto de dados. Idealmente, os sensores com controle manual da distância focal devem ser usados para a captura de dados ópticos. Nós recomendamos que a lente esteja focada no infinito para que, quando alcançar a altitude, tudo à distância do drone esteja em foco.

Sensores de temperatura também requerem uma consideração criteriosa antes da coleta de dados. Em primeiro lugar, a resolução dos dados de imagem produzidos por sensores de temperatura tende a ser muito mais baixa que os típicos sensores ópticos. Por exemplo, o FLIR Vue Pro R tem uma resolução de  $336 \times 256$  pixels. Ou seja, isso significa que elementos de interesse para os quais o sensor é destinado a capturar precisam ser grandes o suficiente para ser captados pelo sensor. Outra limitação se refere ao tipo de dado sendo captado pelo sensor – se os valores são totalmente radiométricos (medidas reais calibradas de emissividade térmica) ou valores relativos. Novamente, dependendo da aplicação, valores relativos podem ser suficientes, mas, em alguns casos, medidas realistas de temperatura podem ser necessárias (por exemplo, verificar a saúde de um animal). Sensores totalmente calibrados também são mais caros, com o FLIR Vue Pro R custando ~50% a mais que o FLIR Vue Pro.



**Figura 31:** Baleias-jubarte, menção honrosa na categoria Vida Selvagem, Drone Awards 2018.

© Anders Carlson/Drone Award/Art Photo Travel

### 10.3 Limitações legais

O uso de drones cresceu rapidamente em todo o mundo, enquanto a legislação tem lutado em alguns lugares para acompanhar o ritmo. Felizmente, vimos progressos no que se refere à obtenção de permissões relevantes de organizações como a Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA) e a Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO), trabalhando juntas para formular as melhores práticas e diretrizes das regulamentações para estados-nação, além de um banco de dados de regulamentações existentes em todo o mundo (ver o relatório de segurança da ICAO<sup>17</sup>). É importante lembrar que operações legais com drone em um país podem ser ilegais em outro. Deve-se prestar muita atenção à legalidade de voar, não apenas em um determinado país, mas também em determinado local. Voar em um ambiente rural pode ser permitido, mas em um parque nacional, ou terra com outro uso designado, pode ser proibido.

Outras barreiras legislativas incluem aquelas relacionadas à privacidade, dados e frequências de rádio. O registro de imagens de pessoas ou propriedades privadas, e voar em proximidade a instalações governamentais, devem ser considerados e os respectivos órgãos de gestão devem ser contatados para orientação. Mesmo as leis referentes a dados devem ser consideradas, com exemplos extremos incluindo o que se passou recentemente na Tanzânia, podendo enviar para a prisão aqueles que coletarem dados não autorizados<sup>18</sup>. Muitas vezes negligenciado é o fato de que frequências de rádio são usadas por setores diferentes, incluindo o de telecomunicações, transporte, médico, industrial e científico; assim, a respectiva legislação tende a ser robusta e pode vir acompanhada de multas pesadas. Algumas frequências, como 433MHz, 868MHz ou 915MHz, são específicas para países ou continentes conforme o uso da região para telecomunicações, enquanto frequências usadas pelo Wi-Fi, 2.4GHz e 5GHz, são presentes mundialmente e de uso livre. É válido mencionar também que, mesmo que uma frequência, como a 2,4 Ghz, possa ser legalmente utilizada, ainda é possível haver restrições quanto à quantidade de potência permitida para a transmissão.

### 10.4 Abordagens alternativas ao sensoriamento proximal

KPipas, balões e dirigíveis oferecem uma alternativa interessante para o sensoriamento proximal... eles são cabeados! Por isso, muitas vezes são considerados pilotados em vez de não pilotados, tendo diferentes oportunidades e desafios metodológicos e legislativos. É válido considerar essas plataformas alternativas de sensoriamento proximal, principalmente quando as limitações mencionadas acima das plataformas de drone e sua respectiva legislação podem dificultar sua capacidade de realizar a coleta de dados proximais. A seção a seguir dará uma visão geral de cada uma dessas três alternativas.

O boom tecnológico (incluindo componentes eletrônicos de menor custo e fácil obtenção) que ajudou a alimentar o crescimento dos drones também beneficiou outras plataformas proximais. As pipas em particular são capazes de fornecer dados aéreos para fins de pesquisa ambiental e ecológica, especialmente em ambientes inacessíveis ou difíceis, ou onde o clima possa ser adverso demais para um drone motorizado. (Para uma revisão dessa tecnologia e trabalhos publicados associados, ver Duffy e Anderson, 2016). As pipas são adequadas para operações aéreas em condições de vento que seriam adversas para os drones. O nível adequado de vento combinado ao fato de as pipas serem desenvolvidas para serem estáveis (como pipas para fotografia aérea ou KAP) oferece uma plataforma útil para sensores de coleta de dados. As pipas também são relativamente acessíveis, fáceis de transportar e de operar. Comparadas aos drones leves, as pipas se sobressaem em todas essas áreas, tornando-as uma opção metodológica viável quando os recursos e capacidades logísticas forem restritas (como em regiões polares remotas – Fraser et al.,

<sup>17</sup> [https://www.icao.int/safety/Documents/ICAO\\_SR\\_2018\\_30082018.pdf](https://www.icao.int/safety/Documents/ICAO_SR_2018_30082018.pdf)

<sup>18</sup> <https://www.theeastfrican.co.ke/news/Tanzania-passes-new-draconian-data-law/-/2558/2667678/-/11ywy9z/-/index.html>

1999). Conforme mencionado anteriormente, o fato de a pipa ser cabeada pode reduzir o nível de complexidade legislativa ao usá-las para a coleta de dados. Isso também a torna uma alternativa possivelmente mais segura, principalmente quando consideramos operações envolvendo animais. É importante considerar essas plataformas alternativas de sensoriamento proximal como um backup para os drones. As pipas são uma boa opção devido à sua portabilidade e facilidade de uso.

Os balões e dirigíveis são similares às pipas, uma vez que também podem ser cabeados. No entanto, ambos requerem hélio (em volumes diferentes) para serem lançados e alcançarem uma posição de voo. Isso os torna plataformas estáveis e ideais para a coleta de dados em posições fixas, ou onde a variação na posição do sensor durante determinado mapeamento não seja necessária. Eles são também sensíveis ao vento e, por isso, apresentam uma abrangência operacional restrita, assim como os drones leves, os quais se tornam inseguros com ventos fortes e possivelmente inúteis para a coleta de dados de alta qualidade. A necessidade de hélio os torna plataformas de sensoriamento proximal menos portáteis e de logística mais desafiadora. Embora a opção cabeada possa reduzir possíveis problemas legais, o risco de transportar e utilizar gás comprimido na natureza adiciona complexidade às operações que utilizam balões e dirigíveis.



**Figura 32:** O Skyrunner é um VANT dirigível polonês fabricado pela Sky&You. © Princo85/Wikimedia Commons

## FILHOTES DE URSO: SEU ALMOÇO ESTÁ NO AR

Leonardo Berezcky e Alexandra Dumitrescu, WWF-Romênia



Alexandra coordena os esforços de arrecadação de fundos do WWF-Romênia que suportam o Orfanato de Ursos, o único local na Europa que lida com filhotes órfãos de ursos e sua reabilitação para serem devolvidos à natureza. Leonardo Berezcky construiu o centro há 15 anos e gerencia o local, e ele adaptou um drone para atender às necessidades do centro de reabilitação. O centro é totalmente mantido por suporte beneficente.

Alimentar os animais no Orfanato de Ursos sempre foi um processo difícil, garantindo que o contato com as pessoas seja o mínimo possível. A comida precisa entrar disfarçada e ser escondida em áreas diferentes da floresta fechada para que os filhotes tenham uma experiência similar à natureza.

Esse processo fez Leonardo Berezcky carregar grandes quantidades de comida regularmente, subindo um monte íngreme e esperando o momento certo para entrar escondido sem ser notado e dar aos filhotes o que precisam.

Felizmente, isso não é mais necessário, já que Leonardo fez algumas modificações a um drone para poder levar o alimento e soltá-lo do alto no coração da floresta onde os ursos estão localizados.\* Uma vasilha plástica com uma tampa de metal com abertura elétrica remota pode transportar até 1,5 quilo de comida a mais de 100 km/h. A viagem de ida e volta de 2 quilômetros ocorre em poucos minutos, e o alimentador voador já está pronto para a próxima rodada.

Esse dispositivo tem grandes vantagens. Agora, os filhotes não têm contato praticamente algum com seres humanos nem sentem o cheiro de Leonardo, o que teria permanecido durante o antigo processo de alimentação. Isso significa que o único Centro de Reabilitação para Ursos Órfãos da Europa é um grande passo adiante na replicação perfeita da vida na natureza para os filhotes e, assim, garantir que tenham uma maior chance de sobrevivência quando forem reintroduzidos.

Alimentar os filhotes é um dos passos mais importantes do processo de reabilitação. Não é apenas o que comem, ou quanto, mas quando e como, o que pode ser controlado pelo drone, sendo essencial limitar a interferência humana na vida dos filhotes.



### Principais conselhos para os conservacionistas:

1. Invista em drones customizados que possam exercer diversas funções, e não apenas a captura de imagens.
2. Use a criatividade.

### Mais informações:

1. Ajude o Orfanato de Ursos no Patreon do WWF Romênia: [www.patreon.com/POSTS/WWF-STARTS-FOR-6724158](http://www.patreon.com/POSTS/WWF-STARTS-FOR-6724158)
2. Mais histórias: [www.patreon.com/wwfromania3](http://www.patreon.com/wwfromania3).
3. E para ver mais sobre os filhotes de ursos e o orfanato, siga o WWF-Romênia no YouTube.

