

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/332911581>

DRONES E CIÊNCIA Teoria e aplicações metodológicas

Book · May 2019

CITATIONS

0

2 authors, including:



Fábio Marcelo Breunig

Universidade Federal de Santa Maria

116 PUBLICATIONS 397 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



CONESAT – Monitoring the CONESUL using remote sensing data [View project](#)



Discriminação de espécies nativas e caracterização do dossel de florestas subtropicais com imagens de alta resolução espacial [View project](#)

Gonzalo Prudkin
Fábio M. Breunig
(Organizadores)

DRONES E CIÊNCIA

Teoria e aplicações metodológicas
Volume I



GONZALO PRUDKIN

FÁBIO M. BREUNIG

(Organizadores)

DRONES E CIÊNCIA

Teoria e aplicações metodológicas

Volume I

Santa Maria

FACOS-UFSM

2019

D786 Drones e ciência [recurso eletrônico] : teoria e aplicações metodológicas / Gonzalo Prudkin, Fábio Marcelo Breunig (organizadores). – Santa Maria, RS : FACOS-UFSM, 2019.
1 e-book (v. 1) : il.

1. Drones – Ciência 2. Drones - Metodologia
I. Prudkin, Gonzalo II. Breunig, Fábio Marcelo

CDU 629.7 ISBN 978-85-8384-077-0

Ficha catalográfica elaborada por Alenir Goularte - CRB-10/990
Biblioteca Central - UFSM

Este trabalho está licenciado sob a Licença Pública Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional *Creative Commons*. Para visualizar uma cópia desta licença, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/> ou mande uma carta para Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.



Índice

Introdução - Fábio M. Breunig; Gonzalo Prudkin_____	5
Capítulo 1- Gonzalo Prudkin_____	9
<i>Drones: su origen y aplicación en el periodismo contemporáneo para generación de contenidos en 3D</i>	
Capítulo 2- Caroline Bussoloto de Brum; Milene Mauricio; Rodrigo Olhiara da Silva; Yuri Bastos_	
_____	28
<i>Uso dos drones nos procedimentos civis e criminais no Brasil: considerações sob a ótica dos direitos fundamentais</i>	
Capítulo 3-Taís Correia Leite_____	38
<i>Integração de levantamento fotogramétrico aéreo com o uso de Vant e levantamento fotogramétrico terrestre para o mapeamento tridimensional das ruínas de São Miguel das Missões</i>	
Capítulo 4- Manuella A. Rodrigues Fagundes; Andrea Lopes Iescheck_____	59
<i>Uso de VANT na cartografia: geração de base cartográfica tridimensional</i>	
Capítulo 5- Rorai Pereira Martins Neto; Fábio Marcelo Breunig_____	68
<i>Drones nas ciências florestais</i>	
Capítulo 6- Fábio Marcelo Breunig; Lênio Soares Galvão; Rorai Pereira Martins Neto_____	91
<i>Drones na agricultura de precisão</i>	
Capítulo 7- Vandoir Bourscheidt_____	111
<i>Uso de VANTs para Estudos Ambientais em áreas urbanas: aplicações atuais e perspectivas</i>	

INTRODUÇÃO: CONCEITOS GERAIS E APRESENTAÇÃO

GONZALO PRUDKIN¹

FÁBIO MARCELO BREUNIG²

A mobilidade e facilidade de acesso têm se ancorado o uso dos veículos Aéreos Não-Tripulados (VANTs), também conhecidos como Aeronaves Remotamente Pilotadas ou, popularmente, *drones*, boa parte utilizando motores elétricos.

A terminologia para identificar os *drones* varia bastante na literatura. No idioma Inglês, por exemplo, é comum se deparar com a nomenclatura *Remotely Piloted Aircraft* (RPA), *Remotely Piloted Aerial Systems* (RPAS), *Unmanned Aerial Vehicles* (UAVs), ou mais popularmente “*drones*” (COLOMINA; MOLINA, 2014; PAJARES, 2015). Nesse conjunto de capítulos usaremos o termo *drone*, cientes das distintas acepções para designar esses veículos.

Os *drones* têm sido utilizados em diversos conflitos bélicos na última década (, SHERMAN, 2005; BENJAMIN, 2012; REYMOND; 2012; NEOCLEOUS, 2013; SCAHILL, 2013; SHANE, 2015) ou a “operações robóticas militares” (HOLMQVIST, 2013; CHAMAYOU, 2013), remontando a sua origem. Contudo, podemos afirmar que atualmente os *drones* têm atravessado o umbral do campo de batalha (CULVER, 2016) para passar a ser incluídos nas mais diversas aplicações civis e científicas. A plataforma *drone* tem suas aplicações ampliadas quando acoplado a sistemas de imageamento de alta qualidade (fotografias ou videografias). Nesse sentido, sua versatilidade de voo (seja asa fixa ou com rotores) é um dos maiores atrativos para as distintas aplicações (LAFAY, 2015; MCGRIFFY, 2016).

Mesmo com um grande número de livros publicados internacionalmente nos últimos anos versando sobre os *drones* (AARON, 2016; AUDRONIS, 2014; BOTTON, 2016; CASAGRANDE; SIK; SZABÓ, 2017; CHAMAYOU, 2014, 2013; CHOMSKY; VLTCHKEK, 2013; CUSTERS, 2016; DALE DOUGHERTY, 2014; GUTTMAN, 2017; HODGKINSON; JOHNSTON, 2018; JON WHITE, 2018; KILBY; KILBY, 2015; KRISHNA, 2016, 2018; MASTERS, 2012; MCGRIFFY, 2016; SMITH, 2016, 2018, 2015; STRAWSER, 2014; TORO; TSOURDOS, 2018; WHITTLE, 2014), poucas são a publicações de livros no Brasil e em português (CASTILHO, 2019; DOUGHERTY, 2018). É um conteúdo que recebe atualizações quase diariamente, assim, o número de publicações em português devem ser ampliado em breve. Nesse sentido, ao organizar esse livro os

¹ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Departamento de Ciências das Comunicação, linha Sete de Setembro s/n, UFSM, Frederico Westphalen/RS, CEP 98400-000, Brasil. E-mail: fabiobreunig@gmail.com

² Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Departamento de Engenharia Florestal, linha Sete de Setembro s/n, UFSM, Frederico Westphalen/RS, CEP 98400-000, Brasil. E-mail: gprudkin@gmail.com

autores apresentam algumas aplicações típicas no contexto brasileiro. Com um viés e caráter multidisciplinar, a obra de divulgação busca apresentar de forma prática e didática/científica os temas que envolvem os *drones*.

Fundamentalmente, os assuntos versam sobre teoria, métodos e técnicas rotineiramente utilizadas pela comunidade científica, mas que contraditoriamente, carecem de material pertinente sobre o assunto em português e em castelhano.

O conteúdo desta coletânea de artigos contempla desde a parte técnica e origem dos *drones*, até as aplicações nas ciências sociais aplicadas, agrárias e geociências. A obra está longe de abordar de forma exaustiva todo potencial dos *drones* e dos sistemas de processamento, ou mesmo abordar questões de engenharia do equipamento e das câmeras. Ainda deixamos claro que campos como os algoritmos de processamento (*Structure from Motion - SfM*), visão de primeira pessoa (*First Person Vision - FPV*) e entretenimento (*games* e aeromodelismo) não são abordados. Isso mostra que existe um enorme campo a ser explorado em futuras publicações.

No campo das ciências sociais aplicadas a imagem é o produto final. Dessa forma, áreas do campo do jornalismo, direito, comunicação, artes visuais, dentre outras, podem usufruir com a perspectiva aérea dos *drones*. No **capítulo 1** busca-se analisar a origem do *drone* e apresentar seu uso possível no jornalismo contemporâneo para produzir imagens virtuais em 3D. No **capítulo 2**, a partir de considerar a legislação vigente que regula o funcionamento dos *drones* no Brasil, produtos semelhantes podem ser utilizados para amparar processos no âmbito do direito. Conforme é explorado no **capítulo 3** e no **capítulo 4** a integração de dados de *drones* é explorada no âmbito da engenharia cartográfica para elaborar um mapeamento tridimensional tanto de ruínas como de estruturas. No **capítulo 5** o potencial dos imageamentos feitos a partir de *drones* é explorado para a elaboração de bases cartográficas para as ciências agrárias. Considerada uma das áreas com maior potencial de aplicação dos *drones*, o contexto da ciência florestal é explorada. Os autores mostram alguns usos, como a exploração de nuvens de pontos (*dense cloud*) para a modelagem de parâmetros de florestais comerciais e nativas. Na sequência, no **capítulo 6**, os autores exploram os potenciais usos na agricultura de precisão bem como as limitações e desafios associados a esses produtos. Ademais, no mesmo capítulo, conceitos de sensoriamento remoto são apresentados para fomentar a interpretação das imagens adquiridas a partir de *drones*. Entrando no campo das geociências, no **capítulo 7**, são exploradas algumas questões relacionadas ao uso de *drones* em áreas urbanas. Assim, alguns conceitos, sensores e aplicações são exploradas num contexto de popularização das cidades inteligentes (*smart cities*).

Ao combinar organizadores de campos científicos distintos (ciências sócias e puras), os autores esperam ter encontrado uma forma simples, clara e correta de mostrar aos leitores os potenciais, limitações e desafios associados aos *drones*. Espera-se que os leitores usufruam do material que será distribuído gratuitamente e, oportunamente, será atualizado e complementado com novas aplicações/capítulos.

Referências

Aaron, A. **Drones The Complete Manual. The essential handbook for drone enthusiasts.** [s.l.:

s.n.].

Audronis, T. **Building Multicopter Video Drones: Build and fly multicopter drones to gather breathtaking video footage.** [s.l: s.n.].

Benjamin, Medea. **Drone Warfare.** New York: OR Books, 2012.

Botton, F. **Les drones de loisir.** [s.l: s.n.].

Casagrande, G.; SIK, A.; SZABÓ, G. **Small flying drones: Applications for geographic observation.** [s.l: s.n.].

Castilho, J.R.F. **Legislação De Aerolevanteamento e Drones.** [s.l.] : Pillares, 2019.

Chamayou, G. **A Theory of the Drone.** [s.l: s.n.].

Chamayou, G. **Théorie du drone.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.amazon.fr/Théorie-du-drone-Grégoire-Chamayou/dp/235872047X/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1373544620&sr=8-1&keywords=théorie+du+drone>

Chomsky, N.; VLTCHEK, A. **On Western Terrorism: From Hiroshima to Drone Warfare.** [s.l: s.n.].

Colomina, I.; MOLINA, P. **Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review.** ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, [s. l.], v. 92, p. 79–97, 2014.

Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924271614000501>>

Culver, K. **From Battlefield to Newsroom: Ethical Implications of Drone Technology in Journalism.** Journal of Mass Media Ethics, v. 29 (1), pp. 52-64, 2014. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08900523.2013.829679> . : 16 ago. 2016.

Custers, B. **The Future of Drone Use: Opportunities and threats from ethical and legal perspective.** [s.l: s.n.]. v. 27

Dougherty, D. **Homegrown Drones.** [s.l.] : Make, 2014.

Dougherty, M.. **Drones - Guia Das Aeronaves Não Tribuladas Que Estão Tomando Conta De Nossos Céus.** [s.l.] : M. Books, 2018.

Guttman, C. **The Handbook of Drone Photography: A Complete Guide to the New Art of Do-It-Yourself Aerial Photography.** [s.l: s.n.].

Hodgkinson, D.; Johnston, R. **Aviation Law and Drones: Unmanned Aircraft and the Future of Aviation.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://books.google.es/books?id=oe5aDwAAQBAJ>>

Holmqvist, C. **Undoing War: War Ontologies and the Materiality of Drone Warfare.** Millennium. Journal of International Studies, v. 41 (3), pp. 535-552, 2013. Disponível em: <http://mil.sagepub.com/content/early/2013/04/30/0305829813483350>. Acesso em: 11 mai. 2015.

Kilby, T.; Kilby, B. **Getting Started with Drones: Build and Customize Your Own Quadcopter.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://books.google.com/books?id=ANKqCgAAQBAJ&pgis=1>>

Krishna, K. R. **Push button agriculture : robotics, drones, satellite-guided soil and crop management.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.crcpress.com/Push-Button-Agriculture-Robotics-Drones-Satellite-Guided-Soil-and-Crop/Krishna/p/book/9781771883047>>

_____. **Agricultural drones, a peaceful pursuit.** [s.l: s.n.]. v. 34 Disponível em: <<https://b-ok.cc/book/2946357/095812>>

Lafay, M. **Drones for Dummies.** [s.l: s.n.]. Disponível em:

<<https://books.google.com/books?id=yIbKCQAAQBAJ&pgis=1>>. Acesso em: 21 out. 2017.

Masters, N. R.. **Drone Pilot.** 21st Centu ed. [s.l.] : Cool Military Careers, 2012.

Mcgriffy, D. **Make: drones : teach an Arduino to fly.** San Francisco, CA: MakerMedia, 2016.

Neocleous, M. **The Dream of Pacification: Air Power as Police Power**. In Conferencia realizada ante la Universidad de Carleton, Organizado por el *Departament de Law & Legal Studies of Carleton University*, Ottawa, Canadá, marzo de 2013.

Pajares, G. **Overview and Current Status of Remote Sensing Applications Based on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)**. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, [s. l.], v. 81, n. 4, p. 281–330, 2015. Disponível em: <<http://openurl.ingenta.com/content/xref?genre=article&issn=0099-1112&volume=81&issue=4&spage=281>>

Reymond, M. **The United States and its lethal drone policy in Pakistan/Afghanistan: Targeted Killings Polemics**. Ed. GRIN Verlag, 2012. Sherman, J. **The Drone Wars**. *Bulletin of the Atomic Scientists*, Vol. 61, No.5, pp. 28-37, 2005. Disponível em:

<http://bos.sagepub.com/content/61/5/28.full>, Acesso em: 12 nov. 2015.

Scahill, J. **Dirty Wars: the world is a battlefield**. New York: Nation Books, 2013.

Shane, S. **Objective Troy: A Terrorist, a President, and the Rise of the Drone**. New York: Tim Duggan Books, 2015.

Smith, C. **The photographer's guide to drones**. [s.l: s.n.].

_____. **Drones: Piloter, photographier, filmer**. [s.l: s.n.].

Smith, M. **Quadcopters and Drones: A Beginner's Guide to Successfully Flying and Choosing the Right Drone**. [s.l: s.n.].

Strawser, B. J. **Opposing Perspectives On The Drone Debate**. [s.l: s.n.].

Toro, F. G.; Tsourdos, A. **UAV or Drones for Remote Sensing Applications**. [s.l: s.n.].

White, J. **The drones book**. London: Future, 2018.

Whittle, R. **Predator: The Secret Origins of the Drone Revolution**. [s.l: s.n.].

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (processos 309030/2017-0 e 113769/2018-0), e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), projeto Edital 04/2016 - Programa de Nucleação de Grupos de Pesquisa (Processamento de Imagens aplicado a Agricultura de Precisão utilizando Sistemas Embarcados em Veículos Autônomos Não-Tripulado).

CAPÍTULO 1

DRONES: SU ORIGEN Y APLICACIÓN EN EL PERIODISMO CONTEMPORÁNEO PARA GENERACIÓN DE CONTENIDOS EN 3D

GONZALO PRUDKIN³

“The power of a drone to kill can be monstrous. The viewpoint from a drone’s camera flying over us can be awe-inspiring .

Adam Rothstein en “Drone” (2015)

Es factible argumentar que el foco de concentración de los estudios contemporáneos en relación al periodismo *drone* orbita en torno a dos grandes ejes de concentración. El primero de ellos, se focalizaría en distinguir el advenimiento de “prácticas distintivas” que son llevadas a cabo por periodistas y fotoperiodistas gracias a la utilización del *drone*. Dichas prácticas ponen atención en su capacidad de permitir generar fotografías y filmación de video en alta definición, enriqueciendo la producción de la narrativa visual periodística por medio de tomas aéreas (MARSHALL, 2013; DUCHARME, 2016). Las mismas se llevan a cabo aplicando diversos planos de filmación operados remotamente a distancia. También, en esta fase, puede citarse su empleo para desenvolver un periodismo de investigación a partir de la aplicación de técnicas y métodos de rigurosidad científica para recolectar información o datos (WAITE, 2015; KRAIMER, 2014).

Por otro lado, se identifica un vasto caudal de estudios sobre *drone* y periodismo cuyo eje temático refiere a cuestiones de índole legal, ética y de regulación en su operación (THOMPSON, 2013; JARVIS, 2014; FOSTER, 2014; ANDREJEVIC y BURDON, 2015; BBVA *Innovation Center*, 2015; SIMÕES et al., 2016).

Sin embargo, poco se sabe acerca del origen y evolución de la tecnología de *drones*. Además, suele también ser desconocida, entre los periodistas, una otra posible aplicación que la tecnología *drone* puede ofrecer para crear contenidos periodísticos y presentarlos ante las audiencias.

Partiendo de tales consideraciones, este capítulo tiene como objetivo principal trazar el origen del *drone* y presentar otra función para ser aplicado en el periodismo actual. Nos estamos refiriendo a la producción de contenidos virtuales en 3D. Por animación 3D se entiende el proceso de diseño y modelización de imágenes realizadas en la computadora por medio de programas especiales (*softwares*) que permiten generar una proyección visual en dos dimensiones.

Por lo tanto, este capítulo busca comprender cuál es el aporte que esta tecnología está ofreciendo para generar y enriquecer narrativas periodísticas. Dicha capacidad viene a

³ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Departamento de Ciências das Comunicação, linha Sete de Setembro s/n, UFSM, Frederico Westphalen/RS, CEP 98400-000, Brasil.

complementarse con la conocida función de producir filmación y fotografía aérea efectuada a partir de una “vista en primera persona” (*first-person view*). Esta última acción supone la función de una cámara que transmite al operador, de manera inalámbrica, una visualización del entorno de vuelo del *drone*. Dicha transmisión, en tiempo real, puede ser visualizada por el piloto del *drone* a través de una pantalla o un *headset*⁴.

Actualmente, ciertos estudios aluden al *drone* como una novedosa herramienta tecnológica para realizar funciones del saber-hacer periodístico (CORCORAN, 2014; FREER, 2014; KREIMER y WAITE, 2014). Como fue mencionado antes, se identifica, en general, una visión hacia el *drone* como una tecnología que se aplica a procesos de producción y práctica periodística (MILLS, 2016), ya sea para obtener fotos, vídeos, verificación de datos (MARSHALL, 2013) y cobertura en vivo de una noticia de último momento (GIBB, 2011; PACHALI, 2014).

Asimismo, se considera que el *drone* representa una herramienta generadora de dinámicas de producción emergentes (CULVER, 2016). Fundamentalmente, el periodismo *drone* facilitaría y enriquecería la captación de acontecimientos a través de imágenes aéreas en Alta Definición (HD) (POSTEMA, 2015), particularmente en situación de riesgo o en contextos sociales y ambientales adversos para llevar a cabo su ejecución (GOLDBERG, CORCORAN y PICARD, 2013; PASE y GOSS, 2013; HADDOU, 2014; FRENCH, 2016; OSTERREICHER, 2016; PENHAUL, 2016).

A todas estas aplicaciones mencionadas del *drone*, efectuadas en el ámbito periodístico, las denominaremos de “básicas”. Pues hoy en día, existe, concretamente, otra funcionalidad más “sofisticada” que tiene que ver con la generación de productos informativos inmersivos para la audiencia. Los mismos, son creados mediante la aplicación de técnicas de fotogrametría, uso de sensores y composición de modelos tridimensionales -3D- (DA SILVA et. al, 2014; SCHROYER, 2016).

Tal capacidad viene siendo aplicada con fines de modelización y recreación virtual de escenarios de la vida real, de espacios o estructuras físicas lo cual contribuye a generar el denominado periodismo inmersivo (D’ANASTASIO, 2013; DOMÍNGUEZ, 2013). Por periodismo inmersivo, se entiende la emergencia de nuevos modos de construcción de lenguajes y narrativas periodísticas digitales de carácter híbrido, que reúnen, en un mismo contenido, elementos del *videogame*, del entretenimiento y de la reportaje noticiosa (DE LA PEÑA, 2015; DA ROCHA, 2016). No obstante, su principal diferencia, en relación a un *videogame* tradicional, radica en el hecho de que las imágenes digitales y los personajes son criados a partir de modelos reales. El sonido es grabado en el local de los acontecimientos y el espectador se mueve entre los espacios recreados por medio de técnicas de modelación, animación e simulación computacional de gráficos en 3D⁵.

⁴ *Virtual Reality Headset* es un *Head Up Display* (sigla HUD en idioma inglés). Esto significa que es un instrumento inicialmente desarrollado para ser usado en aviones de combate con la intención de ofrecer informaciones visuales al piloto sin que este tenga que desviar sus ojos de su objetivo en la frente de la aeronave. Esas lentes especiales, acoplado a un celular inteligente, por ejemplo, crean una substitución convincente del entorno del usuario por medio de la realidad virtual, con la finalidad de incluirse en una escena de la película, o *videogame* o contenido pre-grabado, a partir de una cámara de captura de imagen 360°. La realidad virtual en 360° simula un determinado entorno, ofreciendo al usuario la “libertad” de observar alrededor como se fuese un acto de percepción habitual de la realidad física.

⁵ En complemento a la definición anterior, de acuerdo con Dominguez (2013), el periodismo inmersivo es una fórmula narrativa que busca conseguir la inmersión en el relato de no ficción, utilizando técnicas visuales interactivas, otorgando al usuario la experiencia sensorial de estar en el lugar de los acontecimientos.

Sea para efectuar reportajes multimedia (DUCCHARME, 2016) o contenidos periodísticos inmersivos, entendidos como fórmulas narrativas propias del soporte digital, como fue apuntado anteriormente, los *drones* periodísticos pueden ser equipados con otras tecnologías para hacer posible tales producciones. Las denominadas tecnologías “emergentes” que pueden ser acopladas al *drone* son las que se destacan a seguir en el cuadro 1.

Sensores	Son objetos capaces de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, las cuales son transformadas en variables eléctricas. As variables de instrumentación pueden ser: intensidad luminosa, temperatura, distancia, aceleración, inclinación, presión atmosférica, fuerza, torsión, humedad, movimiento, pH, entre otras ⁶ . Por ejemplo, CBS News, de los Estados Unidos, combinó la utilización de un <i>drone</i> con un sensor de radiación (contador <i>Geiger</i>), para efectuar un reportaje periodístico. Sobrevolando las ruinas de la usina de Chernobyl, en Ucrania, el <i>drone</i> fue usado para capturar imágenes y para medir los niveles actuales de radiación, los cuales vienen siendo emanados desde el accidente en 1986.
Cámaras multiespectrales	Las cámaras multiespectrales o térmicas permiten monitorear los pequeños cambios en la radiación visible e infrarroja. Por lo tanto, una imagen espectral es aquella que reproduce la figura de un objeto en función de la longitud de onda que esta refleja (o emite) del objeto en cuestión. Al disponer de una cámara fotográfica con una buena lente instalada en un <i>drone</i> , es posible conocer los efectos atmosféricos que se pueden producir. Las cámaras multiespectrales pueden ser de utilidad para realizar reportajes cuyo tema central refiere al medio ambiente (Ejemplo: contaminación de ríos y cursos de agua).

Cuadro 1: Fuente propia, 2019.

En complementación a lo anterior, equipado con cámaras especiales, los *drones* pueden obtener, procesar y medir grandes volúmenes de datos, a partir del uso de las siguientes técnicas fotográficas y visuales, de acuerdo se expone en el cuadro 2.

Fotogrametría	Permite llevar a cabo la medición de las distancias y de las dimensiones reales de los objetos por medio de la fotografía. Se considera como la ciencia, técnica y arte para extraer fotografías métricas, la forma y la posición de los objetos contenidos en ella.
Ortomosaico digital	Se refiere a la técnica de obtención de un conjunto de fotos e imágenes digitales de escala aproximada de la superficie, de una determinada región o de un determinado espacio, que, luego procesada y montada por medio de un <i>software</i> , brinda la impresión de que todo el conjunto de imágenes es una única fotografía.

Cuadro 2: Fuente propia, 2019.

⁶ Cfr. en <https://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>

Por otro lado, la intención de analizar el origen del *drone* busca efectuar una revisión conceptual al considerar que es excesivo y desproporcionado afirmar que este representa una innovación tecnológica *per se* para captación de imagen aérea. El *drone* “de hoy” no es ni refiere a una tecnología “nueva”. Por el contrario, el ideal de construir y volar Aeronaves no Tripuladas y operadas de manera remota, es decir a distancia, es una idealización y concepción antigua tanto teórica como cuento práctica (ROTHSTEIN, 2015).

A continuación se presentará, brevemente, algunos antecedentes documentados sobre el origen de los *drones* o también llamadas Aeronaves no Tripuladas. Seguidamente, se demostrará la potencialidad de la conformación de modelos tridimensionales generados a partir del uso combinado de *drones* y *softwares* para enriquecimiento de la narrativa periodística.

Sobre el origen del *drone*: antecedentes históricos

No hay como negar, que preferentemente los *drones* de pequeño porte, aquellos que vemos a diario circular por el espacio aéreo de áreas urbanas o suburbanas, refieren a una tecnología de última generación. Los mismos, se encuentran constituidos por un complejo conjunto de piezas que integra materiales de ingeniería, de mecánica, de electrónica de radio frecuencia y de aerodinámica.

No obstante, existen prototipos técnicos y experiencias previas de tentativas de vuelo con Vehículos Aéreos no Tripulados que anteceden a los *drones* que podemos conocer hoy día. Tal es el caso del invento del filósofo y matemático griego Arquitas de Tarento (*Archytas de Tarentum* - 428 a.C.-347 a.C), que es anterior al año cero de nuestra era. Se estima que es el creador del primer dispositivo de vuelo autopropulsado conocido como “la paloma que vuela a vapor de Arquitas” (*the Vapor flying pigeon of Archytas*). Llamado también como “la primera máquina volátil de la antigüedad”, el invento, construido de madera y presentando una estructura aerodinámica muy similar a la estructura de un pájaro con alas, disponía en la parte inferior una cavidad hueca y cilíndrica de bronce. En su interior funcionaba una pequeña caldera que al generar vapor ejercía presión hasta llegar a tomar propulsión y volar algunos metros de distancia (ver Figura 1.)



Figura 1. Réplica de la “paloma que vuela de Arquitas”. Museum of Ancient Greek Technology, Grecia. Fuente imagen: Nicholas Mastoras, <http://www.greece-is.com>

Paralelamente, y en el caso específico del periodismo, durante el siglo XIX, de acuerdo con Garamone (2002) y Díaz Duhalde (2014), tanto militares, corresponsales y fotógrafos intrépidos ascendían a los cielos usando globos aerostáticos (Ver Figura 2), para la cobertura de la Guerra Civil Norteamericana (1861-1865) y de la Guerra de la Triple Alianza (1864-1870) como forma de observación para tomas fotográficas y control militar del avance de las tropas enemigas, respectivamente.

Ya entrado el siglo XX, más precisamente en 1906, el fotógrafo estadounidense George R. Lawrence realizó vuelos fotográficos de hasta 600 metros de altitud (Ver Figura 3), mediante el uso del globos aerostático para fotografiar la bahía de la ciudad de San Francisco (California, Estados Unidos), en ruinas, por causa de un terremoto.

Aunque no existen evidencias de un uso netamente periodístico, no deja de llamar nuestra atención lo que podemos considerar como uno de los tantos procesos de automatización de las formas de ver y de extender la visión humana en el marco de una cultura visual, combinando la tecnología de creación de imágenes con la locomoción aérea. Tal es el caso, en 1907, en el cual sobresale la obtención de “fotografías aéreas con palomas” (*Pigeon photography*) (Ver Figura 4), una técnica idealizada por el inventor Germánico Julius Neubronner (1852-1932

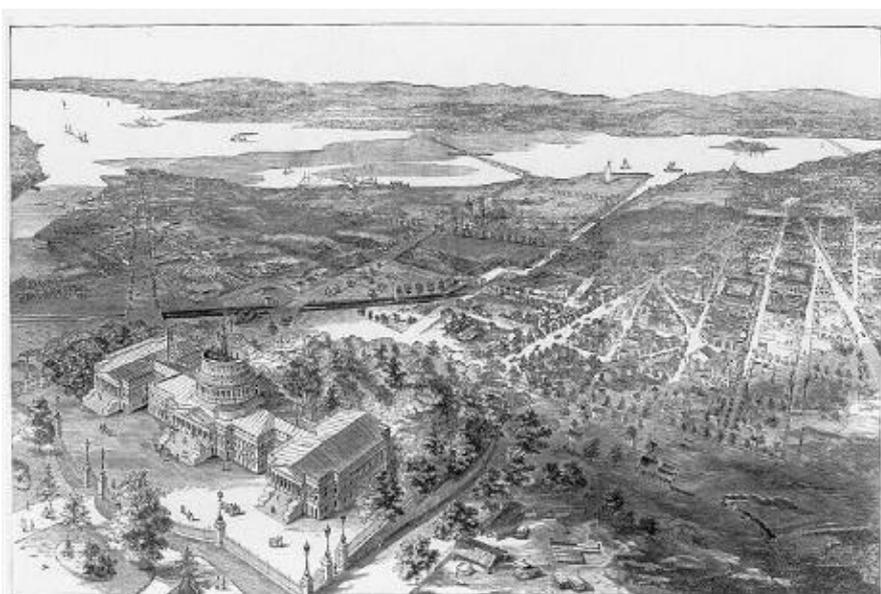


Figura 2: Visión Aérea de Washington, D.C. de siglo XIX captada desde un globo aerostático de la Guerra Civil Norteamericana y plasmada en un dibujo. Fuente: *Library of Congress Prints and Photographs Division*.



Figura 3: "San Francisco en Ruinas" a las seis semanas del terremoto. G. Lawrence, 1906

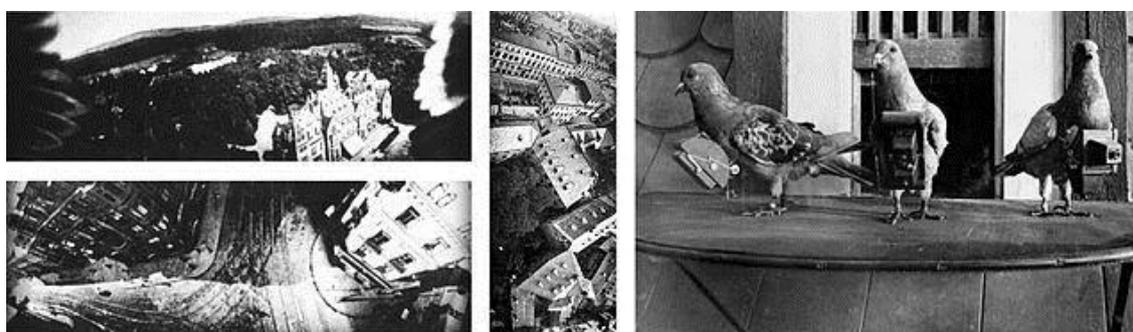


Figura 4: Pigeon photography, 1907. Izq: imágenes aéreas capturadas con dicha técnica, nótese fotografiada parte del ala en la imagen superior. Der.: Palomas con sus cámaras montadas listas para volar. Fuente: <https://publicdomainreview.org/>

Continuando con esta cronología, Castro (2013) destaca que, desde inicios del siglo XX hasta la actualidad, la sensación de volar a través de un avión es central para lograr generar una vista aérea amplia. Pero, así mismo, destaca, acontece un disfrute exacerbado el cual es experimentado al observar y descubrir el espacio terrestre circundante desde un punto de vista inusual. La captación de imágenes aéreas a través de la filmación cinematográfica mediante el uso de aviones, señala, ha cambiado radicalmente nuestra percepción del espacio-tiempo y nuestros modos de visión. Por medio de la captura de planos verticales, se genera un extraño tipo de efecto visual. Una especie de fusión única de visión macroscópica y observación microscópica” (CASTRO, 2013), lo cual establece un efecto óptico “maravilloso”. Dicho efecto, se relaciona con el poder contemplar el mundo desde arriba, generando una expansión sin precedentes del campo de visión humana.

Es en este contexto, justamente, el uso del *drone* se suma contribuyendo a consolidar una cultura visual (DORRIA y POUSIN, 2013), la cual se viene constituyendo desde hace siglos. De esta forma, el *drone* actual es una tecnología que continúa a desarrollar un “impulso panorámico”, extendiendo el campo de la visión humana, sorprendiéndonos con sus posibilidades y potencialidades técnicas. Pues permite, en especial a los periodistas, experimentar maneras de contar historias mediante el uso de narrativas, enriqueciéndolas (Ver Figura 5), filmando a modo de contar con una “grúa infinita”, flotando en el aire para filmar y fotografiar a diversa altitud.

Ahora bien, en relación al origen de los Vehículos Aéreos no Tripulados (VANTs) Rothstein (2015) sostiene que el *drone* actual/ moderno se destaca por referir a una “tecnología de punta” (*cutting-edge technology*) tanto en el ámbito militar cuanto civil. Para el autor, el *drone* fue, históricamente desde sus albores, proyectado y desarrollado para actuar en el campo de batalla, contando con una evolución que se remite a más de 100 años de antigüedad (Opus Cit, 2015, p.50).

En el interesante estudio titulado “*The mother of all drones*”, producido por la *Vintage Wings of Canadá*, se argumenta que a inicios del siglo XX, especialmente en concordancia con el desencadenamiento de la Primera Guerra Mundial (1914-1918), se aceleró el desarrollo de nuevas armas, de sistemas de entrenamiento, de tácticas, de sistemas antiaéreos, y claro también, el resurgimiento de sistemas de armamento no tripulados. En esa época, una de las primeras aeronaves no tripuladas con que se experimentó recibió el nombre de “*Kattering Bug*” (ver Figura 5), la cual fue ideada por el ejército de los Estados Unidos para volar como un misil. A pesar de que nunca llegó a ser usada, era básicamente un “torpedo aéreo” con formato de biplano, capaz de volar sin ser tripulado hasta 120 kilómetros de distancia desde su punto de lanzamiento para destruir blancos terrestres.

Otro caso singular de sistemas de armamento no tripulado, aconteció años más tarde en momento de pos-guerra, cuando en 1925 la Real Fuerza Aérea británica, en conjunto con la Armada de ese país, creó el primer misil crucero conocido como “*RAE Larynx*”(ver Figura 6) pensado para destruir tanques enemigos. Básicamente, poseían un formato de avión moderno para la época, el cual prescindía de un piloto³.



Figura 5. “*The Kattering bug*”. Fuente: Ejército de los EE.UU

³ El mismo era lanzado por una catapulta desde la cubierta de un barco destructor de guerra. Durante el período de pruebas fueron lanzados solamente un total de siete de ellos, acabando por no ser producidos en serie.

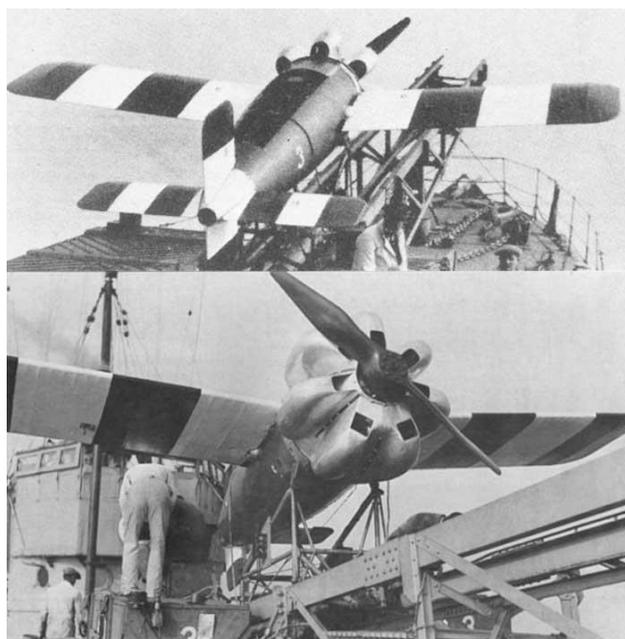


Figura 6. Vista doble del RAE Larynx. Fuente: AirWar.ru

Pero, los avances en cuanto a la construcción de una nave no tripulada y operada de manera remota a distancia con cierto éxito debieron esperar algunos años más tarde para verse concretizados. Como es posible advertir, hasta entonces los prototipos no presentaban nada más que un misil con formato de avión que volaba cierta cantidad de kilómetros, sin tripulación, para terminar por estrellarse, con escasa precisión, en algún blanco predeterminado. Hasta entonces, se carecía de una tecnología que permitiese ejecutar comandados de control remotos de las aeronaves.

En la década del '30, como producto de la necesidad de la *Royal Navy* de Inglaterra de crear un objetivo realista de artillería antiaérea para prácticas de entrenamiento antiaéreo, surgió lo que algunos denominan “la madre de todos los *drones*”: el *Havilland DH-82B Queen bee*. La aeronave podía ser operada remotamente por otro piloto o controlador sentado en una otra aeronave, o en un buque de guerra o desde un panel de control remoto en tierra (ver Figura 7). Asimismo era capaz de ser operado desde pistas o ser disparado desde catapultas (ver Figura 8). Inclusive podía ser reutilizado si terminaba por caer en el agua por contar con flotadores.

El *Queen bee* (“la Abeja reina”) es considerado “un antes” y “un después” en la construcción y generación de aeronaves no tripuladas, por ser el primer avión exitoso construido para volar sin piloto. Por cuenta de ello, hay quien considere que usar hoy en día el término “*drone*” para denominar popularmente a los UAV’s de “zánganos” -por cuenta que el “zumbido” de los motores se asimila al volar de un abejorro-, es erróneo. Posiblemente el vocablo “*drone*” remita al *Queen bee*, pues comenzó a figurar en documentos relacionados con el proyecto estadounidense de producción de aeronaves no tripuladas controladas a control remoto. Esto aconteció luego de que oficiales militares americanos, en los años '30 y '40, fueron influenciados a retomar sus prototipos después de ser convidados por sus pares ingleses a presenciar operaciones de entrenamiento con el *Queen bee*.

Independientemente de esta discusión conceptual, actualmente el *Havilland DH-82B* es pensado como el primer prototipo exitoso de su género de la historia⁴, siendo considerado de un alto padrón tecnológico en ese momento.



Figura 7. Un cabo de la Real Fuerza Aérea muestra los controles de un *Havilland DH-82B Queen Bee*, mientras un piloto oficial observa. Volar al *Queen Bee* a una altitud tan baja usando el panel de control requería una habilidad considerable. Fuente: Real Fuerza Aérea



Figura 8. Junio de 1941, el Primer Ministro Winston Churchill visitó un sitio de lanzamiento en la Weybourne anti-Aircraft Artillery Range en la costa de Norfolk. Atrás puede verse el *Queen Bee* L5894 preparado para ser lanzado desde una catapulta. Fuente: Imperial War Museum.

Aunque el surgimiento pleno de la “tecnología *drone*” que hoy día conocemos fue, desde su inicio, perpetrado y aplicado pela órbita castrense, principalmente por los Estados Unidos (*U.S. Air*

⁴ A tal punto que casi fueron fabricados 400 de ellos durante varios años.

Force; U.S. Army & Department of Defense et al., 2011; Congressional Budget Office & Department of Defense et al. 2012) y por las potencias militares europeas occidentales (Sherman, 2005), la percepción que se tenía de un *drone* militar en la década de '60 y '70 del siglo pasado, puede ser bastante diferente a la de hoy día. Es que acontece que la primera vez que un *drone* de esa característica acertó un objetivo con un misil recién sucedió en 1971, y de hecho aquellos *drones* no fueron bien sucedidos para “espíar” tomando fotografías con cámaras analógicas (ROTHSTEIN, 2015, p. 56).

Al presente, se percibe que su función como máquina y arma mortífera y de destrucción temible en conflictos bélicos, de espionaje en el plano militar y civil, son acciones criticables socialmente, por causar pérdidas humanas y de privacidad. Pero este uso despreciable ¿bastaría para que podamos entenderlo fehacientemente? Aunque el *drone* actual representa a una tecnología digital, cabe preguntar entonces: ¿Qué es un *drone*?

En un trabajo anterior, lo hemos definido, genéricamente, de la siguiente manera:

Por *drones* o Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV), consideramos todos aquellos dispositivos electrónicos equipados con motores, rotores, procesadores, sensores (movimiento, infrarrojo), cámaras fotográficas y captura de video en alta definición (HD), GPS, que desde el aire y manipulados a distancia permiten controlar, observar, fotografiar, filmar y verificar datos. (PRUDKIN, 2016, p. 8).

Sin embargo, y presentando una contundente frase al inicio de la introducción de su libro intitulado “*drone*”, Adam Rothstein (2015) posibilita inferir de antemano que no es una tarea sencilla definir un *drone*, al momento de afirmar que “we know what a drone is. But at the same time, we don’t”⁷ (ROTHSTEIN, p. 10). A modo de paráfrasis, es posible advertir que si bien para este autor el *drone* es un “object heavy, full of undiagnosed complications”⁸ (Opus. Cit, p. 11) no está renegando sobre falta de conocimiento social suficiente para saber describir en palabras qué representa un *drone* en el contexto de la cultura contemporánea. Por el contrario. De hecho, no se le escapa entender que seguramente habremos escuchado hablar en más de una oportunidad “cosas diferentes y contradictorias” acerca de él, ya fuera a su favor cómo herramienta tecnológica que puede favorecer al progreso social o ya sea en contra por su función potencialmente destructiva militarmente y hasta peligrosa por ser un objeto que puede dañar la integridad física, material y moral de una persona.

