

ANÁLISE DO USO DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (ARP) EM PERÍCIAS AMBIENTAIS NO BRASIL

Caio Cesar Silva de Cerqueira*

Superintendência da Polícia Técnico-Científica do estado de São Paulo, Ourinhos, SP, Brasil

Mateus Xavier de Lima

Centro Universitário de Maringá (UniCesumar), Maringá, PR, Brasil

ANALYSIS OF REMOTELY PILOTED AIRCRAFT (RPA) USAGE IN ENVIRONMENTAL FORENSICS IN BRAZIL

RESUMO

Na análise ambiental existem desafios intrínsecos para que o profissional desempenhe bem o seu encargo no intuito de indicar a materialidade de determinado dano ou crime contra o meio ambiente. Tais desafios incluem dificuldades de acesso ao local; grande extensão da área examinada; riscos de saúde em áreas poluídas; e, até mesmo, conseguir atender integralmente as necessidades do exame técnico, garantindo a obtenção de resultados de qualidade, robustos e que respondam todas as questões que se pretende esclarecer com a perícia. O objetivo deste trabalho de revisão de literatura é apresentar um panorama das potencialidades, vantagens e desvantagens do uso de aeronaves remotamente pilotadas (ARPs) no país, com a finalidade de que os trabalhos efetuados na área ambiental possam ter resultados com maior precisão no intuito de responder melhor às demandas da justiça. Trata-se do uso de aeronaves remotamente pilotadas, comumente conhecidas como drones. O objetivo deste trabalho é demonstrar como o uso dos drones pode ser bastante útil para a melhoria quantitativa (economia de tempo) e também qualitativa (maior cobertura e alcance pelo profissional às áreas degradadas e/ou poluídas, bem como a possibilidade de se fazer análises com resultados não alcançados com outros métodos sem o uso deste equipamento) nas auditorias e perícias de meio ambiente, cíveis e criminais, além de reduzir eventuais riscos ao perito pela mínima exposição às áreas periciadas. Além disso, foi indicado que o uso de ARPs na perícia ambiental pode apresentar alto impacto na produção de provas materiais, devido à grande precisão das informações colhidas e amplo leque de sua utilização, podendo atender a distintos objetivos de análise, a saber: estimativas precisas de áreas e volumes; monitoramento detalhado da fauna e flora; avaliação de queimadas florestais, etc. Verificou-se, também, que são necessárias algumas adaptações no uso dos drones em áreas com grandes extensões, como a divisão da área examinada em quadrantes, por exemplo. Espera-se que essa tecnologia seja disseminada e utilizada pelos mais distintos órgãos de fiscalização e regulação ambiental no país, assim como por pessoas físicas em iniciativas individuais, tendo em vista que a aquisição deste importante equipamento apresenta um excelente custo-benefício, sendo relativamente acessível a todos, dependendo do objetivo do que se almeja em cada exame técnico.

PALAVRAS-CHAVE: Aeronaves remotamente pilotadas. Perícia ambiental. Provas materiais. Qualidade pericial.

ABSTRACT

In the environmental analysis, there are intrinsic challenges for the professional to perform his task well in order to indicate the materiality of a certain damage or crime against the environment. Such challenges include difficulties in accessing the site; large extension of the examined area; health risks in polluted areas; and even being able to fully attend the objectives of the technical examination, ensuring quality and robustness of the results, that answer all the questions that can be clarified with the expertise. The objective of this review is to present an overview of the potential, advantages and disadvantages of the use of remotely piloted aircraft (RPA) in the country, based on a literature review on the subject, so that the work carried out in the environmental area can have results with greater precision in order to better respond to the demands of justice. It deals with the use of remotely piloted aircraft, commonly

*splicinginminds@gmail.com

known as drones. In this article, it was demonstrated how the use of drones can be extremely useful for quantitative (time-saving) and qualitative improvement (greater coverage and reach by the professional to degraded and/or polluted areas, as well as the possibility of carrying out analyzes with results not achieved with other methods without the use of this equipment) in environmental, civil and criminal audits and expertise, in addition to reducing possible risks to the expert due to minimal exposure to the areas under investigation. In addition, it was indicated that the use of RPAs in environmental forensics can have a high impact on the production of material evidence, due to the great precision of the information collected and a wide range of use, being able to meet different analysis objectives, namely: precise estimates of areas and volumes; detailed monitoring of fauna and flora; assessment of forest fires, etc. It was also verified that some adaptations are necessary in the use of drones in areas with large extensions, such as dividing the examined area into quadrants, for example. It is expected that this technology will be disseminated and used by the most distinguished environmental inspection and regulation bodies in the country, as well as by individuals in individual initiatives, since the acquisition of this important equipment presents itself with excellent cost-benefit, being relatively accessible to all, depending on the objective of each technical exam.