\* em alguns países, soltar coisas de drones é ilegal; então, como sempre, verifique as leis e regulamentações nacionais



“Pai Responsável, o Gavial com Bebês”, finalista do Drone Awards 2018, Categoria Vida Selvagem.  
© Dhritiman Mukherjee/Drone Awards/Art Photo Travel



# 11

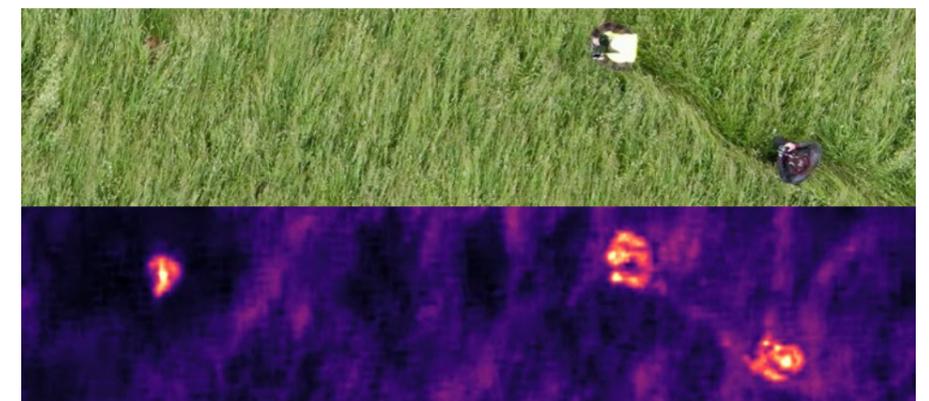
## TENDÊNCIAS FUTURAS E POSSIBILIDADES

A tecnologia dos drones está avançando rapidamente. No tempo que demoramos para escrever este relatório, a tecnologia já mudou e se adaptou. Há um grande número de empresas e especialistas trabalhando na próxima inovação. Então, destacaremos aqui alguns desses possíveis avanços futuros e os enquadraremos no contexto do que poderiam oferecer para a ciência da conservação.

### 11.1 Voos com Visão em Primeira Pessoa (FPV)

A tecnologia de visão em primeira pessoa (FPV), na qual os pilotos usam óculos especializados, permite que o piloto se coloque ‘dentro do drone’ por uma transmissão de vídeo ao vivo a partir de uma pequena câmera a bordo da aeronave. Dentre os grupos de entusiastas, já houve um aumento na utilização da tecnologia FPV, especialmente para corridas de drones, já que o FPV reduz a sinapse entre os controles manuais do piloto e o movimento da aeronave, criando uma experiência de voo mais imersiva. Há diversos benefícios possíveis que podem ser obtidos em projetos de conservação caso a FPV seja amplamente adotada:

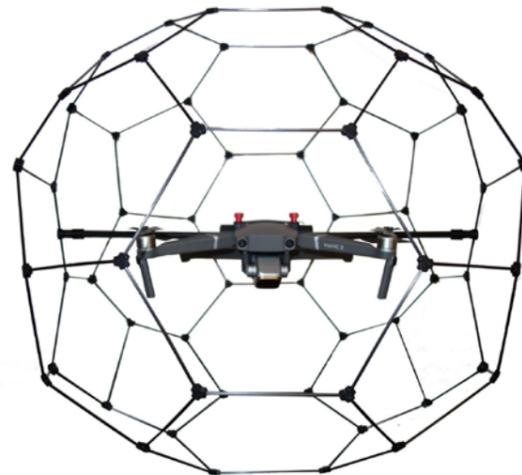
- Para missões mais longas além da linha de visada visual (BVLOS), a FPV oferece uma forma de navegar o espaço aéreo, caso a legislação permita.
- Para coletar informações sobre espécies específicas, a FPV pode ser a única forma viável de focar a coleta de amostras (seja por imagens ou coleta física de amostras, como a coleta de amostras de esputo de baleia, **ver estudo de caso na página 33**).
- Para que as imagens sinalizem ações em solo (estudos tipo marcação/recaptura), a prontidão da informação obtida pela FPV viabiliza a captura mais eficiente de organismos-alvo pela equipe em solo.
- A FPV é muito apropriada para o monitoramento rápido da segurança de uma área, como a realização de um rápido voo de reconhecimento sobre uma área que será mapeada do solo ou do ar posteriormente.
- A FPV permite a intervenção rápida do piloto em caso de perigos inesperados, como árvores emergentes em um dossel que podem não ter sido vistas durante o planejamento de voo, ou a chegada de uma ave de rapina curiosa.



**Figura 33:** Uma imagem visível RGB de drone (topo) e a abordagem de visão térmica para a detecção de filhotes de cervos escondidos em campos relvados, automaticamente detectados por software de IA e resgatados antes das operações de ceifa. © Adrian Meyer/FHNW

### 11.2 Drones com proteção tipo gaiola

Conforme discutido no **Capítulo 7**, garantir a segurança dos pilotos e dos outros objetos (pessoas, animais ou infraestrutura) é primordial durante operações com drones. Uma grande fonte de preocupação, e talvez a maior causa de lesões por drones, é seu conjunto de hélices, que pode causar lacerações se operadas de forma perigosa. Uma inovação para mitigar o risco de lesões ou danos causados pelas hélices do drone envolve engaiolar a aeronave de forma que não interfira com o voo. O drone Elios, por exemplo, foi desenvolvido para inspeções de engenharia civil, com a gaiola permitindo que ele navegue por túneis estreitos e espaços fechados sem o receio de danificar o drone ou a infraestrutura sendo inspecionada. Nós sugerimos que, além de oferecer uma maior funcionalidade de segurança, essas gaiolas abrem novas áreas de mapeamento para ecologistas e conservacionistas. Por exemplo, drones com gaiolas podem oferecer dados úteis de ecossistemas subterrâneos, como cavernas, ou em áreas confinadas onde a segurança seja primordial, como em áreas urbanas. Do mesmo modo, em caso de voos em locais de topografia difícil, ou em ecossistemas altamente estruturados, o drone protegido por gaiola pode coletar dados que outros drones não conseguem.



**Figura 34:** Gaiola de proteção para o DJI Mavic 2. © Multinnov

### 11.3 Navegação autônoma

A maioria dos drones comerciais hoje apresentam sistemas de navegação autônoma, principalmente para decolagem e pouso automatizados e recursos de detecção e desvio. A maior parte dos drones da DJI, por exemplo, incluem como padrão alguma forma de desvio de obstáculos e recursos de pouso e decolagem automatizados. No futuro, a tendência de incluir tais recursos deve continuar, uma vez que os legisladores pressionam os fabricantes de drones a se responsabilizarem, garantindo que os clientes não possam realizar voos imprudentes ou causar danos acidentais a outras pessoas ou propriedades. Além do fator de segurança, esses sistemas de navegação autônoma podem ser úteis, ou desnecessários, para ecologistas dependendo de sua área de aplicação. Entre os benefícios está uma maior confiabilidade e menor chance de danos acidentais ao hardware. No entanto, em determinadas configurações, os pilotos do drone podem achar esses sistemas de controle problemáticos, como em casos em que os dados necessários estão próximos a elementos como árvores, e o acionamento do sistema pode impossibilitar a coleta de dados. Em terrenos acidentados, o pouso automático pode ser difícil caso uma superfície plana não possa ser encontrada, e assumir o controle do sistema autônomo é mais difícil em alguns sistemas do que em outros.

Novos desenvolvimentos apresentam grandes inovações acontecendo nas áreas comerciais e de pesquisa, explorando o controle baseado em gestos do movimento do drone – em alguns casos, isso pode remover a necessidade de um controlador, uma vez que o drone responde a sugestões baseadas em imagens dentro do cenário. Isso depende fortemente de algoritmos baseados em visão computacional para detectar os objetos desejados, e depois os gestos (movimentos de braços, expressões faciais) antes de implementar manobras pré-definidas. Essa tecnologia foi desenvolvida para antropomorfizar a tecnologia da robótica e aumentar a usabilidade dos drones, removendo a necessidade de controles complicados de joystick (Monajjemi et al., 2016).

Novos hardwares miniaturizados permitem hoje a realização do processamento de imagens quase em tempo real no drone, o que significa que podem, pela primeira vez, responder em uma escala de tempo humana. Os algoritmos de aprendizado de máquina que levaram a esse avanço apresentam grande potencial nos campos da conservação – o método que permite, por exemplo, identificar um sujeito acenando e depois segui-lo também pode ser adaptado para responder a movimentos naturais de animais para monitorá-los autonomamente em tempo real, permitindo que o drone responda a certos tipos de comportamento animal (acasalamento ou caça) ou para realizar a classificação em voo de espécies de animais a partir de vídeo em tempo real.

### 11.4 GPS diferencial PPK/RTKK

Os mapeamentos em solo utilizaram de forma abrangente o GPS de alta precisão, principalmente os sistemas de correção de posicionamento cinemático em tempo real (RTK), os quais aprimoram a precisão das informações posicionais derivadas dos dados de satélite, fornecendo, normalmente, uma precisão em centímetros em três dimensões. Com os fluxos de trabalho dos drones, a abordagem tradicional de alcançar tais níveis de precisão com dados de mapeamento visa calibrar modelos que utilizam pontos de controle coletados pelo GPS-RTK durante o pós-processamento (Cunliffe et al., 2016, Duffy et al., 2018). Essa pode ser uma atividade demorada e, por isso, reduzir ou remover a necessidade de um controle do solo é desejável caso haja a necessidade de um fluxo de trabalho geoespacial de alta precisão. Isso é verdade principalmente em casos de ambientes inacessíveis ou com orçamentos apertados, já que o método RTK requer que os usuários tenham acesso a equipamentos de GNSS dispendiosos (que custam até US\$ 20 mil). Existem hoje métodos para a obtenção de dados em solo de alta precisão por uma fração do custo mencionado acima, explorando receptores GNSS leves de código aberto, como o PiKSI<sup>19</sup> (Varela et al., 2019). No entanto, um método preferível seria fazer isso durante o voo utilizando um sistema tipo o RTK a bordo. Até recentemente, o problema era a velocidade com a qual o sensor do GPS no drone podia se comunicar com a estação-base para fornecer uma solução posicional em três dimensões. Há hoje sistemas disponíveis no mercado que estão começando a oferecer soluções viáveis para esse desafio. Um exemplo é o sistema Ebee RTK: um drone de asa fixa equipado com um GPS-RTK que diz fornecer dados com precisão de menos de um decímetro sem a necessidade de um controle em solo. Ele ainda requer, obviamente, uma estação-base para alcançar a precisão em voo no nível mencionado. Forlani et al. (2018) usou esse sistema e mostrou que, com a inclusão de apenas um ponto de controle em solo ao fluxo de trabalho, o erro vertical (o qual é geralmente maior do que o erro x, y) poderia ser limitado a 3 cm. O problema persistente é que os drones equipados com tecnologia RTK continuam muito mais caros do que os drones comuns comerciais (possivelmente até 30 vezes mais caros por unidade), então não há uma real economia no hardware com esses sistemas no lugar de um fluxo de trabalho tradicional (no qual um drone + RTK- GPS no solo são usados em conjunto). No entanto, haveria

<sup>19</sup> <https://www.swiftnav.com/piksi-multi>

uma economia de tempo considerável no processamento de dados.