Para el autor lo único que existiría a nivel social es una cacofonía de narrativas diversas y divergentes, que operarían no solo sirviendo para entender cómo nosotros interactuamos y nos relacionamos con el *drone*, sino también para explicar en sí mismo nuestra relación particular (individual) e histórica (social) con las tecnologías en general.

A continuación, pasaremos a describir algunas características y potencialidades que hacen al uso del *drone* en el periodismo contemporáneo. Específicamente, nos concentraremos a describir el resultado de aplicar técnicas de modelización y procesamiento de imágenes para elaboración de contenidos digitales periodísticos en 3D a partir de la presentación de un caso.

⁷ “Sabemos lo que es un *drone*. Pero al mismo tiempo, no lo sabemos” (Traducción propia).

⁸ “Objeto complejo, lleno de complicaciones no diagnosticadas” (Traducción propia).

Drones y periodismo. Usos básicos, obtención de imágenes y recreación de espacios en 3D

Adentrándonos a pensar y reflexionar sobre la función actual del *drone* periodístico, autores como Tremayne e Clark (2013) explican que la potencialidad de *drone* radica en constituir una plataforma multifuncional y suplementar de la actividad periodística. Esto significa visualizarlo como un artefacto multimedia (POSTEMA, 2015), una computadora fluctuante (KREIMER, 2016) o, incluso también, como a un robot (ROTHSTEIN, 2015).

De acuerdo con Corcoran (2014) y Spiering (2013), una de las intenciones del campo periodístico al abrazar la llegada de los *drones* se relaciona con el cumplimiento de múltiples actividades relativas a rutinas, funciones y prácticas desempeñadas, habitualmente, durante el proceso de elaboración de información noticiosa (RIOPELLE y MUNIANDY, 2013).

Las organizaciones de prensa y los periodistas distinguen en la tecnología *drone*, un sistema de navegación aéreo sofisticado y versátil (WAITE, 2015) capaz de generar una “gramática visual” rica y diferente (PENHAUL, 2016), en comparación a las que efectúa, por ejemplo, un operador de cámara que opta por realizar, desde la superficie terrestre, tomas fotográficas o de filmación.

Kreimer (2016) agrega, asimismo, que los *drones* se constituyen, prácticamente, en “computadoras fluctuantes”. El autor opina que los *drones* de tipo multirrotor poseen una facilidad inigualable para realizar maniobras de rotación en el espacio aéreo de hasta 360°. Al mismo tiempo, adiciona, pueden también sobrevolar a baja y media altitud (entre 1,5 e 30 metros) al redor de objetos o a través del interior de una estructura física.

Según Futrell (2016), el *drone* posibilita desenvolver perspectivas y narrativas visuais relevantes y dinámicas inclusive “únicas”. Favorecida por la perspectiva visual del *drone* para la cobertura de un hecho noticioso, de acuerdo con Clark (2015) y Penhaul (2015) la aplicación del *drone* permite generar mayor profundidad y contexto periodístico. Ese se debe, al “mostrar”, ante los espectadores, lugares y experiencias que no serían capaces de ser accesibles de otra manera si no a través de la “visión” de esta tecnología. En ese sentido, Postema (2016) especifica que los *drones* pueden infiltrarse más fácilmente en escenarios destruidos cuando provocados por desastres naturales, donde los escombros o residuos, por ejemplo, obstruyen las vías de acceso al lugar del acontecimiento.

Sin embargo, ya Corcoran (2014), Haddou (2014), French (2015) y Osterreicher (2015) concuerdan que los *drones* colaboran en situaciones efectivas de riesgo. Según estos autores, los corresponsales de guerra pueden “incluirse” en situaciones de conflicto resguardando su integridad física. O, además, realizar una cobertura noticiosa estando a una distancia segura en zonas de desastres naturales (inundaciones, incendios, terremotos) o ambientales (radioactivos o contaminantes), bien como captar videos y fotografías en alta resolución durante manifestaciones y agitación hostil en ambientes urbanos.

Por su parte, Godberg et. al (2013) y Futrell (2015) advierten que la llegada de los *drones* a las empresas periodísticas colabora en la substitución gradual de los helicópteros y aviones para la realización de filmaciones *in loco*.

En este contexto, y efectuando un enfoque sobre la innovación periodística centrado en la tecnología, Lewis y Usher (2013), intentan comprender cómo las ideas, las prácticas, y el espíritu de quienes propician el desarrollo tecnológico en la sociedad con sus inventos, pueden ser aplicadas para replantear las herramientas, la cultura y el marco normativo del funcionamiento del periodismo.

Así como ellos perciben que la fusión de la informática y el periodismo remite a una intersección del periodismo y la tecnología, contribuyendo al crecimiento (y dependencia) de las formas de periodismo derivadas de la computación (ejemplos: visualizaciones de datos, aplicaciones de *software*, noticias creadas a partir de algoritmos), se podría pensar que la apropiación del *drone* en el ámbito periodístico, permite generar una serie de prácticas emergentes (SPYRIDOU et al., 2013).

Se puede citar que el concepto de “testigo ocular” (*eyewitnessing*) representa, no solo, una palabra clave en el periodismo (ZELIZER, 2007). No se debe interpretar solamente como un acto de presencia física del periodista como testigo, es decir, como observador y relator directo de un acontecimiento noticioso. El testimonio ocular argumenta Zelizer (2007), implicaría, además de un acto de habilidad del propio periodista, una aclamación de autoridad profesional detentora del ejercicio exclusivo, en el interior de una sociedad altamente tecnológica⁹, de “quién debe”, y por lo tanto, “sabe cómo” proceder al momento de informar. En ese contexto, algunos estudiosos del *drone* destacan que constituye una tecnología disruptiva, una especie de “*Robot Eye Witness*” (GYNNILD, 2014) o de un “*Robotic Reporter*”, según la visión de Carlson (2014), al simbolizar una extensión técnica visual del periodista como testigo ocular (*eyewitness*), cuando este cumple el rol de investigador o de reportero (Cruz, 2015).

Entendido así, autores como Gynnild (2014) y Ducharme (2016) entienden que el *drone* ofrece mayor grado de profundidad en detalles, puntos y ángulos de visión de cámara, imágenes y perspectivas visuales (*visual storytelling*) tomadas a varios metros de altura del nivel del suelo (*ground level images*), tanto para contar como para cubrir una historia periodística (ver Figura 9).



Figura 9: Fotografía de Josh Haner, del *The New York Times*, obtenida a través de un drone. En la misma se retrata la vida de Félix Condori, 31 años, alcalde de Llapallapani, Bolivia, en el lecho seco del lago Poopó. Solía ser un pescador, pero desde que el lago desapareció, tuvo que ganarse la vida con trabajos de construcción. Fuente: <https://lens.blogs.nytimes.com>

El texto científico titulado “*Unmanned Aerial Vehicles and Journalistic Disruption*” de Belair-Gagnon, Owen y Holton (2017), tal vez sea la presunción más cabal donde se justifica y defiende que los Vehículos Aéreos no Tripulados son un caso de tecnología periodística disruptiva. Enfocándose en entrevistar a quienes denominan como “los primeros usuarios” (*early adopters*) -

⁹ La cual se halla provista con personas con celulares inteligentes que permiten a un usuario convertirse potencialmente en fuente periodística cuando este capta un accidente automovilístico, por ejemplo.

compuesto por fotorreporteros, periodistas *freelancers*, entre otros-, el eje de discusión busca dilucidar cómo la inclusión de tecnologías emergentes en las salas de redacción, en el caso puntual del *drone*, puede ser considerado una innovación disruptiva. Para los autores, el *drone* es identificado como un elemento importante de disrupción en razón de que los usuarios pioneros vivenciaron inicialmente una serie de limitaciones legales, culturales e institucionales en los EE.UU, lo cual no conllevó a que dejasen de practicar con el *drone* desde “los márgenes del periodismo”.

A pesar del supuesto contexto adverso, el resultado habría de ser positivo ya que al poco tiempo las principales organizaciones noticiosas de ese país institucionalizaron nuevas prácticas gracias al uso del *drone* con el fin de producir contenidos que ellos denominan “de avanzada”. Pues, en este sentido, los *drones* actuando conjuntamente, a su vez, con otras tecnologías disruptivas según los autores (ejemplo: Realidad Virtual y Métricas basadas en la Web), crearon una nueva dinámica de producción noticiosa y todo un “[...] whole new market for journalism and journalistic witnessing whether it relates to journalistic norms, practices, or emerging journalistic responsibilities or beats”¹⁰. (BELAIR-GAGNON, OWEN & HOLTON (2017, p. 11).

Las interpretaciones que acabamos de citar, sobre las posibilidades que ofrece el uso del *drone* en el contexto periodístico, son interesantes y cautivantes desde un punto de vista técnico, productivo y creativo. Sin embargo, parece ser que esas narrativas se basan en los conceptos de innovación tecnológica y de disrupción tecnológica para explicar las consecuencias y características de la implementación de la tecnología *drone* en el periodismo pos-industrial. Una de las causas que explicaría en parte por qué esto sucede a menudo, se debe a que los conceptos de innovación y de disrupción terminan por ser “adaptables” y “convincientes”. Comúnmente, se los utiliza para referir a estrategias y prácticas productivas, formatos de noticias y herramientas tecnológicas que “podrían ser” asimiladas en las redacciones de organizaciones mediáticas para reajustar sus contenidos y así conquistar fidelidad de la audiencia. De esta manera, se evitaría, o hasta se podrían revertir, situaciones de crisis financiera por motivos coyunturales, económicos, políticos, sociales, culturales y tecnológicos. Esta percepción se vislumbra claramente en Benavides (2012, p.10), cuando advierte que tanto la innovación y la creatividad representan temas y factores clave en el contexto de toda organización mediática, en especial en la llamada “*mainstream media*”. Pues sin ellos, apunta el autor, es difícil que una organización de esas características actualice y mejore sus contenidos para la audiencia, por un lado, y logre a desarrollar un modelo de negocio sustentable, competitivo y sostenible, por otro. Este tema no es algo menor en el marco de los estudios del periodismo, pues al fin y al cabo, como resaltan Schmitz Weiss y Domingo (2010), los procesos de innovación en las redacciones “are constant and not unproblematic. Journalists deal with a lot of uncertainty regarding the direction of change and their professional identity” (SCHMITZ WEISS y DOMINGO, p. 2, 2010)¹¹.

Se entiende que esta tecnología es capaz de posibilitar, en ciertos casos específicos, prácticas emergentes (SPYRIDOU, 2013), lo cual puede potencialmente facilitar crear contenidos noticiosos antes nunca presentados ante el público. Además, no es menos decir, que es factible acoplarles diferentes tipos de sensores para recabar datos, e incluso, acoplar cámaras infrarrojas, como ya fue destacado anteriormente.

¹⁰ “un mercado completamente nuevo para el periodismo y la observación periodística, ya sea que se relacione con normas periodísticas, prácticas o responsabilidades periodísticas emergentes o ritmos”. (Traducción propia).

¹¹ “son constantes y no carecen de problemas. Los periodistas se enfrentan a una gran incertidumbre sobre la dirección del cambio y su identidad profesional” (Traducción nuestra).

En este sentido, Matthew Schroyer, periodista y fundador de la *Professional Society of Drone Journalism* (PSDJ) en los Estados Unidos, sostiene que una de las mayores oportunidades del periodismo *drone* es la utilización de fotografías aéreas *open source*. Es decir, aquellas que son realizadas por usuarios de *drones* y que se encuentran disponibles gratuitamente en la Web para su posterior utilización y procesamiento. Gracias a ello, y tras haber habido un progreso sustancial por la llegada del *drone*, y también por la simplificación de la técnica de fotogrametría y obtención de imágenes por medio de cámaras multispectrales y sensores a un bajo costo, los periodistas pueden usar esas bases de datos fotográficas. O bien, crear las suyas propias para generar modelos 3D de escenas y de entornos logrando narrar historias a través de la utilización de realidad virtual.

Como ejemplo, puede citarse la experiencia creada y divulgada por Schroyer en la página web *Sketchfab*. Dicho sitio web, es una comunidad virtual en la cual creadores publican y comparten contenidos generados en 3D o mediante Realidad Virtual.

Teniendo como título, traducido al idioma castellano, “PSDJ crea modelos 3D y mapas del aeropuerto de Donetsk devastado por la guerra, utilizando videos creados por grupos de ciudadanos”, el resultado que se expone llama profundamente la atención. Pues, expone detalles, en 3D, de las estructuras damnificadas del aeropuerto internacional de Donetsk, en Ucrania, por causa de un conflicto bélico. Tal destrucción, aconteció al desatarse una guerra civil entre tropas del ejército ucraniano, que bombardearan la instalación entre mayo de 2014 y enero de 2015, y tropas separatistas ucranianas pro-rusas que habían tomado el control temporario del aeropuerto.

Como puede apreciarse en las figuras satelitales (antes y después de la guerra, ver Figura 10) y seguidamente con el modelo en 3D, el nivel de detalles recreados digitalmente (ver Figura 11) permiten al usuario tener una fiel impresión del grado de destrucción una vez culminada la contienda. Cabe destacar, que este último puede ser “recorrido” por el usuario a través del ratón de la computadora o el *touch-screem* para asistir el estado del aeropuerto devastado.



Figura 10 (Izquierda): Imagen satelital de la estación principal del aeropuerto de Donetsk antes del conflicto bélico. Fuente: *Google Earth*, 2014. (Derecha): Misma imagen satelital del aeropuerto de Donetsk solo que esta se destaca por presentar una superposición digital realizada en 3D mediante técnica de fotogrametría a partir del uso de *drones* y *software Photoscam* para comparar el estado del aeropuerto al finalizar la guerra. Fuente: *Army SOS aerial video* y M. Schroyer, 2015.

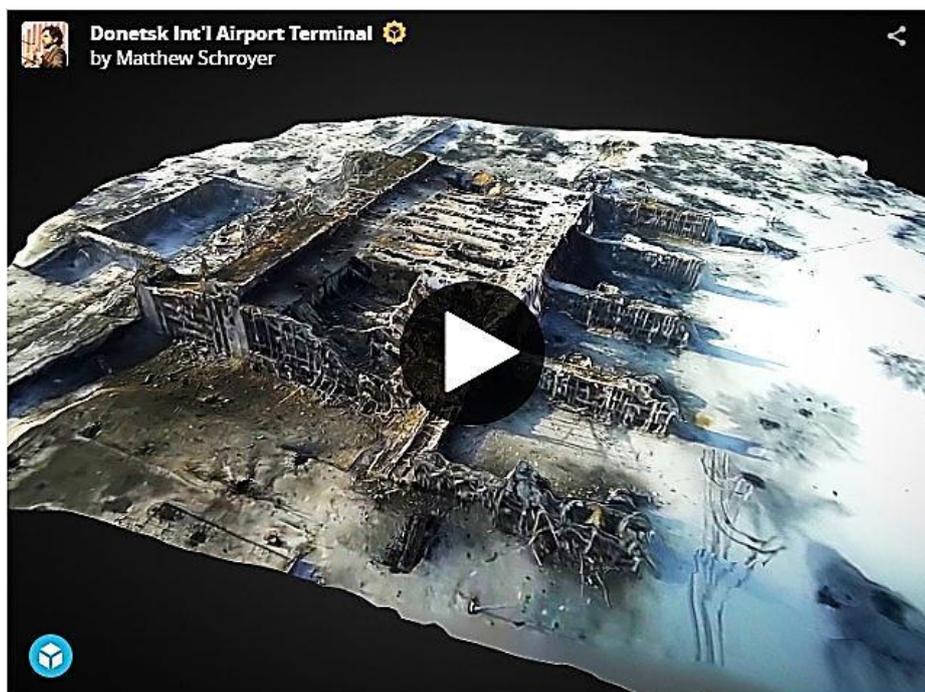


Figura 11: Modelo en 3D de la Terminal del Aeropuerto de Donetsk luego del conflicto creado por M. Schroyer a partir de aplicar técnicas de fotogrametría obtenidas a través imágenes capturadas con *drones* operados y dispuestas en las Web por civiles. Fuente: *Professional Society of Drone Journalism*, 2015.

Como se ha podido apreciar con el ejemplo, se sostiene que el periodismo puede beneficiarse con la apropiación de este recurso y herramienta tecnológica para la construcción diferenciada de una narrativa periodística multimedia, sea ella real o virtual/inmersivo. Con la producción de este tipo de contenidos innovadores, capaces de ser obtenidos por medio de un *drone* y del procesamiento visual de datos fotográficos, las organizaciones periodísticas y los periodistas se encuentran en condiciones de incorporar profundidad de análisis y creación de contexto en la cobertura de acontecimientos noticiosos. Al mismo tiempo, se acredita que esta técnica facilita la comprensión y asimilación de la información noticiosa por parte de la audiencia, capturando la atención del usuario, al ser presentada de una manera atrayente y dinámica.

Consideraciones finales

El uso del *drone* en el ámbito periodístico no tiene por qué ser encapsulado en un movimiento de “novedad”, ni de “superación”, o de “quiebre”. Más que visualizar un cambio brusco, en relación a las posibilidades de generar nuevos contenidos y soluciones a problemas, se observa al *drone* como una herramienta tecnológica que ha venido a complementar, a facilitar y/o simplificar, abaratando costos de producción, y claro, por qué no decirlo, a aportar y a enriquecer, potencialmente, las narrativas visuales y estéticas de los reportajes o documentales elaborados por los periodistas.

Hay que dejar en claro, que no nos estamos oponiendo a que existan y a que deben de existir los avances tecnológicos, y a la noción de que las sociedades y los tiempos cambian, mudan. El concepto de “devenir histórico”, el cual es definitivamente en filosofía como un concepto de índole técnico, nos posibilita, justamente, construir esta mirada o lectura. Vinculado con la noción de

tiempo, a la idea de mutación o cambio permanentes, por devenir se entiende que en la realidad nada es estático, sino al contrario, el tiempo fluye como una suerte de corriente dinámica. Y es en este contexto, como apunta Erich Fromm (2013), no es sino el ser humano quien se va construyendo en el proceso histórico, desarrollándose a sí mismo. ¿De qué manera lo hace? Lo ha de concretizar a partir de las decisiones que toma y por ser partícipe directo de los proyectos que va emprendiendo a lo largo de su vida.

La función del *drone* periodístico provoca algunas sutiles transformaciones a nuestro ver positivas, si se quiere, en materia de democratización al acceso por empresas noticiosas de pequeño y mediano porte para la realización de visualización y tomas áreas fotográficas y fílmicas. Esto quiere decir, por otro lado, que se constituye en una herramienta complementar al momento de pensar un enriquecimiento visual de la información a la hora de construir narrativas periodísticas en el marco de rutinas productivas se trate.

Como hemos apreciado anteriormente, hoy en día, las empresas periodísticas y los periodistas están en condiciones de generar fotogrametría e imágenes multiespectro para extensión del campo visual, pudiendo proporcionar información real o virtual sobre acontecimientos que se suceden en el mundo físico que los rodea (KREIMER, 2016, HOLTON, 2016).

Una característica de este tipo de contenidos, creados mediante la aplicación de técnicas de modelización en 3D, radica en la capacidad de no depender de ninguna fuente primaria de datos, sea de una entidad pública o privada para generar una materia o contenido periodístico de esta índole. Pues, es el propio *drone* quien posibilita generar los datos necesarios para la elaboración de una posterior pieza informativa. Es que como fue mencionado antes, al estar provistos de sensores de medición de radiación (contador *Geiger*), de temperatura, de contaminación de aire, de movimiento, de desvío de obstáculos, infrarrojos que se acoplan en conjunto con cámaras fotográficas y vídeo, el *drone* posibilita conformar una perspectiva visual y un análisis más profundo en el momento de realizar una investigación periodística.

En este sentido, el procesamiento de captura fotográfica y fílmica en alta definición capturado por el *drone*, efectuado previamente por medio de planos y tomas de rotación de hasta 360° (JACOBSTEIN, 2015), es llevado a cabo mediante *softwares* específicos, como el *PhotoScan*® y el *Pix4D*®, entre otros. Estos permiten, a modo de documentación, generar una reconstrucción virtual de espacios, de estructuras y de ambientes en imágenes 2D y 3D, a partir de modelos reales.

Consideramos, que por medio de la creación y disposición de este tipo de contenido se puede conquistar fidelidad y atención del público por la presentación de contenidos hasta, entonces, poco explorados en el periodismo al contemporáneo.

Referencias bibliográficas

- Anderson, C.W.; Bell, E.; Shirky, C. **Post Industrial Journalism: Adapting to the Present**. New York, Tow Center for Digital Journalism, Columbia University, 2012.
- Andrejevic, M.; Burdon, M. **Defining the Sensor Society**. Revista *Television & New Media*. Vol. 16(I), pp. 19-36, 2015. Disponible en: <http://tvn.sagepub.com/content/16/1/19.short>. Acceso en: 9 nov. 2015.
- BBVA Innovation Center. **Drones**. Innovation Trend Series, E-Book, 2015.

Benavides, C. **Innovation and Leadership in the Media Industry**. Pamplona: Ediciones Universidad de Navarra, 2012.

Carlson, M. **The Robotic Reporter**. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/loi/rdij20>. Acceso en: 11 ago. 2016.

Carneiro Silva Da, D; Toonstra, G; Zouza, H.; Pereira, T. **Qualidade de ortomosaicos de imagens de VANT processados com os softwares APS, PIX4D e Photoscan**. 2014. Disponible en: <https://www.ufpe.br/geodesia/images/simgeo/papers/150-577-1-PB.pdf>. Acceso en: 19 ago. 2016.

Belair-Gagnon, V.; Owen, T.; Holton, A. **Unmanned Aerial Vehicles and Journalistic Disruption: Perspectives of early professional adopters**. Revista *Digital Journalism*, V. 5, 2017.

Castro, T. **Aerial Views and Cinematism, 1898-1939**. En Dorrian, M. y Pousin, F. (Orgs.) *Seeing from above: The Aerial View in Visual Culture*. Tauris, 2013.

Corcoran, M. **Drone Journalism: Newsgathering applications of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in covering conflict, civil unrest and disaster**, 2014. Disponible en: <http://s3.documentcloud.org/documents/1019095/drone-journalism-during-conflict-civil-unrest.pdf>. Acceso en: 18 de feb. 2015

Congressional Budget Office; Congressional Research Service; Department of Defense; U.S. Military; U.S. Government. **2012 Review of Military Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and Unmanned Aerial Systems (UAS) Issues - Current and Future Plans for DOD Drones for Surveillance and Combat**, Policy Options. Ed. Progressive Management, 2012.

Cruz Silva, J. **Is Ecuador prepared to deploy Drone Journalism?**, 2015. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/294090751_Is_Ecuador_prepared_to_deploy_Drone_Journalism. Acceso en: 24 jul. 2016.

Culver, K. **From Battlefield to Newsroom: Ethical Implications of Drone Technology in Journalism**. Revista *Journal of Mass Media Ethics*, v. 29 (1), pp. 52-64, 2014. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08900523.2013.829679> . Acceso en: 16 ago. 2016. _____ . [Entrevista disponible en 26 de abril de 2016, la internet].

2016. Disponible en: <http://skytango.com/drone-journalism-opportunities-and-challenges-15-experts-share-their-views/> Acceso en: 04 jul. 2016.

D'Anastasio, C. **Immersion journalists discuss their crafts**. En Revista *Columbia journalism review*. Disponible en: http://www.cjr.org/behind_the_news/new_yorker_immersion_journalis.php. Acceso en: 22 ago. 2016.

Díaz Duhalde, S. **El globo aerostático y la máquina de mirar. Cultura visual y guerra en el siglo XIX paraguayo**. Revista *Decimonónica*, v. 11 (2), pp. 34-51, 2014. Disponible en: http://www.decimononica.org/wp-content/uploads/2014/06/Diaz-Duhalde_11.2.pdf. Acceso en: 02 ago. 2016

Domínguez, E. **Periodismo inmersivo. La influencia de la realidad virtual y del videojuego en los contenidos informativos**. Barcelona: Ed. UOC, 2014.

Dorrian, M.; Pousin, F. **Seeing from above: The Aerial View in Visual Culture**. Tauris, 2013.

Ducharme, J. [Entrevista disponible en 26 de abril de 2016, la internet].

2016. Disponible en: <http://skytango.com/drone-journalism-opportunities-and-challenges-15-experts-share-their-views/> Acceso en: 04 jul. 2016.

Freer, J. **Drone Journalism**, 2014, en línea. Disponible en: <http://ireport.cnn.com/docs/DOC-1098556>. Acceso en: 27 may. 2015.

French, S. [Entrevista disponible en 26 de abril de 2016, la internet].

2016. Disponible en: <http://skytango.com/drone-journalism-opportunities-and-challenges-15-experts-share-their-views/>

- Fromm, E. **Marx's concept of man**. Bloomsbury, 2013.
- Garamone, J. **From U.S. Civil War to Afghanistan: A Short History of UAVs**. 2002. En *American Forces Press Service*. Disponible en: <http://www.defense.gov/news/newsarticle.aspx?id=44164>. Acceso en: 27 jul. 2016.
- Gibb, A. S. **Droning the story**. Vancouver: The University of British Columbia, 2013.
- Golberg, D.; Corcoran, M; Picard, R. **Remotely Piloted Aircraft Systems & Journalism. Opportunities and Challenges of Drones in News Gathering**. Reuters Institute Fellowship Paper, University of Oxford, 2013. Disponible en: <https://reutersinstitute.politics.ox.ac.uk/sites/default/files/Remotely%20Piloted%20Aircraft%20and%20Journalism.pdf>. Acceso en: 09 oct. 2015.
- Gynnild, A. **The Robot Eye Witness: Extending visual journalism through drone surveillance**, 2014. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/21670811.2014.883184?journalCode=rdiv20>. Acceso en: 10 ago. 2016.
- _____. [Entrevista disponible en 26 de abril de 2016, la internet]. 2016. Disponible en: <http://skytango.com/drone-journalism-opportunities-and-challenges-15-experts-share-their-views/> Acceso en: 04 jul. 2016.
- Haddou, L. **Journalism gets into the act as drones capture floods, protests and wars**. 2014, En *Media Blog The Guardian*. Disponible en: <http://www.theguardian.com/media/media-blog/2014/feb/12/journalism-drone-capture-floodsprotests-> Acceso en: 05 jul. 2016;
- Holmqvist, C. **Undoing War: War Ontologies and the Materiality of Drone Warfare**. *Revista Millennium. Journal of International Studies*, v. 41 (3), pp. 535-552, 2013. Disponible en: <http://mil.sagepub.com/content/early/2013/04/30/0305829813483350>. Acceso en: 11 may. 2015.
- Jacobstein, N. **Drones: A 360 Degree View**. *World Policy Journal*, v. 30 (3), pp. 14-19, 2013. Disponible en: <http://wpj.sagepub.com/content/30/3/14.full.pdf+html>. Visitado en: 09 nov. 2015.
- Jarvis, J. **The Ethical Debate of Drone Journalism: Flying into the Future of Reporting**. Southern Illinois University Carbondale, *Research Papers*. Paper 475, 2014.
- Kreimer, B. & Waite, M. **The Feasibility of Using Small Unmanned Aerial Vehicles for Mapping News Events**. 2014, Disponible en: http://compute-cuj.org/cj-2014/cj2014_session5_paper1.pdf. Acceso en: 15 agos. 2016.
- Kreps, S. **Flying under the radar: A study of public attitudes towards unmanned aerial vehicles**. Disponible en *Revista Research and Politics*, 2014.
- Latzer, M. **Information and communication technology innovations: radical and disruptive?** *Revista New Media & Society*, v. 11 (4), pp. 599-619, 2009. Disponible en: <http://nms.sagepub.com/content/11/4/599.full.pdf>, Acceso en: 30 jun. 2016.
- Lewis, S.; Usher, N. **Open source and journalism: toward new frameworks for imagining news innovation**. *Revista Media, Culture e Society*. 2013. Disponible en: <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0163443713485494?journalCode=mcsa>. Acceso en: 14 nov. 2017.
- Marshall, S. **Drone Journalism: A look at flying cameras**. 2013. Disponible en: [https://soundcloud.com/journalismnews/podcast-dronejournalism-\(Podcast\)](https://soundcloud.com/journalismnews/podcast-dronejournalism-(Podcast)). Acceso en: 10 jul. 2016.
- Osterreicher, M. [Entrevista disponible en 26 de abril de 2016, la internet]. 2016. Disponible en: <http://skytango.com/drone-journalism-opportunities-and-challenges-15-experts-share-their-views/> Acceso en: 04 jul. 2016.

- Pachali, D. **Drone Journalism - Set for take-off**. 2014. Disponible en: <http://www.groundbreaking-journalism.com/drone-journalism-set-for-take-off/>. Acceso en: 04 ago. 2016.
- Pase, A. F.; Goss, B.M. **Dronalismo: notas sobre o uso dos drones na produção de conteúdo jornalístico**. Revista *Geminis*, V. 4, No. 2, 2013.
- Penhaul, K. [Entrevista disponible em 26 de abril de 2016, la internet]. 2016. Disponible en: <http://skytango.com/drone-journalism-opportunities-and-challenges-15-experts-share-their-views/> Acceso en: 04 jul. 2016.
- Postema, S. **News Drones: An Auxiliary Perspective**. 2015. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/282819034_News_Drones_An_Auxiliary_Perspective. Acceso en: 30 jul. 2016.
- Prudkin, G. “**El periodismo drone. Contextualización histórica y posibles usos periodísticos**”. En Revista *Comunicação & Inovação*, 33, 7-21., 2016.
- Rothstein, A. **Drone**. Bloomsbury, 2015.
- Sandberg, B. **Managing and Marketing Radical Innovations**. New York: Routledge, 2011.
- Sherman, J. **The Drone Wars**. *Bulletin of the Atomic Scientists*, Vol. 61, No.5, pp. 28-37, 2005. Disponible en: <http://bos.sagepub.com/content/61/5/28.full>, Consultado en: 12 de noviembre de 2015.
- Schmitz Weiss, A.; Domingo, D. **Innovation processes in online newsrooms as actor-networks and communities of practice**. 2010, Disponible en: <http://nms.sagepub.com/content/12/7/1156.short>. Acceso en: 03 jul. 2016.
- Schroyer, M. [Entrevista disponible em 26 de abril de 2016, la internet]. 2016. Disponible en: <http://skytango.com/drone-journalism-opportunities-and-challenges-15-experts-share-their-views/> Acceso en: 04 jul. 2016.
- Spiering, C. **CNN embraces drone journalism**, 2013. Disponible en: <http://www.washingtonexaminer.com/cnn-embraces-drone-journalism/article/2539710>. Acceso en: 24 abr. 2015.
- Spyridou, L.; Masiola, M.; Veglis, A.; Kalliris, G. & Dimoulas, C. **Journalism in a state of flux: Journalists as agents of technology innovation and emerging news practices**. Revista *The International Communication Gazette*, v. 75 (1), pp. 76-98, 2013. Disponible en: http://www.academia.edu/3232583/Journalism_in_a_State_of_Flux_Journalists_as_Agents_of_Technology_Innovation_and_Emerging_News_Practices. Acceso en: 24 jun. 2015.
- Simões, A.; Silva, F.F., Azêvedo, A.; Barbosa, K.; Carvalho, D. **Drones no jornalismo: implicações éticas e de mobilidade**. Revista *Âncora*, V.3, No. 2, p. 125-140, 2016.
- Steensen, S. **The shaping of an online feature journalist: a clash of discourses**. Revista *Journalism Practice*, V. 3, 2009.
- Tremayne, M. & Clark, A. **New perspectives from the sky**. 2013. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/21670811.2013.805039> . Acceso en: 10 de ago. 2016.
- U.S. Air Force ; U.S. Army ; U.S. Navy ; Department of Defense; U.S. Government; U.S. Military. **2011 Unmanned Aircraft Systems (UAS) Encyclopedia: UAVs, Drones, Remotely Piloted Aircraft (RPA), Weapons and Surveillance - Roadmap, Flight Plan, Reliability Systems News and Notes**. Ed. Progressive Management, 2011.
- Vintage Wings of Canadá. **The mother of all drones**, 2016. Disponible en: <http://www.vintagewings.ca/VintageNews/Stories/tabid/116/articleType/ArticleView/articleId/484/The-Mother-of-All-Drones.aspx>. Acceso en: 11 ene. 2018.
- Zelizer, B.. **On “having been there”: “Eyewitnessing” as a journalistic keyword**. Revista *Critical studies in Media Communication*, v. 24 (5), pp. 408-428, 2007.

CAPITULO 2

USO DOS *DRONES* NOS PROCEDIMENTOS CIVIS E CRIMINAIS NO BRASIL: CONSIDERAÇÕES SOB A ÓTICA DOS DIREITOS FUNDAMENTAIS

CAROLINE BUSSOLOTO DE BRUM¹²

MILENE MAURICIO¹³

RODRIGO OLHIARA DA SILVA¹⁴

YURI BASTOS¹⁵

Introdução

Os *drones*, até pouco tempo, eram equipamentos desconhecidos para o público em geral. Em um curto período de tempo, essas máquinas passaram de um material de emprego militar e no aeromodelismo para os noticiários e para o uso do público em geral em nosso cotidiano.

Evidentemente, houve muito avanço durante a história, tanto nas funcionalidades dos *drones*, quanto no seu emprego e na sua regulamentação. Expondo brevemente um panorama histórico acerca dos *drones*, analisamos com mais profundidade os aspectos jurídicos acerca desse tipo de aeronave.

Justamente pelos avanços tecnológicos e pela popularização do seu uso, diversos países se depararam com a necessidade de regulamentar o uso dos *drones*, visando afastar potenciais perigos decorrentes da utilização indiscriminada de tais equipamentos. O Brasil, por exemplo, constatou a necessidade de regulamentação há poucos anos, quando começaram a surgir indícios do seu uso em maior escala. Um exemplo disso foi a utilização de um *drone* por uma pizzaria na cidade de Santo André, na grande São Paulo, para a entrega da encomenda, com todo o percurso filmado e disponibilizado. Tal episódio repercutiu na mídia e tanto a Agência Nacional de Transporte Aéreo quanto a Força Aérea Brasileira intervieram na situação e iniciaram uma investigação sobre o ocorrido.

¹² Mestranda em Ciências Criminais pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, bolsista CAPES.

¹³ Pós-graduada em Direito Digital e *Compliance* pelo Damásio Educacional, pós-graduada em Direito penal e processo penal e especialista em Direito Penal Econômico. Advogada e professora de Penal e Processo Penal.

¹⁴ Pós-graduada em Direito Digital e *Compliance* pelo Damásio Educacional. Assistente Judiciário no TJSP.

¹⁵ Bacharel em Direito pela Universidade Tiradentes, advogado.

Além do uso particular dos *drones*, também merece especial atenção o seu emprego pelo Poder Público, que, igualmente, deve observar determinadas restrições, como é o caso da observância dos direitos fundamentais dos cidadãos.

Desse modo, o problema a ser resolvido no decorrer do texto refere-se à seguinte questão central: quais são as limitações jurídicas que incidem sobre o uso de *drones* em território brasileiro pelos diversos atores sociais?

Não obstante os limites objetivos destrinchados no decorrer deste artigo, também busca-se trazer à tona uma discussão importante acerca da hipervigilância e os impactos do uso de *drones* nesse cenário. Ainda que não se trate de questão muito abordada por juristas brasileiros, faz-se necessário implantar esse debate para maior aprofundamento, na sociedade.

A popularização dos *drones*: de arma de guerra a brinquedo

Nos dias atuais, os *drones* tiveram o seu uso popularizado, sendo fácil encontrá-los para compras na internet, em diversos sítios eletrônicos. Tendo em vista essa popularização do uso civil dos *drones*, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) editou sua regulamentação em 2017, dividindo em dois tipos os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTS), como aeromodelos e como Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA). Cumpre destacar que, no mês de dezembro de 2018, constavam como registrados 59.491 *drones* no site da ANAC.

Nos últimos anos, o mercado desse tipo de aeronave vem crescendo e movimentando milhões de dólares em todo o mundo. Durans (2016), afirma que, ainda que incipiente, na indústria dos *drones*, são perceptíveis seus diversos avanços tecnológicos, principalmente na evolução dos *hardwares* utilizados e dos *softwares* implementados.

No entanto, a história dos *drones* iniciou a muito tempo atrás, em 1849, conforme lembra McDaid e Oliver (2003), quando o exército austríaco atacou a cidade de Veneza usando balões carregados de explosivos. Tal acontecimento é apontado como o primeiro uso de aeronaves não tripuladas. Reginald Denny e Walter Righter são indicados como os pioneiros da aviação não tripulada, com modelos controlados por rádio.

Na década de 1940, a produção em massa do *drone* “*radioplane*”, inventado pelos dois, estimulou a adoção de aviões controlados por rádio pelos militares, não apenas para treinamento, como também para combate. Na Segunda Guerra Mundial, as bombas voadoras V1, utilizadas pelos alemães com o objetivo de atacar alvos a grandes distâncias sem colocar em risco os pilotos, são os primeiros VANTS de sucesso, sendo posteriormente usados em diversos outros conflitos (MCDAID; OLIVER, 2003) e impulsionando o avanços de programas espaciais pelo mundo fora.

Na Guerra do Golfo, os VANTS se tornaram conhecidos pelo público em geral ao serem utilizados em grande escala pelos norte-americanos para o monitoramento de inimigos, designação de alvos e lançamento de armamentos guiados.

O padrão de *drone* como é difundido hoje, foi inventado pelo israelita Abe Kareem, que tinha o objetivo de que os veículos não tripulados tivessem os mesmos padrões de segurança, confiabilidade e desempenho que aviões tripulados. Os protótipos existentes antes de Abe tinham pouquíssima autonomia e eram necessárias mais de 30 pessoas para controlá-los, além de voarem

pouquíssimo tempo. O inventor israelita, vendo essa situação, desenvolveu, então, o *Albatross*, que tinha autonomia de 56 horas no ar e era operado por apenas três pessoas (MCDAID; OLIVER, 2003).

Gualazzi et al. (2018) destacam que o uso dos VANTs foi intensificado a partir da declaração de guerra global ao terror, ou seja, após o atentado às torres gêmeas nos Estados Unidos, que resultou em que tal país levasse a público sua intenção de investir na utilização das RPAs. Ademais, é publicamente afirmado que países como Israel, Irã e Reino Unido possuem aeronaves desse tipo para utilização em combate, bem como outros diversos países investem nessa tecnologia, ainda que seja apenas para vigilância.

Gualazzi et al. (2018) apontam que, no início do século XXI, os estudos de aeronaves remotamente pilotadas tomaram proporções globais, tendo seu desenvolvimento intensificado em diversos países. Tendo em vista o crescente interesse mundial e as diversas atuações nos cenários de combate, o Departamento de Estado Americano levou a público, em outubro de 2016, a assinatura da “Declaração Conjunta sobre Exportação e Uso Subsequente de Veículos Aéreos Não Tripulados Armados ou de Ataque”, assinada por diversos países, documento este de que o Brasil não é signatário, pois ainda não utiliza *drones* de combate.

No Brasil, apenas em 1982, tivemos o primeiro registro de um VANT, como resultado de um projeto do Centro Técnico Aeroespacial e da Companhia Brasileira de Tratores. Eles, produziram um protótipo de VANT, mas que acabou tendo seu projeto encerrado antes mesmo do seu primeiro voo. Conforme já mencionado alhures, a primeira tentativa do *drone* brasileiro não obteve sucesso, sendo retomado o interesse apenas no ano de 2004 pela Força Aérea Brasileira, iniciando os estudos para desenvolvimento e aplicação para vigilância. Gualazzi et al. (2018) apontam a criação, pela Aeronáutica, em 2009, do Grupo de Trabalho Victor, que deu origem à criação do Esquadrão Hórus e ao recebimento e implantação do sistema RQ-450 e do *drone* RQ-900, empregados pela primeira vez na Copa do Mundo da FIFA de 2014.

Em março de 2017, a primeira aeronave remotamente pilotada recebeu a aprovação do Ministério da Defesa (DEFESANET, 2017). Essa aeronave, que recebeu o nome de Caçador, é um *drone* de média altitude e de longo alcance. Ainda, a aeronave recebeu a aprovação como produto estratégico de defesa, sendo um sistema dito “perfeito” para controle de fronteiras, monitoramento de atividades ilegais, monitoramento ambiental, controle de poluição, indústrias de petróleo e gás, agricultura de precisão e aplicação militar de missões múltiplas com informações em tempo real.

Ainda, as aplicações civis são inúmeras atualmente, sendo possível, para as empresas, explorar novos nichos de mercado ou estratégias que simplifiquem os processos comerciais existentes, de forma a proporcionar economia financeira, tendo em vista poderem executar tarefas perigosas sem o risco humano, bem como reduzir custos com logística, e ainda, trazer benefícios ambientais.

Com o avanço da tecnologia, os *drones* têm ganhado mais funções. Exemplo de sucesso é o da empresa *Amazon* nos Estados Unidos, que já foi autorizada a fazer entregas para seus clientes utilizando *drones* pelo serviço *Prime Air*. Dentre as diversas funcionalidades dos *drones*, estes vêm sendo utilizados para realizar imagens de locais onde não seria possível o acesso humano sem que a pessoa fosse exposta a riscos, monitoramento e vigilância, ajuda humanitária e resgate, entre outros.

Incorporação dos *drones* ao ordenamento jurídico brasileiro

A alta tecnologia dos *drones*, com a sua frequente e crescente utilização mundial, impôs a diversos países a necessidade de regulamentação jurídica. Obedecendo a essa ótica, os Estados Unidos elaboraram a *Federal Aviation Administration* (FAA); a Austrália regulamentou seu uso por meio da *Civil Aviation Safety Authority* (CASA) e a União Europeia o fez por meio da *European Aviation Safety Agency* (EASA).