KEYWORDS: *Environmental forensics. Material evidence. Quality in expert analysis. Remotely piloted aircraft.*

INTRODUÇÃO

As perícias ambientais, não raras vezes, demandam análises em locais com grandes dimensões, como grandes áreas poluídas, áreas de preservação permanente e/ou unidades de proteção ambiental vastas. Assim como, também, outros locais, ou, adicionalmente, lugares de difícil acesso e/ou de risco, a saber: superfícies montanhosas ou íngremes; florestas densas; áreas de degradação com risco ao perito, etc. Tais perícias muitas vezes ficam prejudicadas em decorrência destas dificuldades inerentes às perícias ambientais, o que pode impactar diretamente na qualidade do serviço prestado pelo profissional ambiental e, também, pelo grande lapso temporal muitas vezes necessário para analisar o extenso e/ou difícil local objeto de exame, o que pode comprometer a celeridade da própria justiça. O que fazer nestes casos?

O uso de aeronaves não-tripuladas (do inglês *'Unmanned Aircraft' – UA**), especificamente aquelas do tipo não-autônomas denominadas aeronaves remotamente pilotadas (ARPs, tradução da sigla do inglês *'RPAs – Remotely Piloted Aircraft'*), e popularmente referidas como “drones”, pode auxiliar de maneira efetiva na execução do trabalho de análise e/ou de perícia ambiental sem grandes preocupações e com maior eficiência, minimizando o custo e o tempo para a execução do serviço. Há um grande potencial de utilização desses equipamentos na perícia de meio ambiente, conforme exemplificado na Figura 01, produzindo resultados com alta precisão e qualidade, e que não poderiam ser alcançados somente com uma análise dita trivial do local suspeito de crime ambiental. Importa ressaltar aqui que os equipamentos com funcionalidades mais específicas, como câmeras multiespectrais e tecnologia RTK (do inglês *'Real Time*

Kinematic', com posicionamento cinemático em tempo real), também muito úteis à perícia, podem não ser tão acessíveis, considerando a realidade dos órgãos de perícia do Brasil. Portanto, o custo de aquisição de um drone pode ser muito superior a uma análise convencional. No entanto, a qualidade e o amplo leque de resultados alcançados podem ser também muito superiores, o que torna a relação custo-benefício significativamente positiva, como se pode ver a seguir.

O presente trabalho propôs a realização de uma breve pesquisa bibliográfica com finalidade de levantar/compilar alguns exemplos na literatura científica nacional de como o uso de drones nas perícias de meio ambiente cíveis e criminais tem auxiliado na execução deste importante trabalho. Portanto, o objetivo desta revisão é apresentar um panorama das potencialidades, vantagens e desvantagens do uso de ARPs no país, a partir de um levantamento bibliográfico sobre o assunto, de forma que os trabalhos efetuados na área ambiental possam ter resultados com maior precisão para melhor responder às demandas da justiça. Percebe-se que estudar os principais pontos a serem considerados com relação ao custo-benefício em se ter uma aeronave remotamente pilotada, bem como encorajar os mais distintos profissionais a iniciarem seus projetos com essa ferramenta profissional, seja essencial para a rápida disseminação desta tecnologia. Desta forma, este trabalho forneceu perspectivas que possam melhorar a qualidade dos trabalhos técnicos de perícia e auditoria ambiental no Brasil, sem a pretensão em exaurir o tema sobre este tópico, mas ampliando o horizonte de todos os profissionais interessados no assunto, acompanhando o advento tecnológico no potencial de utilização de imagens para fins forenses.

*Importa esclarecer que o termo 'veículo aéreo não-tripulado (VANTS)' encontra-se desatualizado. A expressão atualmente utilizada é "Aeronave não tripulada (Unmanned Aircraft - UA)", conforme regulamentos em vigor do DECEA (vide ICA 100-40 - Aeronaves não-tripuladas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro). A expressão 'Aeronave não tripulada' abrange as aeronaves remotamente pilotadas (ARPs), as aeronaves autônomas e os aeromodelos. O termo 'VANT' foi utilizado na busca do presente artigo para levantar eventuais referências bibliográficas mais antigas.

METODOLOGIA

Para realizar o levantamento bibliográfico do presente artigo, foram feitas buscas manuais em 04 (quatro) das principais revistas de ciências forenses do Brasil, como segue, em ordem alfabética: i) Revista Brasileira de Criminalística (RBC, da Associação Brasileira de Criminalística - edição de volume 1, número 1, de 2011, até a edição de volume 10, número 1, de 2021); ii) *Revista Brazilian Journal of Forensic Sciences, Medical Law and Bioethics* (BJFS, do Instituto Paulista de Estudos Bioéticos e Ju-

rídicos - IPEBJ - edição de volume 1, número 1, de dezembro de 2011, até a edição de volume 11, número 1, de outubro de 2021); iii) Revista Criminalística e Medicina Legal (RCML - edição de volume 1, número 1, de 2016, até a edição do volume 6, número 1, de 2021); e iv) Revista Perícia Federal (RPF, da Associação dos Peritos Criminais Federais - edição de número 01, de março de 1999, até a edição de número 48, de dezembro de 2021). Com essa busca inicial, foram consideradas de interesse preliminar a seguinte quantidade de fontes bibliográficas, conforme indicado na Tabela 01 a seguir.