Como uma alternativa ao RTK, soluções de GPS-PPK (cinemático pós-processado) também estão disponíveis em alguns drones. Eles se diferem dos sistemas RTK por não requererem explicitamente uma estação-base dedicada em algumas regiões do mundo (por ex. nos EUA, onde há uma boa rede de estações base públicas que podem ser usadas para o pós-processamento de dados *ex situ*). O RTK corrige os dados durante o voo, enquanto os dados PPK são corrigidos após o voo. Esses são sistemas emergentes e não está claro quais são os maiores benefícios para a comunidade da conservação. Esperamos que em alguns anos a disponibilidade desses sistemas para os drones seja mais difundida, uma vez que a alta precisão posicional é necessária para uma navegação precisa, mapeamento e segurança.

### 11.5 Enxames

Enxames são diversos drones em operação simultaneamente. Aplicações que requerem enxames tendem a ser limitadas a performances ou aplicações militares, como a apresentação recordista de 1.374 drones sobre a Muralha de Xi'an (**Figura 35**) ou no Super Bowl de 2019. Mesmo para fins militares, os enxames são um recurso relativamente novo e, por isso, ainda levará um tempo para que a tecnologia civil se desenvolva no mesmo nível de função. Apesar da legislação em muitas áreas do mundo impossibilitar o uso geral de enxames de drones, há benefícios potenciais dentro da ecologia e conservação que podem ser pensados caso as leis sejam flexibilizadas. De uma perspectiva de mapeamento, os enxames podem ser utilizados para mapear áreas extensas de forma mais eficiente do que é possível com uma única aeronave. De um único ponto de decolagem, diversos drones em cooperação podem voar em diferentes direções para registrar fotografias aéreas, permitindo uma maior cobertura espacial. Se a criação desse sistema for possível, ele também seria útil para situações contra a caça ilegal, nas quais dados de resposta rápida são necessários em áreas potencialmente extensas. Outra possível aplicação seria a coleta remota de dados de alvos em movimento (animais selvagens identificados), na qual aeronaves em cooperação rastreamos os animais. Para isso, a capacidade do hardware teria de incluir a comunicação dentro do enxame (drone para drone e drone para base), além de ferramentas para a otimização de cobertura e anticolisão.



**Figura 35:** Enxame de drones sobre a Muralha de Xi'an. Fonte: Youtube

## DRONES, RUÍDOS E ANIMAIS

Dr. Laura Kloepper, Notre Dame, EUA



Laura Kloepper é professora assistente do Departamento de Biologia da Saint Mary's College na Notre Dame, em Indiana. Sua pesquisa tem como foco a compreensão de processos sensoriais e comportamentais na ecolocalização em odontocetos e morcegos, duas subordens de mamíferos que desenvolveram paralelamente a ecolocalização.

Laura utiliza drones para registrar o comportamento acústico e de voo de grupos de morcegos. Ao equipar o drone com microfones e câmeras termográficas, o drone pode ser manobrado em um espaço tridimensional de modo a compreender como morcegos utilizam sua ecolocalização e modificam seu voo para evitar colisões enquanto voam em alta velocidade. Um drone pronto para uso foi modificado, solução encontrada para o registro de sons de alta qualidade sem comprometer o desempenho de voo do drone.

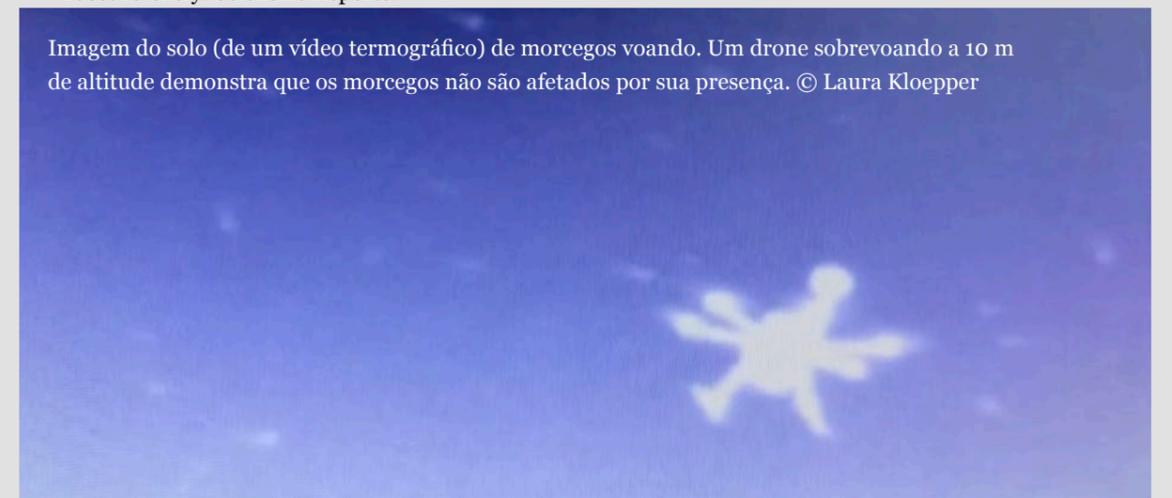
### Principais conselhos para os conservacionistas:

1. É importante compreender que perturbações sonoras causadas por drones podem ter grande influência nos animais, e que os perfis de ruído dos drones variam imensamente conforme o fabricante. Muitas espécies de animais ouvem de forma muito diferente dos humanos e, por isso, é crucial caracterizar o perfil do ruído do drone do seu interesse enquanto também considera a extensão auditiva da espécie pesquisada. Mesmo que esteja apenas fotografando animais com um drone, a perturbação sonora pode ter impactos negativos nos animais, incluindo comportamentos de alimentação, sociais e reprodutivos.
2. Ao estudar espécies que ainda não foram registradas com um drone (como fizemos com os morcegos), é fundamental desenvolver um plano criterioso para avaliar a resposta da espécie ao drone e minimizar alterações comportamentais do drone no animal.

### Mais informações:

1. Fu, Y, Kinniry, M, Kloepper, LN. The Chirocopter: A UAV for recording sound and video of bats at altitude. *Methods Ecol Evol.* 2018; 9: 1531–1535.
2. Kloepper, L.N. and Kinniry, M. 2018. Recording animal vocalizations from a UAV: bat echolocation during roost re-entry. *Scientific Reports.*

Imagem do solo (de um vídeo termográfico) de morcegos voando. Um drone sobrevoando a 10 m de altitude demonstra que os morcegos não são afetados por sua presença. © Laura Kloepper



### 11.6 Autonomia da bateria e carregamento

Uma das características mais restritivas dos drones comerciais hoje é a duração da bateria (**ver seção 5.3**), estando a duração de uma bateria LiPo no limite entre 15 e 45 minutos para a maior parte das aeronaves multirrotores (os drones de asa fixa podem ter uma duração maior devido à sua aerodinâmica otimizada). Nos últimos anos, a indústria deu grandes passos na direção de melhorar a eficiência e longevidade da bateria por peso unitário, com muitos sistemas hoje exibindo baterias inteligentes que oferecem uma maior duração e melhores informações sobre o seu estado e, em alguns casos, melhor índice de fornecimento de energia. Para a realização de missões de longa duração, há o reconhecimento de que os drones devem migrar para sistemas de energia mais autônomos, autoalimentados por tecnologia solar ou recursos de recarga autônoma. Pesquisas atuais em ciência e tecnologia estão avançando nessas linhas ao, por exemplo:

- Analisar fontes alternativas de combustível, como células a combustível hidrogênio, as quais oferecem uma maior duração por peso unitário do que as atuais fontes de lítio. Um exemplo é o sistema multirrotor B-Shark Narwhal 2, que afirma oferecer duas horas de voo com uma única bateria. Células de hidrogênio também são provavelmente menos prejudiciais ao meio ambiente do que as baterias de lítio, as quais são difíceis de descartar sustentavelmente.
- Recursos de recarga autônoma estão sendo pesquisados com os quais os drones poderiam recarregar sozinhos quando os níveis de bateria ficassem muito baixos. Isso já está sendo alcançado com bases de pouso (skysense.co) que carregam a bateria quando o drone pousa, necessitando de intervenção mínima do piloto. Simic et al. (2015) propõe um método de transferência de energia sem fio baseada em ressonância, o qual permitiria que a bateria do drone fosse carregada quando próxima de uma torre de energia.
- Equipar os drones com a capacidade de recarga solar oferece diretamente outro método para a ampliação da autonomia. Exemplos desse método foram testados em modelos de asas de grande escala, como o drone Helios da NASA (**Figura 36**) e o novo conceito do drone Ordnance Survey. Esses sistemas são, por necessidade, muito maiores que os multirrotores padrões, além de caros para construir e operar. O acréscimo de painéis solares aumenta o peso, o que resulta em um equilíbrio delicado entre tamanho e necessidade energética.