Influenciado pelos citados regulamentos, o Brasil, através da ANAC, aprovou, no dia 2 de maio de 2017, o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial (RBAC-E nº 94), complementando outros atos normativos já existentes, como do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL).

O Regulamento da ANAC, que tem por finalidade promover o desenvolvimento sustentável da atividade aérea e a segurança da sociedade, impõe diversos requisitos gerais para o manejo das aeronaves não tripuladas de uso civil (conhecidas como *drones*), dentre eles: i) idade mínima de 18 anos para pilotagem; ii) decolagens e pousos devem ser feitos em locais permitidos e longe de terceiros; iii) necessidade de um operador que se responsabilize pelo voo, evitando, assim, equipamentos autônomos; iv) o transporte de equipamento eletrônico é permitido apenas se forem necessários ao uso durante o voo, como câmaras filmadoras e fotográficas; v) habilitação obrigatória para pilotar *drones* RPA de classes 1 e 2; vi) para a pilotagem de RPA de até 250 gramas, não haverá requisito de habilitação, porém, os voos deverão ser feitos até 400 pés de altura (121 m); por fim, vii) *drones* com mais de 250 gramas só poderão ser utilizados se houver 30 metros de distância de terceiros. Porém, se houver barreira de proteção entre o veículo não tripulado e as pessoas ou se os terceiros concordarem com a atividade, esse limite não precisará ser observado (ANAC, 2017).

A fiscalização das normas dar-se-á por meio dos órgãos de segurança pública, através do programa de vigilância continuada da ANAC, e por meio do DECEA, além da ANATEL, no que se refere às questões relacionadas à radiofrequência. Em caso de descumprimento das diversas regras impostas no ato normativo da ANAC, poderá o operador da aeronave não tripulante responder por crime ou contravenção penal, além de ser responsabilizado administrativamente, de acordo com a Lei 7.565/86 (Código Brasileiro de Aeronáutica) e, também, civilmente, se porventura houver violação à intimidade, vida privada, honra e imagem das pessoas (direitos relacionados à personalidade do agente, diante da relação entre os particulares; ou direitos fundamentais, diante da relação entre o Estado e o particular).

Apesar de a legislação brasileira ser escassa sobre o tema, verifica-se que não haverá alternativa senão a normatização, também, acerca da utilização dos *drones* como técnica especial de investigação criminal, como meio de obtenção de prova criminal. A investigação criminal, instrumento essencial e imprescindível para o sistema penal, é realizada pelos órgãos do Estado responsáveis pela persecução penal (Ministério Público e os órgãos policiais) e legítima a busca da reconstrução fática aproximada, a autoria e materialidade da infração.

O aumento progressivo da complexidade dos crimes e a ausência de técnicas e instrumentos suficientes para a realização da investigação, a fim de se evitar o cometimento ou consumação de infrações penais, impuseram ao legislador a necessidade de criarem-se novas técnicas de

investigação. Dentre essas técnicas, surgiram a infiltração de agentes e a ação controlada, destinadas a combater a criminalidade organizada, no âmbito da Lei 12.850/13, a fim de complementar aquela que a Constituição Federal, em seu artigo 5º, XII, já fundamentava: a interceptação telefônica.

Com o avanço tecnológico e o uso progressivo dos *drones* pela sociedade e particulares, inevitavelmente, esse uso também foi estendido à técnica de investigação criminal pelo Estado. E, a fim de combater ilegalidades e arbitrariedades do poder estatal, bem como para resguardar os direitos fundamentais, o legislativo deverá atuar no sentido de estabelecer parâmetros legais a serem obedecidos, tais como quais crimes serão objetivados para serem combatidos e investigados; se há ou não a necessidade de autorização judicial para o manejo pela autoridade policial e pelo Ministério Público, ou apenas a necessidade de comunicação à autoridade judicial; a possibilidade de manejo em área privada bem como o tempo em que poderá ser utilizado.

Os direitos fundamentais como limites do emprego de *drones* pelo Estado

Os direitos fundamentais, inerentes à dignidade humana, foram consagrados a partir de uma lenta evolução histórica. O marco inicial foi a Carta Magna Inglesa de 1215, instituída como o primeiro documento constitucional que reconheceu direitos dos homens (COMPARATO, 1999, p. 59). Posteriormente, outros documentos relevantes foram registrados, como a *Petition of Rights* de 1628, o Habeas Corpus subscrito por Carlos II em 1679 e a *Bill of Rights* de 1689, até que foram assinadas as declarações francesa e a americanas, consagradas como os maiores marcos para a proteção dos direitos fundamentais, na medida em que “tinham como característica comum sua profunda inspiração jusnaturalista, reconhecendo ao ser humano direitos naturais, inalienáveis, invioláveis e imprescritíveis, direitos de todos os homens, e não de uma casta ou estamento” (SARLET, 2001, p. 48).

Finalmente, a Declaração Universal dos Direitos Humanos de 1948, iniciada, justamente, após a Declaração de Independência dos Estados Unidos e a Declaração dos Direitos do Homem e do Cidadão, da Revolução Francesa, “levou ao reconhecimento da igualdade essencial de todo ser humano em sua dignidade de pessoa, isto é, como fonte de todos os valores, independentemente das diferenças” (COMPARATO, 1999, p. 211) do cidadão.

Posta brevemente a história, e remonta-se à noção de que os direitos fundamentais, em sentido próprio, como afirma Carl Schmitt (1996, p. 105), são essencialmente direitos ao homem individual, livre, e, por certo, direitos que ele tem frente ao Estado, decorrendo do caráter absoluto da pretensão, cujo exercício não depende de previsão em legislação infraconstitucional, cercado-se o direito de diversas garantias com força constitucional, objetivando-se sua imutabilidade jurídica e política.

No Brasil, a Constituição da República Federativa traz, em seu artigo 5º, um rol desses direitos fundamentais que sustentam todo o ordenamento jurídico e a proteção do cidadão contra o arbítrio estatal. Dentre esse rol, ressalta-se o direito do inciso X, que assegura a inviolabilidade da “intimidade, a vida privada, a honra e a imagem das pessoas e que conflita com a temática abordada: a utilização dos *drones* para produção de prova no processo penal.

Doutrinariamente, muito se discute acerca da diferenciação entre a proteção da “intimidade”, “privacidade” e da “vida privada” (Brasil, 1988).

O direito à privacidade e intimidade, para uma primeira corrente, são compreendidos como sinônimos (nesse sentido, CRETELLA JÚNIOR, 1997, p. 257). A dificuldade em diferenciá-los se dá por um caráter estritamente subjetivo, distinguindo-se de acordo com a cultura, costume e tradição de cada sociedade. Para outra parte doutrinária, a intimidade é tratada com distinção à privacidade, principalmente pelo fato de o inciso X do artigo 5º da Constituição Federal mencioná-los separadamente, dando-se a ideia de que são direitos eminentemente diferentes, sendo a vida privada uma das esferas da intimidade (FARIAS, 1996, p. 188).

O direito à vida privada consiste na vida pessoal de um indivíduo, abarcando todos os aspectos a ele relacionados, com o envolvimento de um número reduzido de pessoas, como amizade, família, amigos, vida amorosa, religião. Para facilitar o entendimento, a privacidade seria assegurada a partir do momento em que um segredo é compartilhado por um pequeno número de pessoas, nas quais é depositado um mínimo de confiança. Por outro lado, a intimidade consiste em um direito do seu “próprio eu”, de ser deixado só, um direito da vida realmente íntima da pessoa, onde a esfera de confiança gira apenas em torno do próprio indivíduo, não abarcando relações com terceiros (FARIAS, 1996, p. 188).

Sendo assim, percebe-se que a intimidade é mais intrínseca ao indivíduo, como um direito de manter o segredo somente para si, enquanto a vida privada possibilita a interação com terceiros, mas em ambos não há o anseio de torná-la pública.

Porém, para facilitar o entendimento do que se expõe no presente estudo por parte dos profissionais não ligados ao Direito, empregaremos apenas a palavra “privacidade”. Danilo Doneda (2008) justifica a utilização do termo privacidade, tendo em vista:

(i) a ausência de uma clara determinação terminológica na doutrina e jurisprudência, além do fato de ser a primeira vez que o tema ganhou assento constitucional, podem ter sugerido ao legislador optar pelo excesso e referir ambas as expressões mais correntes relacionadas à privacidade, até pelo temor de reduzir a aplicabilidade da norma; (ii) a discussão dogmática sobre os limites entre ambos os conceitos, visto o alto grau de subjetividade que encerra, desviaria o foco do problema principal, que é a aplicação do direito fundamental em questão, em sua emanção constitucional.

Feitos os devidos esclarecimentos terminológicos, importante se faz entender o que significa privacidade e como se dá a sua proteção. Emprestando as palavras de Sidou (2013), quando conceituou intimidade para conceituar privacidade, podemos entender que é “o direito do homem de viver em forma independente a sua vida, com um mínimo de ingerência alheia”.

A origem do termo privacidade está em um artigo escrito pelos juristas Samuel Warren e Louis Brandeis. Para delimitar a abrangência da privacidade, preceitua Mendes (2014, p. 28):

Warren e Brandeis, ao identificarem o direito à privacidade, buscam igualmente definir os seus limites, nos seguintes termos: (a) o direito à privacidade não impede a publicação do que é de interesse geral; (b) o direito à privacidade não veda a comunicação de tudo que é privado, pois se isso acontecer sob a guarda da lei, como, por exemplo, em um Tribunal ou em uma Assembleia Legislativa, não há violação desse direito; (c) a reparação não será exigível se a intromissão for gerada por uma revelação verbal que não cause danos; (d) o consentimento do afetado exclui a violação do direito; (e) a alegação de veracidade da informação pelo agressor não exclui a violação do direito; e (f) a ausência de dolo também não exclui a violação desse direito.

Desse modo, verificamos que a privacidade é o grande delimitador do uso de *drones*, seja por particulares, seja pelo Poder Público.

Obviamente, a utilização de *drones* pelas polícias administrativa e judiciária, assim como todas as ações do Poder Público, deve sempre ser pautada pela razoabilidade. Desse modo, quando houver motivo suficiente para sua utilização, *a priori*, não haveria qualquer violação da privacidade. Quando não observada a razoabilidade, no entanto, a atuação estatal infringirá gravemente a privacidade dos cidadãos.

Não se mostra razoável, por exemplo, a utilização de *drones* pelas polícias em situações em que não se justifique o seu emprego em detrimento de outras formas de investigação ou patrulhamento. O Poder Público, especialmente o Poder Executivo, também tem empregado *drones* em procedimentos para fiscalização de obras irregulares ou em desacordo com autorização legal.

Nesse ponto, vale ressaltar outro grande limitador do emprego de *drones* pelo Poder Público. O mesmo artigo 5º que assegura a proteção da privacidade também estabelece que “a casa é asilo inviolável do indivíduo, ninguém nela podendo penetrar sem consentimento do morador, salvo em caso de flagrante delito ou desastre, ou para prestar socorro, ou, durante o dia, por determinação judicial” (BRASIL, 2018).

Justamente, por seus aspectos técnicos que permitem ao operador a visualização de ambientes internos e protegidos pela inviolabilidade de domicílio, quando o seu emprego potencialmente atingir o interior de domicílios, deve-se restringir o uso dos *drones* pelo Poder Executivo, às situações que contem com autorização judicial específica, pois, caso contrário, estar-se-ia violando, injustamente a proteção constitucional do domicílio.

Contudo, não é apenas o Poder Público que sofre restrições ao utilizar *drones* em suas atividades. Ao contrário, os indivíduos também sofrem as mesmas restrições já abordadas, e ainda mais. A ANAC tem competência para editar normas para regulamentar o emprego de *drones*. Esse poder regulamentar decorre justamente da necessidade de se garantir o efetivo cumprimento dos direitos fundamentais.

Assim, podemos concluir que as restrições ao emprego de *drones*, seja pelo Poder Público, seja por particulares, decorrem, justamente, da garantia da ordem e da efetividade dos direitos fundamentais.

Hipervigilância e as implicações sociais do uso de drones

Tendo em vista as implicações jurídicas ainda incipientes do uso dos *drones* no Brasil, os aspectos sociojurídicos se mostram mais latentes quando analisada a relação dos *drones* com a chamada hipervigilância. O termo remete ao incremento de tecnologias que visam ao controle social através da constante e permanente observação dos indivíduos, sendo ou não em contextos de guerra ou de conflito, onde pode ocorrer uma padronização das ações, buscando, assim, uma “anormalidade” e estabelecendo padrões de comportamento e “alvos” que representam risco à normalidade através de dados obtidos pela observação vertical realizada pelos *drones*.

Procurando explicar as diversas implicações que os *drones* agora apresentam, principalmente quando utilizados por agentes do Estado, Chamayou (2015) elenca seis princípios caracterizadores dessa vigilância “*dronificada*”. O primeiro princípio refere-se ao olhar persistente ou à vigília permanente, onde não há mais limitações humanas, como quando a capacidade da máquina ficava

condicionada à do piloto. Agora, através da possibilidade de não tripulação para seu funcionamento, a reorganização do trabalho possibilita múltiplos operadores e ininterruptas horas de voo.

O segundo princípio elencado é o da vista sinóptica (CHAMAYOU, 2015, p. 35), onde há o olhar para a totalidade, uma vigilância não somente ampla, mas extensa, onde se vê tudo o tempo todo. Assim como as câmeras de vigilância das cidades, os *drones* se equiparariam a estas, mas as superariam pela mobilidade, tornando-se, de certa forma, onividentes. Seguindo, Chamayou (2015) coloca como terceiro princípio o arquivamento total de todas as vidas, explicando que a observação por si só não possui sentido se não fossem gravadas e arquivadas as imagens. Isso se conecta com o quarto princípio, que é o da fusão dos dados, referindo-se ao fato de que os *drones* que não somente possuem “olhos”, mas também ouvem e possuem outras funções orgânicas (CHAMAYOU, 2015, p. 55).

Por fim, os dois últimos princípios dizem respeito à possibilidade de esquematização das formas de vida e detecção de anomalias como antecipação preventiva. Chamayou (2015, p. 55) explica que a capacidade de visualização constante e com diversas fontes pode esquematizar padrões de vida e comportamento, podendo estabelecer um esquema regular que identificará como anomalia aqueles que se desviarem deste. Assim, há um padrão genérico de comportamento que se baseia em uma vigilância atuarial, onde buscar-se-á eliminar aqueles que são considerados riscos dentro de uma “suspeição categórica e da triagem social que definem outros sistemas contemporâneos de vigilância” (CHAMAYOU, 2015, p. 164).

A preocupação filosófica das implicações morais e éticas do uso dos *drones* é apontada por teóricos, nos últimos anos, através das experiências, principalmente norte-americanas, com o uso desses dispositivos. Bauman (2013, p. 26-27) retrata a vigilância pelos *drones* como um controle social que, agora, se afasta de um aprisionamento em seu sentido clássico, uma vez que sua flexibilidade permite o uso até recreativo do aparato, como ocorre com outras tecnologias eletrônicas, onde o próprio usuário facilita e disponibiliza suas imagens para o público indistintamente, cedendo, dessa forma, a sua privacidade em prol da satisfação pessoal. Especificamente falando sobre os *drones*, o autor lembra que estes tendem a ficar cada vez mais invisíveis, numa medida proporcionalmente oposta à visibilidade que o usuário cada vez mais da (em mídias sociais, em perfis de acesso público), ofertando uma desconexão do público com a vigilância, dando a falsa sensação de segurança da privacidade pela escolha ou não da exposição.

Wall e Monahan (2011, p. 239), buscando compreender as políticas de segurança americanas com o uso de *drones*, introduzem a terminologia “*the drone stare*”, cuja tradução literal não se adapta ao português, significando um novo tipo de vigilância que abstrai as pessoas dos contextos, reduzindo as diferenças entre elas, subjugando as distinções identitárias que fazem a noção do outro, buscando uma padronização dos indivíduos. Obviamente, Wall e Monahan (2011, p. 239) não descartam o benefício dos *drones* em prol das diversas atividades coletivas de uma nação, exemplificando o uso em desastres naturais, no policiamento de fronteiras extensas e no monitoramento de atividades de carteis de drogas. Ocorre que os autores identificaram como particularidade dos *drones*, que iniciaram sendo armas de guerra, no seu uso adaptado à cidade, uma premissa de mitigação das liberdades individuais, tal como em ambientes de conflito armado. Eles concluem que é passível a desumanização dos indivíduos através da vigilância vertical focada em comportamentos e padrões estatísticos que acabam se tonando “meras coordenadas espaciais e táticas” (WALL e MONAHAN, 2011, p. 247).

Dessa forma, a hipervigilância que existe mais sintomaticamente na Europa e nos Estados Unidos não necessariamente se aplica ao uso que se dá aos *drones*, hoje, no Brasil. Mas o levantamento dessas questões, que são atuais, atenta para outras possíveis questões histórico-sociais latentes que, ainda, não foram completamente resolvidas no país restando enquanto reprodução de desigualdades, que, em um paralelismo comparativo com o caso brasileiro, podem vir a se tornar elementos a serem observados e evitados no uso dos *drones*.

Considerações finais

Iniciada pela contextualização histórica do surgimento dos *drones* até seus efeitos jurídicos de utilização nos dias atuais, os *drones* evoluíram ao longo das décadas até se tornarem, hoje, um aparelho útil e, ao mesmo tempo, desafiador. Os *drones*, como assinalado, foram recentemente regulamentados no Brasil, enquanto, nos demais países, já se encontrava seu uso em situações de combate.

Assim como outras tecnologias que surgem em descompasso com a atualização e adaptação do direito no país, os *drones*, quando postos frente aos direitos fundamentais trazem dúvidas e incertezas para os juristas. Assim como exposto, os direitos fundamentais, mais notadamente a privacidade, têm não apenas a capacidade, mas também a necessidade, de se apresentar como um limite ao uso indiscriminado dos *drones* na sociedade. Tanto os particulares quanto o Poder Público têm o dever de resguardar os direitos da personalidade e os direitos fundamentais de todos os integrantes do organismo social, utilizando as aeronaves não tripuladas de modo a respeitar não apenas a regulamentação da ANAC acerca do tema, como, também, os direitos individuais.

Por fim, cabe ressaltar que o uso dessa tecnologia de vigilância integra-se à chamada hipervigilância, fenômeno sociológico em voga nos estudos sobre o uso de câmeras de segurança nas cidades. As diversas pesquisas mostram que, se observados padrões de comportamento, *o drone* que possui uma mobilidade maior que uma câmera fixa, pode resultar em equívocos e etiquetamentos de pessoas por características externas e padrões de comportamento não considerados “normais”.

Dessa forma, foi possível, através da revisão bibliográfica sobre o seu surgimento, as disposições legislativas sobre sua regulamentação e as implicações sobre os direitos fundamentais, trazer à tona as discussões pertinentes aos *drones* no âmbito jurídico atual.

Referências

- Agência Nacional de Aviação Civil. **Regulamento Brasileiro Da Aviação Civil Especial Rbac-E Nº 94**, 2017. Disponível em: http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94-emd-00/@@display-file/arquivo_norma/RBACE94EMD00.pdf. Acesso em: 20 dez. 2018.
- Bauman, Z. **Vigilância líquida**. Rio de Janeiro: Zahar, 2014.
- Brasil. **Constituição Federal**. 1988, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm. Acesso em: 4 dez. 2018.

- Chamayou, G. **Teoria do drone**. São Paulo: Editora Cosac Naify, 2013.
- Comparato, F. K. **A afirmação histórica dos direitos humanos**. São Paulo: Saraiva, 1999.
- Cretella Júnior, J. **Comentários à Constituição brasileira de 1988**: art. 1º a 5º, incisos I a LXVII. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1997.
- Defesanet. **avionics services - o arp caçador recebe aprovação do MD como Produto Estratégico de Defesa**. Disponível em: <http://www.defesanet.com.br/laad2017/noticia/25206/AVIONICS-SERVICES---O-ARP-CACADOR-recebe-aprovacao-do-MD-como-Produto-Estrategico-de-Defesa/%3E,%20recuperado%20em%2020%20de%20janeiro%20de%202019>. Acesso em: 15 jan. 2019.
- Doneda, D. **Privacidade, vida privada e intimidade no ordenamento jurídico brasileiro. Da emergência de uma revisão conceitual e da tutela de dados pessoais**, 2018. Disponível em: http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=2460. Acesso em 6 jan. 2019.
- Durans, L. **Tendências dos Investimentos no Mercado Civil de Drones**. Disponível em: <https://economydeservicos.com/2016/08/23/tendencia-dos-investimentos-no-mercado-civil-de-drones/>, 2016. Acesso em: 18 jan. 2019.
- Farias, E. P. de. **Colisão de direitos: a honra, a intimidade, a vida privada e a imagem versus a liberdade de expressão e informação**. Porto Alegre: Sergio Antônio Fabris., 1996.
- Gualazzi, G. A. S., Fontes, M. de B., Magalhães, J. H., De Paula, J. V., Molina, M. O. E. & Dos Santos, G. R. **RPA's Armadas: O Desafio Brasileiro**. XV Congresso Acadêmico sobre Defesa Nacional. Distrito Federal: Ministério da Defesa, 2018.
- McDaid, H.; Oliver, D. **Remote Piloted Aerial Vehicles: An Anthology**. Disponível em: http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/rpav_home.html#Beginnings. Acesso em: 18 jan. 2019.
- Mendes, L. S. **Privacidade, proteção de dados e defesa do consumidor: linhas gerais de um novo direito fundamental**. São Paulo: Saraiva (Série IDP - Linha de pesquisa acadêmica), 2014.
- Sarlet, I. W. **A eficácia dos direitos fundamentais**. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2001.
- Schimitt, C. **Teoría de la constitución**. Madri: Alianza Editorial, 1996.
- Sidou, J. M. O. **Direito à intimidade**. In: **Doutrinas essenciais de direitos humanos**. São Paulo: Revista dos Tribunais. v. 2. 2013.
- Wall, T.; Monahan, T. **Surveillance and violence from afar: the politics of drones and liminal security-scapes**. *Theoretical Criminology*, nº 15, v. 3, p. 239-254, 2011.

CAPÍTULO 3

INTEGRAÇÃO DE LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO AÉREO COM O USO DE VANT E LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO TERRESTRE PARA O MAPEAMENTO TRIDIMENSIONAL DAS RUÍNAS DE SÃO MIGUEL DAS MISSÕES

TAÍS CORREIA LEITE¹⁶

Introdução

Nos dias de hoje, fala-se muito em modelo tridimensional (3D) de objetos. Esse processo possui diversas aplicações, podendo ser utilizado para a reprodução física, numérica ou para processos de inspeção.

A fotogrametria compreende a arte, a ciência e a tecnologia amplamente utilizada em atividades que têm como finalidade a extração de medidas de objetos através de fotografias.

Nas tarefas de mapeamento, utilizam-se fotografias aéreas, em que através de uma série de processamentos fotogramétricos, são gerados produtos com o intuito de realizar medições em modelos digitais tridimensionais. No caso de fotografias aéreas, o elemento sensor presente na câmara fotográfica está localizado a uma longa distância do objeto fotografado. Mas, utilizando os mesmos princípios, é possível medir objetos ou edificações, com o sensor estando a curtas distâncias, para obter medidas e representação em um modelo tridimensional.

Para que seja possível extrair coordenadas e realizar medidas em modelos 3D gerados através da fotogrametria, é imprescindível a execução de duas etapas de orientação das fotografias, sendo a primeira denominada orientação interior (OI) e a segunda, orientação exterior (OE).

A orientação interior é responsável por reconstruir a geometria interna da câmara no momento da aquisição da fotografia. A orientação exterior possibilita a determinação da posição e da rotação da câmara com relação ao referencial do objeto.

Para a orientação exterior, é necessária a determinação de pontos de apoio no espaço-objeto, onde as coordenadas devem ser adquiridas pela técnica de levantamento geodésico, podendo-se utilizar equipamentos de topografia e receptores de navegação por satélites artificiais.

O uso do posicionamento geodésico para a medição dos pontos de apoio na fotogrametria permite que todo o levantamento fotogramétrico esteja orientado a um referencial comum e regional ou global.

Como exemplos da geração de modelos 3D utilizando fotogrametria pode-se, citar os seguintes (REISS, 2002, p.1):

- Restituição de fachadas de edificações com a finalidade de controle de deformações;

¹⁶ Engenheira Cartógrafa – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

- Restituição de monumentos históricos e sítios arqueológicos com finalidades de documentação, preservação e restauração;
- Modelagem digital de peças industriais para controle de qualidade;
- Mapeamento digital de rodovias e arruamentos através de sistemas transportados por veículos automotores;
- Restituição de superfícies anatômicas, principalmente na área biomédica;
- Reconstrução de objetos e elementos anatômicos com aplicações cinematográficas;
- Restituição de paisagens para estudos ambientais.

Objetivos

O objetivo geral deste trabalho foi a utilização de levantamentos fotogramétrico aéreo e terrestre, com apoio geodésico, para a geração de um modelo digital tridimensional das ruínas do Sítio Arqueológico São Miguel Arcanjo, no município de São Miguel das Missões, no estado do Rio Grande do Sul (RS).

Os principais objetivos específicos foram:

- Implantação da rede geodésica local na região do levantamento;
- Produção de mapa planialtimétrico;
- Geração do modelo digital tridimensional das ruínas;
- Geração do modelo digital do terreno no entorno das ruínas;
- Geração de fotografias ortorretificadas;

Procedimentos metodológicos e desenvolvimento

O trabalho foi amparado na execução de três tipos de levantamentos: Geodésico, Fotogramétrico Aéreo e Fotogramétrico Terrestre. Foram necessárias três visitas técnicas ao local de estudo para obtenção dos dados. As etapas desenvolvidas no trabalho foram:

- **Implantação da rede geodésica local:** construção e rastreamento dos marcos da rede geodésica local, necessária para referenciar os dados levantados e os produtos gerados ao Sistema Geodésico Brasileiro;
- **Coleta de dados:** refere-se à tomada das fotografias e obtenção de dados dos equipamentos (2x receptores GNSS, sistema inercial);
- **Processamento dos dados:** compreendeu os processamentos fotográfico e fotogramétrico das imagens obtidas, a determinação das coordenadas dos marcos geodésicos e dos pontos de apoio necessários à etapa de fototriangulação dos levantamentos fotogramétricos;
- **Geração dos produtos cartográficos:** fase de edição dos dados processados nos levantamentos, com extração de feições das fotografias e modelagem tridimensional;

O sistema geodésico adotado foi o Sistema Geodésico Brasileiro SIRGAS2000. A projeção plana utilizada foi a Universal Transversa de Mercator – UTM, fuso 21, Hemisfério Sul, meridiano central 57° Oeste.

Materiais utilizados

Equipamentos

- Câmera fotográfica Canon Rebel Xsi e acessórios;
- VANT de pequeno porte;
- Receptores GNSS *Topcon GR3*;
- Receptores GNSS *Topcon Hiper Lite*;
- Estação Total *Topcon 7500*;
- Estação Total *Ruide 862R*;
- Prismas e balizas;
- Estação Fotogramétrica;

Programas Computacionais

- Pacote Educacional ERDAS LPS;
- *Topcon Tools*;
- *PhotoScan*;
- CC (calibração de câmaras), desenvolvido por Galo (1993);
- *ArcGis Desktop 10*;

Área de estudo

Á área de estudo compreende as ruínas da igreja do Sítio Arqueológico de São Miguel Arcanjo, situadas no município de São Miguel das Missões, no estado do Rio Grande do Sul. O município está localizado, a aproximadamente, 483 km da capital Porto Alegre (Figura 1.)



Figura 1- Localização do município de São Miguel das Missões no estado do Rio Grande do Sul.

A delimitação da área de trabalho que abrange o Sítio Arqueológico está representada em contorno, na cor amarela, na Figura 2. A área mapeada possui cerca de 40 hectares. As ruínas da igreja encontram-se na parte central da imagem.



Figura 2 – Área de estudo em São Miguel das Missões. Fonte: *Google Earth, DigitalGlobe*, Data da imagem: 04/06/2012.

Levantamento geodésico

A função do levantamento geodésico serviu para a obtenção de dados através das técnicas de topografia e de posicionamento por satélites artificiais, possibilitando, assim, a amarração dos produtos gerados ao Sistema Geodésico Brasileiro. Com isto, implantou-se uma rede geodésica local, onde todos os levantamentos executados estão em um mesmo referencial.

As etapas para o levantamento geodésico por meio de rastreamento de GNSS foram:

- Implantação da rede geodésica local;
- Levantamento dos pontos de apoio aéreo;
- Levantamento de pontos de checagem para análise da qualidade da aerotriangulação e dos mapas;

Para as etapas de levantamento topográfico com a utilização de estação total foi efetuada:

- Medição dos pontos de apoio das fotografias terrestres das fachadas da ruína da igreja;

Rede Geodésica Local - Planejamento e implantação

A implantação da rede geodésica local consistiu na materialização de pontos, em que as coordenadas foram determinadas por meio de rastreamento de receptor GNSS pelo método relativo estático. Esses pontos materializados são chamados de marcos geodésicos e servem de base para futuros levantamentos a serem realizados.

Foi determinada a localização para três marcos (Figura 3.), sendo que o marco principal possui intervisibilidade entre outros dois marcos secundários. A localização dos marcos ocorreu dentro dos limites do parque.

O marco principal M01 consiste em um marco de concreto com formato tronco-piramidal, onde foi fixada uma chapa metálica com cola epóxi.

Os marcos M02 e M03 foram construídos em bases metálicas já existentes no local. Em seguida, verificou-se a estabilidade dos mesmos e foi feito um preenchimento com concreto e posterior fixação das chapas metálicas com cola epóxi.



Figura 3 – Etapas de implantação da rede geodésica local

A planimetria e a altimetria da rede geodésica foram realizadas através dos rastreios dos receptores GNSS. A altitude obtida pelo GNSS é a geométrica. Essa altitude possui um significado puramente matemático, mas, considerando que um dos objetivos do trabalho foi a geração do modelo tridimensional das ruínas, no qual a rigidez geométrica torna-se importante, utilizou-se a altitude geométrica.

Processamento dos dados

O processamento das coordenadas para o marco M01 foi realizando-se como estação de referência os vértices de POAL (Porto Alegre – RS), SMAR (Santa Maria – RS) e SCCH (Chapecó – SC), pertencentes à RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (Figura 4).

As coordenadas dos marcos M02 e M03 foram determinadas de forma independente, considerando o marco M01 fixo, garantindo a confiabilidade interna para os demais dados levantados neste trabalho, visto que, assim, as incertezas que influenciam na posição absoluta desse ponto não são propagadas para os demais.

As coordenadas foram pós-processadas e ajustadas através do programa computacional *Topcon Tools*.



Figura 4 - Marcos geodésicos da rede geodésica local

Pontos de apoio do levantamento fotogramétrico aéreo

Os pontos de apoio do levantamento aerofotogramétrico são necessários para a etapa de aerotriangulação das fotografias. As coordenadas desses pontos foram determinadas por meio do levantamento geodésico com receptores GNSS, pelo método RTK. Rastreou-se um total de 30 pontos, os quais foram chamados de HV, em que a numeração foi de 5001 a 5030.

Os equipamentos utilizados na medição desses pontos de apoio foram:

- Par de receptores GNSS marca *Topcon*, modelo GR-3;
- Par de receptores GNSS marca *Topcon*, modelo Hiper Lite+;
- Coletoras marca *Topcon*, modelos FC-250 e FC-2500;

Os pontos de apoio necessitam de uma geometria ideal, que deve ser representada por uma grade regular, na qual os pontos estejam separados entre si pela mesma distância. Por isso, a distribuição dos pontos de apoio deste trabalho foi pensada para se obter uma maior robustez geométrica. Entretanto, essa regularidade é difícil de ser obtida devido aos limitadores físicos do local do levantamento, como árvores, casas, muros, entre outros. A melhor distribuição encontrada está apresentada na Figura 5.



Figura 5 – Distribuição dos pontos de apoio do aerolevanteamento

Para que esses pontos de apoio fossem identificados nas fotografias, eles foram materializados de duas maneiras. A primeira consistiu na confecção de uma circunferência de 14 cm de raio feita com material de Espuma Vinílica Acetinada (EVA) e isopor. A circunferência feita de EVA foi fixada numa base de isopor no mesmo formato e numa base de EVA no formato retangular de cor diferente das circunferências, gerando um contraste que facilitaria a identificação dos pontos nas fotografias, na etapa de aerotriangulação. Em campo, esses pontos foram presos ao solo com pregos e arruelas.

A segunda forma de materialização dos pontos de apoio foi feita para locais em que era impossível a utilização de pregos para fixação, como no caso de asfalto (Figura 7). Para solucionar essa dificuldade demarcou-se o solo com tinta branca, utilizando-se moldes de circunferência de 14 cm de raio.



Figura 6 – Etapas de sinalização e medição dos pontos de apoio

As bases utilizadas para o rastreamento dos pontos de apoio consistiram nos marcos M01 e M02, com a divisão de duas equipes de trabalho, cada uma com um par de receptores GNSS, uma coletora e rádios comunicadores.

No escritório, foi realizado o processamento e os ajustamentos dos pontos GNSS RTK rastreados, bem como foram efetuadas as correções dessas coordenadas, através das coordenadas dos marcos que serviram como base M01 e M02.

Pontos de apoio do levantamento fotogramétrico terrestre

Para os pontos de apoio fotogramétrico terrestre, foi necessário fazer medição direta nas ruínas. Esses pontos foram constituídos por alvos afixados nas ruínas ou por locais facilmente identificáveis (definidos por cruzamentos de linhas, detalhes, quinas, janelas, portas, etc). Na fachada principal (norte), foram utilizados alvos já existentes no local (Figura 7).

Os pontos fixados no dia do levantamento foram confeccionados em papel adesivo tamanho A4, onde os alvos circulares foram impressos, conforme (Figura 8). A codificação dos alvos permitiu a identificação automática pelo programa usado na etapa de fototriangulação.

As coordenadas da maioria dos pontos de apoio terrestre foram determinadas pelo método de intersecção a vante. E os demais pontos que não puderam ser determinados por intersecção a vante foram calculados por irradiação direta. Isso ocorreu devido à inexistência de medições de um ponto de apoio em mais de uma estação topográfica ou pela constatação de erros grosseiros.

Essas medições foram feitas a partir de vértices de uma poligonal ao redor das ruínas (Figura-9), utilizando o modo de medição sem prisma. Os vértices da poligonal foram medidos com estação total e por rastreo de GNSS estático relativo. Os equipamentos utilizados foram os seguintes:

- Par de receptores GNSS marca *Topcon*, modelo *Hiper Lite +*;
- Estação Total marca *Topcon*, modelo *GPT-7505*;



Figura 7 – Pontos existentes na fachada principal utilizados com apoio.



Figura 8 – Alvos pré-sinalizados nas fachadas

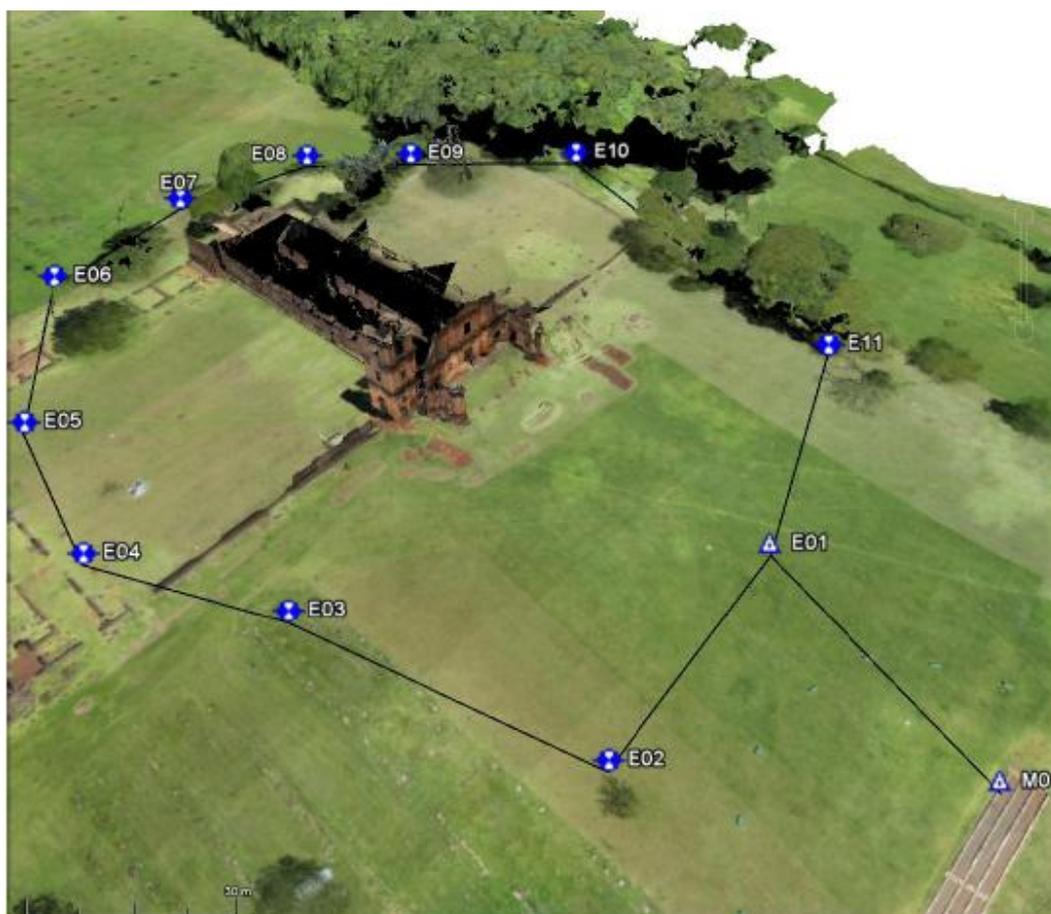


Figura 9 – Poligonal topográfica de apoio

O levantamento topográfico da poligonal foi calculado e ajustado no programa computacional *Topcon Tools*, em que onde considerou-se uma poligonal fechada com azimute dada pela linha formada entre o vértice (estação E01) e o marco M01. As coordenadas do M01 são as mesmas obtidas pela rede geodésica local, e as coordenadas de E01 foram obtidas pelas medições topográficas. A partir desses dois pontos, as coordenadas dos demais vértices foram calculadas e ajustadas. Assim, foram determinadas as coordenadas dos pontos de apoio medidos nas fachadas, utilizando-se as leituras angulares horizontais e verticais na posição direta, para os pontos calculados por intersecção a vante, ou as leituras angulares e de distância para os pontos calculados por irradiação simples.

Pontos de checagem para o controle de qualidade do aerolevantamento

O Controle de Qualidade (CQ) do aerolevantamento envolveu a medição dos pontos de checagem em momentos e locais diferentes dos pontos de apoio. Esses pontos de checagem foram utilizados nos testes de qualidade da aerotriangulação da restituição e da altimetria. A medição dos pontos foi realizada com receptores GNSS, os mesmos mencionados anteriormente para os pontos de apoio do levantamento fotogramétrico aéreo (Figura 10).



Figura 10 - Levantamento dos pontos de checagem

Levantamento fotogramétrico aéreo

Materiais

Foi utilizado:

- VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) de pequeno porte, modelo *Swinglet CAM*, da **SenseFly** (Figura 11). A aeronave possui 80 cm de envergadura, com baterias e com autonomia de voo de cerca de 30 minutos.

- Câmera Digital modelo IXUS 220 HS, da Canon, com um receptor GNSS e um sistema inercial. O quadro focal é de 4000 x 3000 *pixels*, com sensor 6,16 x 4,62 mm, tamanho do *pixel* de 1,54 μm e distância focal nominal 4,3 mm.

O sistema inercial serve para fornecer as coordenadas tridimensionais próximas ao centro perspectivo e os ângulos de orientação da câmera no momento da tomada das fotografias. Já o receptor GNSS corrige os efeitos de deriva inerentes ao sistema inercial. Esses dados são necessários na etapa de fototriangulação.



Figura 11- VANT utilizado no projeto. Fonte *Sensefly*, 2013

Planejamento

O sistema VANT vem acompanhado de um programa computacional que realiza os cálculos necessários para o plano de voo. O usuário pode escolher o tamanho do pixel no terreno, ou também, chamado GSD (*Ground Sample Distance*, na sigla em inglês).

O GSD escolhido para a produção do mapa do parque foi de 7 cm. Esse tamanho de GSD possibilita um número menor de fotografias. Era possível escolher um GSD de 3 cm, mas isso ocasionaria uma grande quantidade de fotografias. Com o número menor de fotografias, a quantidade de pontos de ligação para a etapa de aerotriangulação também diminuiu.

Os voos foram programados através do *software* que acompanha a aeronave. Por meio dele, também é possível controlar a direção e a velocidade do vento, além de efetuar comandos para

aterrissagem ou para abortar o voo em caso de algum problema. Com a velocidade do vento maior que 6m/s, a aeronave retornava automaticamente para o local de aterrissagem.

Processamento dos dados

Utilizaram-se fotografias de dois voos diferentes, com tamanho teórico do pixel no terreno de 7 cm. O primeiro voo (área norte e central do parque) teve altura média de 231 m, enquanto o segundo voo (área sul do parque) foi executado com altura média de 191 m. No total foram, escolhidas 47 fotografias do primeiro voo e 22 do segundo (Figura 12). Essas fotografias correspondem aos limites da área de interesse, tendo sido descartadas as fotografias que não contribuíam com o trabalho.