Tabela 01. Quantidade de referências consideradas de interesse como fontes bibliográficas preliminares para o presente estudo.

Fontes de busca	Número de trabalhos selecionados
RBC	04
BJFS	02
RCML	00
RPF	06
Outras fontes (Scielo, Google, etc.)	19

RBC = Revista Brasileira de Criminalística; BJFS = *Brazilian Journal of Forensic Sciences*; RCML = Revista Criminalística e Medicina Legal; RPF = Revista Perícia Federal.

Por fim, foi realizada uma busca adicional no portal Scielo (<https://www.scielo.br/>) utilizando-se as palavras-chave “Drone”, “VANT” ou “Aeronave Remotamente Pilotada”, sendo encontradas outras trinta e cinco referências bibliográficas que, após checagem, foram reduzidas para doze fontes bibliográficas como de interesse para o presente artigo, com possível aplicação na área de perícia ambiental. Os demais artigos/websites citados no presente trabalho foram localizados no Google (<https://www.google.com/>) e/ou estão presentes nas próprias referências bibliográficas dos artigos estudados na busca manual e/ou na busca do portal Scielo retro mencionadas. Tais dados também estão incluídos na linha “Outras fontes (Scielo, Google, etc.)” na Tabela 01. Portanto, a metodologia do presente artigo foi compilar os exemplos colhidos na pesquisa bibliográfica sobre a aplicação de drones na perícia ambiental e, com isso, estimular a aplicação desta tecnologia na rotina forense do país. Nos parágrafos a seguir serão discutidos os dados levantados.

ASPECTOS HISTÓRICOS E INFORMAÇÕES PRELIMINARES NO USO DE DRONES

A fotografia é uma excelente ferramenta para materializar e eternizar eventos diversos, tanto para fins profissionais quanto para fins recreativos, e tem sido bastante utilizada, também, para perpetuar provas forenses. Um artigo publicado na última

década¹ mostrou a necessidade de inovação constante da fotografia forense, já que esta acompanha a justiça na perpetuação da prova material por vários anos. Uma dessas inovações é a capacidade de registrar informações a partir de imagens aéreas. A primeira fotografia aérea que se tem notícia na história foi realizada pelo fotógrafo francês e balonista Gaspar Felix Tournachon¹ que registrou a imagem de Paris no ano de 1866.

O uso de ARPs nas perícias criminais teve sua maior popularização no Brasil a partir de publicações do ano de 2013^{2,3,4}. Essa ferramenta é útil para apuração de quaisquer suspeitas de crimes que envolva grandes dispersões de vestígios, como acidentes de trânsito, crimes ambientais, entre outras ocorrências. A utilidade dos drones especificamente na perícia ambiental tem incluído, principalmente, a análise de desmatamentos, poluição, uso e ocupação do solo em áreas protegidas, incêndios florestais, extração mineral, levantamento de patrimônio arqueológico e/ou histórico, realização de análises topográficas e de agrimensura, entre outras aplicações^{2,4}. Isso agrega muito valor aos laudos periciais emitidos nestas áreas. Considera-se que o uso desta importante ferramenta tecnológica traz enorme economia de recursos e tempo, fornece imagens de maior definição e mais recentes do que aquelas produzidas por satélite, bem como reduz a exposição a riscos pelo profissional em regiões de difícil acesso^{2,5,6}.