**Figura 36:** Exemplo de drone de asa movido a energia solar. © NASA

### 11.7 Expansão, assimilação de dados e fluxo de trabalho de sensoriamento remoto

Embora haja uma infinidade de estudos que utilizem os drones isoladamente, há ainda oportunidades inexploradas para sintetizar os dados de drones em fluxos de trabalho de sensoriamento remoto mais amplos. Estudos com drones geralmente se apresentam como evoluções em relação a outros conjuntos de dados de sensoriamento remoto devido à sua melhor resolução, mas, como discutido anteriormente, problemas operacionais impedem que os drones ofereçam abrangência regional ou mundial. Abordagens com fusão de dados já estão surgindo nos setores da agricultura de precisão e das ciências ambientais, fazendo uso de dados de drones precisos para melhorar a qualidade de produtos de mapeamento a partir de dados de satélite. Nesses casos, as informações de melhor resolução dos drones são muito úteis para solucionar padrões espaciais em coberturas de solo, o que é particularmente útil em ambientes complexos. Há ainda oportunidades não exploradas para a assimilação de dados de drones a fluxos de trabalho de RS mais amplos. Nós propomos que os dados de drones que utilizam diversos sensores (**Capítulo 6**) podem oferecer:

- Informações para a calibração ou validação de dados de satélite. Ações de calibração vicária tendem a depender de observações pontuais das propriedades espectrais da superfície terrestre ou marítima, e os drones poderiam melhorar a representação espacial desses dados ao possibilitar que os sensores sejam movidos por seções pequenas do cenário. Puliti et al. (2018) mostrou a validade dos dados de drones para a validação de estimativas de estoque florestal obtidas a partir de dados do Sentinel-2, por exemplo.
- Em programas de assimilação de dados, observações de granularidade fina a partir de drones poderiam ser úteis para a melhoria dos modelos resultantes. Para oferecer um exemplo, Hill et al. (2011) explica que “o uso de observações de maior escala em programas de assimilação de dados ecológicos é complicado devido à heterogeneidade espacial e processos não lineares”, e ao combinar observações frequentes de pior resolução (por ex. de satélites) com medições espaçadas temporariamente de melhor resolução (sugerimos a partir de drones), o método de assimilação de dados tem o potencial de fornecer resultados menos enviesados. Até agora, essa abordagem não foi testada com dados de drones, mas sugerimos que essa poderia ser uma forma útil no futuro.
- Modelos de transferência radiativa, os quais são usados frequentemente na ciência RS para prever as propriedades radiativas de sinais mensurados no topo da atmosfera (dados de satélite), são geralmente conduzidos em modo dianteiro usando estimativas sintetizadas da estrutura do ambiente espacial. A inclusão de dados reais de SfM baseados em drones, por exemplo, nesses métodos de RT poderia possivelmente melhorar a qualidade dos resultados de inversão, oferecendo uma maior qualidade de dados aos usuários.
- As abordagens chamadas ‘Fluid Lensing’ são métodos de alta tecnologia para a criação de mapas tridimensionais multiespectrais de sistemas aquáticos submersos com resolução de centímetros, permitindo que as distorções refrativas adversas das ondas do mar sejam removidas (Chirayath e Earle, 2016, Chirayath e Instrella, 2019). Esse método é baseado em princípios robustos da física e requer equipamento especializado, mas é muito promissor para uma ‘visão através das ondas’ para o mapeamento de substratos bentônicos.

As inovações mencionadas acima ainda não foram realizadas operacionalmente, e será

necessário ter investimentos científicos e técnicos significativos para que entreguem produtos relevantes que possam ser usados por aqueles nas áreas da ecologia e conservação. Nós propomos que elas representem focos relevantes para trabalhos futuros de sensoriamento remoto, e que resultarão em benefícios para todos aqueles que utilizam dados e produtos de sistemas de satélite.

### 11.8 Enquadramento legal – melhor integração dos drones no espaço aéreo

O espaço aéreo é uma infraestrutura complexa, invisível e tridimensional. Antes do acesso civil aos drones de baixo custo, o acesso ao espaço aéreo era privilégio de quem tinha uma licença de piloto e acesso a aeronaves caras. De certa forma, os drones interferem no acesso ao espaço aéreo, embora argumentemos que há uma estratificação do espaço aéreo que se aplica a operadores de drones leves e pilotos de outras aeronaves, em razão dos limites tecnológicos e de segurança que se aplicam às operações com drones pequenos.

O acesso ao espaço aéreo é controlado pelas autoridades de aviação, e existem regras claras e aceitas internacionalmente que permeiam a gestão e acesso ao espaço aéreo mundialmente – a **Figura 37** descreve essas regras generalizadas. Em linhas gerais, drones leves, quando operados conforme os protocolos aceitos amplamente (ver **Capítulo 7**; por ex. <100 m acima do nível do solo e em operações em linha de visão) podem ser pilotados sem problemas no espaço aéreo de Classe G (**Figura 37**), o que permite que o piloto opere conforme as ‘regras de voo visual’ (VFR). VFR é quando o drone é mantido dentro da linha de visão do piloto, observando os outros usuários no ar e mantendo uma distância segura deles.

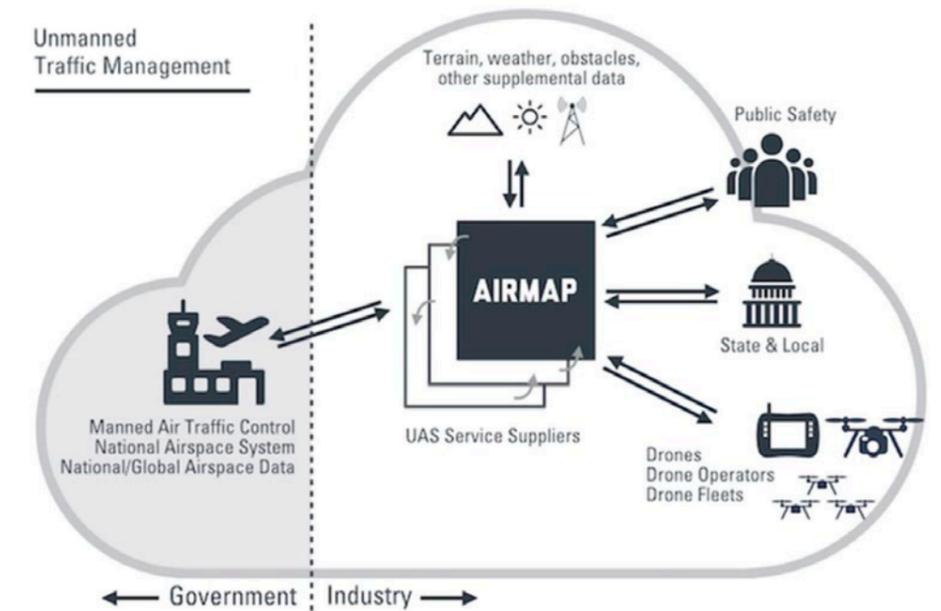
Nós argumentamos que a maioria dos casos de operações para fins de ecologia ou conservação acontecerão no espaço aéreo de Classe G e, por isso, elas não devem ser excessivamente restritas em muitas áreas. Boa parte das outras classes do espaço aéreo listadas na **Figura 37** estão relacionadas ao espaço aéreo acima dos 100 m de altitude e são geralmente encontradas próximas a aeroportos ou pistas de pouso usadas por outros transportes aéreos (por ex. paraquedistas ou planadores). É claro que as regras nacionais e locais poderão restringir o uso dos drones, como em parques nacionais ou sobre propriedades privadas, por



**Figura 39:** Densidade Urbana (2014). © Mark Lehmkuhler

isso, os pilotos de drone devem verificá-las antes de voar.

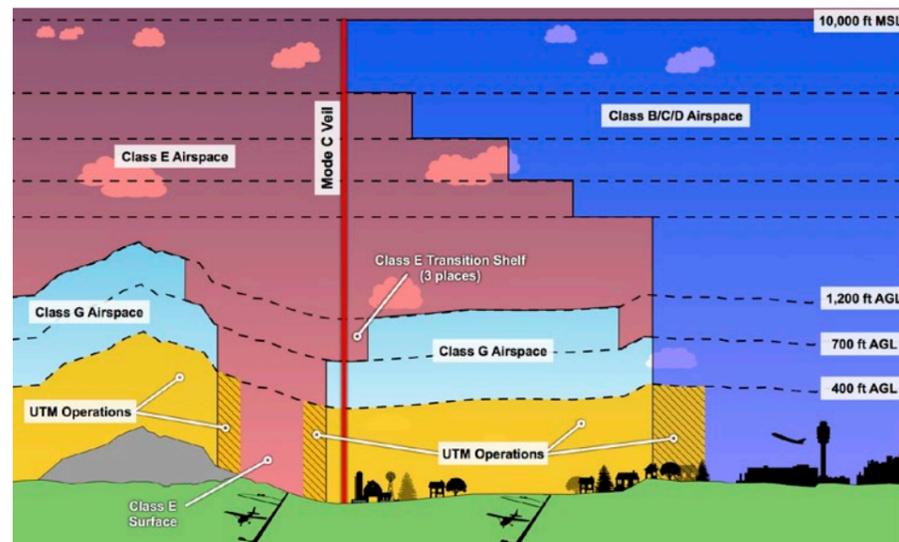
No futuro, é provável que os sistemas de gestão do espaço aéreo precisem mudar para acomodar drones de todos os tamanhos. Modelos novos estão sendo projetados e permitiriam a integração dos drones aos sistemas atuais de gestão do espaço aéreo. A **Figura 38**, por exemplo, mostra um modelo conceitual sendo desenvolvido por uma startup californiana (AirMap) que utilizará um sistema de software para manter o drone no seu próprio espaço aéreo ao permitir que se comunique com outras aeronaves. A futura legislação e gestão do espaço aéreo será indubitavelmente decidida pelas autoridades federais/nacionais. Para oferecer um exemplo, o novo “Ato de Reautorização de 2018” da Autoridade de Aviação Federal dos EUA entrou em vigor em 5 de outubro de 2018 com duração de cinco anos. A lei confirmou algumas das regras controversas que a FAA considera cruciais para a sua habilidade de regular o tráfego de drones. Além disso, ela abriu caminho para o inves-



**Figura 38:** Sistema de gestão do espaço aéreo que incorpora drones leves.  
© www.flyingmag.com/atc-for-drones

timento em sistemas de controle de tráfego aéreo específicos para drones, capazes de rastrear tanto as aeronaves tradicionais quanto os drones comerciais.