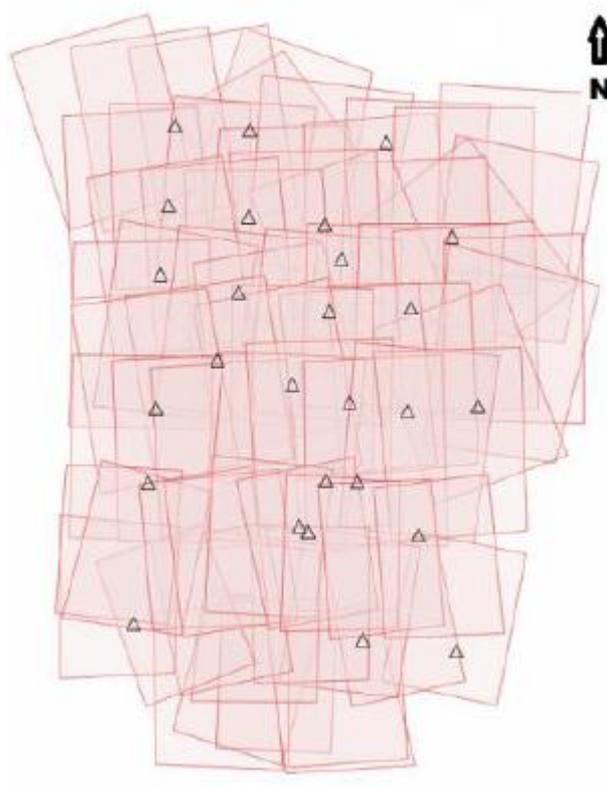


Figura 12- Distribuição das fotografias aéreas e localização dos pontos de apoio

Aerotriangulação

Os programas utilizados para essa etapa foram os programas de Fotogrametria LPS e ORIMA, disponíveis através do programa principal ERDAS IMAGINE.

Primeiramente, no LPS, foi feita uma aerotriangulação aproximada, em que utilizaram-se os parâmetros de orientação interior nominais da câmara (distância focal nominal e deslocamento do

ponto principal nulo), parâmetros aproximados de orientação exterior e medição de pontos de ligação dos pontos de apoio levantados em campo.

Com o programa ORIMA, realizou-se a aerotriangulação com autocalibração bloco-variante para a obtenção dos parâmetros de orientação interior da câmara. Novamente, utilizou-se o LPS para uma nova aerotriangulação, na qual o programa interpretou corretamente os parâmetros advindos do ORIMA.

Com a aerotriangulação definitiva, obteve-se também, a orientação exterior (posições e ângulos de rotação de cada fotografia) possibilitando, assim, a restituição das feições de interesse.

A restituição foi realizada na estação fotogramétrica digital através da extensão *Stereo Analyst* do programa computacional *ArcGis*, o qual proporciona a extração de feições através de estereoscopia.

Modelo digital de terreno

Após a vetorização das feições, executou-se a geração do Modelo Digital de Terreno (MDT). Este foi gerado com espaçamento planimétrico de 8m. Considerou-se o espaçamento utilizado como suficiente para a definição do terreno, pois este não apresentava variações acentuadas de declividade.

Com isso, verificou-se que seria necessária a edição do MDT, eliminando-se pontos que definiam a altitude de edificações, árvores e outras feições que não definiam a topografia do terreno.

A Figura 13 mostra os pontos gerados (na cor azul), a grade irregular TIN (triângulos) e as curvas de nível (nas cores laranja e amarelo).

Com a edição concluída, as curvas de nível geradas, foram de uma equidistância de 1 m.

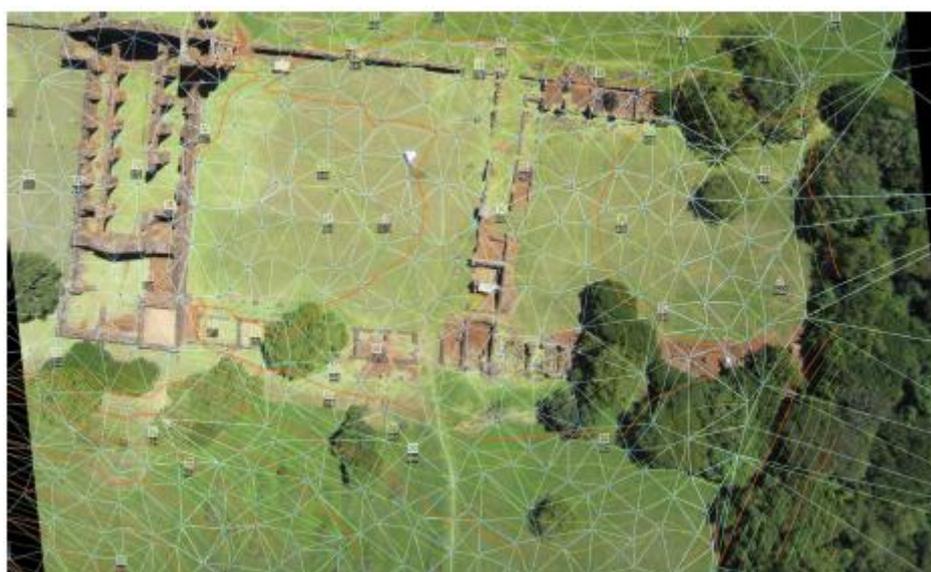


Figura 13 – Edição do MDT

Ortofoto

Com o Modelo Digital do Terreno gerado, foi possível a execução de um mosaico de ortofotos da área total mapeada, ou seja, de um ortofotomosaico.

Inicialmente as fotografias apresentaram um grande contraste entre as adjacentes, devido às diferenças de exposição no momento da tomada dessas fotos. Para resolver esse problema, foi aplicado um filtro de iluminação geral para todas as fotografias, produzindo-se, assim, um mosaico definitivo de resultado satisfatório (Figura 14).



Figura 14 – Ortofoto da área mapeada

Levantamento fotogramétrico terrestre

Para o Levantamento Fotogramétrico Terrestre, foi utilizada a câmara fotográfica não métrica modelo Xsi (450D) da Canon, com uma objetiva fixa.

Especificações da câmara:

- Quadro focal 4272 x 2848 *pixels*;
- Sensor 22,2 x 14,8 mm;
- Tamanho do pixel 5,2 μm ;
- Distância focal nominal 20,0 mm.

Planejamento e execução

Inicialmente, considerou-se uma distância de 35 m entre a câmara e as fachadas das ruínas da igreja. Esse valor foi pensado de modo a capturar toda a torre da igreja (cerca de 20 m de altura) em uma única fotografia na posição horizontal. Um menor número de fotografias reduziria o tempo necessário para a aerotriangulação e para as demais etapas necessárias para a geração do modelo tridimensional. O tamanho do pixel para essa distância corresponderia a 9 mm (Figura 15).

Mas, na prática, foi necessário fotografar as partes altas (fachada norte e torre) com mais de uma fotografia horizontal (posição imagem), além de realizar tomadas com a câmara na vertical (posição retrato). A distância considerada entre a estação de tomada de fotografias e a fachada norte da igreja foi aproximadamente de 25m, proporcionando um GSD de cerca de 6,5 mm. Para as demais fachadas, a distância foi de, aproximadamente, 8m com GSD de 2,0mm.

As fotografias das fachadas norte e oeste foram realizadas das 10h até as 12h, devido à melhor iluminação natural nesse período. Já as fachadas sul e oeste, tiveram o melhor período de iluminação a partir das 14h.

A abertura da lente utilizada foi de f/16, o que torna a objetiva mais fechada, possibilitando uma grande profundidade de campo. O foco foi utilizado em modo manual, deslocado para a posição de infinito, evitando assim, que a distância focal variasse e possibilitando que toda a cena fotografada estivesse em foco. A câmara foi utilizada com abertura constante. O tempo de exposição foi calculado pela própria câmara, considerava a iluminação medida para cada cena. Em todas as fotografias, a câmara esteve apoiada em tripé, para evitar movimentos desnecessários. O tripé também ajuda em cenas mais escuras, onde é preciso um período maior sem movimento, pois, nestas, o tempo de exposição necessário é mais longo do que em cenas bem iluminadas.



Figura 15 – Estações de tomada de fotografias terrestres

A etapa de fototriangulação do levantamento fotogramétrico terrestre foi realizada com o programa *PhotoScan*. Os pontos de apoio obtidos no levantamento geodésico foram medidos nas fotografias. No final do processo da fototriangulação, uma nuvem de pontos foi gerada por correlação de imagens com base nos pontos de apoio medidos nas fachadas (Figura 16). A fototriangulação resultou em um erro de 14,9 mm, correspondente a 0,454 *pixels*. Para se obter um melhor resultado do modelo tridimensional das ruínas, o mesmo foi texturizado (Figura 17).



Figura 16 – Nuvem de ponto obtida pela fototriangulação



Figura 17 – Modelo tridimensional texturizado da igreja

O modelo tridimensional da igreja foi integrado com o modelo gerado pelas fotografias aéreas utilizando o *PhotoScan* (Figura 18). Não utilizou-se, neste trabalho, a união do modelo da igreja com o MDT (Modelo Digital de Terreno) gerado pela aerotriangulação. As fotografias do aerolevanteamento foram processadas de maneira análoga ao processamento para o levantamento fotogramétrico terrestre, sendo possível abrir, em um mesmo programa, os dois modelos (da igreja e do terreno), gerando a visualização dos modelos integrados.



Figura 18 – Modelo tridimensional integrado

Conclusão

Os objetivos propostos foram atingidos com a geração dos produtos cartográficos e do modelo tridimensional das ruínas da igreja de São Miguel das Missões. Neste trabalho, teve-se a oportunidade de utilizar o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) de pequeno porte e avaliar suas potencialidades.

Por ser um veículo aéreo leve, sua utilização é restrita a condições de vento favoráveis para o aerolevante. Mesmo em condições de pouco vento, percebeu-se que as fotografias formam faixas de voo sinuosas e apresentam ângulos de rotação maiores que os aerolevantes tradicionais.

Com base nos resultados obtidos com a utilização do VANT, pode-se desenvolver um produto cartográfico com exatidão planimétrica a partir de 33 cm e atividades que privilegiam as informações visuais.

Como exemplos de uso, podemos citar as seguintes:

- Fiscalização do meio ambiente, para identificação de áreas desmatadas, entre outras atividades ilegais;
- Inteligência policial, para registro de acidentes e mapeamento de áreas violentas;
- Documentação de desastres naturais;
- Acompanhamento de obras de engenharia;
- Mapeamento de atividades de agricultura e pecuária, para quantificação de áreas de preservação permanente, de acordo com as exigências do Código Florestal Brasileiro.

O conhecimento e a prática da Fotogrametria Arquitetural foram de grande importância para a elaboração de informações detalhadas, que contribuem para a preservação da memória de patrimônios.

Por fim, as atividades executadas neste trabalho são importantes para a divulgação e a consolidação da Fotogrametria no mapeamento tridimensional de sítios arqueológicos. Além disso, comprovam a viabilidade da aplicação de levantamento fotogramétrico aéreo com a utilização de VANT com o objetivo de geração de produtos cartográficos e de levantamentos fotogramétricos terrestres para a representação tridimensional de obras e edificações, principalmente aquelas de valor histórico e cultural.

Referências bibliográficas

- Andrade, J.B. **Fotogrametria**. 1. Ed. Curitiba: SBEE, 1998.
- Burrough, P. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford: Oxford University, 1998.
- Erdas Stereo Analyst. **User's Guide**.
- Falkner, E. **Aerial mapping: methods and applications**. Boca Raton: Lewis, 1995.
- Galo, M. **Calibração e Aplicação de Câmaras Digitais**, Curitiba, Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, 1993.
- Galo, M., & Camargo, P. de O. **O uso do GPS no controle de qualidade de cartas**. In.: Cobrac - 1994, 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Tomo II, p. 41-48, Florianópolis, 1994.
- Gemael, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**. Curitiba: Editora UFPR, 1994.
- Hasegawa, J. K. **Restituição Fotogramétrica (Analítica e Digital): Teoria das Orientações – Introdução**. 25p. Digitalizado, 2004.
- Jensen, J. R. **Sensoriamento remoto do meio ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese. 2009.
- Kraus, K. **Photogrammetry v.1: Fundamentals and Standard Processes**. Dümmlerbuch, Vienna, 2000.
- Leal, F. M. **São Miguel das Missões: Estudo de Estabilização e Conservação das Ruínas da Igreja**. *Revista do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional*, Rio de Janeiro, n. 19, p. 71-96, 1984.
- Lopez-Cuervo, S. **Topografia**. Madrid: Mundi-Prensa, 1996.
- Lugnani, J. B. **Introdução à Fototriangulação**. Curitiba: UFPR, 1987.
- Mikhail, E. M., Bethel, J. S., & Mcglone, J. C. **Introduction to Modern Photogrammetry**. New York: John Wiley & Sons, 2001.
- Monico, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: UNESP, 2008.
- Oliveira, C. **Dicionário cartográfico**. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.
- Oliveira, M. M. **A Documentação como Ferramenta de Preservação da Memória**. Brasília: IPHAN, 2008.
- Pereira, R. S. **A Estatística e suas aplicações**. Porto Alegre: Grafosul, 1979.
- Reiss, M. L. L. **Restituição Fotogramétrica Flexível de Imagens à Curta Distância: Estudo de Métodos e Desenvolvimento de Protótipo**. (Mestrado em Ciências Cartográficas) Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2002.
- Reiss, M. L. L. **Reconstrução Tridimensional Digital de Objetos a Curta Distância por Meio de Luz Estruturada**. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2007.
- Reiss, M. L. L. **Princípios de Fotogrametria**. Notas de Aula, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.
- Reiss, M. L. L. **Fotogrametria II**. Notas de Aula, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.
- Palermo, R. de A, & Leite, T. C **Integração de Levantamento Fotogramétrico Aéreo com o Uso de Vant e Levantamento Fotogramétrico Terrestre para o Mapeamento Tridimensional das**

Ruínas de São Miguel das Missões. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

Tommaselli, A. M. G. **Fotogrametria Básica**, 2014.

Wolf, P. R. **Elements of photogrammetry: With air photo interpretation and remote sensing**. 2. ed. New York: Mcgraw-H, 1983.

CAPITULO 4

USO DE VANT NA CARTOGRAFIA: GERAÇÃO DE BASE CARTOGRÁFICA TRIDIMENSIONAL

MANUELLA A. RODRIGUES FAGUNDES¹⁷
ANDREA LOPES IESCHECK¹⁸

Introdução

As Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), também conhecidas como *drone* ou VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), são atualmente utilizadas para as mais diversas aplicações e demandas. Como exemplo, pode-se citar o mapeamento topográfico, o mapeamento temático, (como vegetação, uso do solo, áreas impermeabilizadas, sítios arqueológicos e áreas susceptíveis a deslizamento de terra), o monitoramento florestal e agrícola, a inspeção de estruturas verticais para apoio à engenharia civil, o monitoramento agrícola, as missões de resgate e o auxílio a desastres.

Essa tecnologia, inicialmente de uso militar, evoluiu ao longo dos anos e se tornou mais acessível ao público em geral. Além disso, os *drones* vêm ganhando espaço na economia mundial, visto que trazem mais facilidade, agilidade e menor custo aos levantamentos (SOARES, 2018).

O presente capítulo aborda o uso de drones na cartografia, ou seja, o mapeamento a partir de imagens digitais obtidas com essas plataformas. Ao engenheiro cartógrafo, especialista na elaboração de mapas, cabe analisar a melhor forma de coletar, de tratar e de representar as informações disponíveis, de modo a atender às necessidades dos usuários. Alcançar esse propósito, muitas vezes, não é uma tarefa fácil, visto que existem inúmeras formas de representar a realidade e nem todas permitem um entendimento claro e realmente simplificado. A elaboração desse tipo de produto pressupõe o conhecimento das técnicas e das regulamentações relacionadas ao tema. Portanto, inicialmente, são aqui apresentados alguns conceitos para subsidiar o entendimento dos princípios teóricos e científicos envolvidos no mapeamento com *drones*. Em seguida, descreve-se a metodologia utilizada, bem como os produtos gerados, para o mapeamento tridimensional realizado no município de Candiota, no Estado de Rio Grande do Sul (RS), a partir de dados obtidos com VANT.

A Associação Cartográfica Internacional (ICA) define Cartografia como a ciência que trata da organização, apresentação, comunicação e utilização da geoinformação, sob uma forma que pode ser visual, numérica ou tátil, incluindo todos os processos de elaboração, após a preparação dos dados, bem como o estudo e utilização dos mapas ou meios de representação em todas as suas formas. As metodologias utilizadas na representação de dados geoespaciais abrangem um conjunto de

¹⁷ Engenheira Cartógrafa graduada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Atualmente cursa mestrado no Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da mesma universidade.

¹⁸ Professora Associada do Departamento de Geodésia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), possui graduação em Engenharia Cartográfica e é Mestre e Doutora em Ciências Geodésicas pela Universidade Federal do Paraná (UFPR)

atividades, desde a aquisição dos dados à geração do produto final. Assim, sob a denominação Cartografia estão todos os procedimentos e métodos destinados ao planejamento, à coleta, ao processamento, à interpretação, à representação, à visualização e à utilização de dados geoespaciais. O aprimoramento das atividades de mapeamento exigiu, no decorrer da história, a melhoria dos instrumentos e dos processos para obtenção de informações geoespaciais.

Dentre os diferentes métodos de aquisição e de processamento de dados para fins de mapeamento está a fotogrametria. A Sociedade Internacional de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (ISPRS) define fotogrametria como a ciência que consiste na arte e tecnologia de obter informações confiáveis da superfície da terra e demais objetos físicos, através de medições, análises e representações utilizando fotografias (ISPRS, 2016). A fotogrametria evoluiu ao longo do tempo, migrando da fotogrametria analógica para a analítica e, posteriormente, para a fotogrametria digital. Congregar os diversos processos e métodos matemáticos e físicos a partir de fotografias, utilizando-se instrumentos sofisticados, constitui a ciência de mapeamento aerofotogramétrico (TOMASELLI, 2012). Percebe-se, a partir da definição apresentada, que o princípio teórico utilizado no mapeamento com *drones* é a fotogrametria.

Silva (2015) ressalta que a integração de métodos fotogramétricos com os avanços da visão computacional tem aumentado o mercado interessado em imagens digitais obtidas com plataformas não tripuladas. Também, o uso de VANT para fins de mapeamento tem crescido em virtude do uso de receptores GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite) de maior precisão nas aeronaves, o que possibilita maior autonomia nos voos e melhor controle de estabilidade e de altitude.

As etapas básicas necessárias para a geração de produtos cartográficos com qualidade geométrica, são: planejamento de voo, pré-sinalização/apoio de campo, execução do voo, processamento dos dados, elaboração dos produtos intermediários e finais e controle de qualidade para validação desses produtos.

O planejamento do voo é crucial para o aerolevanteamento com *drone*, pois, nessa etapa, são definidos todos os parâmetros envolvidos no levantamento. É importante conhecer as características da área, limites e perímetro, direção do vento, horário para realização do voo, local de lançamento e pouso, tipo de câmera a ser utilizada, altitude, velocidade do voo e sobreposição das imagens. A etapa seguinte, referente à pré-sinalização e ao apoio de campo, envolve a distribuição de alvos artificiais e a determinação das coordenadas dos centros desses alvos que servirão como pontos de apoio. Na etapa de execução do voo é fundamental adotar todos os procedimentos técnicos e de segurança, conforme manual de uso do modelo utilizado, antes de iniciar o voo. Também, é feita a verificação das condições meteorológicas no dia do voo, para que não haja acidentes e nem a perda do aerolevanteamento. Na sequência, é realizado o processamento dos dados, tanto do levantamento das coordenadas dos alvos artificiais como das fotografias. Faz-se a correlação das coordenadas dos pontos na imagem com as respectivas coordenadas medidas no terreno e a densificação desses pontos no processo denominado de fototriangulação. A partir das imagens corrigidas, há uma gama de produtos que podem ser gerados, dentre eles, Modelos Digitais de Terreno (MDT), Modelos Digitais de Superfície (MDS), ortofotos, ortofotomosaicos, mapas topográficos e mapas tridimensionais. Após a confecção dos produtos cartográficos, é feita a análise da qualidade desses produtos para sua validação.

Geração da base cartográfica tridimensional

A área de desenvolvimento do trabalho compreende o complexo termelétrico de Candiota e a região de seu entorno, localizada no município de Candiota, no estado do Rio Grande do Sul. Este município está, a aproximadamente, 400 km de distância da capital Porto Alegre, na latitude 31°28'36" S e longitude 53°40'45" O. A população residente de Candiota, segundo Censo Demográfico 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), é de 8.771 habitantes e, como área de unidade territorial, o município ocupa 933,834 Km². A delimitação da área de trabalho tem aproximadamente 7,61Km². O VANT utilizado, ECHAR 20A, é um modelo de grande porte, que exige lançamento com catapulta e, portanto, foi necessário obter autorização da aeronáutica, conforme a legislação direcionada aos aerolevantamentos com ARP (*Drone* ou VANT). Esse equipamento foi desenvolvido especialmente para as atividades de aerolevamento. Segundo a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), aerolevamento é o conjunto de operações para obtenção de informações de parte terrestre, aérea ou marítima do território nacional, por meio de sensor instalado em plataforma aérea (ANAC, 2016a). No Brasil, conforme legislação vigente (Circular de Informações Aéreas AIC N 21/10), caracteriza-se VANT como sendo toda a aeronave projetada para operar sem piloto a bordo, de caráter não recreativo e que possui carga útil embarcada.

A metodologia adotada para geração da base cartográfica tridimensional envolve todas as atividades, desde o projeto fotogramétrico e o planejamento de voo, até a geração do produto final e sua validação. Os procedimentos realizados no desenvolvimento deste trabalho estão esquematizados no fluxograma da Figura 1.





Figura 1. Fluxograma das atividades

Inicialmente, a área de interesse foi pré-sinalizada com nove alvos de lona PVC. Esse procedimento visa melhorar a precisão dos pontos de controle, os quais são fundamentais para os cálculos da aerotriangulação. Os algoritmos mais modernos de fotogrametria são capazes de gerar modelos sem pontos de controle, porém, há uma perda significativa na precisão. Como a região de estudo tem maior parte de sua área correspondente a campos e vegetação, os alvos foram distribuídos em locais de fácil acesso. Esses alvos já haviam sido testados em outros trabalhos e apresentaram boa visibilidade nas fotografias aéreas com resolução espacial de 10 cm.

Utilizou-se um par de receptores GNSS de dupla frequência (geodésicos), sendo um fixo (base) e outro móvel, para determinação das coordenadas dos pontos centrais dos alvos. No marco utilizado como base, o tempo de rastreamento foi, de aproximadamente, oito horas. Nos pontos de controle, foi utilizado o método de posicionamento relativo estático, com tempo de rastreamento igual a 5min, uma vez que a distância entre esses pontos e a base era inferior a 10 km.

Para o ajustamento das coordenadas rastreadas, processou-se, primeiramente, a base localizada na fazenda próxima a Seival, com relação às estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) situadas no município de Pelotas (RSPE) (distância de aproximadamente 133 km do município de Candiota) e de Santa Maria (SMAR) (distância de aproximadamente 213,21 km do município de Candiota). Em seguida, utilizou-se esta base corrigida como referência para o processamento das coordenadas dos pontos de controle.

O planejamento do voo foi realizado a partir da delimitação do polígono da área de estudo e da inserção dos dados da câmera e dos parâmetros do voo. Utilizou-se uma câmera digital com 18 *Mpixels* de resolução e sensor com as bandas infravermelho próximo, verde e azul (NIRGB). Neste trabalho, a altitude de voo foi de 600 m, no sentido leste-oeste, com sobreposição lateral de 30% e sobreposição longitudinal de 60 % e com resolução espacial de 10 cm. Esses parâmetros podem ser alterados, e também, é possível variar o ângulo das linhas de voo, o que pode ser necessário dependendo da direção do vento. A velocidade padrão adotada foi de 11 m/s, a qual pode ser modificada se for necessário. Após o ajuste de todos os parâmetros, é possível analisar os dados estatísticos do voo, como a área total coberta, a distância linear das faixas, a distância entre uma foto e outra, o *Ground Sample Distance* (GSD) (resolução espacial, ou seja, o tamanho real do pixel no terreno), o número de fotos estimadas para a missão, o número de faixas, o tamanho do quadro da imagem no solo, a distância entre uma linha e outra, o tempo de voo, o tempo entre a captura de uma imagem e a seguinte e o raio utilizado pelo VANT para sair de uma faixa e entrar na outra.

Ao total, foram tiradas e utilizadas 600 fotografias, as quais foram processadas no *software Photoscan*. Primeiramente, alinha-se as fotografias de forma arbitrária para o reconhecimento e a marcação dos alvos artificiais. Para que isso seja possível, é necessário inserir o log de voo, fornecido em um arquivo no formato texto, que contém as coordenadas do centro de cada fotografia

obtidas pelo receptor GNSS inercial instalado no VANT. Quando as fotografias e o arquivo do log de voo são inseridos, automaticamente, a trajetória do voo pode ser vista. A partir do alinhamento das fotos, é possível visualizar a posição de todas as fotografias.

No passo seguinte, foram inseridas as coordenadas dos pontos de controle (coordenadas dos alvos). Como a altitude fornecida pelo GNSS é geométrica (referenciada ao elipsóide), utilizou-se o modelo geoidal Mapgeo 2015, disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para sua conversão em altitude ortométrica (referenciada ao geóide).

Em seguida, criou-se uma nuvem de pontos, com base nas imagens e nas suas respectivas posições, a qual foi densificada de forma a obter o maior número de pontos possível, considerando a capacidade computacional. A partir destes dados, foi possível gerar o MDS e o modelo tridimensional da região. Após essa etapa, fez-se o processo de aerotriangulação para obtenção das ortofotos e dos modelos de terreno.

Na geração do MDT, foram utilizados filtros automáticos para eliminação dos ruídos. Para suavizar as curvas de nível do modelo, foram aplicados dois filtros, sendo o primeiro para preenchimento de buracos e eliminação das depressões, e o segundo um filtro de média. Com relação ao ortofotomosaico, foram detectadas algumas falhas no modelo, devido à falta cobertura em pequenas regiões da área de estudo. Essas imperfeições podem ter ocorrido devido à velocidade do vento no dia do voo. Com o objetivo de melhorar a qualidade do modelo tridimensional, em regiões onde os elementos não ficaram nítidos, foram inseridos pontos de ligação nas imagens. Comparando o mosaico gerado sem os pontos de ligação com o outro gerado com os pontos de ligação, notou-se uma melhora na imagem. Porém, a concentração da fumaça, emitida pelas chaminés da usina, prejudicou a identificação das feições na região central da usina mesmo com o uso desses pontos.

Na etapa de vetorização, realizou-se a coleta digital das feições de interesse para elaboração da base cartográfica tridimensional. Para identificar as feições em uma composição NIRGB, é essencial entender o comportamento espectral dos alvos de interesse nessa composição, para então, distingui-los corretamente.

Como em todo processo de vetorização, alguns critérios de generalização cartográfica foram adotados. Há uma dependência da escala que define a seleção, simplificação e síntese das feições escolhidas para compor o mapa. Prima-se pela comunicação eficiente de acordo com o trabalho, o que torna o processo intuitivo e dependente do objetivo. Definiram-se as categorias de informação a serem vetorizadas, como construções, vegetação, sistema viário e hidrografia. Na vetorização da hidrografia, foram utilizadas as primitivas gráficas linha e área. A vegetação foi vetorizada como área e, para o sistema viário, a primitiva gráfica utilizada foi a linha, sendo que todos os caminhos identificados foram vetorizados considerando o eixo das ruas como referência. O critério de escala adotado para vetorização foi a geração do mapa final em escala 1:2000. Sendo assim, a vetorização foi feita em uma escala quatro vezes maior, 1:500. As feições que não foram distinguidas, nessa escala, não foram vetorizadas. A vegetação densa foi vetorizada, mas a vegetação mais esparsa em determinadas regiões foi desconsiderada. Para as edificações, como o objetivo é obter a altura em função do centroide, onde ocorreu cada mudança de plano visível na imagem, um novo polígono foi considerado. Cuidados com a topologia foram tomados, possibilitando que os dados possam ser futuramente utilizados em um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

A geração da base cartográfica tridimensional envolveu a elaboração do projeto cartográfico e a produção do modelo tridimensional. O projeto cartográfico contemplou a geração do

ortofotomosaico, do MDS, do MDT, a definição das classes de informação a serem representadas, o cálculo das cotas e a organização dessas informações.

O cálculo das cotas das edificações foi elaborado através da identificação dos centroides de cada polígono. Esses centroides foram unidos às informações do MDS para extração dos valores das altitudes, a partir dos pixels correspondentes a esses centroides no MDS.

Uma questão a ser levantada é quanto às cores utilizadas na representação tridimensional. Para o ortofotomosaico, gerado em NIRGB, algumas cores normalmente utilizadas em mapas topográficos tiveram que ser substituídas. Assim, as cores escolhidas para representação no modelo final foram testadas e consideradas mais adequadas para o contexto deste trabalho. A produção do mapa de base tridimensional foi realizada no software QGIS, que tem como opção de armazenamento o arquivo em página HTML, possibilitando o acesso, a visualização e a interatividade a partir de qualquer computador.

Controle de qualidade e validação dos produtos

O primeiro controle de qualidade foi referente à etapa de pré-sinalização, para verificar a precisão dos pontos de controle. Foram analisados os desvios padrão das coordenadas planimétricas e altimétricas e, através do cálculo realizado com os desvios médios, obteve-se um vetor tridimensional desses desvios. O maior valor encontrado para a média dos desvios foi de 6,26 cm e a média entre todos os desvios foi de 5,84 cm. Quanto à cor dos alvos, verificou-se a possibilidade de seus centros não estarem bem visíveis nas fotografias, fato que contribuiu para a perda de precisão.

A validação da qualidade posicional do ortofotomosaico foi feita a partir da medição da distância entre as coordenadas de pontos medidas nas imagens e suas coordenadas correspondentes levantadas em campo. Realizou-se uma segunda saída de campo para levantamento das coordenadas de pontos bem identificados nas fotografias.

Na análise da qualidade posicional da ortofoto do MDT e da representação tridimensional, foram medidas, em campo, as coordenadas de 13 pontos bem identificados na ortofoto e a altura de 25 edificações. Para medição desses pontos, utilizou-se um receptor GNSS de dupla frequência e o método de posicionamento relativo estático. A estação de referência foi posicionada no marco geodésico localizado no interior da Companhia Riograndense de Mineração (CRM). O processamento desses pontos foi semelhante ao processamento dos alvos realizado no *Topcon Tools* e utilizando as mesmas estações da RBMC.

Para análise da qualidade da ortofoto e do MDT, quantificaram-se as discrepâncias entre as coordenadas dos pontos medidas nos produtos cartográficos e as coordenadas correspondentes medidas em campo. Utilizou-se o *software GeoPEC* para realizar os cálculos, os quais foram conferidos e validados. Para verificação da qualidade do atributo tridimensional do mapa, ou seja, das alturas das edificações, comparou-se as alturas medidas em campo com os valores correspondentes utilizados na representação. Posteriormente, foram aplicadas as condições do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) para enquadramento nas respectivas classes de precisão.

Resultados

A qualidade posicional planimétrica do mapa gerado foi compatível com a elaboração de produtos cartográficos na escala 1:500 ou menores, considerando o padrão de exatidão cartográfica classe A. Para a altimetria, o erro máximo testado em 90% dos pontos foi de 1,277 metros e o desvio padrão de 1,078 metros.

O relatório gerado no *GeoPEC* afirma que a análise planimétrica resultou em um produto acurado para a escala 1/500. O resultado do Padrão de Exatidão Cartográfica foi Classe A, de acordo com o Decreto-lei n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras. O produto foi submetido à análise de tendência e precisão em suas componentes posicionais, e os resultados concluem que o mesmo é preciso e não apresenta tendência. Segundo a análise altimétrica o produto é acurado para a equidistância vertical de 3 metros das curvas de nível. O resultado do Padrão de Exatidão Cartográfica foi Classe B, de acordo com o Decreto-lei n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras. O produto foi submetido à análise de tendência e precisão em suas componentes posicionais, e os resultados concluíram que o mesmo é preciso e não apresenta tendência.

Com relação às alturas das edificações, o erro máximo testado em 90% dos pontos foi de 1,55 metros e o desvio padrão de 0,77 metros. Dois dos produtos cartográficos intermediários apresentados ao longo da metodologia estão representados na Figura 2, Ortofotomosaico e Modelo Digital do Terreno, respectivamente.

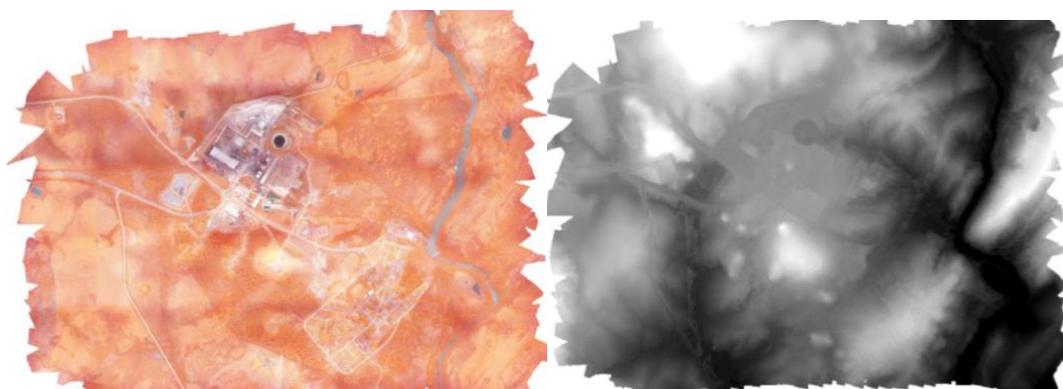


Figura 2. Ortofotomosaico com resolução de 10 cm e Modelo Digital do Terreno

A ilustração do produto final, qual seja, a base cartográfica tridimensional, é apresentada na Figura 3, em escala aproximada de 1:15000.



Figura 3. Base Cartográfica Tridimensional

Conclusões

O objetivo de apresentar os procedimentos utilizados na elaboração da base cartográfica tridimensional a partir de dados obtidos com VANT foi alcançado. A metodologia adotada se mostrou adequada para a elaboração e controle de qualidade dos produtos cartográficos intermediários e final, porém, devem ser observadas as características locais para aplicação dessa metodologia em outras áreas.

Verificada a validade da metodologia, esta pode ser executada em grande escala, conferindo resultados com a mesma qualidade. Visando o seu aprimoramento, algumas observações são necessárias. A primeira se refere à identificação correta dos centros geométricos das edificações em campo, pois os valores das alturas utilizados consideram os centros geométricos dos polígonos. Outra questão está relacionada à quantidade e à distribuição dos alvos. Constatou-se que devido ao arrastamento da imagem, o centro de alguns desses alvos não puderam ser devidamente identificados. A última consideração atenta para a necessidade de voo cruzado em regiões onde há elementos muito altos, como as torres presentes na Usina Termelétrica. Como neste trabalho não foi realizado voo cruzado, o atributo de altura teve que ser inserido manualmente, visto que o cálculo de extração de altura apresentou um resultado abaixo do esperado para esses elementos.

Referências bibliográficas

ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil. **Atividade de aerolevanteamento**. Disponível em: <http://www2.anac.gov.br/empresas/aerolevEsp.asp> Acesso em: 2 jul.2016

ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil. **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial**. 2015. Disponível em <http://www2.anac.gov.br/transparencia/audiencia/2015/aud13/anexoI.pdf> Acesso em: 2 jul. 2016

ISPRS, **International Society for Photogrammetry and Remote System**. STATUTE II. Disponível em: http://www.isprs.org/documents/pdf/statues_bylaws04.pdf Acesso em: 06/06/2016

Silva, D. **Evolução da Fotogrametria no Brasil**. Revista Brasileira de Geomática, Pato Branco, v. 3, n. 2, p.90-105, 14 dez. 2015. Disponível em: <http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/RBGeo/article/view/1924>. Acesso em: 16 set. 2016.

Soares, L. A.. **5 passos para realizar um levantamento aerofotogramétrico com *drones***. Notícia no website do Insituto Geoeduc. Disponível em: geoeduc.com/blog/5-passos-levantamento-aerofotogrametrico-com-drones/ Acesso em: 30 ago. 2018.

Tommaselli, A. M. G. **Fotogrametria básica**. São Paulo, 2012. (Apostila)

CAPITULO 5

DRONES NAS CIÊNCIAS FLORESTAIS

RORAI PEREIRA MARTINS NETO¹⁹

FÁBIO MARCELO BREUNIG²⁰

Introdução

Informações precisas sobre a composição da floresta, estrutura, volume, crescimento e produção e extensão são fundamentais para o manejo florestal sustentável e podem ser extraídos a partir de dados de Sensoriamento Remoto (LEFSKY et al., 2002; TANG e SHAO, 2015) que se tornou uma ferramenta indispensável para quantificar variáveis relevantes para o inventário florestal. Inicialmente eram utilizadas fotografias aéreas, com diferentes tipos filme, para alocação e delimitação de parcelas, reconhecimento e estratificação da vegetação. Posteriormente, junto com a tecnologia de desenvolvimento de sensores e ferramentas computacionais, estas tarefas foram realizadas a partir de imagens de satélite multiespectrais e hiperespectrais o que possibilitou o uso de algoritmos para classificação, extração de índices de vegetação, análises multitemporais e detecção de mudanças no monitoramento dos recursos florestais (WULDER, 1998; WULDER e FRANKLIN, 2012). Com a popularização dos sistemas de varredura LASER aerotransportado (SVLA), um sistema ativo de Sensoriamento Remoto baseados na tecnologia LIDAR (*Light Detection and Ranging*), tornou possível a aquisição de dados topográficos tridimensionais de alta precisão. O pulso LASER possui como característica a penetração no dossel de árvores, permitindo a extração de informações adentro da vegetação, importantes para estudos de modelagem volumétrica e de biomassa (SKOVSGAARD e VANCLAY, 2008; VOSSELMAN e MAAS, 2010).

Embora haja uma gama de aplicações do Sensoriamento Remoto na área florestal, alguns desafios técnicos podem ser encontrados como por exemplo o tempo de revisita dos satélites, que dificulta monitoramentos que necessitam de aquisição instantânea de imagens, como por exemplo infestação de pragas e focos de incêndios florestais (WULDER et al., 2006; NÄSI et al., 2015; Arroyo et al., 2008; Merino et al., 2006), resolução espacial inadequada quando se deseja realizar estudos a nível de copa, folhas ou árvores individuais (BANU et al., 2016), elevado custo nos levantamentos com aeronaves (principalmente em pequenas áreas) aliado a alta sensibilidade as nuvens e dificuldade de acesso em regiões remotas (PÁDUA et al., 2017).

¹⁹ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT/UNESP), Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas, Rua: Roberto Simonsen, 305 – Centro Educacional, Presidente Prudente/SP, CEP 19060-900, Brasil.

²⁰ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Departamento de Engenharia Florestal, linha Sete de Setembro s/n, UFSM, Frederico Westphalen/RS, CEP 98400-000, Brasil.

Nos últimos anos têm crescido a utilização dos *drones* (Veículos Aéreos não Tripulados) para coletas de dados em florestas. Dentro os benefícios podemos citar os baixos custos operacionais, coleta de dados de alta intensidade, versatilidade dos sensores embarcados (Câmaras Ópticas e SVLA), flexibilidade de operação no momento desejado (como por exemplo em fases fenológicas específicas das plantas, em certos eventos meteorológicas, áreas de difícil acesso e perigosas para observação tripulada), na otimização do tempo de voo para evitar cobertura de nuvens (TORRES-SÁNCHEZ et al., 2013; COLOMINA e MOLINA, 2014; AASEN et al., 2015; TANG e SHAO, 2015) e aquisição de dados com alta resolução espacial (SAARINEN et al., 2017). Além disso é possível a integração de sensores de posição/orientação (GNSS/INS) de pequena e média resolução, viabilizando a automação para trabalhos voltados à Fotogrametria, principalmente aspectos do trabalho relacionados com o recobrimento aéreo autônomo e determinação direta da posição e orientação da câmara no instante das tomadas das imagens (GRAÇA et al., 2017). Porém, apesar dos potenciais dos *drones*, sua utilização é restrita pequenas áreas devido a limitada resistência de voo, dificuldades na regulação das operações, capacidade limitada de carga, instabilidade das condições de vento no momento do voo, além da configuração adequada da escolha correta da plataforma, a seleção ideal dos sensores a sua instalação e os testes necessários para a obtenção de um sistema pronto para voar (TANG e SHAO, 2015; TORRESAN et al., 2016).

Em geral, os *drones* têm sido mais aplicados em florestas plantadas, cujas imagens são utilizadas para atualização do cadastro florestal, monitoramento de falhas de plantio e de pragas florestais, determinação de linhas de plantio e altura das árvores, contagem de indivíduos, entre outros. Entretanto, pouco é estudado sobre a aplicação dos *drones* em florestas nativas no Brasil, em que é possível o monitoramento de fragmentos, classificação de indivíduos e de empreendimentos de recuperação de áreas degradadas. Dado o contexto exposto sobre as aplicabilidades, configurações e desafios, o presente capítulo tem o objetivo de apresentar uma revisão dos principais usos dos *drones* na ciência florestal.