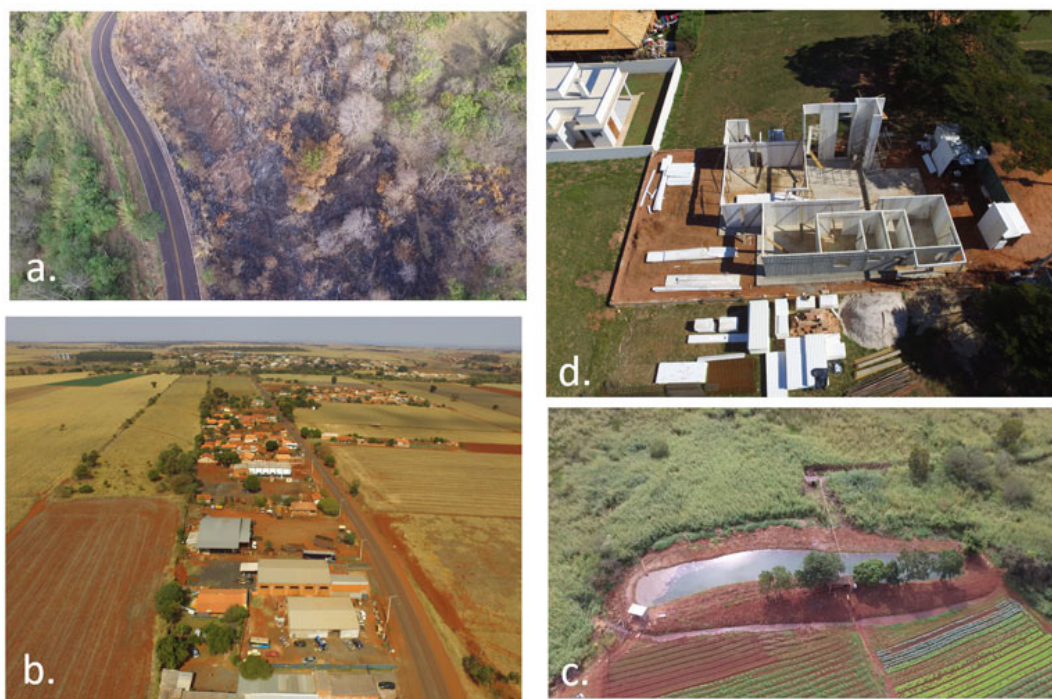


Figura 1: Exemplos de análise e/ou perícias ambientais facilitadas pelo uso de ARPs (aeronaves remotamente pilotadas). a. Incêndio em encosta de morro³; b. Análise de uso e ocupação do solo urbano; c. Vistoria ambiental de área degradada próximo a uma nascente; d. Acompanhamento de obras de engenharia e/ou de meio ambiente. Fotografias efetuadas com o modelo “Phantom³ Standard” da empresa DJI. Fonte: Arquivo pessoal do autor.

As funcionalidades/configurações mais procuradas em um drone para a perícia ambiental incluem: i) tomada de fotografias e vídeos com uma definição satisfatória (HD, Full HD, 4K, etc.); ii) existência de GPS integrado e que permita associar as fotografias e/ou vídeos capturados com dados altimétricos do local e com coordenadas geográficas; iii) autonomia satisfatória de voo (pelo menos 15 minutos); iv) drones dotados com sistemas inteligentes de ‘*return-to-home*’ (o drone retorna automaticamente para um local pré-determinado) em caso de falha de comunicação com o controle remoto; entre outras funções. Destaca-se, também, o uso de câmeras multiespectrais, com tecnologia RTK (do inglês ‘*Real Time Kinematic*’, ou posicionamento cinemático em tempo real), que reduz a medida de milímetros a margem de erros do GPS do drone, com amplo potencial de utilização nas perícias pela possibilidade de processamento digital dessas imagens com finalidade de gerar produtos com imagens 3D, MDT (modelo digital de terreno), MDE (modelo digital de elevação) e MDS (modelo digital de superfície), entre outros. O trabalho de Trindade e Nunes⁵ explorou com detalhes o item “ii)” mencionado anteriormente, e verificou que o uso de uma escala em campo (pontos de controle de campo, com medições conhecidas) para medições de áreas, volumes e distâncias é uma opção recomendada que fornece maior precisão para os dados colhidos na análise ambiental. Os autores recomendaram que os pontos de apoio devem “ser dispostos em local plano, com boa visibilidade (contraste e dimensões apropriadas dependendo da altura do voo) e afastados de objetos altos, de forma a possuírem boa visualização destes nas imagens registradas”⁵.

Importa mencionar que a maioria dos drones utilizados hoje na prática forense são do tipo multirrotores (especificamente os de plataforma do tipo quadricópteros – quatro hélices), sugeridos como opções mais apropriadas do que os modelos de asa fixa, pela sua “capacidade de pairar e a possibilidade de trabalhar em áreas confinadas”, quando necessário^{2,4}. Ressalta-se que a empresa líder no mercado de drones na atualidade é a empresa DJI (<https://www.dji.com/br>)⁷. No website da DJI, podem ser encontrados modelos de drones dos mais básicos, com valores a partir de 449 dólares americanos (modelo: “*DJI Mini 2*”) até os mais sofisticados (com tecnologia RTK, por exemplo), com preços que chegam a mais de 25 mil dólares (modelo: “*DJI Matrice 30T*”). As aplicações são amplas, como observado na Figura 02. Estima-se que a economia gerada pelo uso disseminado de drones no planeta tenha girado em torno de 100 bilhões de dólares, entre 2016 e 2020⁷. Embora as informações sobre o preço dos produtos sofram de grande volatilidade, é importante dizer que no mercado brasileiro, para fins informativos, os drones da DJI mais acessíveis estão sendo comercializados entre R\$ 3.100,00 (“*DJI Mavic Mini 2*”) e R\$ 23.000,00 (“*Phantom 4 Pro V2.0*”). Os modelos mais avançados, com tecnologia RTK, podem ser encontrados com preços mais impeditivos para pessoas físicas, como é o caso do equipamento “*DJI Matrice 300 RTK*”, comercializado a partir de R\$ 57.990,00 no mercado nacional. Vale dizer que os valores retromencionados foram consultados na plataforma ‘Google’ (<https://www.google.com/>), no mês de maio de 2022. Ressalta-se que os drones comercialmente utilizados devem ter selo/certificação da Anatel (Agência Nacional de Telecomunica-

ções) e/ou de outros órgãos competentes. Relevante informar, também, que há preços mais acessíveis de drones de outras marcas e que apresentam produção de imagens com excelentes definições (para uso profissional e/ou recreativo), também vendidos no mercado interno, a exemplo dos drones “Fenix ES204”,

“L900” e “KF102” (comercializados a partir de R\$ 870,00, em maio de 2022). Este último já foi testado pelo autor do presente trabalho. Entretanto, estes modelos podem não atender o profissional que procura funcionalidades muito precisas e/ou sofisticadas para demandas mais específicas na perícia ambiental.