O objetivo proposto por essa legislação foi o de “oferecer operações seguras e de baixa altitude tanto para drones quanto para aeronaves tripuladas (sic). O objetivo de longo prazo é acomodar o que se espera ser um enorme crescimento no uso de drones comerciais de forma eficiente.” Ele utiliza um sistema desenvolvido pela NASA para o rastreamento de drones chamado de gestão de tráfego aéreo de aeronaves não tripuladas (UTM) (Figura 39). O plano é que o sistema UTM seja o ponto central de contato para todos os usuários, incluindo amadores, controle de tráfego aéreo e autoridades policiais. Para a classificação generalizada do espaço aéreo (Figura 37), o sistema UTM divide o volume aéreo conforme sua altura e proximidade a outros perigos e tráfego aéreo. O UTM identificará as aeronaves em cada zona e “se comunicará com elas ou as influenciará a se moverem em uma direção segura para todas as aeronaves”. Como conceito, isso oferece uma forma simples de gerenciar o fluxo de drones no espaço aéreo, mas as complexidades da sua realização, especialmente no que se refere à priorização de usuários específicos e à comunicação com os pilotos, exigiria grandes avanços na comunicação entre drones e entre drone e outras aeronaves. Esses sistemas ainda não estão em operação, mas oferecem uma amostra de como o acesso ao espaço aéreo será regido no futuro. Isso poderá beneficiar ou prejudicar as operações de ecologia e conservação com drones dependendo do nível de delegação conferida aos drones leves em relação a outras operações aéreas.



**Figura 39:** Sistema de Gestão de Tráfego de VANTs sendo explorado pela FAA. © NASA (<https://semiengineering.com/faa-traffic-management-anticipates-flying-cars/>)

## IMPACTOS EM ESCALA LOCAL DA ANCORAGEM DE BARCOS NOS CAMPOS DE ERVAS MARINHAS

Dimitris Poursanidis, Foundation for Research and Technology – Hellas, Laboratório de Sensoriamento Remoto



Dimitris é analista de dados e de observação terrestre, além de ecologista marinho, e adora combinar novas tecnologias aos dados de campo, tentando oferecer informações úteis para atividades da conservação.

A análise em escala precisa do status ecológico (saúde) dos campos de ervas marinhas no Parque Nacional Marinho de Alonissos e na ilha de Espórades do Norte, na Grécia, é realizada por mergulhos e aplicando métodos não destrutivos, como mapeamentos com drones. Durante os mapeamentos, que produzem dados em escala de centímetros, as informações relacionadas à densidade de cobertura vegetal, a compacidade dos campos, os impactos das atividades humanas e a ocorrência de resíduos/detrimentos são avaliadas. O uso do drone viabiliza a coleta de dados na escala da baía, ou enseada, e o pós-processamento das informações coletadas pode oferecer maior clareza quanto à quantidade de cicatrizes em cada enseada, sua localização e tamanho. Assim, medidas e atividades direcionadas podem ser implementadas para minimizar os impactos. Essa informação complementa os dados de sensoriamento remoto de satélite, que podem ser usados para a localização de áreas com alta densidade de barcos durante o verão.

### Principais conselhos para os conservacionistas:

1. Compreender as limitações do drone na área onde você trabalhará e customizar o tempo de voo baseado na posição do sol (para evitar o reflexo da luz solar).
2. Evite voos por volta do meio-dia para minimizar obstáculos móveis na superfície do mar (barcos, banhistas, etc).



Imagem em resolução ultra-alta (tamanho do pixel de 3 cm) dos campos de erva marinha (*Posidonia oceanica*) impactados pela ancoragem de barcos de lazer. As marcas deixadas pela ancoragem criam aberturas nos campos, visíveis do drone, mas não de satélite.



Cultura de algas marinhas em Ankilimionga, no território Mahafaly, e paisagem marítima no sudoeste de Madagascar.  
© Martina Lippuner/WWF-África

# 12

## SUMÁRIO DE ESTUDOS DE CASO

Monitorando a biomassa vegetal com fotogrametria a partir de drones (Dr. Andrew Cunliffe, Universidade de Exeter)	29
Utilizando drones para coletar amostras pulmonares de baleias (Dr. Vanessa Pirotta, Universidade Macquarie)	33
Capacitando comunidades tradicionais e equipes de linha de frente para o uso de drones na conservação (Felipe Spina Avino, WWF-Brasil)	61
UAS4Ecology:Drones para pesquisas ecológicas (Dr. Urs A. Trier & Dr. Signe Norman, Universidade de Aarhus)	67
Mapeando os habitats da Grande Barreira de Corais (Dr. Karen Joyce, Universidade James Cook)	85
Mapeamento de botos na Amazônia (Marcelo Oliveira, WWF-Brasil)	89
Analisando os manguezais no Delta Rufiji, Tanzânia (Aurélie Shapiro, WWF-Alemanha)	93
Filhotes de urso: seu almoço está no ar (Leonardo Berezcky & Alexandra Dumitrescu, WWF-Romênia)	97
Drones, ruídos e animais (Dr. Laura Kloepper, Notre Dame)	103
Impactos em escala local da ancoragem de barcos nos campos de ervas marinhas (Dimitris Poursanidis, Foundation for Research and Technology, Hellas, Grécia)	109



“Visão Aérea da Grande Imigração”, por Thomas Vijayan. Muito Comentado, Drone Awards 2018, Categoria Vida Selvagem. © Thomas Vijayan / Drone Awards/Art Photo Travel

# 13

## REFERÊNCIAS

- ADEY, P. 2010. *Aerial Life: Spaces, Mobilities, Affects*, Oxford, Wiley-Blackwell.
- AHMED, O.S., SHEMROCK, A., CHABOT, D., DILLON, C., WILLIAMS, C., WASSON, R., FRANKLIN, S.E. 2017. Hierarchical land cover and vegetation classification using multispectral data acquired from an unmanned aerial vehicle. *International Journal of Remote Sensing*, 38, 2037–2052.
- ANCIN-MURGUZUR, F.J., MUNOZ, L., MONZ, C. & HAUSNER, V.H. 2020. Drones as a tool to monitor human impacts and vegetation changes in parks and protected areas. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 6: 105–113.
- ANDERSON, K. & GASTON, K. J. 2013. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11, 138–146.
- ANDERSON, K., GRIFFITHS, D., DEBELL, L., HANCOCK, S., DUFFY, J., SHUTLER, J., REINHARDT, W. & GRIFFITHS, A. 2016. A grassroots remote sensing toolkit using live coding, smartphones, kites and lightweight drones. *PLOS One*, 11, e0151564.
- BAENA, S., BOYD, D. S. & MOAT, J. 2018. UAVs in pursuit of plant conservation-real world experiences. *Ecological informatics*, 47, 2–9.
- BEVAN, E., WIBBELS, T., NAJERA, B. M., MARTINEZ, M. A., MARTINEZ, L. A., MARTINEZ, F. I., CUEVAS, J. M., ANDERSON, T., BONKA, A. & HERNANDEZ, M. H. 2015. Unmanned aerial vehicles (UAVs) for monitoring sea turtles in near-shore waters. *Marine Turtle Newsletter*, 145, 19–22.
- BONNIN, N., VAN ANDEL, A., KERBY, J., PIEL, A., PINTEA, L. & WICH, S. 2018. Assessment of Chimpanzee Nest Detectability in Drone-Acquired Images. *Drones*, 2, 17.
- BORRELLI, L., CONFORTI, M. & MERCURI, M. 2019. LiDAR and UAV System Data to Analyse Recent Morphological Changes of a Small Drainage Basin. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8, 536.
- BROWNING, E., GIBB, R., GLOVER-KAPFER, P. & JONES, K. E. 2017. Passive acoustic monitoring in ecology and conservation. In: FUND, W. W. (ed.) *WWF Conservation Technology Series*.
- BURKE, C., MCWHIRTER, P.R., VEITCH-MICHAELIS, J., MCAREE, O., POINTON, H.A., WICH, S., & LONGMORE, S. 2019. Requirements and Limitations of Thermal Drones for Effective Search and Rescue in Marine and Coastal Areas. *Drones*, 3, 78.
- BURNS, J., DELPARTE, D., GATES, R. & TAKABAYASHI, M. 2015. Integrating structure-from-motion photogrammetry with geospatial software as a novel technique for quantifying 3D ecological characteristics of coral reefs. *PeerJ*, 3, e1077.