Drones como plataformas

Existem diferentes classificações para os *drones*, como por exemplo, em classes de tamanho, altura de voo e resistência (WATTS et al., 2012; ANDERSON e GASTON., 2013; NEX e REMONDINO; JORGE e INAMASU, 2014). As plataformas utilizadas para florestas são pequenas, com peso típico menor que 20 kg e autonomia que varia de alguns minutos até algumas horas e podem ser subdivididas em asa fixa (em que a decolagem e o pouso ocorre na horizontal) ou asa rotativa (em que a decolagem e o pouso ocorrem na vertical). Cada tipo tem suas vantagens, e a escolha está baseada no tamanho e complexidade da área mapeada, no tipo de sensor a ser embarcado e a resolução desejada no levantamento, condições necessárias para decolagem e pouso da plataforma, além da experiência do operador para o planejamento e gerenciamento do voo (PÁDUA et al. 2017).

Na Figura 1 é possível ver alguns exemplos comerciais de *drones* com asa fixa. Estes modelos são preferíveis quando se deseja recobrir uma área maior, com um GSD (*Ground Sample Distance* – tamanho do pixel no terreno) de precisão centimétrica. Sua velocidade e altura de voo é maior que as plataformas de asa rotativa, e a experiência necessária do operador é mínima. Porém, os modelos de asa fixa necessitam de uma pista para decolar/aterrissar, ou lançados manualmente (TANG e SHAO, 2015; TORRESAN et al., 2016). Outra questão, devido ao material leve com que são produzidos, eles são mais instáveis sendo mais suscetíveis a ventos, o que pode acarretar em maiores erros no levantamento, onde Tahar e Ahmad. (2013); Boon et al. (2016); Boon et al. (2017) relataram uma precisão geométrica menor em Z quando comparado com dados da mesma área obtidos por *drone* de asa rotativa, devido a menor resolução da imagem e maior tempo de exposição.



Figura 1. Exemplos de alguns Drones comerciais de asa fixa: a) *QuestUAV*; b) *SenseFly eBee*; c) *Trimble UX5*; d) *MAVinci Sirius Pro*; e) *PrecisionHawk Lancaster*. Fonte: PÁDUA et al., 2017.

Os modelos com asa rotativa (Figura 2) possuem uma menor autonomia de voo, voam em uma altura mais baixa e com menor velocidade e o operador necessita de mais experiência para pilotar a plataforma. Como vantagens podemos citar um pequeno espaço para realizar o pouso e a decolagem já que é realizado na vertical, maior capacidade de carga (podem ser embarcados sensores mais robustos), quanto maior o número de lâminas menor o risco de falhas da plataforma, menor vibração e mais estabilidade na aquisição dos dados, permitindo a obtenção de GSD com precisão milimétrica (ANDERSON e GASTON, 2013; BANU et al., 2016; BOON et al., 2017).

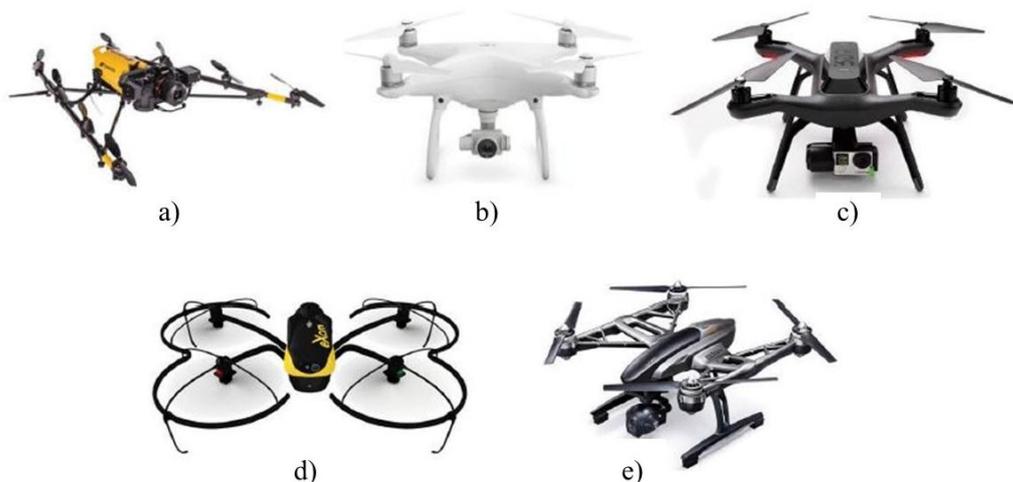


Figura 2. Exemplos de alguns Drones comerciais de asas rotativas: a) *Topcon Falcon 8*; b) *DJI Phantom 4*; c) *3DR SOLO Quadcopter*; d) *SenseFly eXom*; e) *Yuneec Typhoon*. Fonte: PÁDUA et al., 2017.

Sensores

Os tipos de sensores variam de acordo com a aplicação desejada. Para uso em *drones* eles devem ser leves devido a capacidade de carga das plataformas. Existe uma ampla gama de sensores disponíveis no mercado. Os sensores passivos registram a energia eletromagnética refletida pelos alvos (ex: a vegetação) e incluem câmaras RGB e NIR (Infravermelho Próximo), câmaras térmicas, multiespectrais e hiperespectrais (TANG e SHAO, 2015). Já os sensores ativos como por exemplo o LIDAR (*Light Detection and Ranging*) é baseado na transmissão dos pulsos LASER em uma superfície com elevada taxa de repetição.

As câmaras utilizadas podem ser de baixo custo, como câmaras digitais de lentes simples até câmaras profissionais de alto valor (KLEMAS, 2015; PÁDUA et al., 2017). Estas câmaras normalmente são não-métricas, ou seja, inicialmente não foram produzidas para trabalhos fotogramétricos e de cartografia como as câmaras métricas que possuem a distância focal calibrada, alta precisão geométrica e alto grau de correção para as lentes (WOLF et al., 2014). Porém, é possível a realização da calibração em serviço (*on-the-job*) que consistem do ajustamento por feixes de raios perspectivos considerando as equações de colinearidade e pontos de controle na área a ser imageada. Assim, neste processo é realizada a reconstrução das feições do espaço objeto conjuntamente com o processo de calibração, permitindo que câmaras não-métricas possam ser utilizadas para trabalhos fotogramétricos (BAZAN, 2008).

As câmaras RGB (Figura 3) operam na faixa de luz do visível, no comprimento de onda compreendido entre 400 e 700 nm. Elas são normalmente de pequeno e médio formato e fornecem imagens de alta resolução espacial (COLOMINA e MOLINA, 2014). Após os processamentos são produzidos ortomosaicos com o bloco de imagens tomadas e Modelos Digitais de Superfície Fotogramétricos (MDS), os quais utilizam de algoritmos de visão estéreo ou de SfM (*Structure for*

Motion) que reconstruem o espaço tridimensional por meios das imagens (LUCIEER *et al.*, 2012; TURNER *et al.*, 2012) (Figura 4).



Figura 3. Exemplo de algumas câmaras RGB utilizadas em *drones*: a) *Sony Nex A6000*; b) *GoPro Hero Series*; c) *PhaseOne IQ3*; d) *Canon G9X*; e) *FujiFilm FinePix JX580*; f) *Nikon D800*.

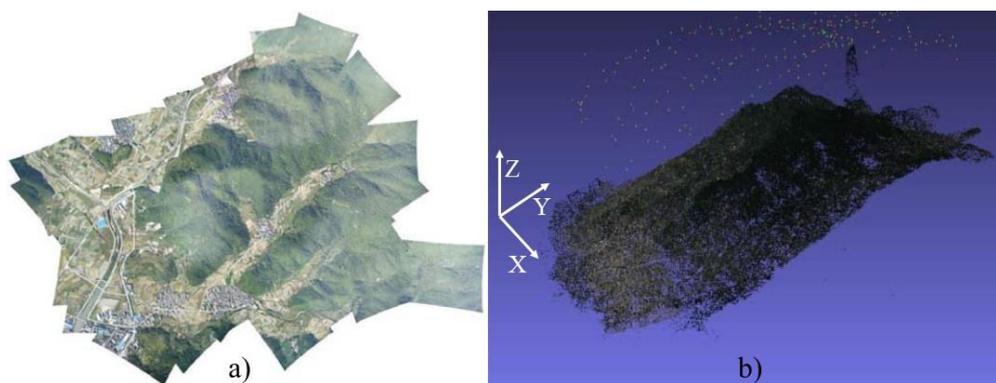


Figura 4. a) Ortomosaico de uma área florestada; b) Nuvem de pontos fotogramétrica por meio de SfM. Fonte: TAO *et al.*, 2011.

Utilizando técnicas de fotointerpretação, as imagens em RGB fornecem informações visuais valiosas para usos florestais, porém quando o objetivo é estudar propriedades biofísicas da vegetação, estas imagens podem não ser adequadas visto que melhores respostas da vegetação são obtidas na região do NIR (Infravermelho Próximo), região do espectro de alta reflectância (PETERSON e RUNNING, 1989; XIE *et al.*, 2008). Existe uma ampla bibliografia que trata do

Sensoriamento Remoto da Vegetação que pode ser vista em Jones e Vaughan. (2010); Jensen e Epiphanyo. (2011); Wulder e Franklin. (2012); Ponzoni et al. (2015).

As câmaras infravermelhas podem operar na região do NIR, SWIR (infravermelho de ondas curtas) e TIR (infravermelho termal). Estas câmaras apresentam grande potencial para usos em florestas, pois na região do infravermelho ocorre uma alta reflectância da vegetação devido a estrutura de espalhamento dentro das folhas e dosséis e conteúdo de água (JENSEN, 2011). É possível transformar uma câmara RGB em câmara NIR, removendo o filtro e substituindo por um que filtre as faixas da região do visível e, unindo as imagens RGB com NIR é possível realizar composições coloridas falsa-cor, que auxiliam na interpretação visual de áreas florestadas (Figura 5a), e a extração de índices de vegetação, como por exemplo NDVI (Figura 5b) que são baseados em aritmética de bandas para maximizar a sensibilidade a parâmetros biofísicos da vegetação (Jensen, 2011). Uma vasta lista de índices e suas aplicações podem ser vistos em Bannari et al. (1995); Jensen. (2011) e (<https://www.indexdatabase.de/>).



Figura 5. Imagens infravermelha falsa-cor, onde as copas das árvores estão apresentadas em tons magenta. Fonte: ZARCO-TEJADA et al., 2014.

Os sensores termais (Figura 6) operam nos comprimentos de onda entre 5000 a 14.000 nm e registram o calor dos objetos na superfície (ou emissividade), o que pode ser interessante para monitoramento de incêndios florestais (Figura 7). Quando comparados com as câmaras convencionais, os sensores termais possuem um custo muito mais elevado e as imagens obtidas possuem resolução espacial menor. A intensidade registrada em cada pixel pode ser transformada em uma medição de temperatura o que permite a produção de mapas de calor (SHENG et al., 2010).



Figura 6. Algumas câmaras termais utilizadas em *drones*: a) *Photon 320*; b) *IRMOD V640*; c) *FLIR Vue*; d) *Workswell WIRIS*. Fonte: PÁDUA *et al.*, 2017.



Figura 7. Imagem Termal sobreposta a uma imagem RGB obtidas com *drone* em uma área com ocorrência de incêndio florestal. Fonte: *Forest Data Lab*, 2016.

A utilização de câmaras multiespectrais e hiperespectrais em *drones* é recente, pois até então elas eram muito pesadas para esta plataforma, enquanto que as câmeras RGB e RGB modificadas para aquisição da banda NIR, eram consideradas como ferramenta padrão embarcada em Drones para uso em fotogrametria e sensoriamento remoto (SALAMÍ *et al.*, 2014; PÁDUA *et al.*, 2017). As câmaras multiespectrais também apresentam ampla aplicação em florestas, já que em um mesmo sensor é possível adquirir bandas múltiplas como R, G, B, borda do vermelho (*Red-edge*), NIR, SWIR e bandas termais, o que permite caracterizar melhor espectralmente a vegetação e utilizar esses dados para classificação de espécies, monitoramento de pragas e da saúde da floresta (NEBIKER *et al.*, 2008; BERNI *et al.*, 2009; LALIBERTE *et al.*, 2011). A Figura 8 mostra algumas

câmaras multiespectrais comerciais, as quais normalmente são configuradas para detectar de 4 a 12 bandas, as quais podem ser pré-definidas pelo fabricante ou pelo usuário no momento da compra.

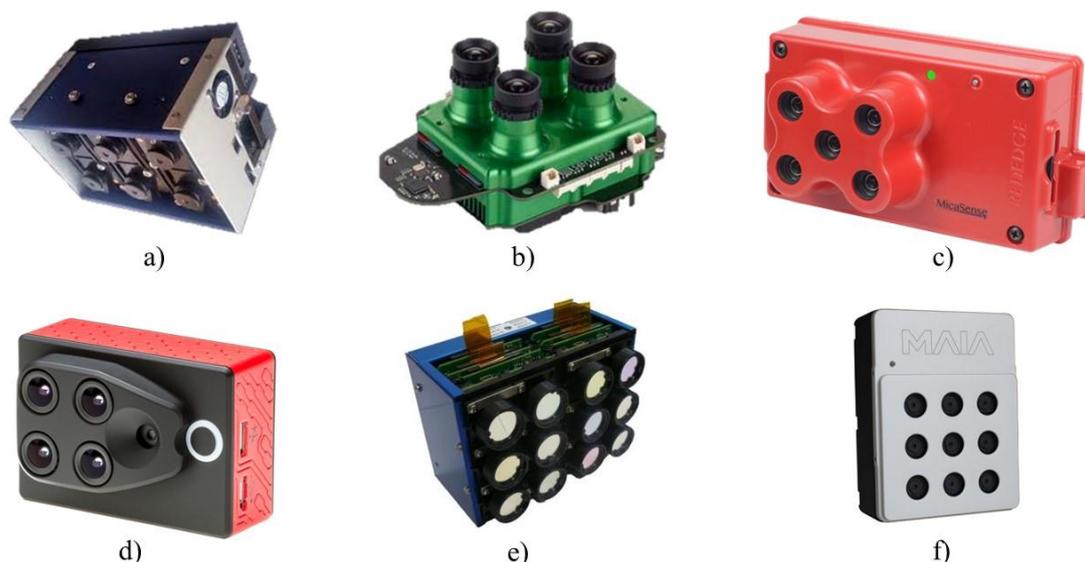


Figura 8. Algumas câmaras multiespectrais utilizadas em *drones*: a) *Tetracam MCAW*; b) *Santera Quad*; c) *MicaSense Red-edge*; d) *Parrot SEQUOIA*; e) *Tetracam Mini MCA-12*; f) *MAIA WV*.

Enquanto as câmaras multiespectrais possuem bandas com largos intervalos de comprimento de onda, as câmaras hiperespectrais são capazes de registrar centenas de bandas estreitas, onde cada pixel da imagem contém todo o espectro dos comprimentos de onda detectados e não somente intervalos de comprimento de onda (EISMANN, 2012). Assim, essas imagens fornecem muito mais informações espectrais que as imagens multiespectrais (Figura 9), contribuindo para o monitoramento floresta como por exemplo na distinção de tipologias e espécies florestais bem como medir propriedades da cobertura vegetal associadas com sua estrutura, fenologia e fisiologia das plantas antes e depois de intervenções e distúrbios no meio (GALVÃO et al., 2013; ADÃO et al., 2017).

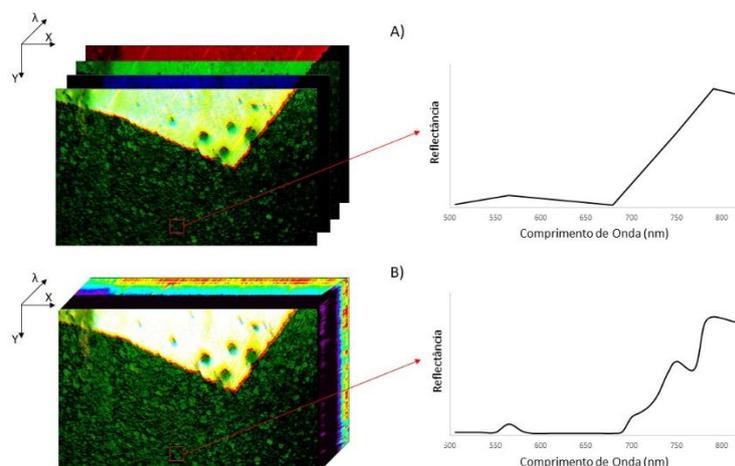


Figura 9. Duas imagens de uma área de floresta nativa no interior do estado de São Paulo: a) Imagem multiespectral RGB e o espectro de reflectância; b) Cubo hiperespectral e o espectro contínuo de reflectância nas bandas estreitas.

As câmaras hiperespectrais geralmente fazem a varredura da cena com uma geometria do tipo *pushbroom*, cobrindo instantaneamente várias bandas espectrais de uma linha de varredura, formando imagens que são combinadas em um cubo de dados. No entanto, devido ao princípio de varredura de linha, cada linha da imagem é capturada a partir de uma posição e atitude diferentes, e esses dados de orientação precisam ser adquiridos durante o voo usando receptores GNSS (Sistema de Navegação Global por Satélite) de dupla frequência e Unidades de Medida Inercial (IMU) integradas, além de um modelo digital de superfície externo, já que a geometria *pushbroom* não permite a obtenção de imagens estereoscópicas. Embora esses equipamentos estejam se tornando mais acessíveis, os custos das unidades que fornecem a precisão necessária às vezes são maiores do que a plataforma e o sensor. As câmaras hiperespectrais de quadro (Figura 10) constituem uma solução tecnológica mais adequada para levantamentos com *drones*, uma vez que as imagens de quadro podem ter sua posição e atitude determinadas indiretamente com menor dependência de dados de navegação da plataforma (TOMMASELLI et al., 2015; MIYOSHI., 2016).

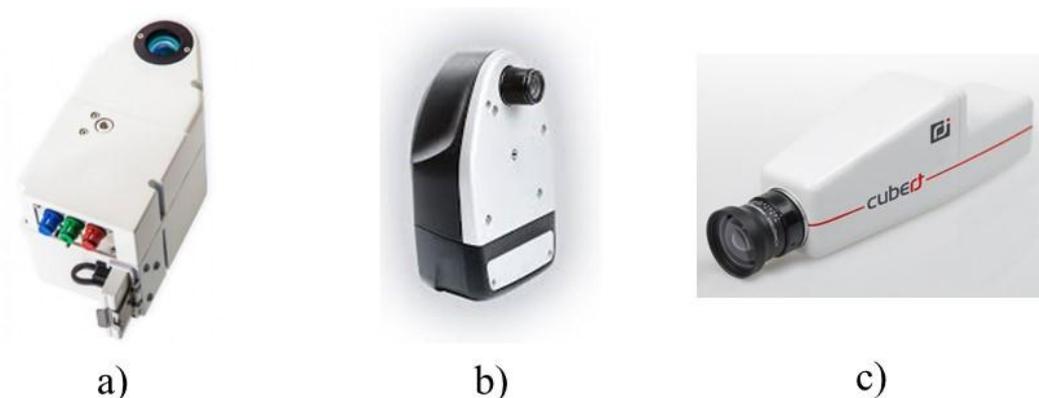


Figura 10. Câmaras hiperespectrais comerciais de quadro para uso em *drones*: a) RIKOLA; b) Senop HSC – 2; c) Cubert S185 – FIREFLEYE SE.

Os sensores de varredura LASER são dispositivos de medição que fornecem informações geométricas tridimensionais por meio da tecnologia LIDAR que, em sua grande maioria, utilizam o princípio de medição de tempo de percurso do sinal (*time-of-flight*) em que os pulsos LASER são emitidos e o tempo que o pulso leva para ser refletido pelo objeto na superfície e retornar ao instrumento é medido, assim é determinada a distância entre o sensor e o objeto (JAKKOLA, 2015).

A nuvem de pontos 3D gerada a partir de dados LASER possui um diferencial quando comparada com as fotogramétricas, já que os pulsos LASER possuem a propriedade de penetrar no dossel da vegetação, permitindo a obtenção de Modelos Digitais de Terreno (MDT) e do dossel (CHM), extração de métricas a nível de parcela e de árvores individuais, com as quais é possível fazer aferições para extração dos parâmetros estruturais como por exemplo o diâmetro a altura do peito, quantidade de biomassa, densidade de árvores e volume (LIM et al., 2003; MORSDORF et al., 2009; WALLACE et al., 2011). A miniaturização dos sensores de varredura LASER (Figura 11) tem permitido a sua utilização para o mapeamento móvel, possibilitando a obtenção de dados 3D em pequenas áreas, por meio de *drones*.



Figura 11. Exemplos de sensores LIDAR para uso em *drones*: a) Velodyne VLP-16; b) IBEO Lux; c) Rousescene LidarPod; d) YellowScan Mapper. Fonte: JAKOLLA, 2015; PÁDUA et al., 2017.

Processamentos

Após a realização do voo é obtido um bloco de imagens que são processadas para ortorretificar, mosaicar e produzir os modelos digitais de superfície, todavia algumas questões devem ser levadas em consideração (GRENZDÖRFFER et al., 2008):

- I) As câmaras utilizadas, normalmente, são não métricas, sem os POIs (Parâmetros de Orientação Interior) conhecidos e sem ajuste vertical, o que resulta em fotos inclinadas causadas por influências do vento ou instabilidade da plataforma. Além disso, para garantir o ajuste completo do bloco fotogramétrico, as fotos necessitam de uma alta sobreposição lateral e longitudinal (>70%).
- II) Devido ao pequeno tamanho do sistema e à abordagem de baixo custo, são utilizados receptores GNSS pequenos e de baixa precisão e IMU com elevados desvios, os quais não permitem o georreferenciamento direto das imagens. Com isso, a qualidade não é boa o suficiente para fornecer valores iniciais de POEs (Parâmetros de Orientação Exterior) razoáveis para o processo de aerotriangulação.
- III) O número e a distribuição dos pontos de controle no terreno (GCP) para garantir a precisão necessária.

A técnica de SfM surge como alternativa para o processamento de várias fotografias sobrepostas obtidas por *drones* para obtenção de nuvens de pontos 3D esparsas. Os métodos tradicionais necessitam do conhecimento da posição e orientação da câmara e localização de muitos pontos de controle do solo para triangulação da cena e a reconstrução do espaço objeto. Já o SfM resolve a posição da câmara e a geometria da cena simultaneamente e de maneira automática utilizando um ajuste em bloco com elevada redundância, ou seja, o algoritmo permite a utilização de diferentes câmaras, lentes, distâncias focais e resolução da imagem sem o conhecimento prévio dos POEs e POIs. Normalmente, a técnica do SfM é baseada em adaptações do algoritmo SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*) que é robusto em termos de correspondência para imagens sobrepostas. Uma vez identificados em cada imagem, os recursos SIFT são aproximadas pelo vizinho mais próximo e as correspondências mais fracas são filtradas. Baseado nas correspondências (*matching*) os POEs e POIs e as coordenadas 3D são calculadas para cada feição obtida pelo SIFT formando uma nuvem de pontos 3D que captura a estrutura do objeto (LOWE, 2004; LUCIEER et al., 2012; SALAMÍ et al., 2014). Porém, o SfM demanda uma elevada carga computacional, podendo o tempo de execução variar de algumas horas para dias de processamento quando o número de imagens e a resolução for elevada (WESTOBY et al., 2012). Mesmo que o SfM realize o alinhamento das imagens, estas nem sempre estão com a precisão adequada com relação as coordenadas de terreno, assim a coleta de GCPs com boa distribuição na área são necessários para verificar a qualidade geométrica do produto obtido.

Mais informações sobre o processo de fototriangulação e ajuste em bloco, as variáveis e parâmetros envolvidos, bem como sobre o SfM e o SIFT, estão disponíveis em Kraus, 2011; Wolf *et*

al. (2014); Micheletti et al. (2015); Carrivik et al. (2016). A Tabela 1 mostra alguns *softwares* fotogramétricos para reconstrução 3D de imagens de *drone* disponíveis no mercado.

Tabela 1. *Softwares* comerciais para processamento de imagens de *drone*.

Software	Desenvolvedor
3DF Zephyr	3DFLOW
IMAGINE Photogrammetry	Hexagon Geospatial
PhotoScan (Metashape)	Agisoft
PhotoModeler	Eos Systems
Pix4Dmapper	Pix4D
RealityCapture	Capturing Reality

Além da qualidade geométrica, a qualidade radiométrica das imagens também deve ser levada em conta para que as características do objeto possam ser interpretadas de maneira confiável. Os NDs (Número Digital) de um mesmo objeto não é o mesmo em imagens sobrepostas devido a alguns fatores que influenciam as imagens como por exemplo a qualidade do sistema sensor, estabilidade e condições atmosféricas, iluminação devido a nuvens e posição solar e a característica anisotrópica de reflectância do objeto. Com isso, quando o objetivo do trabalho é utilizar a informação de reflectância dos objetos para caracterização biofísica e espectral, aplicação de índices de vegetação e análises multitemporais, a calibração radiométrica faz necessária (HONKAVAARA et al., 2012).

Duas abordagens podem ser realizadas para a calibração radiométrica, porém para imagens de *drones* a medição de alvos radiométricos em solo no momento da aquisição dos dados é mais utilizada. Os alvos devem cobrir pixels suficientes na imagem para a extração do seu ND, e são obtidos os valores de reflectância destes alvos para a calibração e validação dos dados em campo a partir de um espectrorradiômetro. Com os dados de campo e da imagem, é ajustada uma regressão linear denominada de linha empírica que calcula a relação entre o ND das imagens e a reflectância dos alvos em campo, na qual são obtidos os valores de ganho e *offset* que transformam os valores da imagem em valores físicos de reflectância (BAUGH e GROENEVELD, 2008; IQBAL et al., 2018).

O processamento dos dados LIDAR embarcado em *drone* é similar ao embarcado em aeronave, e consiste na obtenção de modelos digitais a partir da nuvem de pontos. O primeiro passo é distinguir os pontos pertencentes ao solo dos pertencentes a vegetação. Depois de separados, estes pontos interpolados gerando o MDT, que contém apenas a informação do terreno e o MDS, que contém as informações de todos os elementos da superfície. Realizando a subtração entre o MDT e o MDS é obtido o CHM, o modelo digital de copas ou dossel, que contém a informação das alturas das árvores (LIN et al., 2003; ZANDONÁ et al., 2008; GIONGO et al., 2010). Com essas informações é possível a extração de informações a nível de parcela utilizando métricas LIDAR ou de árvores individuais, em que primeiramente é necessário realizar a segmentação das árvores. Existem vários métodos de segmentação relatados na literatura os quais utilizam a nuvem de pontos original, divisão

do espaço em voxels ou a partir do CHM (DUBAYAH e DRAKE, 2000; BATER et al., 2011, WALLACE et al., 2014)

Existem algumas ferramentas gratuitas para o processamento de dados LIDAR para obtenção dos modelos digitais, segmentação e métricas. Entre elas podemos citar o *LASTools* (desenvolvido por *Rapidlasso*); *FUSION/LDV* (desenvolvido pelo Serviço Florestal Norte – Americano); *OPALS* (desenvolvido pela Univerisdade Técnica de Viena); *BCAL LIDAR Tools* (desenvolvida pela Universidade Estadual de Idaho); além de pacotes como *LidR* para a linguagem R de programação.

Aplicações

Nesta seção serão mostradas algumas das várias aplicações dos *drones* na Ciência Florestal, uma vasta literatura de artigos científicos de periódicos, anais de eventos, dissertações e teses sobre o assunto podem facilmente ser encontrados. No Brasil a maioria dos estudos são incipientes e focados para levantamentos em florestas plantadas.

A partir das ortomosaicos pode ser realizada a contagem de indivíduos, detecção de falhas e mortalidade de mudas em plantios florestais utilizando imagens RGB coletadas por *drone*. Favarin *et al.* (2013) e Oliveira et al. (2018) realizaram a contagem de indivíduos e medição das copas por meio da vetorização manual utilizando um SIG e técnicas de interpretação visual. Já outros autores utilizam métodos de segmentação (ARAÚJO et al., 2006; NUNES et al., 2014; SOARES et al., 2015; HENTZ et al., 2018) ou de classificação das imagens (MARTELLO et al., 2015; MATTOS et al., 2017; RUZA et al., 2017) para a detecção de indivíduos (Figura 12). Porém, os autores relatam que os métodos automatizados podem superestimar ou subestimar o número de árvores detectados, e isso está relacionado as árvores dominantes que dificultam a identificação das árvores dominadas, a forma da copa que algumas vezes não é bem delineada e a confusão espectral entre as classes, que pode acarretar em erros de omissão e comissão.

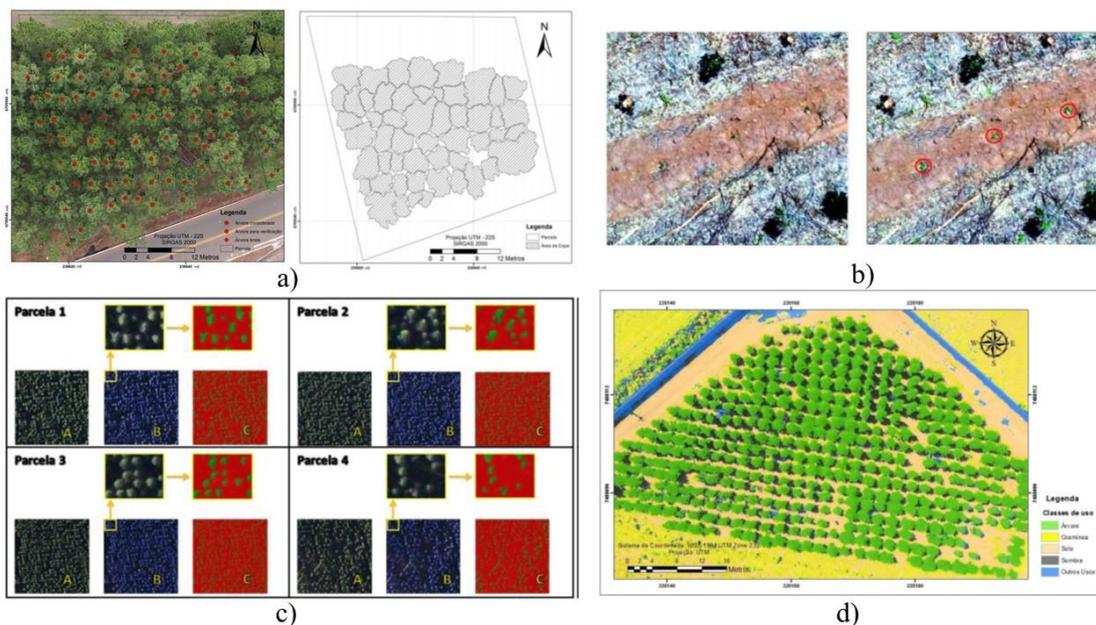


Figura 12. Diferentes métodos aplicados para a contagem de indivíduos e delimitação das copas: a) Contagem manual e vetorização das copas; b) Contagem visual; c) Segmentação das copas; d) Classificação digital. Fonte: FAVARIN *et al.*, 2013; NUNES *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2018.

A classificação também foi utilizada em imagens RGB coletadas com *drone* para detecção de incidência de fungos patógenos nas copas de *Eucalyptus* sp. Os resultados foram promissores, com acurácia de 80%, porém houve confusão entre as classes sadia e doente em estágio inicial, devido a semelhança entre a resposta espectral dos indivíduos, assim os autores indicam uma abordagem híbrida entre classificação digital e vetorização manual para obtenção de melhores resultados (SOUZA *et al.*, 2015).

Graça *et al.* (2017) realizaram um voo para o monitoramento e alterações ambientais após um deslizamento de terra. Os erros das ortoimagens ficaram na ordem de 7,35 m, porém com a adição de pontos de controle no terreno o erro diminuiu para uma média de 3,18 m. Albuquerque *et al.* (2017) utilizaram o índice de vegetação MPRI (*Modified Photochemical Reflectance Index*) para monitorar a qualidade da vegetação em áreas de restauração florestal e Pereira & Tamamaru. (2013) utilizaram modelos estereoscópicos tomados por *drones* para mapeamento tridimensional por meio do MDS e de ortoimagens em áreas de APP. Os resultados obtidos indicaram que os *drones* também possuem grande viabilidade para monitoramento e quantificação de áreas de restauração ambiental e das áreas de preservação permanente (Figura 13).

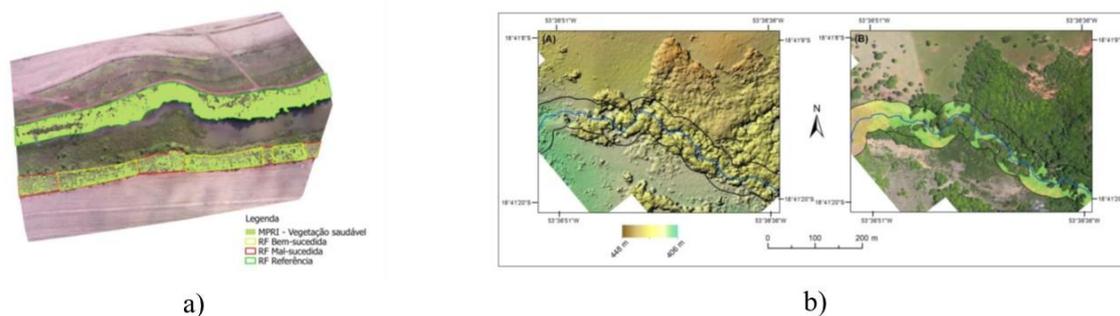


Figura 13. Imagens coletadas com *drone* para análise de restauração florestal: a) Utilização do índice MDPI para verificar a saúde da vegetação restaurada; b) Mapeamento de APP. Fonte: ALBUQUERQUE et al., 2017 e PEREIRA & TAMAMARU., 2013.

Imagens aéreas foram coletadas em uma floresta visando verificar as lacunas do dossel e a avaliação da biodiversidade florística existente no sub-bosque da floresta. As imagens de alta resolução forneceram informações detalhadas espacialmente implícitas sobre métricas de forma de lacuna e foram suficientes para revelar uma forte dependência entre padrões de perturbação e diversidade de plantas (Figura 14) (GETZIN et al., 2012; GETZIN et al., 2014).

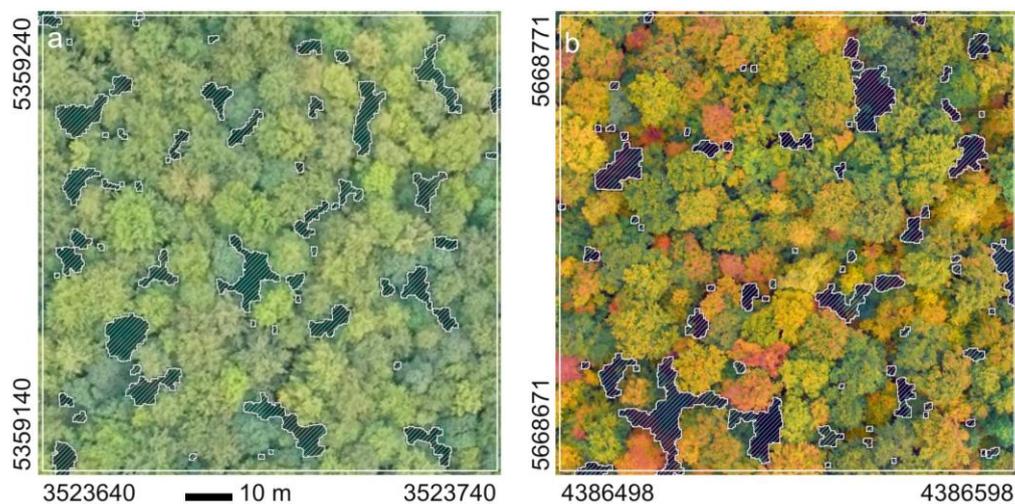


Figura 14. Lacunas na vegetação obtidas em imagens de alta resolução coletada com *drones*. Fonte: GETZIN et al., 2014.

Zarco-Tejada et al. (2014) quantificaram a altura de árvores em florestas da Espanha utilizando uma câmara RGB modificada para obter imagens infravermelhos. A partir do MDS fotogramétrico foi obtida a altura das árvores, que foram precisas comparadas a medidas realizadas em campo.

Berveglieri e Tommaselli, (2016) testaram a orientação da imagem em um pequeno fragmento florestal denso com o objetivo de avaliar a precisão altimétrica das imagens coletadas com *drones* em três diferentes situações: sem pontos de controle, com pontos de controle nas bordas do fragmento e com pontos de controle em somente um lado do bloco de imagens. Os melhores resultados foram obtidos utilizando os pontos de controle nas bordas do fragmento, com um erro de aproximadamente 40 cm, o que é considerado aceitável para áreas de florestas.

Näsi et al., (2015) estudaram a viabilidade de utilização de imagens hiperespectrais obtidas drone para classificação de árvores atingidas por pragas florestais. Os resultados da classificação das árvores nas classes saudáveis, infestadas e mortas foram promissores, principalmente para as classes saudáveis e mortas, em que a acurácia foi de 90 % (Figura 15).

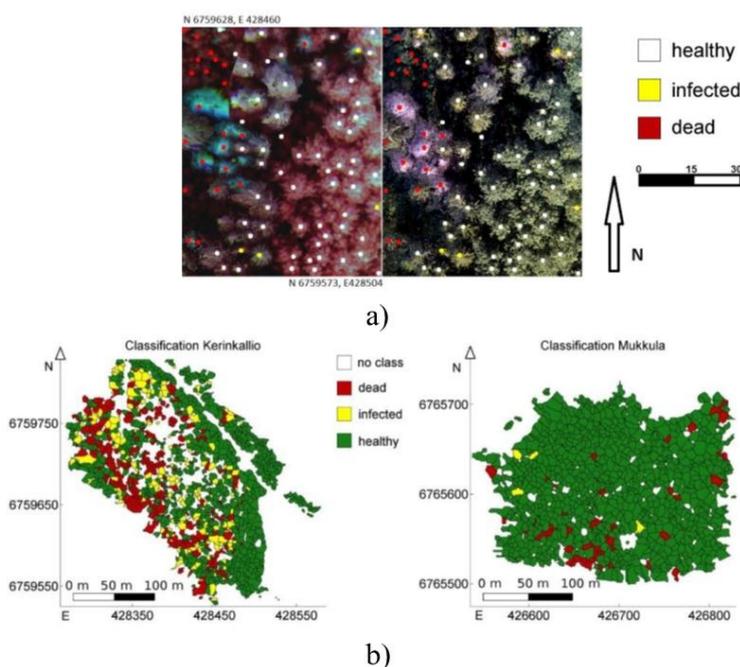


Figura 15. a) Composições coloridas a partir das imagens hiperespectrais identificando os diferentes níveis de dano nas árvores; b) Resultado da classificação digital. Fonte: NÄSI et al., 2015.

A caracterização espectral a nível de copa de espécies da Mata Atlântica de interior foi realizada por Miyoshi (2016). O uso das imagens hiperespectrais e de índices de vegetação padronizados viabilizaram discriminação das espécies, o que pode auxiliar a classificação das imagens considerando diferentes espécies de vegetação existentes.

Utilizando um sensor LIDAR de baixo custo embarcado em *drone*, Wallace et al. (2014) geraram nuvens de pontos com alta densidade (entre 61 e 163 pontos/m²) e permitiu a segmentação com alta acurácia em árvores de *Eucalyptus* sp. com quatro anos de idade, indicando que o aumento na densidade da nuvem de pontos, melhorou o número de árvores segmentadas corretamente.

Machado (2018) testou a viabilidade do equipamento *IBEO Lux* para gerar nuvem de pontos 3D em áreas com vegetação urbana. As nuvens geradas possuíam uma densidade de aproximadamente 10 pontos/m² e foi verificada a penetrabilidade dos pulsos LASER nas áreas com árvores, a qual ficou na média de 24,80 % possibilitando a obtenção de pontos de terreno abaixo do dossel mesmo utilizando um sistema de baixo custo (Figura 16) tornando o sistema viável para estudos florestais.

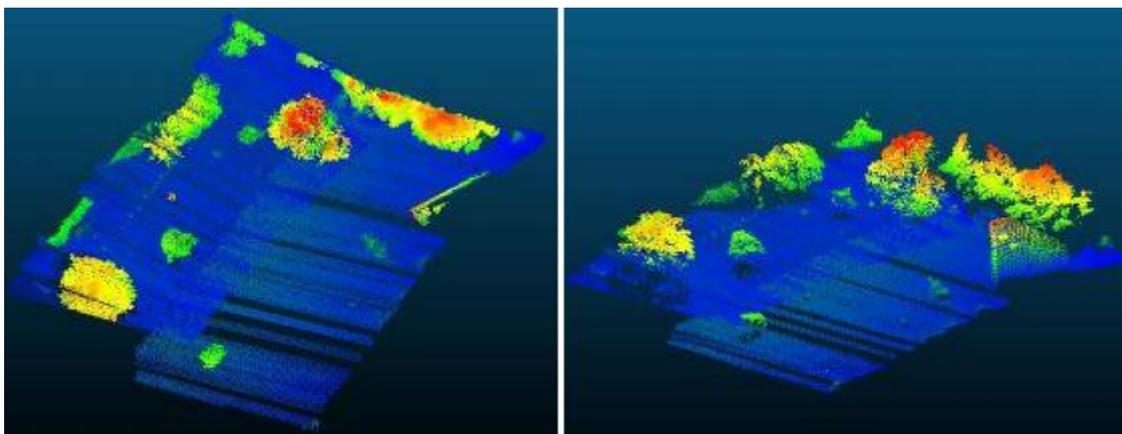


Figura 16. Nuvem de pontos 3D obtida pelo equipamento *IBEO Lux* embarcado em *drone*. Machado, 2018.