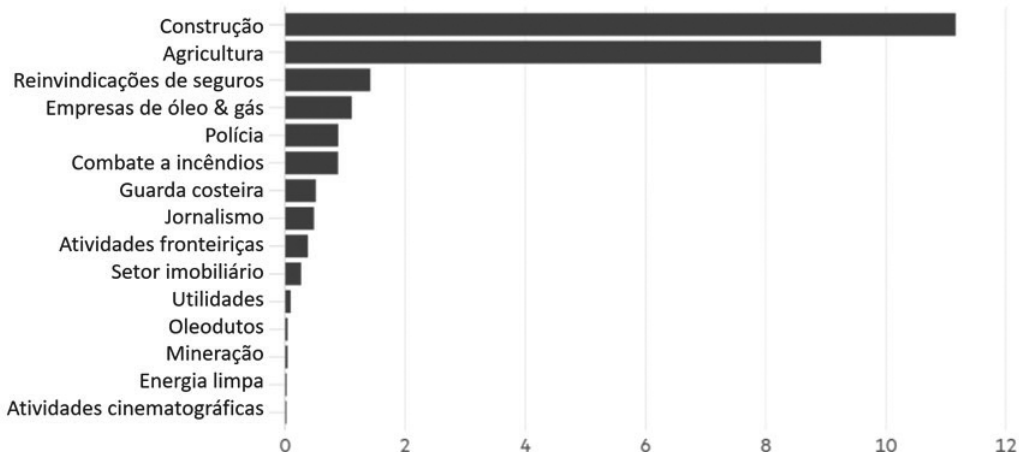


Figura 2: Mercado comercial do uso de drones, por áreas, em bilhões de dólares. Figura adaptada de McGee⁷.

O estudo de Cotomácio e Lima⁶ exemplificou o uso de aeronave remotamente pilotada e sugeriu um passo-a-passo para a análise ambiental, utilizando o modelo “Spark” (DJI) que, mesmo sendo um “modelo pouco robusto” apresentou-se útil, com metodologia que inclui as seguintes fases: “a) Planejamento de vôo; b) Levantamento de campo; c) Processamento; d) Análise do impacto”. Considera-se de extrema utilidade a execução dos passos metodológicos sugeridos pelos autores retromencionados em cada análise ambiental efetuada. Os artigos de Filho⁸ e Medeiros et al.⁴ trazem alguns conceitos relativos aos drones (VANTs, ARPs, veículos autônomos, não-autônomos, etc.) para aqueles que tenham dúvidas quanto a essas definições e que querem se aprofundar sobre o tema, além de trazer, também, aspectos preliminares da legislação que rege o setor no Brasil. Recomenda-se a leitura desses artigos para o devido aperfeiçoamento na área. Sugere-se, também, algumas das regulamentações mais atuais de interesse existentes no país, para ampla difusão, como as normas ICA 100-409 (Aeronaves não tripuladas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro), MCA 56-410 (Aeronaves não tripuladas para uso exclusivo em proveito dos órgãos de segurança pública, da defesa civil e de fiscalização da receita federal) e RBAC E-9411 (Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial de número 94 – Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil). Enfatiza-se a necessidade de realização de um treinamento adequado para se conhecer toda a legislação em vigor no Brasil que regulamenta o uso de UAs, incluindo as autorizações de órgãos específicos, bem como realização de cadastros em determinados sistemas de controle relacionados a essa matéria, como a Solicitação de Acesso de Aeronaves Re-

motamente Pilotadas (SARPAS) do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), e na Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Também é fundamental a realização de curso prático para operação de UAs, devidamente autorizado para esse tipo de capacitação, citando as normas supramencionadas. No tópico a seguir, serão mencionados alguns casos de perícia ambiental de repercussão no Brasil e que tiveram parte dos trabalhos de registro fotográfico e perenização da prova material utilizando-se aeronaves não tripuladas não-autônomas, ou aeronave remotamente pilotadas (ARPs).