- CASELLA, E., COLLIN, A., HARRIS, D., FERSE, S., BEJARANO, S., PARRAVICINI, V., HENCH, J. L. & ROVERE, A. 2017. Mapping coral reefs using consumer-grade drones and structure from motion photogrammetry techniques. *Coral Reefs*, 36, 269–275.
- CASTILLO, C., PÉREZ, R., JAMES, M. R., QUINTON, J., TAGUAS, E. V. & GÓMEZ, J. A. 2012. Comparing the accuracy of several field methods for measuring gully erosion. *Soil Science Society of America Journal*, 76, 1319–1332.
- CERRETA, J. & KIERNAN, K. M. 2019. Comparison of Fixed-Wing Unmanned Aircraft Systems (UAS) for Agriculture Monitoring. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, 6, 11.
- CHAMAYOU, G. 2015. *Drone theory*, Penguin UK.
- CHIRAYATH, V. & EARLE, S. A. 2016. Drones that see through waves—preliminary results from airborne fluid lensing for centimetre-scale aquatic conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 26, 237–250.
- CHIRAYATH, V. & INSTRELLA, R. 2019. Fluid lensing and machine learning for centimeter-resolution airborne assessment of coral reefs in American Samoa. *Remote Sensing of Environment*, 235, 111475.
- CHRISTIANSEN, F., SIRONI, M., MOORE, M. J., DI MARTINO, M., RICCIARDI, M., WARICK, H. A., IRSCHICK, D. J., GUTIERREZ, R. & UHART, M. M. 2019. Estimating body mass of free-living whales using aerial photogrammetry and 3D volumetrics. *Methods in Ecology and Evolution*, 0.
- CRUTSINGER, G. M., SHORT, J. & SOLLENBERGER, R. 2016. The future of UAVs in ecology: an insider perspective from the Silicon Valley drone industry. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 4, 161–168.
- CUNLIFFE, A. & ANDERSON, K. 2019. Measuring Above-ground Biomass with Drone Photogrammetry: Data Collection Protocol. *Nature Protocol Exchange*, DOI: 10.1038/protex.2018.134.
- CUNLIFFE, A., ANDERSON, K. & BRAZIER, R. E. 2016. Ultra-fine grain landscape-scale monitoring of dryland vegetation structure with drone-acquired structure-from-motion SfM photogrammetry. *Remote Sensing of Environment*, 183, 129–143.
- CUNLIFFE, A., ANDERSON, K., DUFFY, J. P. & DEBELL, L. 2017. A UK Civil Aviation Authority (CAA)-approved operations manual for safe deployment of lightweight drones in research. *International Journal of Remote Sensing*.
- DANDOIS, J., OLANO, M. & ELLIS, E. 2015. Optimal Altitude, Overlap, and Weather Conditions for Computer Vision UAV Estimates of Forest Structure. *Remote Sensing*, 7, 13895–13920.
- DANDOIS, J. P. & ELLIS, E. C. 2010. Remote Sensing of Vegetation Structure Using Computer Vision. *Remote Sensing*, 2, 1157–1176.

- DANDOIS, J. P. & ELLIS, E. C. 2013. High spatial resolution three-dimensional mapping of vegetation spectral dynamics using computer vision. *Remote Sensing of Environment*, 136, 259–276.
- DEBELL, L., ANDERSON, K., BRAZIER, R. E., KING, N. & JONES, L. 2015. Water resource management at catchment scales using lightweight UAVs: current capabilities and future perspectives. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 3, 1–24.
- DIRZO, R., YOUNG, H. S., GALETTI, M., CEBALLOS, G., ISAAC, N. J. B. & COLLEN, B. 2014. Defaunation in the Anthropocene. *Science*, 345, 401–406.
- DITMER, MARK A., VINCENT, JOHN B., WERDEN, LELAND K., TANNER, JESSIE C., LASKE, TIMOTHY G., IAIZZO, PAUL A., GARSHELIS, DAVID L. & FIEBERG, JOHN R. 2015. Bears Show a Physiological but Limited Behavioral Response to Unmanned Aerial Vehicles. *Current Biology*, 25, 2278–2283.
- DITMER, M. A., WERDEN, L. K., TANNER, J. C., VINCENT, J. B., CALLAHAN, P., IAIZZO, P. A., LASKE, T. G. & GARSHELIS, D. L. 2019. Bears habituate to the repeated exposure of a novel stimulus, unmanned aircraft systems. *Conservation Physiology*, 7.
- d'OLIVEIRA, M.V.N., BROADBENT, E.N., OLIVEIRA, L.C., ALMEIDA, D.R.A., PAPA, D.A.; FERREIRA, M.E., ZAMBRANO, A.M.A., SILVA, C.A., AVINO, F.S., PRATA, G.A., MELLO, R.A.; FIGUEIREDO, E.O., JORGE, L.A.C., JUNIOR, L., ALBUQUERQUE, R.W., BRANCALION, P.H.S.; WILKINSON, B., & OLIVEIRA-DA-COSTA, M. 2020. Aboveground Biomass Estimation in Amazonian Tropical Forests: a Comparison of Aircraft- and GatorEye UAV-borne LiDAR Data in the Chico Mendes Extractive Reserve in Acre, Brazil. *Remote Sensing*, 12, 1754.
- DUFFY, J., SHUTLER, J., WITT, M., DEBELL, L. & ANDERSON, K. 2018a. Tracking Fine-Scale Structural Changes in Coastal Dune Morphology Using Kite Aerial Photography and Uncertainty-Assessed Structure-from-Motion Photogrammetry. *Remote Sensing*, 10, 1494.
- DUFFY, J. P. & ANDERSON, K. 2016. A 21st-century renaissance of kites as platforms for proximal sensing. *Progress in Physical Geography*, 40, 352–361.
- DUFFY, J. P., CUNLIFFE, A. M., DEBELL, L., SANDBROOK, C., WICH, S. A., SHUTLER, J. D., MYERS-SMITH, I. H., VARELA, M. R. & ANDERSON, K. 2017. Location, location, location: considerations when using lightweight drones in challenging environments. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, Online first: DOI 10.1002/rse2.58.
- DUFFY, J. P., PRATT, L., ANDERSON, K., LAND, P. E. & SHUTLER, J. D. 2018b. Spatial assessment of intertidal seagrass meadows using optical imaging systems and a lightweight drone. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 200, 169–180.
- DUFFY, R. 2014. Waging a war to save biodiversity: the rise of militarized conservation. *International Affairs*, 90, 819–834.

- ECOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA. 2018. Poachers expected to use green drones to kill endangered wildlife <https://www.ecolsoc.org.au/poachers-expected-use-green-drones-kill-endangered-wildlife>; Accessed 5 December 2018 (Online). (Accessed).
- FEAGIN, R. A., WILLIAMS, A. M., POPESCU, S., STUKEY, J. & WASHINGTON-ALLEN, R. A. 2012. The use of terrestrial laser scanning (TLS) in dune ecosystems: The lessons learned. *Journal of Coastal Research*, 30, 111–19.
- FERNANDES, O., MURPHY, R., ADAMS, J. & MERRICK, D. Quantitative Data Analysis: CRASAR Small Unmanned Aerial Systems at Hurricane Harvey. 2018 *IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR)*, 6–8 Aug. 2018. 1–6.
- FERREIRA, M.A., SANTOS ARAUJO, I., SPINA AVINO, F., SILVA COSTA, J.V., OLIVEIRA-DA-COSTA, M., ALBUQUERQUE, R.W., & BALBUENA, E.M. 2019. Zoning the Fire-Risk in Protected Areas in Brazil with Drones: A Study Case for the Brasília National Park. IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium: 9097–9100.
- FORLANI, G., DALL'ASTA, E., DIOTRI, F., CELLA, U. M. D., RONCELLA, R. & SANTISE, M. 2018. Quality Assessment of DSMs Produced from UAV Flights Georeferenced with On-Board RTK Positioning. *Remote Sensing*, 10, 311.
- FORSMOO, J., ANDERSON, K., MACLEOD, C. J. A., WILKINSON, M. E. & BRAZIER, R. 2018. Drone-based structure-from-motion photogrammetry captures grassland sward height variability. *Journal of Applied Ecology*, 55, 2587–2599.
- FORSMOO, J., ANDERSON, K., MACLEOD, C. J. A., WILKINSON, M. E., DEBELL, L. & BRAZIER, R. E. 2019. Structure from motion photogrammetry in ecology: Does the choice of software matter? *Ecology and Evolution*, online early view.
- FRASER, W. R., CARLSON, J. C., DULEY, P. A., HOLM, E. J. & PATTERSON, D. L. 1999. Using kite-based aerial photography for conducting Adelie penguin censuses in Antarctica. *Waterbirds*, 435–440.
- GARRETT, B. & ANDERSON, K. 2018. Drone methodologies: Taking flight in human and physical geography. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 43, 341–3590.
- GEOGHEGAN, J., PIROTTA, V., HARVEY, E., SMITH, A., BUCHMANN, J., OSTROWSKI, M., EDEN, J.-S., HARCOURT, R. & HOLMES, E. 2018. Virological Sampling of Inaccessible Wildlife with Drones. *Viruses*, 10, 300.
- GIONES, F. & BREM, A. 2017. From toys to tools: The co-evolution of technological and entrepreneurial developments in the drone industry. *Business Horizons*, 60, 875–884.

- GLENDELL, M., MCSHANE, G., FARROW, L., JAMES, M. R., QUINTON, J., ANDERSON, K., EVANS, M., BENAUD, P., RAWLINS, B. & MORGAN, D. 2017. Testing the utility of structure-from-motion photogrammetry reconstructions using small unmanned aerial vehicles and ground photography to estimate the extent of upland soil erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42, 1860–1871.
- GONZÁLEZ-JORGE, H., MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, J., BUENO, M., ARIAS & PEDOR 2017. Unmanned Aerial Systems for Civil Applications: A Review. *Drones*, 1, 2.
- GOODRICH, M.A., MORSE, B.S., GERHARDT, D., COOPER, J.L., QUIGLEY, M., ADAMS, J.A. & HUMPHREY, C. 2008. Supporting wilderness search and rescue using a camera-equipped mini UAV. *Journal of Field Robotics*, 25: 89–110.
- GRAHAM, S. 2016. Vertical: Looking at the city from above and below, London, UK, Verso Books.
- GRAY, P., RIDGE, J., POULIN, S., SEYMOUR, A., SCHWANTES, A., SWENSON, J. & JOHNSTON, D. 2018. Integrating drone imagery into high resolution satellite remote sensing assessments of estuarine environments. *Remote Sensing*, 10, 1257.
- GRAY, P. C., BIERLICH, K. C., MANTELL, S. A., FRIEDLAENDER, A. S., GOLDBOGEN, J. A. & JOHNSTON, D. W. 2019. Drones and convolutional neural networks facilitate automated and accurate cetacean species identification and photogrammetry. *Methods in Ecology and Evolution*, 10, 1490–1500.
- HAHN, N., MWAKATOBÉ, A., KONUCHE, J., DE SOUZA, N., KEYYU, J., GOSS, M., CHANG'A, A., PALMINTERI, S., DINERSTEIN, E. & OLSON, D. 2016. Unmanned aerial vehicles mitigate human–elephant conflict on the borders of Tanzanian Parks: a case study. *Oryx*, 51, 513–516.
- HAMBRECHT, L., BROWN, R. P., PIEL, A., & WICH, S. 2019. Detecting 'poachers' with drones: Factors influencing the probability of detection with TIR and RGB imaging in miombo woodlands, Tanzania. *Biological Conservation*, 233, 109–117
- HILL, T. C., QUAIFFE, T. & WILLIAMS, M. 2011. A data assimilation method for using low-resolution Earth observation data in heterogeneous ecosystems. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116.
- HODGSON, A., KELLY, N. & PEEL, D. 2013. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Surveying Marine Fauna: A Dugong Case Study. *PLoS ONE*, 8, e79556.
- HODGSON, J. C. & KOH, L. P. 2016. Best practice for minimising unmanned aerial vehicle disturbance to wildlife in biological field research. *Current Biology*, 26, R404–R405.
- HODGSON, J. C., MOTT, R., BAYLIS, S. M., PHAM, T. T., WOTHERSPOON, S., KILPATRICK, A. D., RAJA SEGARAN, R., REID, I., TERAUDS, A. & KOH, L. P. 2018. Drones count wildlife more accurately and precisely than humans. *Methods in Ecology and Evolution*, 9, 1160–1167.
- HOGAN, S., KELLY, M., STARK, B. & CHEN, Y. 2017. Unmanned aerial systems for agriculture and natural resources. *California Agriculture*, 71, 5–14.