Desafios na Ciência Florestal e Considerações Finais

Nós tópicos acima foram demonstradas as potencialidades do uso de *drones* nos diversos ramos da Ciência Florestal. Porém, antes da realização de um levantamento algumas questões devem ser pensadas. Primeiramente é a aplicação do levantamento, os objetivos e o custo financeiro/tempo disponível para a aquisição dos dados. Com essas informações é possível delinear por exemplo, a escolha da plataforma, do sensor e da precisão desejada no produto final. A legislação vigente também deve ser considerada.

Se o objetivo é uma maior autonomia de voo e maior área recoberta, os modelos de asa fixa podem ser a melhor escolha, porém se a precisão desejada é alta e a estabilidade da plataforma é um fator importante, um modelo de asa rotativa pode ser o ideal. Lembrando que quanto menor a altura de voo menor o tamanho no GSD no terreno, e maior resolução será atingida nas imagens obtidas.

Além disso a escolha da câmara é um item que exercerá uma influência significativa no resultado. Como mostrado, em estudos de vegetação as câmaras que registram a energia no infravermelho permitem uma versatilidade de produtos, como por exemplo a obtenção de índices de vegetação. Então cada tipo de sensor irá fornecer diferentes produtos, os quais podem ou não ser úteis para atender o projeto proposto.

Atualmente existem disponíveis no mercado uma série de *softwares* que realizam o processamento de imagens obtidas por *drones*, grande parte destes *softwares* são bastante intuitivos e automatizados, e necessitam de pouca interação com o operador. Porém é necessário um conhecimento dos processos fotogramétricos envolvidos para entender o processamento, e evitar possíveis erros na geração do produto final.

O método da fototriangulação das imagens baseado no *Bundle Block Adjustment* (BBA ou feixes perspectivos) indiretamente calcula os POEs, e para tal ele necessita de pontos de controle no terreno (GCP) que ligam os dados das imagens ao sistema de coordenadas do espaço objeto e pontos de amarração que conectam as imagens entre si (BERVEGLIERI et al., 2016). Os *drones* na grande parte possuem apenas receptores GNSS de navegação, assim o erro dos produtos está interligado com a precisão destes sistemas, que normalmente é na ordem de metros. Para resultados mais precisos, em ordem centimétrica, o levantamento em campo com pontos de apoio é necessário com GNSS de precisão é necessária. A distribuição ótima dos pontos de controle na área ainda é um desafio, pois eles devem ser poucos, para não aumentar os gastos do projeto, porém bem distribuídos na área e aparecer em um maior número de fotos sobrepostas para melhores resultados. Além disso, o ambiente florestal apresenta maior dificuldade na distribuição dos pontos, devido à dificuldade de acesso a algumas áreas, principalmente em florestas nativas, e ao dossel fechado, que impede obter as coordenadas precisas de determinado ponto.

Dado o exposto, existem muitas vantagens com os mapeamentos com *drones*, porém ele não substitui os métodos existentes de levantamento de dados, e sim os complementa. Atualmente está ocorrendo uma popularização das plataformas e miniaturização dos sensores, tornando os precisos mais acessíveis, e com sensores mais potentes para obter uma boa precisão. Porém, como as áreas florestais são grandes, plataformas com maior autonomia de voo e com maior capacidade de carga devem ser desenvolvidas, bem como soluções de *software* específicos para o ambiente florestal.

As práticas de silvicultura, conservação e manejo florestal sustentável exigem dados digitais de alta qualidade e detalhadas. A flexibilidade e o baixo custo dos *drones* é benéfico para atualizar e obter dados que permitam as práticas florestais mais precisas e eficiente. É a condução de estudos comparativos comprovando a aplicabilidade e a precisão de dados com *drones* são de suma importância para popularização e entendimento da tecnologia. Outros com aplicações em florestas naturais brasileiras devem ser realizadas, pois os estudos são focados em sua maioria em plantios florestais, carecendo de resultados e precisão obtidas em florestas naturais.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (processos 309030/2017-0 e 113769/2018-0), e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), projeto Edital 04/2016 - Programa de

Nucleação de Grupos de Pesquisa (Processamento de Imagens aplicado a Agricultura de Precisão utilizando Sistemas Embarcados em Veículos Autônomos Não-Tripulado). O presente trabalho também foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 1692841.

Referências

- Aasen, H., Burkart, A., Bolten, A., Bareth, G. **Generating 3D hyperspectral information with lightweight UAV snapshot cameras for vegetation monitoring: From camera calibration to quality assurance.** *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 108, 245-2015259, 2015.
- Adão, T., Hruška, J., Pádua, L., Bessa, J., Peres, E., Morais, R. Sousa, J. **Hyperspectral imaging: A review on UAV-based sensors, data processing and applications for agriculture and forestry.** *Remote Sensing*, 9(11), 1110, 2017.
- Albuquerque, R. W. de., Costa, M. O., Ferreira, M. E., Jorge, L. A. C., Sarracini, L. H., Rosa, E. D. **Uso do índice MPRI na avaliação de processos de Restauração Florestal (RF) utilizando sensor RGB a bordo de VANT quadricóptero.** In: *XVIII Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas aplicados à Engenharia Florestal*, p. 4795-4802, 2017.
- Anderson, K., Gaston, K. J. **Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology.** *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(3), 138-146, 2013.
- Araújo, M. A., Chavier, F., Domingos, J. L.. **Avaliação do Potencial de Produtos Derivados de Aeronaves Não Tripuladas na Atividade Florestal** **Assessment of Potential From Products of Unmanned Airbone Vehicle Use in Forestry Activities.** *Ambiência*, 2(3), 69-82, 2006.
- Arroyo, L. A., Pascual, C., Manzanera, J. A. **Fire models and methods to map fuel types: the role of remote sensing.** *Forest ecology and management*, 256(6), 1239-1252, 2008.
- Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., Huete, A. R. **A review of vegetation indices.** *Remote sensing reviews*, 13(1-2), 95-120, 1995.
- Banu, T. P., Borlea, G. F., Banu, C. **The use of drones in forestry.** *Journal of Environmental Science and Engineering B*, 5(11), 557-562, 2016.
- Bater, C. W., Wulder, M. A., Coops, N. C., Nelson, R. F., Hilker, T., Nasset, E. **Stability of sample-based scanning-LiDAR-derived vegetation metrics for forest monitoring.** *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(6), 2385-2392, 2011.
- Baugh, W. M., Groeneveld, D. P. **Empirical proof of the empirical line.** *International Journal of Remote Sensing*, 29(3), 665-672, 2008.
- Bazan, W. S. **Calibração de um sistema dual de câmaras digitais.** 8. 161 p. (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, 2008.
- Berni, J. A. J., Zarco-Tejada, P. J., Suárez, L., González-Dugo, V., Fereres, E. **Remote sensing of vegetation from UAV platforms using lightweight multispectral and thermal imaging sensors.** *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci.*, 38(6), 6, 2009.
- Berveglieri, A., Tommaselli, A. M. G. **Exterior orientation of hyperspectral frame images collected with uav for forest applications.** *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 40. 2016.

- Berveglieri, A., Tommaselli, A. M. G., Imai, N. N., Ribeiro, E. A. W., Guimaraes, R. B., Honkavaara, E. **Identification of successional stages and cover changes of tropical forest based on digital surface model analysis.** *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(12), 5385-5397, 2016.
- Boon, M. A., Greenfield, R., Tesfamichael, S. **Unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry produces accurate high-resolution orthophotos, point clouds and surface models for mapping wetlands.** *South African Journal of Geomatics*, 5(2), 186-200, 2016.
- Boon, M. A., Drijfhout, A. P., Tesfamichael, S. **Comparison of a Fixed-Wing and Multi-Rotor Uav for Environmental Mapping Applications: A Case Study.** *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 47, 2017.
- Carrivick, J. L., Smith, M. W., Quincey, D. J. **Structure from Motion in the Geosciences.** John Wiley & Sons. 2016.
- Colomina, I., & Molina, P. **Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review.** *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 92, 79-97, 2014.
- Dubayah, R. O., Drake, J. B. **Lidar remote sensing for forestry.** *Journal of Forestry*, 98(6), 44-46, 2000.
- Eismann, M. T. **Hyperspectral remote sensing.** Bellingham: SPIE, 2012.
- Forest Data Lab. **Forest fire, fusion of thermal and RGB camera**, 2016. (00m38s).Disponível em < <https://www.youtube.com/watch?v=HiZnge6PR1E> > . Acesso em 29 mar. 2019.
- Galvão, L. S., Breunig, F. M., Santos, J. R., Moura, Y. M. **Anisotropia de índices hiperespectrais em florestas tropicais.** *Paper presented at the Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2013.
- Getzin, S., Wiegand, K., Schöning, I. **Assessing biodiversity in forests using very high-resolution images and unmanned aerial vehicles.** *Methods in ecology and evolution*, 3(2), 397-404, 2012.
- Getzin, S., Nuske, R., Wiegand, K. **Using unmanned aerial vehicles (UAV) to quantify spatial gap patterns in forests.** *Remote Sensing*, 6(8), 6988-7004, 2014.
- Giongo, M., Koehler, H. S., do Amaral Machado, S., Kirchner, F. F., & Marchetti, M. **LiDAR: princípios e aplicações florestais.** *Pesquisa Florestal Brasileira*, 30(63), 231, 2010.
- Graça, N. L. S de. S., Mitishita, E. A., Gonçalves, J. E. **Deteção de alterações ambientais a partir de imagens digitais obtidas com plataforma VANT: Estudo de caso do desastre ambiental na região da comunidade Floresta Morretes -PR..** *Artigo apresentado in Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2018.
- Grenzdörffer, G. J., Engel, A., Teichert, B. **The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture.** *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 31(B3), 1207-1214, 2008.
- Hentz, Â. M. K., Dalla Corte, A. P., Netto, S. P., Strager, M. P., Schoeninger, E. R.. **Treedetection: Automatic tree detection using UAV-based data.** *Floresta*, 48(3), 393-402, 2018.
- Honkavaara, E., Hakala, T., Markelin, L., Rosnell, T., Saari, H., Mäkynen, J. **A process for radiometric correction of UAV image blocks.** *Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation*, 2012(2), 115-127, 2012.
- Iqbal, F., Lucieer, A., Barry, K. **Simplified radiometric calibration for UAS-mounted multispectral sensor.** *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 301-313, 2018.
- Jaakkola, A. **Low-cost Mobile Laser Scanning and its Feasibility For Environmental Mapping.** PhD diss., Aalto University, 2015.
- Jensen, J. R.. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Parêntese, 2011.
- Jorge, L. D. C., Inamasu, R. Y. **Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão.** *Embrapa Instrumentação-Capítulo em livro científico (ALICE)*, 2014.
- Klemas, V. V. **Coastal and environmental remote sensing from unmanned aerial vehicles: An overview.** *Journal of Coastal Research*, 31(5), 1260-1267, 2015.

- Kraus, K. **Photogrammetry: geometry from images and laser scans**. Walter de Gruyter, 2011.
- Laliberte, A. S., Goforth, M. A., Steele, C. M., Rango, A. **Multispectral remote sensing from unmanned aircraft: Image processing workflows and applications for rangeland environments**. *Remote Sensing*, 3(11), 2529-2551, 2011.
- Lefsky, M. A., Cohen, W. B., Harding, D. J., Parker, G. G., Acker, S. A., Gower, S. T. **Lidar remote sensing of above-ground biomass in three biomes**. *Global ecology and biogeography*, 11(5), 393-399, 2002.
- Lim, K., Treitz, P., Wulder, M., St-Onge, B., Flood, M. **LiDAR remote sensing of forest structure**. *Progress in Physical Geography*, 27, 1, 88-106, 2003.
- Lowe, D. G. **Distinctive image features from scale-invariant keypoints**. *International journal of computer vision*, 60(2), 91-110, 2004.
- Lucieer, A., Robinson, S., Turner, D., Harwin, S., Kelcey, J. **Using a micro-UAV for ultra-high resolution multi-sensor observations of antarctic moss beds**. *ISPRS – Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci.*, XXXIX-B1, pp. 429-433, 2012.
- Machado, M. V. **Sincronização por Pós-processamento de um Sistema de Varredura a LASER embarcado em VANT**. (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, 123p, 2018.
- Martello, M., Fiorio, P. R., Vettorazzi, C. A., da Silva Barros, P. P., Tavares, T. R., & Seixas, H. T. **Utilização de imagens aéreas obtidas por RPA no monitoramento inicial de Eucalyptus sp**. *Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto-SBSR*, 17, 5990-5997, 2015.
- Mattos, E. M.; Rocha, J. H. T.; Vrechi, A.; Bazani, J. H.; Otto, M. S. G.; Hussni, N.; Vecchioli, E.; Gonçalves, J. L. M. **Uso de imagens aéreas obtidas por VANT para avaliação da cobertura do dossel e produtividade de plantio de eucalipto manejado por talhadia**. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 18. (SBSR), 2017, Santos. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2017. p. 6567-6574, 2018.
- Merino, L., Caballero, F., Martínez-de Dios, J. R., Ferruz, J., Ollero, A. **A cooperative perception system for multiple UAVs: Application to automatic detection of forest fires**. *Journal of Field Robotics*, 23(3-4), 165-184, 2006.
- Micheletti, N, Chandler, JH, Lane, SN. **Structure from Motion (SfM) photogrammetry**. In *Geomorphological Techniques*, SJ Cook, LE Clarke, JM Nield (eds). British Society for Geomorphology: London, UK; 1– 12, 2015.
- Miyoshi, G. T. **Caracterização espectral de espécies da Mata Atlântica de interior em nível foliar e de copa**. (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, 143p, 2016.
- Morsdorf, F., Nichol, C., Malthus, T., Woodhouse, I.H. **Assessing forest structural and physiological information content of multi-spectral LiDAR waveforms by radiative transfer modelling**. *Remote Sensing of Environment*, 113, 10, 2152-2163, 2009.
- Näsi, R., Honkavaara, E., Lyytikäinen-Saarenmaa, P., Blomqvist, M., Litkey, P., Hakala, T., Holopainen, M. **Using UAV-based photogrammetry and hyperspectral imaging for mapping bark beetle damage at tree-level**. *Remote Sensing*, 7(11), 15467-15493, 2015.
- Nebiker, S., Annen, A., Scherrer, M., Oesch, D. **A light-weight multispectral sensor for micro UAV—Opportunities for very high resolution airborne remote sensing**. *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 37(B1), 1193-1199, 2008.
- Nex, F., Remondino, F. **UAV for 3D mapping applications: a review**. *Applied geomatics*, 6(1), 1-15, 2014.
- Nunes, G. M., Vieira, D. J. E.; Carvalho, S. P. C. **Avaliação preliminar de dados obtidos por VANT em talhão florestal clonal de Eucalyptus urograndis H13 no estado de Mato Grosso**. In: *XI Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas aplicados à Engenharia Florestal*, p. 211-218, 2014.

- Pádua, L., Vanko, J., Hruška, J., Adão, T., Sousa, J. J., Peres, E., Morais, R. **UAS, sensors, and data processing in agroforestry: A review towards practical applications.** *International journal of remote sensing*, 38(8-10), 2349-2391, 2017.
- Pereira, O. J. R., Tumamari, R. **Geração de modelos digitais de elevação com base em técnicas de estereoscopia, por meio de imagens VANT: Subsídio a identificação de manchas de desmatamento em áreas de preservação permanente.** In: *XVI Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas aplicados à Engenharia Florestal*, p. 2113-2119, 2013.
- Ponzoni, F. J. Shimabukuro, Y. E., Kuplich, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação.** Oficina de Textos, 2015.
- Ruza, M. S., Dalla Corte, A. P., Hentz, A. M. K., Sanquetta, C. R., Silva, C. A., Schoeninger, E. R. **Inventário de Sobrevivência de povoamento de Eucalyptus com uso de Redes Neurais Artificiais em Fotografias obtidas por VANTs.** *Advances in Forestry Science*, 4(1), 83-88, 2017.
- Saarinen, N. P., Vastaranta, M. A., Näsi, R., Rosnell, T., Hakala, T., Honkavaara, E., Werneck, E. **UAV-based photogrammetric point clouds and hyperspectral imaging for mapping biodiversity indicators in boreal forests.** *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 2017.
- Salamí, E., Barrado, C., Pastor, E. **UAV flight experiments applied to the remote sensing of vegetated areas.** *Remote Sensing*, 6(11), 11051-11081, 2014.
- Sheng, H., Chao, H., Coopmans, C., Han, J., McKee, M., Chen, Y. **Low-cost UAV-based thermal infrared remote sensing: Platform, calibration and applications.** In *Proceedings of 2010 IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications* (pp. 38-43). IEEE, 2010.
- Soares, P., Firmino, P., Tomé, M., Campagnolo, M., Oliveira, J., Oliveira, B., Câmara, F. A utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados no inventário florestal—o caso do montado de sobro. In *Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia-CNCG* (Vol. 8, pp. 1-8), 2015.
- Skovsgaard, J. P., Vanclay, J. K. **Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands.** *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 81(1), 13-31, 2008.
- Souza, J. R., Mendes, C. C., Guizilini, V., Vivaldini, K. C., Colturato, A., Ramos, F., Wolf, D. F. **Automatic detection of ceratocystis wilt in eucalyptus crops from aerial images.** In *2015 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA)* (pp. 3443-3448). IEEE, 2015.
- Tahar, K. N., Ahmad, A. **An evaluation on fixed wing and multi-rotor UAV images using photogrammetric image processing.** *Int. J. Comput. Electr. Autom. Control Inf. Eng.*, 7, 48-52, 2013.
- Tang, L., Shao, G. **Drone remote sensing for forestry research and practices.** *Journal of Forestry Research*, 26(4), 791-797, 2015.
- Tao, W., Lei, Y., Mooney, P. **Dense point cloud extraction from UAV captured images in forest area.** In *Proceedings 2011 IEEE International Conference on Spatial Data Mining and Geographical Knowledge Services* (pp. 389-392). IEEE, 2011.
- Tommaselli, A. M., Oliveira, R. A., Nagai, L. Y., Imai, N. N., Miyoshi, G. T., Honkavaara, E., Hakala, T. **Assessment of bands coregistration of a light-weight spectral frame camera for UAV.** In *GeoUAV-ISPRS Geospatial Week*, 2015.
- Torresan, C., Berton, A., Carotenuto, F., Di Gennaro, S. F., Gioli, B., Matese, A., Wallace, L. **Forestry applications of UAVs in Europe: A review.** *International Journal of Remote Sensing*, 38(8-10), 2427-2447, 2017.
- Torres-Sánchez, J., López-Granados, F., De Castro, A. I., Peña-Barragán, J. M. **Configuration and specifications of an unmanned aerial vehicle (UAV) for early site specific weed management.** *PloS one*, 8(3), e58210, 2013.

- Turner, D., Lucieer, A., Watson, C. **An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution unmanned aerial vehicle (UAV) imagery, based on structure from motion (SfM) point clouds.** *Remote sensing*, 4(5), 1392-1410, 2012.
- Vosselman, G., Maas, H. G. **Airborne and terrestrial laser scanning.** CRC, 2010.
- Xie, Y., Sha, Z., & Yu, M. **Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review.** *Journal of plant ecology*, 1(1), 9-23, 2008.
- Wallace, L., Lucieer, A., Turner, D., Watson, C. **Error assessment and mitigation for hyper-temporal UAV-borne LiDAR surveys of forest inventory.** *Proceedings of Silvilaser*, 1-13, 2011.
- Wallace, L., Lucieer, A., Watson, C. S. **Evaluating tree detection and segmentation routines on very high resolution UAV LiDAR data.** *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(12), 7619-7628, 2014.
- Watts, A. C., Ambrosia, V. G., Hinkley, E. A. **Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use.** *Remote Sensing*, 4(6), 1671-1692, 2012.
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., Reynolds, J. M. **'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications.** *Geomorphology*, 179, 300-314, 2012.
- Wolf, P. R., Dewitt, B. A., Wilkinson, B. E. **Elements of photogrammetry: with applications in GIS** (4th Edition). New York: McGraw-Hill Education, 2014.
- Wulder, M. A., Dymond, C. C., White, J. C., Leckie, D. G., Carroll, A. L. **Surveying mountain pine beetle damage of forests: A review of remote sensing opportunities.** *Forest Ecology and management*, 221(1-3), 27-41, 2006.
- Wulder, M. **Optical remote-sensing techniques for the assessment of forest inventory and biophysical parameters.** *Progress in physical Geography*, 22(4), 449-476, 1998.
- Wulder, M. A., Franklin, S. E. (Eds.). **Remote sensing of forest environments: concepts and case studies.** Springer Science & Business Media, 2012.
- Zandoná, D. F., Lingnau, C.; Nakajima, N. Y, **Varredura a laser aerotransportado para estimativa de variáveis dendrométricas.** *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 295-306, 2000.
- Zarco-Tejada, P. J., Diaz-Varela, R., Angileri, V., Loudjani, P. **Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods.** *European journal of agronomy*, 55, 89-99, 2014.

CAPÍTULO 6

DRONES NA AGRICULTURA DE PRECISÃO

FÁBIO MARCELO BREUNIG²¹

LÊNIO SOARES GALVÃO²²

RORAI PEREIRA MARTINS NETO²³

Introdução

Melhorar e expandir a utilização de técnicas de agricultura de precisão veem sendo considerada a forma de garantir alimento para a população mundial crescente (ANDERSON, 2014). A definição genérica apresentada por McBratney et al. (2005) retrata a agricultura de precisão como: “*That kind of agriculture that increases the number of (correct) decisions per unit area of land per unit time with associated net benefits*”²⁴. Um conceito similar é apresentado para a silvicultura de precisão (J. DASH et al., 2016; J. P. DASH, WATT, PEARSE, HEAPHY e DUNGEY, 2017; KOVÁCSOVÁ e ANTALOVÁ, 2010) incluindo os aspectos posicionais (TUČEK e LIGOŠ, 2002). Esse conceito permite vislumbrar benefícios líquidos do ponto de vista do produtor (lucro ou produção), dos governos (planejamento ou ambiente) ou do desenvolvimento tecnológico (pesquisa e desenvolvimento relacionados). Algo interessante nesse conceito refere-se ao foco tanto no espaço, quanto no tempo. É justamente nessa perspectiva que ferramentas de sensoriamento remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) têm tido relevância crescente. O objetivo da agricultura e da silvicultura, em última análise, é aumentar a qualidade e/ou quantidade da produção/produtividade com redução dos impactos ambientais causados pelo uso de insumos de diferentes fontes.

Uma abordagem geral sobre agricultura de precisão foi sintetizada por (SANTI, SEBEM, GIOTTO e AMADO, 2016), focando no estado do Rio Grande do Sul (RS). Apesar do foco regional, os autores e colaboradores apresentam uma série de estudos, incluindo tópicos como máquinas agrícolas, processos de amostragem (solo-planta) e sistemas de posicionamento e geração de mapas. Dados os avanços nos sistemas de posicionamento embarcados, alguns desses produtos podem ser

²¹ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Departamento de Engenharia Florestal, linha Sete de Setembro s/n, UFSM, Frederico Westphalen/RS, CEP 98400-000, Brasil.

²² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Divisão de Sensoriamento Remoto, Av. dos Astronautas, 1758 - Jardim da Granja, São José dos Campos/SP CEP 12227-010, Brasil.

²³ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Campus de Presidente Prudente, Rua Roberto Simonsen, 305, Centro Educacional, Presidente Prudente, SP, CEP 19060-900, Brasil.

²⁴ “Aquele tipo de agricultura que aumenta o número de decisões (corretas) por unidade de área de terra por unidade de tempo com benefícios líquidos associados” (Tradução própria).

gerados com uso preponderante de dados adquiridos por veículos aéreos não tripulados (VANTs ou popularmente de *drones*) (SZE et al., 2015).

A utilização de dados de *drones* requer um entendimento preliminar de alguns conceitos de sensoriamento remoto, dada a natureza da radiação eletromagnética envolvida, as técnicas de processamento, correções e formas de análise envolvidas para a geração dos produtos finais. Em geral, as vantagens de utilizar produtos derivados de *drones* relacionam-se a facilidade de aquisição, custo financeiro relativamente baixo e qualidade espacial dos produtos gerados (escala de mapeamento altamente detalhada). Entre as grandes desvantagens podemos citar pequena cobertura espacial (talhões ou fazendas), alto custo computacional de processamento (geralmente envolvendo algoritmos do tipo *structure from motion* – SFM), demanda por operadores especializados e, problemas associados a calibração radiométrica das câmeras a bordo do *drone* (ASNER, MARTIN, ANDERSON e KNAPP, 2015a, 2015b; GARRETT e ANDERSON, 2018).

Desta forma, o objetivo deste capítulo é fazer uma breve revisão de alguns conceitos básicos que poderão facilitar o entendimento do uso de produtos de *Drones* na agricultura de precisão. Assim, são abordados temas gerais associados aos princípios do sensoriamento remoto, potenciais de uso na agricultura de precisão, principais limitações e cuidados necessários para a correta utilização desses produtos e, finalmente, uma breve discussão sobre o cenário futuro do uso dos *Drones* na agricultura de precisão.

Sensoriamento remoto na agricultura de precisão

Informações obtidas por sensoriamento remoto apresentam importância cada vez maior entre as ciências agrárias e geociências. Dentre as vantagens do sensoriamento remoto, destacam-se o baixo custo para obter informações espacialmente contínuas e em escalas local, regional ou global; a possibilidade de gerar estimativas de parâmetros biofísicos/bioquímicos da vegetação com base em modelos físicos ou empíricos; o fato de não requerer intervenção no ambiente (não destrutivo); e, em geral, de apresentar viabilidade econômica e de tempo de execução (BANSKOTA et al., 2014; ONOJEGHUO, BLACKBURN, HUANG, KINDRED e HUANG, 2018; G. ARTURO SÁNCHEZ-AZOFEIFA, KACHMAR, KALÁCSKA e HAMILTON, 2003; G A SÁNCHEZ-AZOFEIFA, CASTRO-ESAU, KURZ e JOYCE, 2009). Em um mercado cada vez mais competitivo, obter informações é fundamental para regular os estoques agrícolas, definir preços de produtos e planejar e monitorar áreas agrícolas e florestais. Contudo, boa parte das aplicações relacionadas às mudanças do uso e cobertura da terra e ao monitoramento florestal requerem alta resolução temporal (F. BARET, HOULÈS e GUÉRIF, 2007; FRÉDÉRIC BARET et al., 2007, ALEXANDRIDIS, GITAS SILLEOS, 2008) ou, em casos específicos, alta resolução espectral (THOMAS, 2010). Devido a essa demanda, um grande número de sensores foi lançado nas últimas décadas transportando os mais diversos sistemas sensores com variadas resoluções.

Questões relacionadas às resoluções (espacial, espectral, radiométrica e temporal) são amplamente abordadas em livros e artigos da área (IM e JENSEN, 2008; JENSEN, 2009; NOVO, 2002; FLÁVIO J PONZONI, 2001; FLAVIO JORGE PONZONI e SHIMABUKURO, 2009). As abordagens globais ou continentais usualmente fazem uso de dados de sensores com amplo campo de

visada e resolução espacial moderada a grosseira, como o *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), *Satellite Pour l'Observation de la Terre – Vegetation* (SPOT VGT) e *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), têm sido utilizados para monitorar grandes áreas para diferentes aplicações (MAISONGRANDE, DUCHEMIN e DEDIEU, 2004; STROPPIANA, PINNOCK, PEREIRA, e GRÉGOIRE, 2002; TIAN et al., 2015; XIONG et al., 2009; XIONG, BARNES, GUENTHER e MURPHY, 2003). Sensores com resolução espacial mediana, como as geradas pela série de satélites *Landsat 4, 5, 7 e 8*, e de seus produtos, como o *Climate Data Record* (CDR), representam a possibilidade de um refinamento dos mapeamentos e estimativas de parâmetros agrícolas e florestais feitas com os satélites de resolução moderada (*European Space Agency* (ESA), 2017; *European Space Agency*, 2012; LOVELAND e IRONS, 2016; *United States Geological Survey – USGS*, 2018) Por fim, sensores com capacidade de gerar imagens de alta resolução espacial têm sido utilizados para o mapeamento em escala local, com grande detalhamento, como por exemplo, os da constelação de satélites *PlanetScope* e *RapidEye* e *WorldView* (HOUBORG, MCCABE, HOUBORG e MCCABE, 2018; PLANET LABS, 2018; PLANET LABS INC., 2018; TYC, RUTHMAN e STEYN, 2004)

Ao integrar um potencial de alta resolução espacial com uma grande repetitividade, os *drones* podem acompanhar de forma adequada a fenologia de culturas agrícolas, demandas dos processos de manejo da lavoura e qualificar a tomada de decisões. Fixando as condições das câmeras, a escala cartográfica de uma imagem de *drone* pode equivaler a uma resolução espacial de poucos centímetros a decímetros, dependendo da altura do voo. Esse é um dos pontos mais atrativos dos dados de *drone* considerando a demanda das aplicações desses produtos na agricultura de precisão (CUNLIFFE, BRAZIER e ANDERSON, 2016).

O potencial de aplicações de cada um desses sensores e de suas resoluções está amplamente reportado na literatura (IM e JENSEN, 2008; JENSEN, 2009; THENKABAIL, LYON e HUETE, 2011). Contudo, abordagens que procuram fazer o uso combinado de dados de mais de um sensor são restritas (HOUBORG et al., 2018; ALESSANDRO MATESE et al., 2015), bem como a avaliação dos produtos derivados. Esse diagnóstico se soma a problemas típicos enfrentados nos estudos de regiões que apresentam uma grande cobertura de nuvens ao longo do ano ou em estações específicas. Assim, ao projetar sensores de amplo campo de visada ou com capacidade de apontamento lateral (sejam sensores a bordo de satélites ou *drones*), muitas vezes visa-se aumentar a probabilidade de obter imagens ópticas livres de nuvens. Contudo, esse tipo de estratégia repercute na aquisição de imagens fora do nadir e/ou com resolução espacial mais grosseira e, ainda, na introdução de efeitos direcionais e angulares que dificultam a análise e interpretação dos resultados (L. S. GALVÃO, ROBERTS, FORMAGGIO, NUMATA e BREUNIG, 2009).

Uma revisão sobre as escalas de análise do sensoriamento remoto e sobre sua reciprocidade na hierarquia ecológica foi apresentada por Homolová et al. (2013). Os autores abordaram diversos sistemas sensores. Contudo, os *drones* não foram incluídos na discussão apresentada, contudo, dada sua resolução espacial, se enquadram perfeitamente nos estudos de folhas, indivíduos e/ou dosséis (Figura 1). Essa figura sintetiza as distintas escalas de análise e nível de observação do alvo, partindo da folha até modelos que envolvem a biosfera como um todo (HOMOLOVÁ et al., 2013). Nesse contexto, os dados adquiridos por um *drone* podem ser muito úteis para estudos de folhas (manchas, estresses), plantas individuais (falhas de plantio, contagem de indivíduos) ou talhão/dossel (zonas de manejo dentro do talhão; *variable rate technology* - VRT). Considerando o uso de *drones* de asa fixa, uma altitude de aproximadamente 150 metros é bastante adequada para mapeamentos de amplas

áreas, enquanto que pulverizadores a bordo de *drones* podem operar a menos de 50 metros acima do solo (BESTAOUI SEBBANE, 2018),

Hierarquia ecológica	FOLHA	INDIVÍDUO	POPULAÇÃO COMUNIDADE	ECOSSISTE- MA	BIOMA	BIOSFERA
Processos fisiológicos e ecossistêmicos	Fotossíntese Evapotransp.	Secessão, decomposição Dinâmica fenológica e produtividade			Sequestro de carbono	Ciclos biogeoquím.
Escalas do Sensoriamento Remoto (SR)	Folha			Dossél		Paisagem
	← Aumento/Redução da escala →					
Tipica cobert. espacial do SR	Local (< 10 ² km ²)			Regional (< 10 ² - 10 ⁶ km ²)		Global (>10 ⁶ km ²)
Próximo Aerotransport. Satélite Espectrorad. (tamanho pixel)	FieldSpec (não-imageador)			CASI, HyMap, AISA, APEX (< 10m)		Landsat ETM+, Sentinel MSI (10-60m)
				Aqua/Terra MODIS, MERIS (250-1000m)		SPOT VGT, NOAA AVHRR (> 1km)

Figura 1 – Nível de análise da hierarquia ecológica no contexto das diferentes escalas de aquisição dos dados de sensoriamento remoto. Fonte: TOTH & JÓZKÓW (2016).

Essas análises atualmente são feitas com dados adquiridos em distintas faixas do espectro eletromagnético e com distintas escalas de abordagem, de acordo com as limitações de cada tipo de sensor ou plataforma (Figura 2) (TOTH e JÓZKÓW, 2016). A grande maioria dos dados adquiridos por *drones* são da faixa espectral do visível (azul, verde e vermelho; aproximadamente entre o intervalo espectral de 400nm a 700nm) (FERNANDEZ-GALLEGO et al., 2019) e infravermelho próximo (RAEVA, ŠEDINA e DLESK, 2018). Contudo, sensores aerotransportados hiperespectrais (múltiplas bandas estreitas e contíguas), multiespectrais, termais e LiDAR (*Light Detection And Ranging*) têm sido continuamente incorporados na academia e empresas para gerar produtos voltados a agricultura de precisão (BESTAOUI SEBBANE, 2018; DE BIASIO, ARNOLD, LEITNER, MCGUNNIGLE e MEESTER, 2010). Uma ampla revisão sobre o uso dos *drones* no contexto do sensoriamento remoto é apresentada por Colomina & Molina (2014), Sebbane (2018) e LaFay (2015).

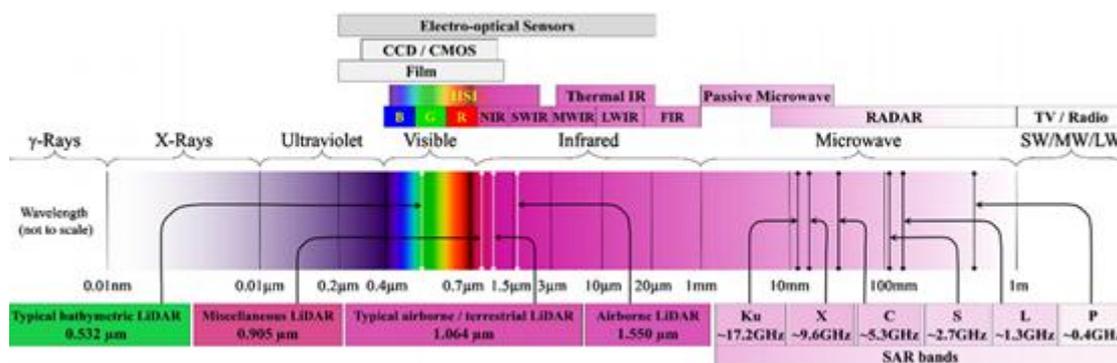


Figura 2. Faixas espectrais em que o sensoriamento remoto opera, com detalhamento de alguns comprimentos de onda para aplicações específicas. Fonte: TOTH & JÓZKÓW (2016).

Os índices de vegetação representam um dos principais produtos gerados a partir das imagens multiespectrais/hiperespectrais adquiridas por meio de *drones*. Em geral, operações algébricas são aplicadas para promover esse realce, numa base pixel-a-pixel. Nesse breve capítulo, apenas os índices mais comuns são abordados. Independente do índice e da escala que forma abordado, devemos sempre procurar trabalhar com os dados de reflectância de superfície (ρ). Os números digitais presentes nas imagens devem ser transformados em reflectância para evitar os erros associados a discretização diferenciada de cada banda. A reflectância (efetivamente o fator de reflectância) é uma propriedade do alvo e assim, comparações podem ser feitas em séries históricas de dados de um sensor (HAKALA et al., 2018).

De acordo com Galvão et al. (2011), os índices de vegetação podem ser relacionados ao verdor ou concentração de pigmentos; índices mais relacionados ao conteúdo de água do dossel ou folha; índices relacionados ao estresse ou eficiência da luz e; índices associados a borda vermelho. Cabe destacar que boa parte dos índices apresentados pelos autores são de banda estreita (focados em dados hiperespectrais). Assim, cautela é necessária no caso de sua aplicação com imagens multiespectrais de sistemas orbitais ou sensores aéreos (drones).

Os índices de vegetação são utilizados para caracterizar a dinâmica da vegetação e para estimar parâmetros biofísicos como o índice de área foliar (KNYAZIKHIN, MARTONCHIK, DINER, et al., 1998; KNYAZIKHIN, MARTONCHIK, MYNENI, DINER e RUNNING, 1998; MYNENI, 1997). Em tese, o índice de vegetação ideal deveria maximizar a resposta do verdor da vegetação e minimizar a influência dos fatores não desejados (p. ex. efeitos direcionais, atmosfera, contribuição do substrato). Devido ao processo de normalização de boa parte dos índices, espera-se reduzir a influência das diferenças na resolução espacial e espectral dos sensores. Exemplos de aplicações agrícolas variadas são apresentados na literatura (KOOISTRA e CLEVERS, 2016; VAN DER MEIJ, KOOISTRA, SUOMALAINEN, BAREL e DE DEYN, 2017; A. MATESE, DI GENNARO, MIRANDA, BERTON e SANTESTEBAN, 2017; CANDIAGO, REMONDINO, DE GIGLIO, DUBBINI e GATTELLI, 2015).

O *Normalized Difference Vegetation Index* NDVI (ROUSE, HASS, SCHELL e DEERING, 1973) é o índice de vegetação mais usual e que tem apresentado maior robustez na literatura ao longo das últimas décadas. A formulação algébrica do NDVI é apresentada na Equação 1, onde se explora o contraste entre a faixa espectral do vermelho e infravermelho próximo (IVP). Os valores podem variar de -1 a 1. Quanto mais próximo de 1 for o valor do NDVI, pode-se interpretar que uma maior cobertura de vegetação está presente no pixel.

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_{vermelhor})}{(\rho_{IVP} + \rho_{vermelhor})} \quad \text{Equação 1}$$

Na Figura 3 é apresentada uma comparação visual do efeito do uso do número digital (DN, também conhecido como nível de cinza) e o dado em reflectância de superfície para as bandas do vermelho e infravermelho próximo. Em ambos os casos o contraste foi removido para evitar distorções do resultado. Nesse caso, visualmente percebe-se variações de brilho.

Essas variações de brilho podem afetar os índices de vegetação (Figura 4). Contudo, para efeitos visuais, as composições com contraste aplicado tendem a mascarar o esse efeito (base da Figura 3). É justamente nesse ponto que muito usuários incorrem em erros. Fica clara a necessidade de utilizar os dados de reflectância. Claramente a Figura 4 mostra que se o NDVI calculado a partir de números digitais for utilizado para definir zonas de manejo, os dados podem levar a uma grande variabilidade espacial não condizente com as condições reais de campo. O exemplo apresentado mostra a tendência de NDVI com valores menores para o NDVI calculado a partir de números digitais.

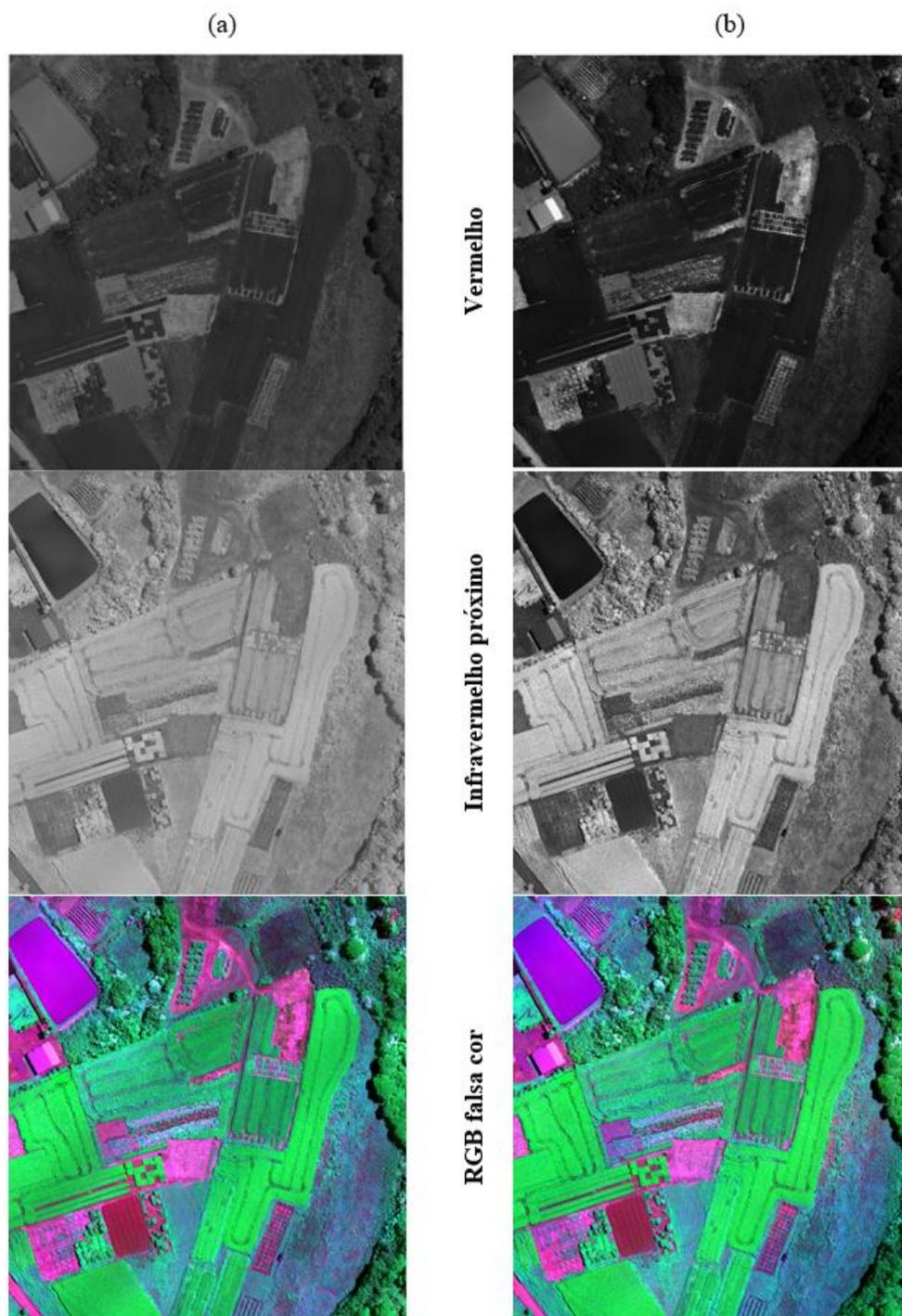


Figura 3. Imagens multiespectrais adquiridas de uma área agrícola no sul do Brasil. (a) mosaico com dados do número digital e (b) mosaico com dados de reflectância de superfície. As imagens foram adquiridas com um sensor multiespectral da Micasense© (sequoia parrot©) a bordo de um *drone* Matrice 100©, em 23 de fevereiro de 2019, a 80 metros acima do solo, aproximadamente as 10horas e 30minutos. Os dados foram convertidos para reflectância de superfície utilizando um sensor de irradiância (*Sunshine*).