EXEMPLOS NACIONAIS DO USO DE DRONES NA PERÍCIA AMBIENTAL

Nos últimos 10 anos foram testemunhadas grandes catástrofes ambientais no Brasil, como incêndios em matas preservadas, derramamento de óleo em vastas áreas do nosso litoral e, ainda, rompimento de barragens, como a de Mariana/MG (em 2015) e de Brumadinho/MG (em 2019), por exemplo^{12,13,14}. Tais eventos evidenciaram na mídia e também em trabalhos científicos, os árduos esforços e desafios dos profissionais técnicos em realizar o levantamento detalhado dos prejuízos ambientais para a fauna e flora em cada um dos ambientes afetados. O uso de aeronaves remotamente pilotadas nessas ocorrências tem sido fundamental para salvaguardar a vida dos profissionais que analisaram o ambiente degradado, uma vez que todo o levantamento do local da ocorrência pode ser feito com certa distância do ponto principal afetado e, não menos importante, permitir realizar uma análise ambiental com alta definição para apurar e levantar exa-

tamente qual a extensão dos danos constatados na área analisada. Outros benefícios dessa técnica são a possibilidade de se estimar as áreas protegidas atingidas e, ainda, avaliar o volume de pilhas de materiais depositados nos desastres. Portanto, tem se demandado, cada vez mais, o uso de UAs em eventos dessa natureza, favorecendo sua aplicação em análises topográficas, entre outros usos potenciais.

Em 2018, peritos criminais federais lotados no estado de São Paulo mostraram um método para calcular o volume de mineral extraído por meio de análise das imagens geradas por aeronave remotamente pilotada (modelo “Phantom 2 Vision”, da DJI)¹⁵. Esse artigo salienta a diferença no tempo e na precisão do processamento ambiental, com e sem o uso do drone, com diminuição considerável no tempo de análise requerido utilizando-se desta ferramenta. Dois anos antes, em 2016, Silva et al.¹⁶ indicaram o uso de UAs como a tecnologia mais acurada para o cálculo de volume de pilha de rejeitos, em comparação com as técnicas de GNSS (*Global Navigation Satellite System*) e LiDAR (*Light Detecting and Ranging*). Cotomácio e Lima⁶, por sua vez, utilizaram o drone de modelo “Spark”, também da DJI, para levantar uma área de supressão de vegetação decorrente de parcelamento irregular do solo. Os autores mostraram, de forma bastante simples, que o uso de uma aeronave remotamente pilotada pode trazer informações robustas na perícia ambiental, principalmente quando associada a outras ferramentas disponíveis gratuitamente como o Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (<https://www.car.gov.br/#/>) e/ou o Google Earth, para verificação da cronologia aproximada da degradação ambiental no local examinado, por exemplo, podendo ser um importante auxiliar da justiça para esta finalidade.

Medeiros et al.⁴ utilizaram um drone do modelo “Phantom 4” (DJI) para realizar uma vistoria nas ruínas da primeira fábrica de cimento Portland da América Latina. Os autores demonstraram que tal análise utilizando uma ARP é útil para sítios naturais, patrimônios históricos e/ou arqueológicos, etc., onde o ambiente requer o mínimo de intervenção antrópica possível. Além disso, também foi demonstrado neste trabalho que áreas/edificações de interesse com alturas elevadas, como as referidas ruínas analisadas, são facilmente fotografadas com detalhes por meio do uso de tais ferramentas tecnológicas, sendo recomendável o uso de drones nestes casos. Da mesma forma, em uma perícia de incêndio florestal, próximo a uma encosta com difícil acesso à equipe técnica, Cerqueira³ (Figura 1a) usou o drone “Phantom 3 Standard” (DJI) para constatação do alcance das chamas na área examinada e sua melhor caracterização com posterior análise das imagens e vídeos fornecidos pelo referido drone. Em incêndios florestais, o uso de UAs com câmeras multiespectrais para a obtenção de índices espectrais é altamente promissor, como o NDVI (‘Normalized Difference Vegetation Index’) e o NBR (‘Normalized Burn Ratio’).

Nesse mesmo estudo de Medeiros et al.⁴, também foi possível a confecção de um modelo digital 3D das ruínas anali-

sadas por meio da composição das centenas de imagens geradas com o drone. A composição de ortomosaicos de fotografias efetuadas por drones, portanto, já é realidade nacional, e foi realizado, também, na perícia federal do estado de São Paulo, em um trabalho mais recente de constatação e valoração de dano ambiental¹⁴. Com a utilização de softwares específicos para essa finalidade (Agisoft, DroneDeploy, Pix4D, etc.), no momento da composição de imagens geradas pelo drone, há a possibilidade de criação de uma nuvem de pontos para a medição de distâncias e estimativa de áreas e volumes com riqueza de detalhes e precisão elevada nos dados gerados, como mostrado em algumas das referências já mencionadas no presente artigo^{4,15,16,17} e, também, detalhado no estudo de Júnior et al.¹⁸. A evolução das fotografias como um todo pode revolucionar as análises ambientais de uma forma sem precedentes, trazendo grandes perspectivas do uso de ARPs para o futuro. Para se ter uma ideia, já existem ferramentas desenvolvidas por organismos internacionais capazes de realizar fotomontagens (ou mosaicos) até mesmo de grandes cidades, como mostra o website chinês BigPixel (<http://www.bigpixel.cn/>), que compõe fotografias que chegam a 195 gigapixels de resolução.