- HUMLE, T., DUFFY, R., ROBERTS, D. L., SANDBROOK, C., ST JOHN, F. A. V. & SMITH, R. J. 2014. Biology's drones: Undermined by fear. *Science*, 344, 1351.
- HUSSON, E., ECKE, F. & REESE, H. 2016. Comparison of manual mapping and automated object-based image analysis of non-submerged aquatic vegetation from very-high-resolution UAS images. *Remote Sensing*, 8, 724.
- HUSSON, E., HAGNER, O. & ECKE, F. 2014. Unmanned aircraft systems help to map aquatic vegetation. *Applied Vegetation Science*, 17, 567–577.
- IMANGHOLILOO, M., SAARINEN, N., MARKELIN, L., ROSNELL, T., NÄSI, R., HAKALA, T., HONKAVAARA, E., HOLOPAINEN, M., HYYPPÄ, J. & VAS-TARANTA, M. 2019. Characterizing Seedling Stands Using Leaf-off and Leaf-on Photogrammetric Point Clouds and Hyperspectral Imagery Acquired from Unmanned Aerial Vehicle. *Forests*, 10, 415.
- JAMES, M. R., ROBSON, S., D'OLEIRE-OLTMANN, S. & NIETHAMMER, U. 2017a. Optimising UAV topographic surveys processed with structure-from-motion: Ground control quality, quantity and bundle adjustment. *Geomorphology*, 280, 51–66.
- JAMES, M. R., ROBSON, S. & SMITH, M. W. 2017b. 3-D uncertainty-based topographic change detection with structure-from-motion photogrammetry: precision maps for ground control and directly georeferenced surveys. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42, 1769–1788.
- JIMÉNEZ LÓPEZ J & MULERO-PÁZMÁNY M. 2019. Drones for Conservation in Protected Areas: Present and Future. *Drones*, 3(1):10.
- JOYCE, K., DUCE, S., LEAHY, S., LEON, J. & MAIER, S. 2019. Principles and practice of acquiring drone-based image data in marine environments. *Marine and Freshwater Research*.
- KAYS, R., SHEPPARD, J., MCLEAN, K., WELCH, C., PAUNESCU, C., WANG, V., KRAVIT, G. & CROFOOT, M. 2019. Hot monkey, cold reality: surveying rainforest canopy mammals using drone-mounted thermal infrared sensors. *International Journal of Remote Sensing*, 40, 407–419.
- KISZKA, J. J., MOURIER, J., GASTRICH, K. & HEITHAUS, M. R. 2016. Using unmanned aerial vehicles (UAVs) to investigate shark and ray densities in a shallow coral lagoon. *Marine Ecology Progress Series*, 560, 237–242.
- KLAUSER, F. & PEDROZO, S. 2015. Power and space in the drone age: a literature review and politico-geographical research agenda. *Geogr. Helv.*, 70, 285–293.
- KOCIUBA, W., KUBISZ, W. & ZAGÓRSKI, P. 2014. Use of terrestrial laser scanning (TLS) for monitoring and modelling of geomorphic processes and phenomena at a small and medium spatial scale in Polar environment (Scott River—Spitsbergen). *Geomorphology*, 212, 84–96.
- KOH, L. P. & WICH, S. A. 2012. Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation. *Tropical Conservation Science*, 5, 121–132.

- LALIBERTE, A. S. & RANGO, A. 2009. Texture and Scale in Object-Based Analysis of Subdecimeter Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 47, 761–770.
- LIANG, X., WANG, Y., PYÖRÄLÄ, J., LEHTOMÄKI, M., YU, X., KAARTINEN, H., KUKKO, A., HONKAVAARA, E., ISSAOUI, A. E. I., NEVALAINEN, O., VAAJA, M., VIRTANEN, J.-P., KATOH, M. & DENG, S. 2019. Forest *in situ* observations using unmanned aerial vehicle as an alternative of terrestrial measurements. *Forest Ecosystems*, 6, 20.
- LINCHANT, J., VERMEULEN, C., LISEIN, J., LEJEUNE, P. & BOUCHE, P. 2013. Using drones to count the elephants: a new approach of wildlife inventories.
- LUNSTRUM, E. 2014. Green Militarization: Anti-Poaching Efforts and the Spatial Contours of Kruger National Park. *Annals of the Association of American Geographers*, 104, 816–832.
- LYONS, M., BRANDIS, K., CALLAGHAN, C., MCCANN, J., MILLS, C., RYALL, S. & KINGSFORD, R. 2018a. Bird interactions with drones, from individuals to large colonies. *Australian Field Ornithology*, 35, 51.
- LYONS, M. B., MILLS, C. H., GORDON, C. E. & LETNIC, M. 2018b. Linking trophic cascades to changes in desert dune geomorphology using high-resolution drone data. *Journal of The Royal Society Interface*, 15, 20180327.
- MANCINI, F., DUBBINI, M., GATTELLI, M., STECCHI, F., FABBRI, S. & GABBIANELLI, G. 2013. Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for High-Resolution Reconstruction of Topography: The Structure from Motion Approach on Coastal Environments. *Remote Sensing*, 5, 6880–6898.
- MARCACCIO, J. V., MARKLE, C. E. & CHOW-FRASER, P. 2015. Unmanned aerial vehicles produce high-resolution, seasonally-relevant imagery for classifying wetland vegetation. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 40.
- MASSÉ, F. 2018. Topographies of security and the multiple spatialities of (conservation) power: Verticality, surveillance, and space-time compression in the bush. *Political Geography*, 67, 56–64.
- MCDOWALL, P. & LYNCH, H. J. 2017. Ultra-fine scale spatially-integrated mapping of habitat and occupancy using structure-from-motion. *PloS one*, 12, e0166773.
- MCINTOSH, R. R., HOLMBERG, R. & DANN, P. 2018. Looking Without Landing—Using Remote Piloted Aircraft to Monitor Fur Seal Populations Without Disturbance. *Frontiers in Marine Science*, 5.
- MCLELLAND, G., BOND, A. L., SARDANA, A. & GLASS, T. 2016. Rapid population estimate of a surface-nesting seabird on a remote island using a low-cost unmanned aerial vehicle. *Marine Ornithology*, 44, 215–220.

- MCNEIL, B. E., PISEK, J., LEPISK, H. & FLAMENCO, E. A. 2016. Measuring leaf angle distribution in broadleaf canopies using UAVs. *Agricultural and Forest Meteorology*, 218–219, 204–208.
- MELIN, M., SHAPIRO, A. & GLOVER-KAEPFER, P. 2017. LiDAR for Ecology and Conservation. In: WWF-UK (ed.) WWF Conservation Technology Series 1(3). WWF-UK, Woking, United Kingdom.
- MERINO, L., CABALLERO, F., MARTÍNEZ-DE-DIOS, J.R., MAZA, I., & OLLERO, A. 2012. An Unmanned Aircraft System for Automatic Forest Fire Monitoring and Measurement. *Journal of Intelligent Robot Systems*, 65, 533–548.
- MLAMBO, R., WOODHOUSE, I., GERARD, F. & ANDERSON, K. 2017. Structure from Motion (SfM) Photogrammetry with Drone Data: A Low Cost Method for Monitoring Greenhouse Gas Emissions from Forests in Developing Countries. *Forests*, 8, 68.
- MULERO-PÁZMÁNY, M., JENNI-EIERMANN, S., STREBEL, N., SATTLER, T., NEGRO, J. J. & TABLADO, Z. 2017. Unmanned aircraft systems as a new source of disturbance for wildlife: A systematic review. *PloS one*, 12, e0178448.
- NAVARRO, J., ALGEET, N., FERNÁNDEZ-LANDA, A., ESTEBAN, J., RODRÍGUEZ-NORIEGA, P. & GUILLÉN-CLIMENT, M. 2019. Integration of uav, sentinel-1, and sentinel-2 data for mangrove plantation aboveground biomass monitoring in senegal. *Remote Sensing*, 11, 77.
- NEZAMI, S., KHORAMSHAHI, E., NEVALAINEN, O., PÖLÖNEN, I., HONKAVAARA, E. 2020. Tree species classification of drone hyperspectral and RGB imagery with deep learning convolutional neural networks. *Remote Sensing*, 12, 1070.
- NOWLIN, M. B., ROADY, S. E., NEWTON, E. & JOHNSTON, D. W. 2019. Applying Unoccupied Aircraft Systems to study human behavior in marine science and conservation programs. *Frontiers in Marine Science*, 6, 567.
- PANEQUE-GÁLVEZ, J., VARGAS-RAMÍREZ, N., NAPOLETANO, B.M. & CUMMINGS, A. 2017. Grassroots Innovation Using Drones for Indigenous Mapping and Monitoring. *Land*, 6 (4) 25.
- PANEQUE-GÁLVEZ, J., MCCALL, M.K., NAPOLETANO, B.M.; WICH, S.A. & KOH, L.P. 2014. Small Drones for Community-Based Forest Monitoring: An Assessment of Their Feasibility and Potential in Tropical Areas. *Forests*, 5, 1481–1507.
- PETTORELLI, N., SCHULTE, H., SHAPIRO, A. & GLOVER-KAEPFER, P. 2018a. Satellite remote sensing for conservation. In: UK, W. (ed.) Conservation technology series. *online*.
- PETTORELLI, N., SCHULTE, H., SHAPIRO, A. & GLOVER-KAPFER, P. 2018b. Satellite remote sensing for conservation. In: FUND, W. W. (ed.) WWF Conservation Technology Series 1(4). WWF United Kingdom.