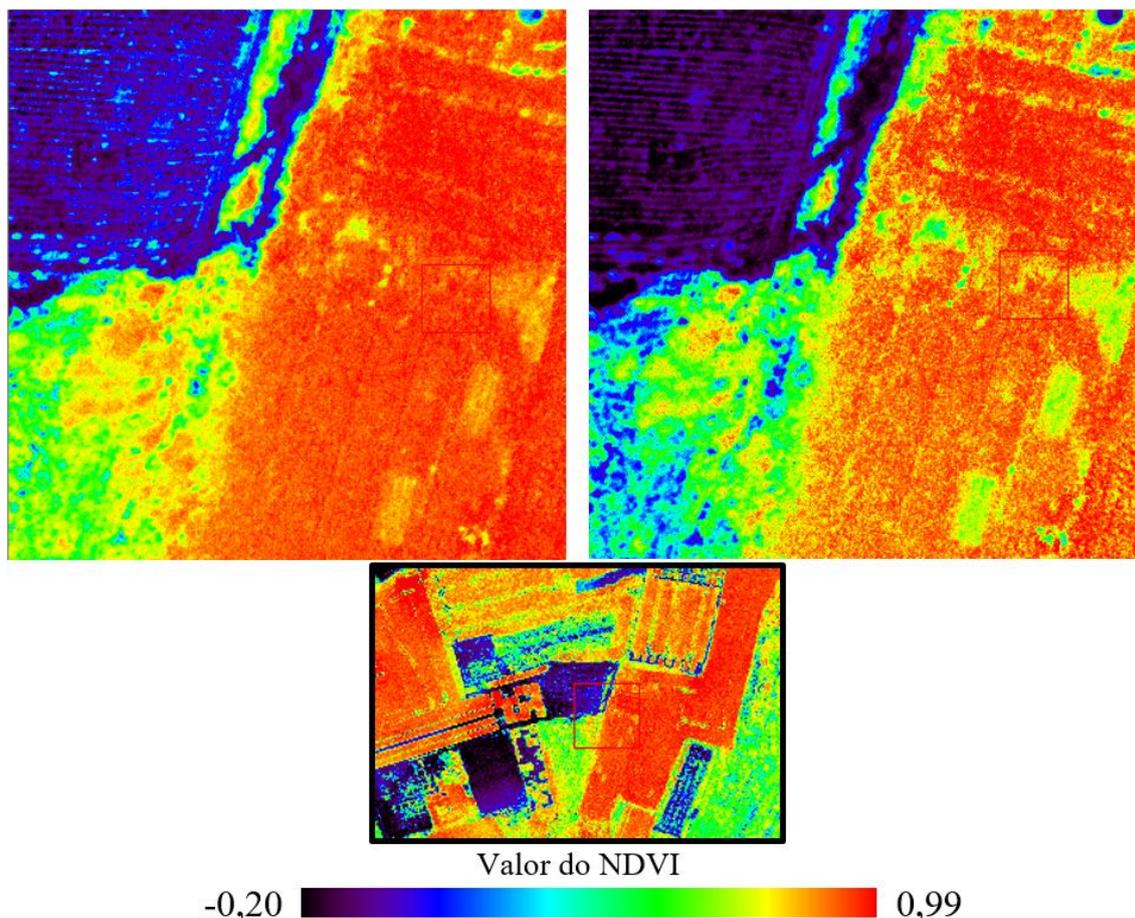


Figura 4. NDVI calculado para imagens adquiridas por *drone*. (a) NDVI calculado a partir de imagens de reflectância de superfície e (b) a partir de imagens com os números digitais (ND). A paleta de cores foi ajustada. Imagens multiespectrais adquiridas de uma área agrícola experimental no sul do Brasil, com um sensor multiespectral da *Micasense*® (sequoia parrot®) a bordo de um *drone* Matrice 100®, em 23 de fevereiro de 2019, a 80 metros acima do solo, aproximadamente as 10 horas e 30 minutos. Os dados foram convertidos para reflectância de superfície utilizando um sensor de irradiância (*Sunshine*).

Outro índice bastante utilizado refere-se ao *Enhanced Vegetation Index* – EVI (Huete et al., 2002). Este índice se propõem a reduzir os problemas com saturação do sinal e ao mesmo tempo, ser sensível as condições da atmosfera (introduz a banda do azul) (Equação 2).

$$EVI = G * \frac{(\rho_{IVP} - \rho_{vermelhor})}{(\rho_{IVP} + c1 * \rho_{vermelhor} - c2 * \rho_{azul} + L)} \quad \text{Equação 2}$$

onde G representa um fator de ganho (2,5), c1 e c2 representam coeficientes de resistência dos aerossóis (c1 = 6; c2 = 7,5), e L refere-se a um coeficiente de ajuste do substrato (background) para compensar a não linearidade e as diferenças da transferência de radiação do vermelho e infravermelho próximo pelo dossel. O valor usual de L é 1, mas, o usuário deve fazer as devidas adequações para condições de cobertura arbórea (L. S. GALVÃO et al., 2011). Alguns autores tem reportado problemas com o EVI relacionados a efeitos direcionais e angulares (l. s. Galvão et al., 2011) e alguns sugerem o uso do EVIa ajustado a duas bandas, removendo o azul da sua formulação (JIANG, HUETE, DIDAN e MIURA, 2008). Novamente, é fundamental trabalhar com dados de

reflectância de superfície, especialmente quando o objetivo for avaliar a dinâmica espacial e temporal de culturas agrícolas.

Considerando ao uso de dados exclusivamente adquiridos no visível (clássicas imagens RGB), alguns autores tem mostrado seu potencial para a estimativas de parâmetros agrícolas (FERNANDEZ-GALLEGO et al., 2019; HUNT, CAVIGELLI, DAUGHTRY, MCMURTREY e WALTHALL, 2005; SENTHILNATH et al., 2016; SUGIURA et al., 2016; WEBSTER, WESTOBY, RUTTER e JONAS, 2018). A partir de imagens é possível gerar razões de bandas, contagem de indivíduos, elaboração de modelos de elevação/crescimento, normalizações como por exemplo, um ajuste do NDVI substituindo o infravermelho próximo pelo verde (*Normalized Green-Red Difference Index* (NGRDI) (HUNT et al., 2005)). Apesar de o NGRDI mostrar as áreas de maior densidade de vegetação (Figura 5a e Figura 5c), sua comparação não é diretamente linear a do NDVI (Figura 5b). Para áreas de solo exposto e baixa densidade de vegetação, o impacto do uso de touro índice parece satisfazer as demandas, contudo, a medida que o NDVI sobe ($NDVI > 0,7$), o efeito exponencial torna o uso do NGRDI mais difícil e susceptível a pequenos erros de calibração.

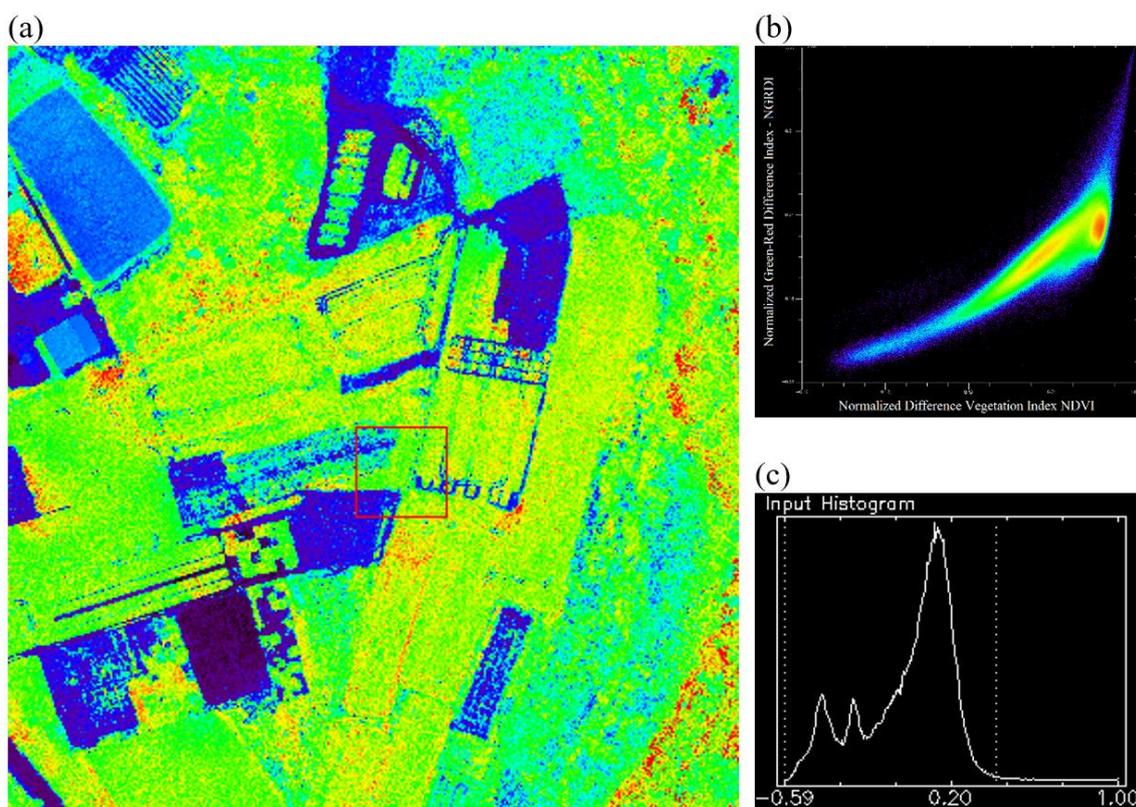


Figura 5. (a) Variação do *Normalized Green-Red Difference Index* (NGRDI) para uma área agrícola experimental localizada no sul do Brasil; (b) gráfico de espalhamento entre NGRDI e NDVI e (c) histograma de distribuição dos dados do NGRDI para a área. Dados adquiridos por uma câmera multiespectral da *Micasense*® (sequoia parrot®) a bordo de um *drone* Matrice 100®, em 23 de fevereiro de 2019, a 80 metros acima do solo, aproximadamente as 10horas e 30minutos. Os dados foram convertidos para reflectância de superfície utilizando um sensor de irradiância (*Sunshine*).

Potenciais dos *drones* na agricultura de precisão

Com a popularização dos *drones*, tornou-se possível elaborar modelos digitais de superfície (e terreno) com alto grau de detalhamento (JONATHAN L. CARRIVICK, MARK W. SMITH, 2016; SZE et al., 2015) Assim, é possível avançar consideravelmente nos estudos sobre margens de drenagens, áreas alagadas, represas, cortes de estrada, processos erosivos (voçorocas), assim como na validação de modelos digitais de terreno (MDT) e avançar no parcelamento dos talhões para ações de taxa variada. Apesar de se amparar nos princípios da fotogrametria (NEX e REMONDINO, 2014), os produtos ainda carecem de um amadurecimento e maiores validações com métodos tradicionais de levantamento de dados topográficos. Entre as limitações desses produtos, cabe destacar a abrangência espacial. Em geral, sistemas rotores têm um recobrimento de pequenas áreas quando comparados a imageadores orbitais. Contudo, são excelentes meios para auxiliar na validação em campo de modelos e produtos.

Muitos trabalhos têm mostrado o potencial do uso das imagens *drones* na agricultura e silvicultura de precisão. Torres-Sánchez et al. (2014) e Torres-Sánchez et al. (2013) fizeram uma avaliação do potencial do uso de imagens de *drones* para estimar a biomassa do trigo nos estágios iniciais sob distintas altitudes de aquisição de dados. Em geral, verificaram que o uso de câmeras baratas RGB podem subsidiar as estimativas e, ainda, observaram que a altitude na faixa de 30 a 60 m do terreno pouco interfere nos mapas de taxa variada gerados. Os autores ainda destacam a importância da calibração dos dados (reflectância de superfície), em concordância com Hunt et al. (2010). Nesse sentido, Hakala et al. (2018) propuseram um método de correção e calibração de radiância para reflectância de superfície que não demanda painéis em campo. Destacaram que medidas de irradiância obtidas a bordo do próprio *drone* muitas vezes são comprometidas (falta de dados, alinhamento do voo, inclinação do *drone*, etc.). Assim, propuseram utilizar os produtos “*Ocean Optics Downwelling Irradiance Data*”, que se mostraram viáveis nas aplicações em áreas florestais.

Entre os potenciais de aplicação na agricultura é mister mencionar a identificação de plantas daninhas e a pulverização. A identificação de plantas daninhas ou de manchas pode ser feita com base em mapeamentos multiespectrais ou hiperespectrais. Em geral, os sensores hiperespectrais geram resultados melhores (tanto com sensores imageadores quanto bidimensionais – espectroradiômetros).

A identificação e pragas e doenças de forma precoce na lavoura ainda é um grande desafio. Apesar de alguns produtos serem comercializados, ainda são incipientes as comprovações científicas da eficácia desses métodos em larga escala. Boa parte das indicações comerciais se baseiam no uso do NDVI (ou similar) para elaborar mapas de doenças ou pragas. Contudo, o potencial do uso dos *drones* para essas aplicações é grande. A identificação de *flavescência dorée* e doenças no tronco de videiras mostrou que as imagens multiespectrais adquiridas por *drones* podem ser um aliado no processo de manejo de doenças nas lavouras de videiras (ALBETIS et al., 2018; REY-CARAMÉS, DIAGO, PILAR MARTÍN, LOBO e TARDAGUILA, 2015).

A culturas anuais (soja, milho), a identificação de zonas de manejo a partir de dados de *drones*, series histórias de imagens de satélite e dados de produtividade têm permitido identificar e manejar de forma diferenciada cada região dentro de um único talhão (DAMIAN, SANTI, FORNARI, DA ROS e ESCHNER, 2017). Nesse contexto, algumas tentativas de integração de

dados de *drones* com dados orbitais foram desenvolvidas com foco na vitivinicultura Alessandro Matese et al. (2015).

Tipicamente a produtividade de uma lavoura depende das condições de preparo e manejo do solo. Os dados adquiridos por *drones* equipados com sensores multiespectrais, hiperespectrais e do termal podem fornecer informações importantes no que diz respeito a condições nutricionais, disponibilidade de água (irrigação) e identificação de infestações. Boa parte dessas aplicações depende da geração de um cubo hiperespectral, cobrindo uma ampla faixa do espectro eletromagnético (BESTAOUI SEBBANE, 2018; KRISHNA, 2016).

Mapeamentos básicos associados a levantamentos topográficos são produtos muito demandados para a aquisição, preparação e manejo dos talhões. Com a combinação de produtos dos *drone* (modelo digital de terreno) e alguns pontos de controle de obtidos por sistemas diferenciais, é possível elaborar mapas detalhados de vias, fazer o parcelamento do talhão, planejar técnicas de contenção de erosão (figura 6a), quantificar falhas de plantio (Figura 6b), e fazer avaliações com base nas toposequências. Boa parte desses produtos são gerados a partir de DEM e ortomosaico detalhado. Ademias, esses produtos podem ser obtidos com a frequência temporal desejada pelo produtor, com um custo relativamente baixo.

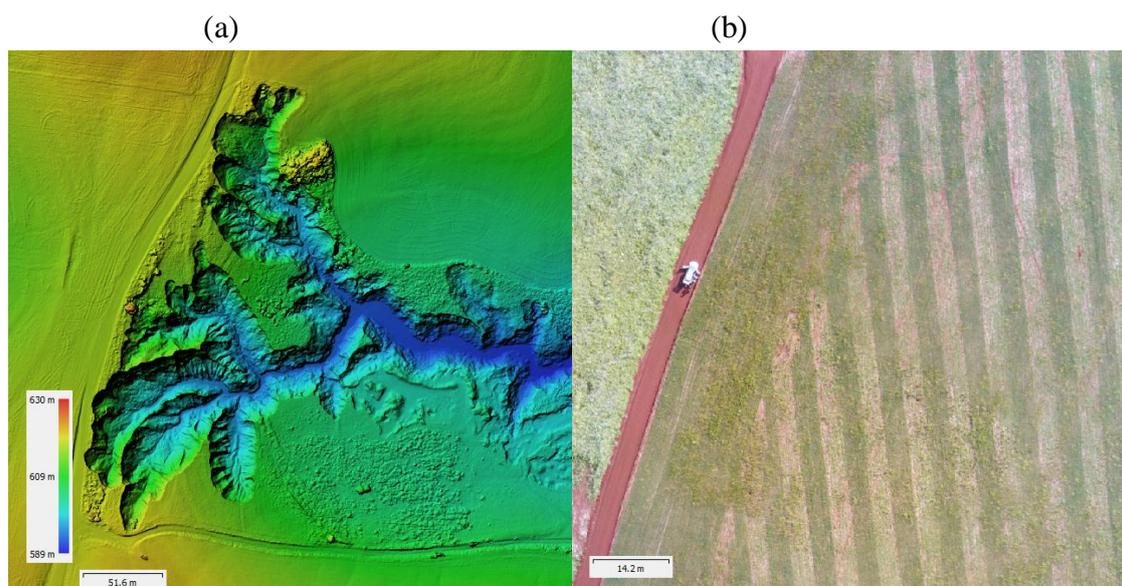


Figura 6. Uso de imagens adquiridas por drones para a elaboração (a) detalhada de modelos digitais de elevação para avaliação e monitoramento de processos erosivos e (b) identificação de falhas de plantio.

Uma revisão completa das aplicações dos *drones* foi apresentada por Pajares (2015), Toth e Józków (2016) e Colomina e Molina (2014). Uma abordagem recente das aplicações de *drones* na agricultura de precisão no Rio Grande do Sul, Brasil, são discutidas em Santi et al. (2016).

Limitações e desafios do uso de *drones* na agricultura de precisão

A discussão acerca das limitações e dos desafios não implica que sejam superadas em breve. Uma das principais limitações do uso de *drones* refere-se a sua baixa autonomia, especialmente considerando os sistemas rotores. Testes recentes com esses sistemas mostram que apenas áreas de aproximadamente 50 hectares são cobertos por um *drone Phantom 4* (DJI - Dà-Jiāng Innovations, 2018a) ou *Matrice 100* (DJI - Dà-Jiāng Innovations, 2018b) com uma bateria. Obviamente, sistemas de asa fixa podem cobrir áreas muito maiores, dependendo da altitude de voo. Algumas tentativas de criação de *drones* de asa fixa com autonomia de dias têm sido propostas (*Vanilla Unmanned (formerly Vanilla Aircraft)*, 2019), contudo, ainda de uso restrito e focado na área militar.

Outra preocupação refere-se a calibração das imagens em termos radiométricos. Boa parte da comunidade tem utilizado os dados de números digitais para gerar os produtos. Em termos de fotointerpretação essa não parece ser uma questão crítica, contudo, quando índices e análises temporais são geradas, grandes equívocos podem ocorrer. Boa parte desse tipo de problema é resolvido utilizando placas de calibração (quase lambertianas/isotrópicas) ou sensores de irradiância. Em tese, o uso do sensor de irradiância permite uma boa correção para reflectância de superfície, visto que permite obter o fator de reflectância (KURZ, 2003; NICODEMUS, 1965; SCHAEPMAN-STRUB, SCHAEPMAN, PAINTER, DANGEL e MARTONCHIK, 2006) medindo a irradiância descendente e ascendente. Normalmente, esse tipo de abordagem é feito colocando a bordo do drone uma câmera com visada descendente e um sensor de iluminação (*Sunshine*) sobre o *drone*, livre de sombra.

Com a execução de um plano de voo geralmente são adquiridas centenas de fotografias. Isso deriva em parte do fato de usualmente ser recomendado que se utilize um amplo recobrimento (lateral e longitudinal, superior a 80%) para reduzir a possibilidade de falhas de imageamento ao longo do plano de voo e permitir uma maior redundância de dados para a construção do mosaico pelo algoritmo *Structure from Motion* (SfM) (JONATHAN L. CARRIVICK, MARK W. SMITH, 2016). Contudo, esse tipo de abordagem gera um amplo custo computacional e requer que o usuário disponha de softwares e computadores adequados. Nesse caso, boa parte do problema pode ser resolvido ao utilizar sistemas de processamento na nuvem (*cloud processing systems*) ou então, equipar as máquinas com placas de processamento gráfico avançadas (placas de vídeo dedicadas).

Durante a execução do plano de voo, muitas vezes ocorrem variações das condições de tempo (meteorológicas) em poucos minutos. Isso gera resultados (por exemplo, mosaicos) com contaminações por sombra e que comprometem a qualidade radiométrica do produto final. Nesse caso, em geral apenas produtos derivados da interpretação visual podem ser utilizados. Variações nas condições de vento podem provocar variação no ângulo de visada das câmeras (apesar das tentativas de compensação do sistema inercial e do *gimbal*). Esses produtos tendem a apresentar uma aparência “gelatinosa”, reduzindo a qualidade das imagens.

Para o uso do mosaico de um voo de *drone*, é importante que o usuário faça um plano de voo que englobe um buffer razoável para além da área de efetivo interesse. Essa recomendação é importante para evitar as distorções das bordas do mosaico. Ainda, devido a demanda por uma alta redundância de dados, o SfM pode ter problemas ao gerar mosaicos de fotografias adquiridas em áreas de dosséis florestais. Normalmente essas áreas são preenchidas por algum processo de interpolação nos *softwares* disponíveis.

Um dos maiores desafios está relacionado a integração de dados adquiridos em campo/laboratório, drones (ou aerotransportados) e orbitais. Esses distintos níveis de coleta de dados requerem o uso de técnicas de inter-calibração de sensores (BROWN, PINZÓN, DIDAN, MORISSETTE e TUCKER, 2006; RÖDER, KUEMMERLE e HILL, 2005), espacialização de dados pontuais e seleção de atributos para a geração de um determinado produto (por exemplo, estimativa de produtividade ou de fixação de nitrogênio no solo). Nesse processo, é fundamental a presença de especialistas da área das ciências agrárias para avaliar a eficácia dos produtos gerados por sensoriamento remoto nas suas diversas plataformas de coleta de dados.

Existem várias outras limitações/correções que devem ser levadas em consideração referentes as correções das câmeras (distorções e refrações) que o usuário poderá encontrar junto ao fabricante. Desta forma, sempre é recomendado fazer uma busca por informações de cada sensor, câmera e plataforma.

Apesar das rotinas um pouco exaustivas indicadas pelos órgãos reguladores, as autorizações para os planos de voo sempre devem ser solicitadas. Esse assunto é bastante discutido e ainda apresenta mudanças constantes. Assim, recomenda-se que o usuário faça a leitura dos materiais junto a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). Boa parte dessa legislação está alinhada com a legislação para os drones de outras agências (*Federal Aviation Administration (FAA)*, *Civil Aviation Safety Authority (CASA)* e *European Aviation Safety Agency (EASA)*).

Independente da legislação sobre o tema, é fundamental que o usuário assuma a total responsabilidade e que tenha ciência de que o *drone* pode efetivamente provocar graves lesões a terceiros. Assim, ao fazer voos, cuidados básicos como não voar sobre pessoas, evitar áreas próximas a aeroportos, encaminhar as devidas autorizações aos órgãos competentes, fazer um seguro contra terceiros (especialmente quando os voos forem em áreas urbanas ou sobre pessoas), manter o equipamento em boas condições, entre outros.

Considerações finais

Os avanços recentes da tecnologia de *drones* e câmeras acopladas veem na área da agricultura um grande nicho de aplicações. Dentre o leque de aplicações, os levantamentos temáticos clássicos agora podem ser feitos com alto grau de detalhamento acoplado de refinados modelos de elevação digitais e perspectivas 3-dimensionais das lavouras. Características como a facilidade de uso, versatilidade de aplicações e baixo custo financeiro têm levado essa tecnologia para o campo através de entidades públicas e privadas. Mapas de zoneamento para aplicação de taxa variada, acompanhamento do desenvolvimento de culturas e identificação de plantas invasoras e doenças são alguns dos produtos recentes que começam a ser oferecidos para os produtores rurais. Boa parte desses produtos faz uso de câmeras multiespectrais ou hiperespectrais para o cálculo de índices de vegetação (por exemplo NDVI) ou identificação de feições espectrais específicas da vegetação ou solo.

Apesar dos avanços, alguns desafios ainda devem ser superados. A preocupação com a acurácia posicional está bem avançada, contudo, a questão radiométrica ainda carece de avanços. Assim, verifica-se a necessidade de uma maior integração entre as empresas e comunidade das ciências agrárias com os grupos e empresas que trabalham com a área de sensoriamento remoto e fotogrametria. Essa integração poderá levar a produtos mais robustos e por fim, a uma expansão das aplicações agrárias dos *drones*.

A recente popularização dos *drones* em diversas áreas mostra que essa tecnologia ainda carece de um amadurecimento técnico e comercial. A integração de diferentes plataformas de aquisição de dados (campo, drones/aerotransportado ou orbital) é um grande desafio que ao ser solvido, permitirá obter informações em alto grau de detalhamento espacial e temporal. Por fim, o objetivo é melhorar a produtividade com o mínimo de *inputs* na lavoura, levando a uma redução dos impactos financeiros e ambientais.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (processos 309030/2017-0 e 113769/2018-0), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), projeto Edital 04/2016 - Programa de Nucleação de Grupos de Pesquisa (Processamento de Imagens aplicado a Agricultura de Precisão utilizando Sistemas Embarcados em Veículos Autônomos Não-Tripulado). Ainda, o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

- Albetis, J., Jacquin, A., Goulard, M., Poilvé, H., Rousseau, J., Clenet, H., Duthoit, S. **On the Potentiality of UAV Multispectral Imagery to Detect Flavescence dorée and Grapevine Trunk Diseases.** *Remote Sensing*, 11(1), 23. <https://doi.org/10.3390/rs11010023>, 2018.
- Alexandridis, T. K., Gitas, I. Z., Silleos, N. G. **An estimation of the optimum temporal resolution for monitoring vegetation condition on a nationwide scale using MODIS/Terra data.** *International Journal of Remote Sensing*, 29(12), 3589–3607. <https://doi.org/10.1080/01431160701564618>, 2008.
- Anderson, C. **Agricultural Drones, Relatively cheap drones with advanced sensors and imaging capabilities are giving farmers new ways to increase yields and reduce crop damage.** *MIT Technology Review*, 117(3), NaN, 2014.
- ner, G. P., Martin, R. E., Anderson, C. B., Knapp, D. E. **Quantifying forest canopy traits: Imaging spectroscopy versus field survey.** *Remote Sensing of Environment*, 158, 15–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.11.011>, 2015a

- Asner, G. P., Martin, R. E., Anderson, C. B., Knapp, D. E. **Quantifying forest canopy traits: Imaging spectroscopy versus field survey.** *Remote Sensing of Environment*, 158, 15–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.11.011>, 2015b
- Banskota, A., Kayastha, N., Falkowski, M. J., Wulder, M. A., Froese, R. E., White, J. C. **Forest Monitoring Using Landsat Time Series Data: A Review.** *Canadian Journal of Remote Sensing*, 40(5), 362–384. <https://doi.org/10.1080/07038992.2014.987376>, 2014.
- Baret, F., Hagolle, O., Geiger, B., Bicheron, P., Miras, B., Huc, M., Leroy, M. **LAI, fAPAR and fCover CYCLOPES global products derived from VEGETATION.** *Remote Sensing of Environment*, 110(3), 275–286. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.02.018>, 2007.
- Baret, F., Houlès, V., Guérif, M. **Quantification of plant stress using remote sensing observations and crop models: The case of nitrogen management.** *Journal of Experimental Botany*, 58(4), 869–880. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl231>, 2007.
- Bestaoui Sebbane, Y. **Intelligent Autonomy of UAVs: Advanced Missions and Future Use.** Disponível em: https://books.google.pt/books?id=OGNRDwAAQBAJ&dq=UAV+impact&hl=pt-PT&source=gbs_navlinks_s, 2018.
- Brown, M. E., Pinzón, J. E., Didan, K., Morissette, J. T., Tucker, C. J. **Evaluation of the consistency of Long-term NDVI time series derived from AVHRR, SPOT-vegetation, SeaWiFS, MODIS, and landsat ETM+ sensors.** *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(7), 1787–1793. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2005.860205>, 2006.
- Candiago, S., Remondino, F., De Giglio, M., Dubbini, M., Gattelli, M. **Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images.** *Remote Sensing*, 7(4), 4026–4047. <https://doi.org/10.3390/rs70404026>, 2015.
- Colomina, I., Molina, P. **Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review.** *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79–97. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>, 2014.
- Cunliffe, A. M., Brazier, R. E., Anderson, K. **Ultra-fine grain landscape-scale quantification of dryland vegetation structure with drone-acquired structure-from-motion photogrammetry.** *Remote Sensing of Environment*, 183, 129–143. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.05.019>, 2016.
- Damian, J. M., Santi, A. L., Fornari, M., Da Ros, C. O., Eschner, V. L. **Monitoring variability in cash-crop yield caused by previous cultivation of a cover crop under a no-tillage system.** *Computers and Electronics in Agriculture*, 142, 607–621. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.11.006>, 2017.
- Dash, J. P., Watt, M. S., Pearse, G. D., Heaphy, M., Dungey, H. S. **Assessing very high resolution UAV imagery for monitoring forest health during a simulated disease outbreak.** *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 131, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.07.007>, 2017.
- Dash, J., Pont, D., Watt, M. S., Dash, J., Pont, D., Brownlie, R., Pearse, G. **Remote sensing for precision forestry.** *NZ Journal of Forestry*, (Junho), 15–24, 2016.
- De Biasio, M., Arnold, T., Leitner, R., McGunnigle, G., Meester, R. **UAV-based environmental monitoring using multi-spectral imaging.** In D. J. Henry (Ed.), *Proceedings Volume 7668, Airborne Intelligence, Surveillance, Reconnaissance (ISR) Systems and Applications VII; 766811 (2010)* <https://doi.org/10.1117/12.864470> (p. 766811). <https://doi.org/10.1117/12.864470>, 2010.

- DJI - Dà-Jiāng Innovations. **All Phantom Products- Intelligent Drones - DJI**. Consultado em: May 8, 2018, Disponível em: https://www.dji.com/products/all-phantom?site=brandsite&from=landing_page, 2018a
- DJI - Dà-Jiāng Innovations. **Matrice 100: The quadcopter for developers - DJI**. Consultado em: May 8, 2018, Disponível em: <https://www.dji.com/matrice100?site=brandsite&from=nav>
- European Space Agency. (2012). **Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services (ESA SP-1322/2 Março 2012)**. Noordwijk, The Netherlands, 2018b.
- European Space Agency (ESA). **Sentinel Mission Online**. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>, 2017.
- Fernandez-Gallego, J. A., Kefauver, S. C., Vatter, T., Aparicio Gutiérrez, N., Nieto-Taladriz, M. T., Araus, J. L. **Low-cost assessment of grain yield in durum wheat using RGB images**. *European Journal of Agronomy*, 105, 146–156. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.02.007>, 2019.
- Galvão, L., Epiphany, J., Breunig, F., Formaggio, A. **Crop Type Discrimination Using Hyperspectral Data**. In A. Prasad S. Thenkabail, U.S. Geological Survey, Arizona, USA; John G. Lyon, Clifton, Virginia, USA; Alfredo Huete, University of Technology, Sydney (Ed.), *Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation* (1st ed., pp. 397–422). Boca Raton: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11222-25>, 2011.
- Galvão, L. S., dos Santos, J. R., Roberts, D. A., Breunig, F. M., Toomey, M., de Moura, Y. M. **On intra-annual EVI variability in the dry season of tropical forest: A case study with MODIS and hyperspectral data**. *Remote Sensing of Environment*, 115(9), 2350–2359. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.04.035>, 2011.
- Galvão, L. S., Roberts, D. A., Formaggio, A. R., Numata, I., Breunig, F. M. **View angle effects on the discrimination of soybean varieties and on the relationships between vegetation indices and yield using off-nadir Hyperion data**. *Remote Sensing of Environment*, 113(4), 846–856. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.12.010>, 2009.
- Garrett, B., Anderson, K. **Drone methodologies: Taking flight in human and physical geography**. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 43(3), 341–359. <https://doi.org/10.1111/tran.12232>, 2018.
- Hakala, T., Markelin, L., Honkavaara, E., Scott, B., Theocharous, T., Nevalainen, O. Fox, N. **Direct Reflectance Measurements from Drones: Sensor Absolute Radiometric Calibration and System Tests for Forest Reflectance Characterization**. *Sensors*, 18(5), 1417. <https://doi.org/10.3390/s18051417>, 2018.
- Homolová, L., Malenovský, Z., Clevers, J. G. P. W., García-Santos, G., Schaepman, M. E. **Review of optical-based remote sensing for plant trait mapping**. *Ecological Complexity*, 15, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2013.06.003>, 2013.
- Houborg, R., McCabe, M., Houborg, R., McCabe, M. F. **Daily Retrieval of NDVI and LAI at 3 m Resolution via the Fusion of CubeSat, Landsat, and MODIS Data**. *Remote Sensing*, 10(6), 890. <https://doi.org/10.3390/rs10060890>, 2018.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., Ferreira, L. G. **Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices**. *Remote Sensing of Environment*, 83(1–2), 195–213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2), 2002.
- Hunt, E. R., Cavigelli, M., Daughtry, C. S. T., McMurtrey, J. E., Walthall, C. L. **Evaluation of Digital Photography from Model Aircraft for Remote Sensing of Crop Biomass and Nitrogen Status**. *Precision Agriculture*, 6(4), 359–378. <https://doi.org/10.1007/s11119-005-2324-5>, 2005.

- Hunt, E. R., Dean Hively, W., Fujikawa, S. J., Linden, D. S., Daughtry, C. S. T., McCarty, G. W. **Acquisition of NIR-green-blue digital photographs from unmanned aircraft for crop monitoring.** *Remote Sensing*, 2(1), 290–305. <https://doi.org/10.3390/rs2010290>, 2010.
- Im, J., Jensen, J.R. **Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation.** *Geography Compass*, 2(6), 1943–1961. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2008.00182.x>, 2008.
- Jensen, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em Recursos Terrestre** (1 ed.). São José dos Campos: - Brasil: Editora Parêntese. Consultado em: <http://books.google.com/books?id=3dBIPgAACAAJ&pgis=1>, 2009.
- Jiang, Z., Huete, A. R., Didan, K., Miura, T. **Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band.** *Remote Sensing of Environment*, 112(10), 3833–3845. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.06.006>, 2008.
- Jonathan L. Carrivick, Mark W. Smith, D. J. Q. **Structure from motion in the geosciences.** Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1111/nzg.12161>, 2016.
- Knyazikhin, Y., Martonchik, J. V., Myneni, R. B., Diner, D. J., Running, S. W. **Synergistic algorithm for estimating vegetation canopy leaf area index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from MODIS and MISR data.** *Journal of Geophysical Research*, 103(D24), 32257–32276. <https://doi.org/10.1029/98JD02462>, 1998.
- Knyazikhin, Y., Martonchik, J. V., Diner, D. J., Myneni, R. B., Verstraete, M., Pinty, B., Gobron, N. **Estimation of vegetation canopy leaf area index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from atmosphere-corrected MISR data.** *Journal of Geophysical Research*, 103(D24), 32239–32256. Disponível em: index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from atmosphere-corrected MISR.pdf, 1998.
- Kooistra, L., Clevers, J. G. P. W. **Estimating potato leaf chlorophyll content using ratio vegetation indices.** *Remote Sensing Letters*, 7(6), 611–620. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2016.1171925>, 2016.
- Kováčsová, P., Antalová, M. **Precision Forestry – Definition and Technologies.** *Šumarski List*, 143(11–12), 603–611. Disponível em: http://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=94069, 2010.
- Krishna, K. R. **Push button agriculture: robotics, drones, satellite-guided soil and crop management.** Disponível em: <https://www.crcpress.com/Push-Button-Agriculture-Robotics-Drones-Satellite-Guided-Soil-and-Crop/Krishna/p/book/9781771883047>, 2016.
- Kurz, F. **Schätzung von Vegetationsparametern aus multispektralen Fernerkundungsdaten / [S.l. : s.n.]**. Disponível em: <http://worldcat.org/oclc/76605066>, 2003.
- LaFay, M. **Drones for Dummies.** Disponível em: <https://books.google.com/books?id=yIbKCQAAQBAJ&pgis=1>, 2015.
- Loveland, T. R., Irons, J. R. **Landsat 8: The plans, the reality, and the legacy.** *Remote Sensing of Environment*, 185, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.07.033>, 2016.
- Maisongrande, P., Duchemin, B., Dedieu, G. **VEGETATION/SPOT: An operational mission for the Earth monitoring; presentation of new standard products.** *International Journal of Remote Sensing*, 25(1), 9–14. <https://doi.org/10.1080/0143116031000115265>, 2004.
- Matese, A., Di Gennaro, S. F., Miranda, C., Berton, A., Santesteban, L. G. **Evaluation of spectral-based and canopy-based vegetation indices from UAV and Sentinel 2 images to assess spatial variability and ground vine parameters.** *Advances in Animal Biosciences*, 8(02), 817–822. <https://doi.org/10.1017/S2040470017000929>, 2017.