Apesar das grandes potencialidades no uso dos drones na prática das perícias de meio ambiente, existem, também, algumas limitações e desafios na análise pericial ambiental. Extensões de áreas muito grandes exigem adaptações na análise da materialidade da ocorrência. Por exemplo, pela vastidão da área (117 quilômetros de extensão), a tragédia de Mariana/MG, no rompimento da barragem em 2015 (três anos antes de Brumadinho/MG), exigiu uso de helicóptero contendo uma câmera acoplada para o registro fotográfico aéreo do local examinado. Os peritos da Polícia Federal utilizaram a mesma metodologia usada com os UAs. Porém, esses últimos equipamentos são comumente utilizados para áreas de até três quilômetros de extensão¹². Segundo os autores, o rompimento da barragem de Mariana/MG foi o primeiro caso com uso de fotogrametria na Polícia Federal para realizar cálculo de área. Nessa análise ambiental, além dos peritos federais, trabalharam na apuração da tragédia alguns técnicos do IBAMA e outros órgãos ambientais, corpo de bombeiros, peritos criminais do estado de Minas Gerais, entre outros profissionais, no intuito de estabelecerem as causas do desastre, realizar a busca e identificação dos desaparecidos, bem como para realizar o levantamento pericial da área objeto de exame. Em áreas muito extensas de análise ambiental, uma opção alternativa ao uso de helicópteros pode ser a divisão de áreas em quadrantes menores para sobrevoo apenas com drones, que fornecem resultados satisfatórios. Outro trabalho complexo de análise ambiental foi o desastre do rompimento da barragem de Brumadinho/MG, na mina Córrego do Feijão. Esta catástrofe ambiental, que englobou a análise de uma área de 290 hectares de lama, além de áreas adjacentes, foi “uma das maiores operações em número de participação de peritos da história da Polícia Federal”¹³, que envolveu, também, 55 órgãos públicos

na ocasião. Outros exemplos de utilização de drones na análise ambiental em áreas extensas incluem a verificação de ilhas de calor em centros urbanos¹⁹, a análise de degradação de manguezais em zonas costeiras²⁰, a realização de análise morfométrica e quantificação da perda de solo em dolinas²¹ e, até mesmo, para estimar a expansão em áreas de invasão agrária em conflitos de terra²². Todas as ocorrências mencionadas utilizaram aeronaves remotamente pilotadas, ou de fotografias aéreas com câmeras acopladas a helicópteros, para realização de vistorias ambientais no intuito de prevenir eventuais catástrofes ou, ainda, para materializar os crimes ocorridos contra o meio ambiente. Desta forma, a prova pericial torna-se perene e subsidiará a justiça na resolução de litígios e na elucidação das suas causas, evidenciando a sua importância para tais finalidades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações fornecidas no presente estudo mostraram o uso potencial de “Unmanned Aircraft” (UAs) na rotina forense ambiental e foram úteis para incentivar o perito, ou analista técnico, na utilização de aeronaves remotamente pilotadas (ARPs) na auditoria e/ou perícia de crimes contra o meio ambiente. Resaltou-se que o uso de ARPs na perícia ambiental pode possuir alto impacto na produção de provas materiais pelo ótimo custo-benefício, pela grande precisão das informações colhidas e amplo leque de sua utilização, podendo, também, atender a distintos objetivos de análise, a saber: estimativas mais precisas de áreas e volumes; monitoramento detalhado da fauna e flora; avaliação de queimadas florestais, entre outros. Além disso, ficou evidenciada a economia de tempo e de recursos no processamento de dados e materialização das provas técnicas na perícia cível e na criminal. Verificou-se, também, que são necessárias algumas adaptações no uso dos drones em áreas com grandes extensões, como a divisão da área examinada em quadrantes, por exemplo. Pretende-se que tais informações sejam fontes de estímulo para que os profissionais iniciem seus primeiros voos utilizando os drones, após um treinamento adequado, e o devido conhecimento sobre as regulamentações que regem o setor no país. Algumas referências literárias sobre o uso de drones na rotina da perícia de meio ambiente foram fornecidas, aqui, como uma ferramenta de fortalecimento dos órgãos que atuam na área ambiental e para a proteção do meio ambiente. Finalmente, pretendeu-se que o presente estudo possa ser utilizado como eventual ponto de referência para que gestores de órgãos públicos, ou privados, promovam o uso de tais equipamentos na rotina diária forense.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as valiosas sugestões dos revisores anônimos para o aprimoramento do presente artigo.