- POMEROY, P., O'CONNOR, L. & DAVIES, P. 2015. Assessing use of and reaction to unmanned aerial systems in gray and harbor seals during breeding and molt in the UK. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 3, 102–113.
- PULITI, S., SAARELA, S., GOBAKKEN, T., STÅHL, G. & NÆSSET, E. 2018. Combining UAV and Sentinel-2 auxiliary data for forest growing stock volume estimation through hierarchical model-based inference. *Remote Sensing of Environment*, 204, 485–497.
- PUTTOCK, A., CUNLIFFE, A., ANDERSON, K. & BRAZIER, R. E. 2015. Aerial photography collected with a multicopter drone reveals impact of Eurasian beaver reintroduction on ecosystem structure. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 3, 123–130.
- RANGO, A., LALIBERTE, A. S., STEELE, C. M., HERRICK, J. E., BESTELMEYER, B., SCHMUGGE, T., ROANHORSE, A. & JENKINS, V. 2006. Using Unmanned Aerial Vehicles for Rangelands: Current Applications and Future Potentials. *Environmental Practice*, 8, 159–168.
- REES, A. F., AVENS, L., BALLORAIN, K., BEVAN, E., BRODERICK, A. C., CARTHY, R. R., CHRISTIANEN, M. J., DUCLOS, G., HEITHAUS, M. R. & JOHNSTON, D. W. 2018. The potential of unmanned aerial systems for sea turtle research and conservation: a review and future directions. *Endangered Species Research*, 35, 81–100.
- RIIHIMÄKI, H., LUOTO, M. & HEISKANEN, J. 2019. Estimating fractional cover of tundra vegetation at multiple scales using unmanned aerial systems and optical satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 224, 119–132.
- RUSH, G. P., CLARKE, L. E., STONE, M. & WOOD, M. J. 2018. Can drones count gulls? Minimal disturbance and semiautomated image processing with an unmanned aerial vehicle for colony-nesting seabirds. *Ecology and Evolution*, 0.
- SABELLA, G., VIGLIANISI, F.M., ROTONDI, S. & BROGNA, F. 2017. Preliminary observations on the use of drones in the environmental monitoring and in the management of protected areas. The case study of “R.N.O. Vendicari”, Syracuse (Italy). *Biodiversity Journal*. 2017, 8, 79–86.
- SANDBROOK, C. 2015. The social implications of using drones for biodiversity conservation. *Ambio*, 44, 636–647.
- SCHAUB, J., HUNT, B. P., PAKHOMOV, E. A., HOLMES, K., LU, Y. & QUAYLE, L. 2018. Using unmanned aerial vehicles (UAVs) to measure jellyfish aggregations. *Marine Ecology Progress Series*, 591, 29–36.
- SCHIFFMAN, R. 2014. Drones Flying High as New Tool for Field Biologists. *Science*, 344, 459–459.
- SCOBIE, C. A. & HUGENHOLTZ, C. H. 2016. Wildlife monitoring with unmanned aerial vehicles: Quantifying distance to auditory detection. *Wildlife Society Bulletin*, 40, 781–785.

- SCROSATI, B. & GARCHE, J. 2010. Lithium batteries: Status, prospects and future. *Journal of power sources*, 195, 2419–2430.
- SIMIC, M., BIL, C. & VOJISAVLJEVIC, V. 2015. Investigation in Wireless Power Transmission for UAV Charging. *Procedia Computer Science*, 60, 1846–1855.
- SMITH, M. W., CARRIVICK, J. L. & QUINCEY, D. J. 2016. Structure from motion photogrammetry in physical geography. *Progress in Physical Geography*, 40, 247–275.
- STARK, D. J., VAUGHAN, I. P., EVANS, L. J., KLER, H. & GOOSSENS, B. 2018. Combining drones and satellite tracking as an effective tool for informing policy change in riparian habitats: a proboscis monkey case study. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 4, 44–52.
- STEFFEN, W., GRINEVALD, J., CRUTZEN, P. & MCNEILL, J. 2011. The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369, 842.
- THAPA, G. J., THAPA, K., THAPA, R., JNAWALI, S. R., WICH, S. A., POUDYAL, L. P. & KARKI, S. 2018. Counting crocodiles from the sky: monitoring the critically endangered gharial (*Gavialis gangeticus*) population with an unmanned aerial vehicle (UAV). *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 6, 71–82.
- TIAN, J., WANG, L., LI, X., GONG, H., SHI, C., ZHONG, R. & LIU, X. 2017. Comparison of UAV and WorldView-2 imagery for mapping leaf area index of mangrove forest. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 61, 22–31.
- VAN GEMERT, J. C., VERSCHOOR, C. R., METTES, P., EPEMA, K., KOH, L. P. & WICH, S. Nature Conservation Drones for Automatic Localization and Counting of Animals. In: AGAPITO, L., BRONSTEIN, M. M. & ROTHER, C., eds. Computer Vision – ECCV 2014 Workshops, 2015. Cham. Springer International Publishing, 255–270.
- VARELA, M. R., PATRÍCIO, A. R., ANDERSON, K., BRODERICK, A. C., DEBELL, L., HAWKES, L. A., TILLEY, D., SNAPE, R. T. E., WESTOBY, M. J. & GODLEY, B. J. 2019. Assessing climate change associated sea-level rise impacts on sea turtle nesting beaches using drones, photogrammetry and a novel GPS system. *Global Change Biology, Early View*: <https://doi.org/10.1111/gcb.14526>.
- VAS, E., LESCROEL, A., DURIEZ, O., BOGUSZEWSKI, G. & GREMILLET, D. 2015. Approaching birds with drones: first experiments and ethical guidelines. *Biology Letters*, 11, 20140754–20140754.
- VATTAPPARAMBAN, E., İ, G., YUREKLI, A. İ., AKKAYA, K. & ULUAĞAÇ, S. Drones for smart cities: Issues in cybersecurity, privacy, and public safety. 2016 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 5–9 Sept. 2016. 216–221.

- VENTURA, D., BONIFAZI, A., GRAVINA, M., BELLUSCIO, A. & ARDIZZONE, G. 2018. Mapping and Classification of Ecologically Sensitive Marine Habitats Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery and Object-Based Image Analysis (OBIA). *Remote Sensing*, 10, 1331.
- WALL, T. 2016. Ordinary Emergency: Drones, Police, and Geographies of Legal Terror. *Antipode*, 48, 1122–1139.
- WALL, T. & MCCLANAHAN, B. 2015. Weaponising conservation in the ‘heart of darkness’: the war on poachers and the neocolonial hunt. *Environmental crime and social conflict: contemporary and emerging issues*, 221–240.
- WALLACE-WELLS, B. 2014. Drones and everything after – the flying, spying, killing machines that are turning humans into superheroes <http://nymag.com/daily/intelligencer/2014/10/drones-the-next-smartphone.html>. *New York Magazine*, October 5th 2014.
- WANG, Q., PING, P., ZHAO, X., CHU, G., SUN, J. & CHEN, C. 2012. Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery. *Journal of Power Sources*, 208, 210–224.
- WEARN, O. R. & GLOVER-KAEPFER, P. 2017. Camera-trapping for conservation: a guide to best-practices. In: World Wide Fund for Nature (ed.) Conservation technology series. online: WWF, UK.
- WEIMERSKIRCH, H., PRUDOR, A. & SCHULL, Q. 2018. Flights of drones over sub-Antarctic seabirds show species- and status-specific behavioural and physiological responses. *Polar Biology*, 41, 259–266.
- WESTOBY, M. J., LIM, M., HOGG, M., POUND, M. J., DUNLOP, L. & WOODWARD, J. 2018. Cost-effective erosion monitoring of coastal cliffs. *Coastal Engineering*, 138, 152–164.
- WICH, S., DELLATORE, D., HOUGHTON, M., ARDI, R. & KOH, L. P. 2015. A preliminary assessment of using conservation drones for Sumatran orangutan (*Pongo abelii*) distribution and density. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 4, 45–52.
- WOODGET, A. S., AUSTRUMS, R., MADDOCK, I. P. & HABIT, E. 2017. Drones and digital photogrammetry: from classifications to continuums for monitoring river habitat and hydromorphology. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 4, e1222.
- WOODGET, A. S., CARBONNEAU, P. E., VISSER, F. & MADDOCK, I. P. 2015. Quantifying submerged fluvial topography using hyperspatial resolution UAS imagery and structure from motion photogrammetry. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40, 47–64.
- ZAHAWI, R. A., DANDOIS, J. P., HOLL, K. D., NADWODNY, D., REID, J. L. & ELLIS, E. C. 2015. Using lightweight unmanned aerial vehicles to monitor tropical forest recovery. *Biological Conservation*, 186, 287–295.



Ilha de Kandahalagala no Atol Huvadhu, Maldivas. Imagem registrada com uma Ricoh GRII acoplada a um 3DR Solo. © James Duffy



Trabalhamos pela conservação da natureza, pelas pessoas e pela vida selvagem.

#JuntosÉpossível

[wwf.org.br](http://wwf.org.br)