REFERÊNCIAS

1. Pozzebon BRS, Freitas AC, Trindade MB. Fotografia forense – aspectos históricos – urgência de um novo foco no Brasil. *Revista Brasileira de Criminalística*. 2017; 6(1):14-51.
2. Cerello RC, Mayrink RR. VANT: a nova arma pericial. *Revista Perícia Federal (Associação dos Peritos Criminais Federais - APCF)*. 2013; 32:8-13.
3. Cerqueira CCS. Resultados preliminares do uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) na perícia criminal do estado de São Paulo. 2017. Anais do Congresso InterForensics (Conferência Internacional de Ciências Forenses).
4. Medeiros JADM, Patriota RC, Torres SM. Proposta de uso de drones na realização de perícias em patrimônio histórico: abordagem experimental nas ruínas da primeira fábrica de cimento Portland da América Latina. *Revista Brasileira de Ciências Políticas*. 2017; 8 (2):205-221.
5. Trindade CA, Nunes JCS. Influência do uso de pontos de controle de campo na melhoria da acurácia dos dados coletados por meio de VANT nas perícias ambientais. *Revista Brasileira de Criminalística*. 2018; 7(1):17-20.
6. Cotomácio AC, Lima BL. O uso de drone de baixo custo em aerofotogrametria e sua aplicação na perícia ambiental criminal. *Brazilian Journal of Forensic Sciences, Medical Law and Bioethics*. 2020; 9(4):459-476.
7. McGee P. How the commercial drone market became big business. *Financial Times*. 2019. [acesso em 24 de maio de 2022]. Disponível em: <https://www.ft.com/content/cbd0d81a-0d40-11ea-bb52-34c8d9dc6d84>. Dados compilados por ‘Goldman Sachs. Drones: Reporting for work. [acesso em 24 de maio de 2022]. Disponível em: <https://www.goldmansachs.com/insights/technology-driving-innovation/drones/>.
8. Filho JLB. Aeronaves não tripuláveis no Brasil e sua regulação. *Revista Brasileira de Direito Aeronáutico e Espacial*. 2014; 49-51.
9. ICA 100-40. Aeronaves não tripuladas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro. Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). Portaria número 112. 2020.
10. MCA 56-4. Aeronaves não tripuladas para uso exclusivo em proveito dos órgãos de segurança pública, da defesa civil e de fiscalização da receita federal. Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). Portaria número 111. 2020.
11. RBAC E-94. Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial de número 94. 2021.
12. Ramos D, Figueiredo T. Tragédia anunciada. *Revista Perícia Federal (Associação dos Peritos Criminais Federais - APCF)*. 2016; 37:20-27.
13. Ramos D. A gigante operação em Brumadinho. *Revista Perícia Federal (Associação dos Peritos Criminais Federais - APCF)*. 2019; 43:18-35.

14. Santos CA, Pellegrini IS, Silva RM, Caligiome SM. Descrição dos desastres em Mariana e Brumadinho sob o olhar da perícia criminal: uma revisão sistemática. *Brazilian Journal of Forensic Sciences, Medical Law and Bioethics*. 2021; 10(3):350-375.
15. Pavanelli DD, Domingues DF, Hurtado SN. Cálculo de volume mineral extraído de cava aberta de mineração por meio de imageamento por aeronave remotamente pilotada (RPA): um estudo de caso. *Revista Perícia Federal (Associação dos Peritos Criminais Federais – APCF)*. 2018; 42:34-37.
16. Silva CA, Duarte CR, Souto MVS, Santos ALS, Amaro VE, Bicho CP, et al. Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS e LiDAR. *Boletim de Ciências Geodésicas*. 2016; 22 (1):73-94.
17. Bezerra AC, Domingues DF, Pavanelli DD, Albuquerque MMP, Hoch PG, Alves RAL, et al. Aplicação da análise de equivalência de habitat (HEA) na valoração do dano interino em áreas desmatadas de mata atlântica no estado de São Paulo. *Revista Perícia Federal (Associação dos Peritos Criminais Federais – APCF)*. 2020; 45:20-25.
18. Júnior CMM, Junior FE, Silva LS, Nepomuceno AA. Geração de mapas de danos de fachadas de edifícios por processamento digital de imagens capturadas por Vant e uso de fotogrametria digital. *Revista Ambiente Construído*. 2018; 18(3):211-226.
19. Megda OR, Masiero E. Análise das Ilhas de Calor urbano sobre zonas climáticas locais com o uso de VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado – em uma cidade média. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*. 2021; 13:e20200333.
20. Paz OLS, Vikou SVP, Pilatti DM, Oliveira M, Paula EV. Análise da eficiência do uso de aeronaves remotamente pilotadas no mapeamento de solo exposto em manguezais urbanos. *Revista Sociedade & Natureza*. 2021; 33:e59568.
21. Amaral AKN, Souza CA, Momoli RS, Cherem LFS. Use of unmanned aerial vehicle to calculate soil loss. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 2021. 51: e69942.
22. Graça NLSS, Mitishita EA, Gonçalves JE. Use of UAV platform as an autonomous tool for estimating expansion on invaded agricultural land. *Bulletin of Geodetic Sciences*. 2017; 23(3):509-519.