- Matese, A., Toscano, P., Di Gennaro, S. F., Genesio, L., Vaccari, F. P., Primicerio, J., Gioli, B. **Intercomparison of UAV, aircraft and satellite remote sensing platforms for precision viticulture.** *Remote Sensing*, 7(3), 2971–2990. <https://doi.org/10.3390/rs70302971>, 2015.
- Myneni, R. B. **Estimation of global leaf area index and absorbed par using radiative transfer models.** *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35(6), 1380–1393. <https://doi.org/10.1109/36.649788>, 1997.
- Nex, F., Remondino, F. **UAV for 3D mapping applications: A review.** *Applied Geomatics*, 6(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>, 2014.
- Nicodemus, F. E. **Directional Reflectance and Emissivity of an Opaque Surface.** *Applied Optics*, 4(7), 767–775, 1965.
- Novo, E. M. L. M.. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações* (2nd ed.). São Paulo: Edgar Blücher. 2002.
- Onojeghuo, A. O., Blackburn, G. A., Huang, J., Kindred, D., Huang, W. **Applications of satellite ‘hyper-sensing’ in Chinese agriculture: Challenges and opportunities.** *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.09.005>, 2018.
- Pajares, G. **Overview and Current Status of Remote Sensing Applications Based on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs).** *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(4), 281–330. <https://doi.org/10.14358/PERS.81.4.281>, 2015.
- PLANET Labs. **PLANET SURFACE REFLECTANCE PRODUCT.** San Francisco: Planet Labs., 2018. Disponível em: https://assets.planet.com/marketing/PDF/Planet_Surface_Reflectance_Technical_White_Paper.pdf
- Planet Labs Inc. **Planet imagery product specifications. Mountain View.** Disponível em: https://www.planet.com/products/satellite-imagery/files/Planet_Combined_Imagery_Product_Specs_December2017.pdf, 2018.
- Ponzoni, F. J. **Comportamento espectral da vegetação.** In P. R. Menezes, J. S. Madeira-Netto (Eds.), *Sensoriamento remoto - reflectância de alvos naturais* (1st ed., pp. 157–199). Brasília: Embrapa. Disponível em: <http://www.agrosoft.org.br/agropag/27483.htm>, 2001.
- Ponzoni, F. J., Shimabukuro, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação.** São José dos Campos: Editora Parêntese. Disponível em: <http://lojavirtual.parentese.com.br/srveg2010.html>, 2009.
- Raeva, P. L., Šedina, J., Dlesk, A. **Monitoring of crop fields using multispectral and thermal imagery from UAV.** *European Journal of Remote Sensing*, 1–10. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1527661>, 2018.
- Rey-Caramés, C., Diago, M. P., Pilar Martín, M., Lobo, A., Tardaguila, J. **Using RPAS multi-spectral imagery to characterise vigour, leaf development, yield components and berry composition variability within a vineyard.** *Remote Sensing*, 7(11), 14458–14481. <https://doi.org/10.3390/rs71114458>, 2015.
- Röder, A., Kuemmerle, T., Hill, J. **Extension of retrospective datasets using multiple sensors. An approach to radiometric intercalibration of Landsat TM and MSS data.** *Remote Sensing of Environment*, 95(2), 195–210. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.12.008>, (2005).
- Rouse, J. W., Hass, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS.** In *Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) symposium* (Vol. 1, pp. 309–317). Washington, DC: NASA. <https://doi.org/citeulike-article-id:12009708>, 1973.
- Sánchez-Azofeifa, G. A., Castro-Esau, K. L., Kurz, W. A., Joyce, A. **Monitoring carbon stocks in the tropics and the remote sensing operational limitations: from local to regional projects.**

- Ecological Applications: A Publication of the Ecological Society of America*, 19(2), 480–94. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19323204>, 2009.
- Sánchez-Azofeifa, G. A., Kachmar, M., Kalácska, M., Hamilton, S. **Experiences in Field Data Collection. In *Remote Sensing of Forest Environments*** (pp. 433–446). Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0306-4_16, 2003.
- Santi, A. L., Sebem, E., Giotto, E., Amado, T. J. C. **Agricultura de precisão no Rio Grande do Sul.** (A. L. Santi, E. Sebem, E. Giotto, T. J. C. Amado, Eds.) (1st ed.). Santa Maria: CESPOL., 2016.
- Schaepman-Strub, G., Schaepman, M. E., Painter, T. H., Dangel, S., Martonchik, J. V. **Reflectance quantities in optical remote sensing—definitions and case studies.** *Remote Sensing of Environment*, 103(1), 27–42. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.03.002>, 2006.
- Senthilnath, J., Dokania, A., Kandukuri, M., K.N., R., Anand, G., Omkar, S. N. **Detection of tomatoes using spectral-spatial methods in remotely sensed RGB images captured by UAV.** *Biosystems Engineering*, 146, 16–32. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.12.003>, 2016.
- Stroppiana, D., Pinnock, S., Pereira, J. M. C., Grégoire, J. M. **Radiometric analysis of SPOT-VEGETATION images for burnt area detection in Northern Australia.** *Remote Sensing of Environment*, 82(1), 21–37. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00021-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00021-4), 2002.
- Sugiura, R., Tsuda, S., Tamiya, S., Itoh, A., Nishiwaki, K., Murakami, N., Nuske, S. **Field phenotyping system for the assessment of potato late blight resistance using RGB imagery from an unmanned aerial vehicle.** *Biosystems Engineering*, 148, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.04.010>, 2016.
- Sze, L. T., Cheaw, W. G., Ahmad, Z. A., Ling, C. A., Chet, K. V., Lateh, H., Bayuaji, L. **High resolution DEM generation using small drone for interferometry SAR.** In *International Conference on Space Science and Communication, IconSpace* (Vol. 2015–Septe, pp. 366–369). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IconSpace.2015.7283801>, 2015.
- Thenkabail, P. S., Lyon, J. G., Huete, A. **Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation.** (P. S. Thenkabail, J. G. Lyon, A. Huete, Eds.) (1 ed.). Boca Raton, FL: CRC Press; Disponível em: http://www.amazon.com/Hyperspectral-Remote-Sensing-Vegetation-Thenkabail/dp/1439845379/ref=sr_1_1?s=books&ie=UTF8&qid=1394042548&sr=1-1&keywords=Hyperspectral+Remote+Sensing+of+Vegetation, 2011.
- Thomas, V. **Hyperspectral remote sensing for Forest Management.** In A. Prasad S. Thenkabail, U.S. Geological Survey, Arizona, USA; John G. Lyon, Clifton, Virginia, USA; Alfredo Huete, University of Technology, Sydney (Ed.), *Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation* (1 ed., pp. 469–486), 2010.
- Tian, F., Fensholt, R., Verbesselt, J., Grogan, K., Horion, S., Wang, Y. **Evaluating temporal consistency of long-term global NDVI datasets for trend analysis.** *Remote Sensing of Environment*, 163, 326–340. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.03.031>, 2015.
- Torres-Sánchez, J., López-Granados, F., De Castro, A. I., Peña-Barragán, J. M. **Configuration and Specifications of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Early Site Specific Weed Management.** *PLoS ONE*, 8(3), e58210. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0058210>, 2013.
- Torres-Sánchez, J., Peña, J. M., de Castro, A. I., López-Granados, F. **Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV.** *Computers and Electronics in Agriculture*, 103, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.02.009>, 2014.

- Toth, C., Józków, G. **Remote sensing platforms and sensors: A survey.** *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 22–36. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.10.004>, 2016.
- Tuček, J., Ligoš, J. **Forest canopy influence on the precision of location with GPS receivers.** *Journal of Forest Science*, 48(9), 399–407, 2002.
- Tyc, G., Ruthman, K., Steyn, J. **The RapidEye Low Cost Mission Design.** In *Proceedings of 55th International Astronautical Congress 2004* (p. IAC-04-IAA.4.11.4.02). Vancouver, Canada. Oct. 4–8, 2004: Internatinal Astronautical Federation. Retrieved from <https://www.iafastro.net/iac/archive/browse/IAC-04/IAA.4.11/4/890/>, 2004.
- United States Geological Survey – USGS. **Landsat Missions: Imaging the Earth Since 1972.** October 20, 2017, Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/landsat-missions-timeline>, 2018.
- Van Der Meij, B., Kooistra, L., Suomalainen, J., Barel, J. M., De Deyn, G. B. **Remote sensing of plant trait responses to field-based plant-soil feedback using UAV-based optical sensors.** *Biogeosciences*, 14(3), 733–749. <https://doi.org/10.5194/bg-14-733-2017>, 2017.
- Vanilla Unmanned (formerly Vanilla Aircraft). VANILLA VA001 Group 3 UAS. Disponível em: <https://vanillaunmanned.com/aircraft>, 2019.
- Webster, C., Westoby, M., Rutter, N., Jonas, T. **Three-dimensional thermal characterization of forest canopies using UAV photogrammetry.** *Remote Sensing of Environment*, 209, 835–847. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.09.033>, 2018.
- Xiong, X., Barnes, W. L., Guenther, B., Murphy, R. E. **Lessons learned from MODIS.** *Advances in Space Research*, 32(11), 2107–2112. [https://doi.org/10.1016/S0273-1177\(03\)90530-8](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(03)90530-8), 2003.
- Xiong, X., Chiang, K., Sun, J., Barnes, W. L., Guenther, B., Salomonson, V. V. **NASA EOS Terra and Aqua MODIS on-orbit performance.** *Advances in Space Research*, 43(3), 413–422. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2008.04.008>, 2009.

CAPITULO 7

USO DE VANTS PARA ESTUDOS AMBIENTAIS EM ÁREAS URBANAS: APLICAÇÕES ATUAIS E PERSPECTIVAS

VANDOIR BOURSCHEIDT²⁵

Introdução

A obtenção de dados ambientais em áreas urbanas sempre foi um grande limitante no desenvolvimento de estudos mais detalhados sobre os diferentes elementos que compõem esse ambiente. Embora o sensoriamento remoto, que é atualmente uma das principais fontes de informações ambientais, tenha trazido grandes benefícios para suprir essas demandas, principalmente com a evolução dos sensores e a ampliação da disponibilidade de dados, este ainda apresenta limitações, principalmente, em termos da relação custo-benefício, quando se pensa no contexto das áreas urbanas. Como exemplo dessa relação, podemos citar o controle da arborização urbana através de imagens de satélite de alta resolução (VIANA, 2013), que, apesar de permitir obter informações envolvendo áreas verdes com certo grau de precisão, ainda não possibilita contabilizar com exatidão todas as árvores existentes, demandando levantamentos *in situ*. Além disso, embora seja possível obter certas informações sobre as áreas urbanas com instrumentos de maior precisão, como no estudo mencionado, isso ainda requer investimentos consideráveis.

Com o avanço da tecnologia, outro conceito vem ganhando espaço nos últimos anos no contexto urbano: as chamadas *Smart Cities*, que podem ser entendidas como cidades sustentáveis que agregam infraestrutura e serviços de forma inteligente e unificada, utilizando ferramentas específicas para controle e monitoramento a partir de uma enorme quantidade de informação (BATTY et al., 2012; HANCKE e SILVA, 2013; OSMAN, 2019). Entre essas informações, pode-se considerar uma ampla gama de dados ambientais, que acabam, muitas vezes, sujeitos às limitações já mencionadas.

Nesse sentido, o rápido avanço tecnológico e computacional das últimas décadas vem tornando possível o desenvolvimento de novos instrumentos que, por terem um custo relativamente mais acessível e por serem de fácil utilização, ganham cada vez mais espaço no mercado de geotecnologias. Trata-se dos Veículos Aéreos não Tripulados (VANTS), termo utilizado de forma mais ampla, também neste trabalho, ainda que diferentes terminologias costumem ser adotadas, tais como UAVs, ARPs ou RPAs, ou, ainda, *drones*. Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs, *Remotely-Piloted Aircraft*), normalmente, se referem a aeronaves sem modo autônomo, embora essa não seja uma regra para o uso do termo. A existência de modo (semi)autônomo, a propósito, é um dos grandes avanços observados com a evolução dos VANTS, apresentando suas vantagens e riscos (AREIAS, HUMBERTO, GUARDALBEN, FERNANDES e SARGENTO, 2018; BÜRKLE, SEGOR e KOLLMANN, 2011; ZARÉA et al., 2013). Ressalta-se, porém, que a operação autônoma de aeronaves ainda não é autorizada pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil, 2018).

²⁵ Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos (DCAm/UFSCar).

Existe uma grande variedade de modelos de VANTs disponíveis atualmente, separados, basicamente, entre os de asa fixa, muito utilizados na agricultura, pois podem sobrevoar grandes áreas (mas requerem maior habilidade do piloto ao realizar os voos), e os multi-rottores, que incluem a maioria dos equipamentos para uso civil (CAI, DIAS e SENEVIRATNE, 2014). Estes são os modelos mais indicados, também, para áreas urbanas, devido ao peso reduzido e à facilidade de operação, com a capacidade de levantar voo na vertical e obter informações a partir de um ponto fixo no ar. Maiores detalhes sobre a classificação dos tipos de VANTs podem ser encontrados em outros capítulos deste livro, ou ainda, no trabalho de Hassanalian e Abdelkefi (2017).

A seguir, são destacados alguns dos principais instrumentos utilizados no ambiente urbano, bem como algumas das principais aplicações que vêm sendo observadas em diferentes trabalhos, e de usos possíveis, que devem ocorrer à medida que o desenvolvimento tecnológico avança. Finalmente, discutem-se algumas das limitações para a aplicação, principalmente em função das normas vigentes.

VANTs e áreas urbanas

Para se ter uma ideia melhor da evolução dos VANTs no contexto urbano, uma análise com base no *Google Trends* é apresentada na Figura 1, mostrando que as buscas pelos termos VANTs, *smart cities*, *IoT* (*Internet of Things* ou internet das coisas) vêm crescendo, principalmente a partir de 2014.

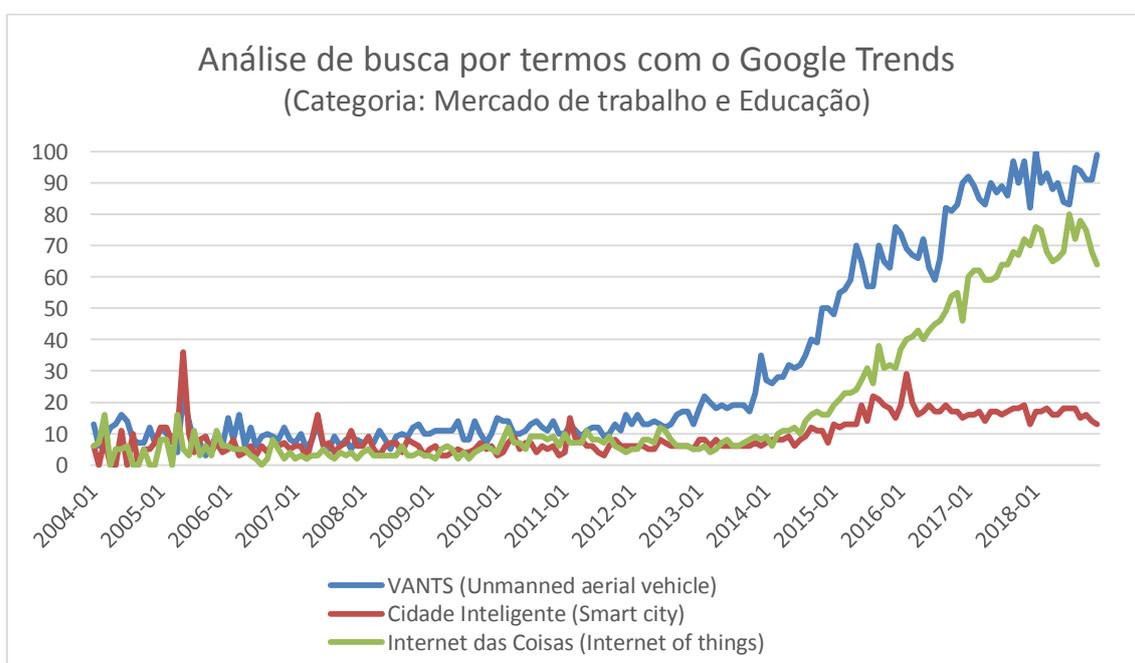


Figura 1 – Análise de tendência em nível mundial dos termos VANT, IoT e cidades inteligentes com base no *Google Trends* (www.google.com/trends). Levantamento baseado no trabalho de Gallacher (2016).

Dentre as principais vantagens dos VANTs para as áreas urbanas, pode-se mencionar a capacidade de obter imagens com grande detalhamento (resolução espacial da ordem de centímetros); a capacidade de obter dados sob demanda, sempre que houver necessidade; e a possibilidade de embarcar os mais variados instrumentos (NOOR, ABDULLAH e HASHIM, 2018). Com base nos trabalhos de De Sousa (2017) e Noor, Abdullah e Hashim (2018), entre os principais instrumentos (embarcados ou não) que têm sido utilizados ou que apresentam potencial para utilização, atualmente, em estudos urbanos, pode-se destacar:

- *LiDAR*²⁶ (do inglês *Light Detection and Ranging*): é uma técnica utilizada, frequentemente, na construção de modelos tridimensionais, sendo aplicada nas mais variadas áreas (agricultura, silvicultura, planejamento urbano, veículos autônomos, arquitetura e engenharia de modo geral). Dependendo da aplicação, pode ser embarcada em aeronaves, carros, etc.
- Câmeras multiespectrais ou hiperespectrais: amplamente utilizadas para o sensoriamento remoto, permitem diversas análises, dentre as quais o mapeamento e a identificação de espécies vegetais e minerais, bem como a análise da água.
- Câmeras termais: permitem observar a radiação emitida pela superfície em comprimentos de onda específicos. Vêm sendo utilizadas nas áreas de manutenção de estruturas e equipamentos e apresentam grande potencial de uso em estudos envolvendo a ilha de calor urbano (ICU).
- Câmeras convencionais (RGB): com as mais variadas aplicações, permitem o imageamento detalhado da superfície e também a construção de modelos tridimensionais.

Além destes, diversos outros sensores estão disponíveis, e é possível, ainda, encontrar soluções de baixo custo baseadas em plataformas de desenvolvimento abertas, como o Arduino²⁷ (e.g. PAPA e DEL CORE, 2015; ROLDÁN, JOOSSEN, SANZ, DEL CERRO e BARRIENTOS, 2015).

Com essa grande gama de sensores e equipamentos, as possibilidades de aplicação no contexto urbano também são vastas, conforme será visto a seguir.

Aplicações existentes

Embora o desenvolvimento dos VANTs seja recente, referências à sua utilização em áreas urbanas podem ser facilmente encontradas, tanto no exterior quanto no Brasil. E as aplicações não se limitam a ambientes abertos. Novas aeronaves vêm sendo desenvolvidas também com tolerância à colisão para a inspeção em ambientes internos e subsolos, inclusive tubulações (GARRETT e ANDERSON, 2018). O mesmo acontece no âmbito das *Smart Cities* e IoT, para as quais se observa um enorme potencial com o uso de VANTs, o que leva, também, a uma crescente preocupação em relação aos aspectos de segurança e privacidade (JENSEN, 2016; MOGUEL et al., 2018; MOHAMMED et al., 2014).

²⁶ Alguns modelos de sensores podem ser encontrados nos sites das empresas *YellowScan* (<https://www.yellowscan-lidar.com/>) e *Velodyne* (<https://velodynelidar.com/>).

²⁷ Maiores detalhes em <https://www.arduino.cc/>

Tendo em mente esse cenário, podemos compreender melhor as aplicações existentes. De forma simplificada, dois grandes produtos podem ser obtidos com VANTs, que são os ortomosaicos de imagens e os Modelos Digitais de Superfície (MDS). Um MDS pode ser obtido de duas formas: utilizando-se instrumentos embarcados com a tecnologia LiDAR, ou então, para o caso de equipamentos mais simples que apenas obtenham imagens, por meio da técnica conhecida como *Structure from Motion* (SfM) (HONJO, TSUNEMATSU, YOKOYAMA, YAMASAKI e UMEKI, 2017; MANDANICI, CONTE e GIRELLI, 2016). O SfM, que, primeiramente, visa à criação de modelos tridimensionais, é a que permite criar os mosaicos ortorretificados (o que depende de uma série de condições, como a quantidade de imagens, a existência de informações de geometria de aquisição das mesmas, entre outros aspectos), superando a principal limitação dos *drones*, nesse caso, que é o tempo de voo e a área de abrangência de aquisição das imagens.

Além disso, a possibilidade de incorporar instrumentos nas aeronaves potencializa o desenvolvimento dos mais variados estudos, como é o caso de boa parte dos trabalhos explorados adiante. Ressalta-se que a incorporação de instrumentos vai além da aplicação em estudos acadêmicos, com diversas empresas no Brasil²⁸ e ao redor do mundo realizando adaptações de equipamentos aos mais variados modelos de VANTs.

Para exemplificar e aprofundar mais a utilização desses produtos, a seguir, as aplicações foram organizadas, de forma mais ampla, envolvendo o uso para o planejamento urbano, em estudos hidrológicos e estudos climáticos.

Uso no planejamento urbano e monitoramento ambiental

Uma das principais demandas para estudos envolvendo o planejamento urbano é a disponibilidade de imagens de alta resolução espacial, para garantir o maior nível de detalhe possível em escalas da ordem de 1:5.000, visando, principalmente, ao mapeamento detalhado da superfície. Embora imagens de satélite com resoluções de até dezenas de centímetros estejam disponíveis para aquisição, seu custo efetivo ainda é elevado para a maioria dos pesquisadores ou agentes públicos.

Como o planejamento urbano envolve muitos parâmetros, ambientais ou não, o uso de VANTs nessa perspectiva também varia. Dentre as aplicações, podemos mencionar a análise da vegetação. Seu uso na classificação de vegetação em áreas urbanas, por exemplo, pode ser encontrado no trabalho de Feng, Liu e Gong (2015), os quais desenvolveram um sistema híbrido de classificação de imagens com base na técnica de aprendizado de máquina *Random Forest*, juntamente com a análise da textura, tendo em vista a alta resolução das imagens obtidas com VANTs. Os resultados se mostraram promissores e podem ser uma boa alternativa para a classificação da vegetação em áreas urbanas, especialmente considerando os avanços na resolução espectral dos produtos obtidos com novos sensores embarcados.

Trabalhos também sugerem seu uso para a análise da adequação de Áreas de Preservação Permanente (APPs), que são significativamente mais vulneráveis em ambientes urbanos, além de extremamente importantes nesses ambientes, principalmente devido ao risco de inundação

²⁸ Como é o caso das empresas *Geodrones* (<http://www.geodronestore.com.br/>) e *GEO VANT* (<https://www.geovantdrones.com.br>)

(BUFFON, DA PAZ e SAMPAIO, 2017). O monitoramento de APPs em ambientes urbanos por meio de VANTs tem grande potencial nesse sentido, principalmente pela redução de custos e possibilidade de monitoramento frequente e direcionado para as áreas de maior vulnerabilidade.

Outra aplicação com grande potencial em termos de planejamento urbano é o monitoramento de tráfego através de drone (SALVO, CARUSO e SCORDO, 2014; SALVO, CARUSO, SCORDO, GUIDO e VITALE, 2017). Uma das principais vantagens dessa forma de observação é que ela permite analisar e (eventualmente) modelar o fluxo de veículos sem interferir no comportamento do motorista (SALVO et al., 2014).

Ainda, existem outros exemplos de aplicação com VANTs, como o cadastro urbano para fins de controle de loteamentos, valores venais de imóveis, etc. (ARANTES et al., 2018); avaliação e manutenção de centros históricos a partir de modelos tridimensionais (TENEDÓRIO, ESTANQUEIRO, MATOS LIMA e MARQUES, 2016); aplicação na segurança pública (HERWITZ et al., 2004; MIRANDA NETO e ALMEIDA, 2009); na vigilância sanitária (DA SILVA et al., 2016); no controle epidemiológico (ARAÚJO, PICANÇO e NAZARENO, 2018; FORNACE, DRAKELEY, WILLIAM, ESPINO e COX, 2014); entre outros. Ressalta-se, no entanto, que boa parte das aplicações sugeridas e discutidas nos trabalhos anteriormente elencados ainda se refere ao potencial de aplicação, sendo necessários avanços no sentido de tornar seu uso efetivo no ambiente urbano.

Uso em estudos hidrológicos

Diferentes aplicações podem ser imaginadas nesse sentido. O trabalho de Tokarczyk, Leitaó, Rieckermann, Schindler e Blumensaat (2015) utiliza imagens obtidas através de VANTs para realizar o mapeamento de áreas impermeáveis em ambiente urbano. Essas imagens, processadas e classificadas automaticamente através de modernos algoritmos, permitem criar informações em alta resolução e com grande precisão para a aplicação em modelos de escoamento superficial. Outra vantagem, destacada pelos próprios autores e já mencionada no texto, é a possibilidade de adquirir imagens atualizadas de forma frequente, o que é de grande importância para garantir a precisão de modelos desse tipo, tendo em vista a dinâmica das áreas urbanas.

Pensando, ainda, nos modelos, outro produto muito útil refere-se ao Modelo Digital de Superfície (MDS), já mencionado, que, diferentemente dos Modelos Digitais de Elevação (MDE), permite observar a superfície incluindo seus elementos naturais e construídos. Esse tipo de produto é especialmente interessante para aplicações em clima urbano (ver próxima seção) e para modelagem hidrológica de precisão.

A modelagem hidrológica pode auxiliar de diferentes maneiras na análise de impactos associados com eventos de precipitação intensa, principalmente com a identificação de áreas vulneráveis, como realizado no estudo de Heimhuber, Hannemann e Rieger (2015), para a região de Onaville, Haiti. Devido à expansão recente, diversas regiões não apresentam estudos prévios das áreas de inundação, de forma que o mapeamento detalhado da superfície, aliado à modelagem hidrológica, pode permitir a definição das áreas de risco com maior acurácia. Um estudo similar foi realizado por Shaad, Ninsalam, Padawangi e Burlando (2016) para a cidade de Jakarta, onde ficou demonstrado o potencial dos VANTs para o mapeamento detalhado (incluindo o levantamento tridimensional das estruturas a partir de nuvens de pontos) e para a aplicação de modelagem

hidrodinâmica, a fim de otimizar obras de engenharia que reduzam os impactos do escoamento superficial e em canais pluviais em áreas densamente povoadas.

No que diz respeito a precisão dos modelos de superfície, levantamentos sugerem que os VANTs podem ser uma excelente alternativa para a produção de MDSs robustos, com resultados similares aos obtidos com outras técnicas já consolidadas e com grande potencial para a modelagem de fluxo superficial em áreas urbanas (LEITÃO, MOY DE VITRY, SCHEIDEGGER e RIECKERMANN, 2016).

Além da aplicação direta em modelos hidrológicos, produtos obtidos com VANTs podem ser úteis na análise de processos erosivos em áreas urbanas, inclusive com a aplicação da Equação Universal de Perda de Solos (PETRI e BOURSCHEIDT, 2017; PÉREZ e GARCÍA, 2017). A compreensão da dimensão dos danos causados por esse tipo de processo, conforme mostrado na Figura 2, dificilmente seria possível apenas com imagens de satélite. Além disso, o MDS de alta resolução do mesmo exemplo permite a obtenção de medidas volumétricas da perda de solo, o que é de grande utilidade para estudos envolvendo o assoreamento de canais.

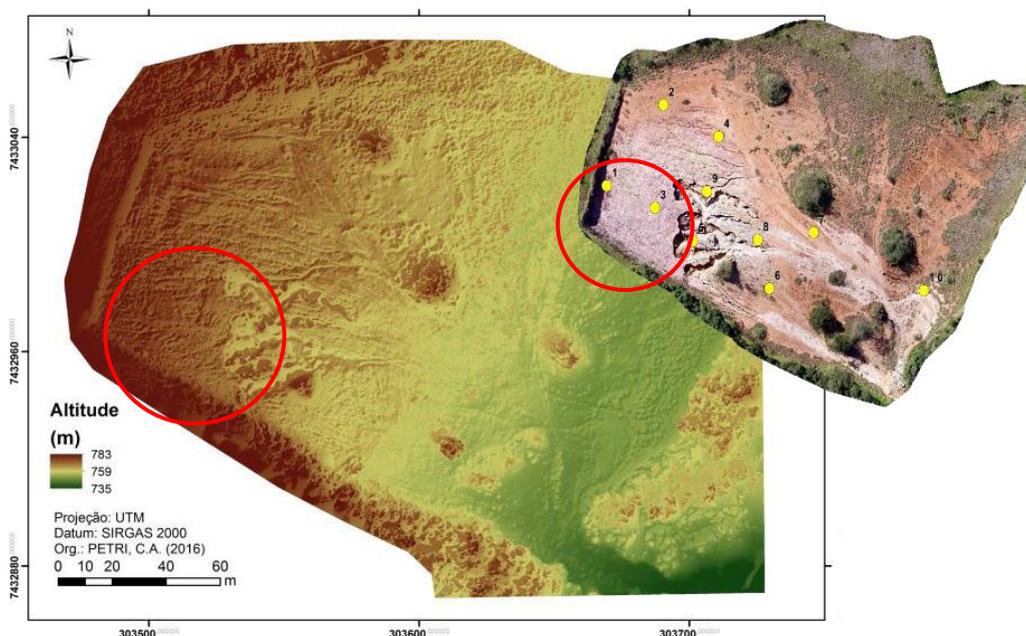


Figura 2 – Exemplo de processo erosivo em área urbana obtido por VANT (MDS com imagem RGB no detalhe). Fonte: adaptado de Petri e Bourscheidt (2017).

Aplicações mais específicas ainda podem incluir monitoramento de barragens e reservatórios (RIDOLFI e MANCIOLA, 2018) e medida de velocidade de escoamento com base na técnica PIV (*Particle Image Velocimetry* ou velocimetria por imagem de partículas) (KOUTALAKIS, TZORAKI e ZAIMES, 2019) entre outros. Entretanto, a maior parte dos trabalhos apresentados ainda se refere a observações e análise específicas, o que reforça a necessidade de uma maior integração entre as informações já obtidas. Nesse sentido, o avanço do uso de VANTs necessita também da criação de protocolos de coleta de dados visando à otimização e à simplificação das informações no âmbito das cidades inteligentes, IoT e *Big Data*.

Estudos climáticos urbanos

O clima urbano tem estado em evidência há vários anos, com estudos utilizando diferentes abordagens e técnicas: mapeamento da temperatura (de superfície) através de satélites e outros sensores, simulações empregando dinâmica computacional de fluidos (CFD ou *Computational Fluid Dynamics*) e modelos digitais de superfície; análise da cobertura vegetal, etc. Esses exemplos podem ser significativamente aperfeiçoados com o uso de VANTs.

Uma das abordagens no estudo do ambiente urbano envolve a chamada Camada Limite Urbana (UBL ou *Urban Boundary Layer*) e a aquisição de dados com instrumentos móveis. Uma aplicação nesse sentido é o perfilamento de informações meteorológicas com ARPs. O levantamento realizado por Brosy e Kunstmann (2017), por exemplo, buscou efetuar medidas de temperatura, umidade, condições de vento e concentração de metano em uma série de perfis verticais, com a finalidade de superar as limitações nas medidas (em torres) normalmente realizadas até 50 metros do solo. Esse tipo de coleta é similar às sondagens, mas com a vantagem de ser realizado de forma mais rápida, barata e simplificada. De forma análoga, também vêm sendo realizados estudos para a obtenção de medidas diretas de poluentes como material particulado, ozônio e CO₂, com instrumentos embarcados em VANTs (HAAS et al., 2014; ILLINGWORTH et al., 2014; SINHA, TSOURDOS e WHITE, 2009), no caso de Haas et al. (2014) com perfis tanto na vertical quanto na horizontal.

Pensando em uma perspectiva espacial e mais ampla, a utilização de VANTs ocorre principalmente pelo transporte de câmeras termais, que permitem obter imagens de alta resolução e criar mosaicos usando a técnica SfM (HONJO et al., 2017), mencionada anteriormente. Exemplos da utilização de câmeras termais embarcadas em VANTs já são apresentados em diversos trabalhos (COUTTS et al., 2016; MANDANICI et al., 2016; SOTO-ESTRADA, CORREA-ECHEVERI, & POSADA-POSADA, 2018). A maior parte das aplicações para estudos climáticos em áreas urbanas se dá em termos da ICU (Ilha de Calor Urbano), a exemplo do trabalho de Soto-Estrada *et al.* (2018). Nesse estudo, os autores utilizam, ainda, o fator de visão do céu (*Sky View Factor, SVF*), que indica a proporção de céu visível a partir de um determinado ponto, o qual é um indicador que influencia diretamente no balanço radiativo de ondas longas (OKE, 1981). Com a disponibilidade de um MDS, seu cálculo é facilitado (LINDBERG e GRIMMOND, 2010). Um exemplo de imagem produzida através de câmera termal embarcada em um VANT é mostrado na Figura 3.

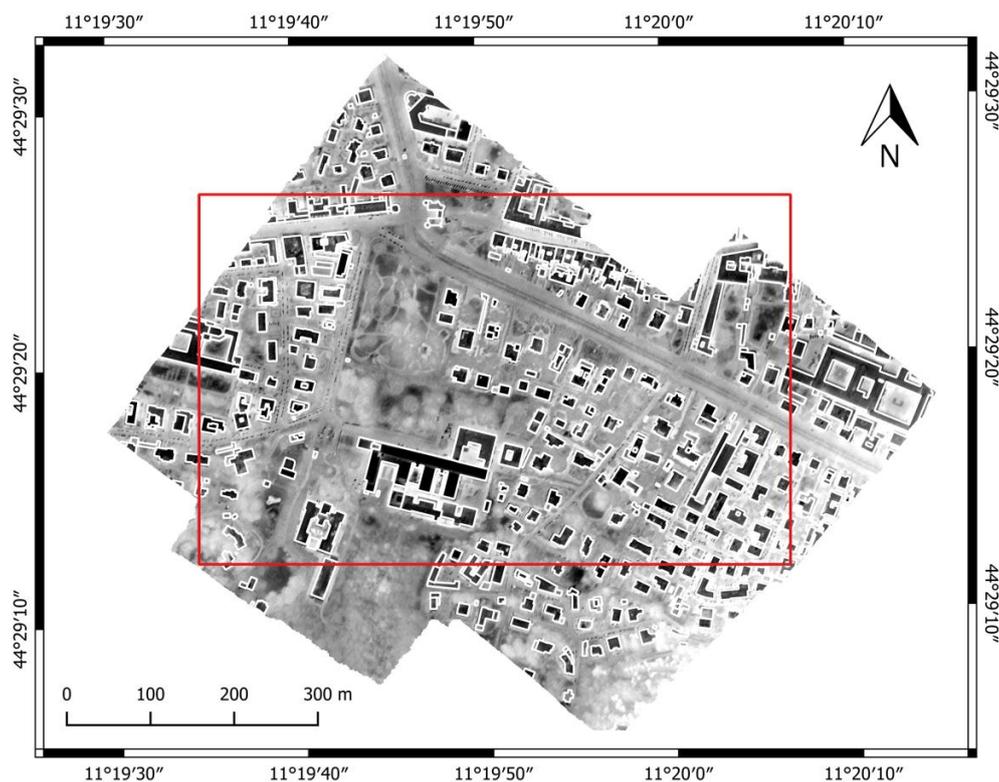


Figura 3 – Ortomosaico de imagens termais obtido para a região da Bologna, Itália. Fonte: Soto-Estrada *et al.* (2018)

Outra grande aplicação dos modelos de elevação obtidos por VANTs é a sua assimilação em modelos CFD, mencionados anteriormente, com aplicações na análise de ventos e da dispersão de poluentes em áreas urbanas (VILLANUEVA, ANG, INOCENCIO, REJUSO e TOLENTINO, 2015).

Avanços esperados

Com base no que já foi apresentado, pode-se observar que as possibilidades para o uso de VANTs em áreas urbanas são amplas. Os tipos de aplicações dependem dos interesses e necessidades dos usuários, mas alguns aspectos potencializam os avanços esperados. Dentre esses aspectos, pode-se mencionar a incorporação de sistemas de posicionamento RTK (*Real Time Kinematic*) nos VANTs, o que possibilita sua localização em tempo real com precisão de centímetros e permite uma grande precisão na geração de mosaicos ortorretificados em áreas urbanas, *a posteriori*. Embora sistemas atuais já apresentem esse recurso há algum tempo, este se restringe aos equipamentos de alto custo. No entanto, recentemente, tais sistemas passaram a ser disponibilizados em *drones* mais simples, como é o exemplo do *Phantom 4* da DJI²⁹, o que pode abrir portas para que recursos de alta precisão se tornem cada vez mais acessíveis.

Nessa mesma direção, outra tendência positiva é o uso de dupla frequência dos sistemas de navegação global em receptores comuns, como é o caso do *chip* recentemente desenvolvido pela

²⁹ Mais detalhes podem ser encontrados no endereço <https://www.dji.com/br/phantom-4-rtk>.

empresa *Broadcom*, que utiliza as portadoras L1 e L5 e deve permitir obter precisão da ordem de dezenas de centímetros (MOORE, 2017). Esse recurso tende a integrar novos equipamentos e a oferecer maior confiabilidade aos dados obtidos futuramente.

Outro avanço esperado -e com grande expectativa- se refere ao desenvolvimento de aeronaves completamente autônomas. Aeronaves de modo autônomo deverão se tornar cada vez mais frequentes, tendo em vista o avanço da Internet das Coisas (IoT) e a evolução da capacidade de processamento de dados. Diferentes trabalhos a esse respeito já podem ser encontrados (BÜRKLE et al., 2011; TOMIC et al., 2012).

Limitações

Considerando o caso de aeronaves autônomas, estas apresentam limitações, especialmente quando considerada sua aplicação em áreas urbanas, visto que os equipamentos normalmente funcionam apenas enquanto existe contato (e, portanto, linha de visada) entre a unidade controladora e a aeronave.

As normas da Agência de Aviação Civil, atualmente, são fortemente restritivas para o uso de *drones* em áreas urbanas. Nessas áreas, a regra imposta é que “em nenhuma hipótese a distância da aeronave não tripulada poderá ser inferior a 30 metros horizontais de pessoas não envolvidas e não anuentes com a operação” (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2018, pag.4). A exigência de VLOS (*Visual Line of Sight* ou operação com linha de visada visual), em muitos casos, acaba por ser um ponto-chave e limitante para levantamentos mais detalhados da superfície. Em levantamento recente, Spadotto (2016) sugere que as maiores limitações referem-se a questões que envolvem a privacidade e a segurança de terceiros durante o sobrevoo com VANTs.

Para o caso de órgãos públicos no Brasil, existem regras que permitem seu uso com finalidades específicas, como monitoramento e combate a vetores de doença, fiscalização e policiamento. De forma similar, é possível obter autorizações específicas para o caso de pesquisas, o que remete a alguns dos exemplos apresentados anteriormente. A autorização para esses casos deve ser obtida diretamente junto à ANAC (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2018).

Além das questões legais, outras limitações nos próprios dados podem ser mencionadas, como é o caso da necessidade de validação e avaliação dos dados com instrumentos já consagrados. Dependendo da aplicação, levantamentos utilizando a técnica SfM necessitam de pontos de controle no solo (obtidos com GPS de precisão) para garantir maior precisão e confiabilidade dos resultados. Tempo de bateria é outro fator limitante ao uso de *drones* em áreas urbanas, principalmente em função dos vórtices ciclônicos e da circulação errônea do vento nesse ambiente, que normalmente reduzem o tempo de voo (NOOR et al., 2018).

Outra limitação se refere à quantidade de dados e à capacidade de processamento dos mesmos. A criação de mosaicos de imagens ortoretificadas de altíssima resolução exige o uso de computadores e/ou servidores com alto poder de processamento e armazenamento. Uma alternativa nesse sentido pode ser a utilização de recursos envolvendo o processamento de dados de sensoriamento remoto baseados na nuvem, como o *Google Earth Engine* (GORELICK et al., 2017). Além disso, diferentes empresas do setor já oferecem recurso de processamento na nuvem³⁰, embora

³⁰ Como é o caso da *DroneDeploy* (<https://www.dronedeploy.com/>) ou da *OneDrone* (<http://www.onedronecloud.com/>).

o custo possa ser relativamente alto, dependendo da quantidade de informações a ser processada. Outra alternativa é o uso de supercomputadores, normalmente empregados para modelagens/simulações complexas e de larga escala, de forma que essa solução pode ser considerada menos interessante para usuários não acadêmicos.

Ainda com relação ao processamento das imagens, a maior parte das soluções nesse sentido tem custos, seja para aquisição de *software* seja para realizar o processamento na nuvem. Alternativas gratuitas vêm sendo desenvolvidas, mas ainda não são completamente amigáveis aos usuários, já que necessitam de conhecimentos específicos em programação, como é o caso da *OpenDroneMap* (<http://opendronemap.org/>).

Considerações finais

Buscou-se, neste trabalho, apresentar alguns dos principais usos de VANTs para as áreas urbanas em discussão atualmente. Conforme já mencionado, o uso desse recurso varia, tendo em vista as inúmeras possibilidades de sua aplicação, e depende do objetivo do usuário.

Dentre os usos já observados em áreas urbanas, pode-se destacar como principais produtos, em perspectiva acadêmica, os ortomosaicos de imagens com altíssima resolução, os modelos digitais de superfície e os mapeamentos com câmeras termais, que possuem aplicações em diferentes campos do conhecimento. O avanço desses levantamentos, aliado ao conceito de *smart cities* e à internet das coisas, pode trazer inúmeros benefícios para o planejamento e para o desenvolvimento sustentável das cidades.

Com relação às limitações legais em ambientes urbanos, espera-se que a evolução dos recursos autônomos focados na segurança e o desenvolvimento de equipamentos inteligentes venham a reduzir a chance de acidentes e, também, a facilitar o uso desses veículos em áreas povoadas.

Por fim, ressalta-se que, embora haja uma distinção entre as aplicações potenciais e as que já estão sendo desenvolvidas, muitas dessas últimas ainda estão em fase inicial ou de testes, não estando completamente consolidadas. Espera-se que, com o contínuo avanço dos instrumentos, das técnicas e das regras de utilização desses equipamentos, mercado e campo de pesquisa consolidem-se e possam potencializar o desenvolvimento de soluções cada vez mais eficientes e sustentáveis no meio urbano.

Referências

- Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial. **Requisitos Gerais para Aeronaves Não Tripuladas de Uso Civil.**, 2018.
- Arantes, B. H. T., Arantes, L. T., Ventura, M. V. A., Costa, E. M., Bessa, M. M., Baliza, L. M., Moraes, V. H. **Uso de drones na atualização de área construída de imóveis urbanos.** *Scientia Plena*, 14(10), 2018.
- Araújo, J. G. M., Picanço, A. P., e Nazareno, J. C. **Utilização de veículo aéreo não tripulado (vant) para o monitoramento ambiental de focos do mosquito aedes aegypti no município de palmas–to.** *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 7(3), 606-623, 2018.
- Areias, B., Humberto, N., Guardalben, L., Fernandes, J. M., Sargento, S. **Towards an Automated Flying Drones Platform.** *Paper presented at the VEHITS*, 2018.

- Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., Portugali, Y. **Smart cities of the future.** *European Physical Journal-Special Topics*, 214(1), 481-518. 2012. Disponível em: //WOS:000312246900020. doi:10.1140/epjst/e2012-01703-3
- Brosy, C., e Kunstmann, H. **Simultaneous multicopter-based air sampling and sensing of meteorological variables**, 2017.
- Buffon, E. A. M., da Paz, O. L. d. S., & Sampaio, T. V. M. **Uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (Vant) Para Mapeamento das Vulnerabilidades à Inundação Urbana: Referenciais e Bases de Aplicação.** *Revista do Departamento de Geografia(spe)*, 180-189, 2017.
- Bürkle, A., Segor, F., e Kollmann, M. **Towards autonomous micro uav swarms.** *Journal of intelligent & robotic systems*, 61(1-4), 339-353, 2011.
- Cai, G., Dias, J., e Seneviratne, L. **A survey of small-scale unmanned aerial vehicles: Recent advances and future development trends.** *Unmanned Systems*, 2(02), 175-199. 2014.
- Coutts, A. M., Harris, R. J., Phan, T., Livesley, S. J., Williams, N. S., e Tapper, N. J. **Thermal infrared remote sensing of urban heat: Hotspots, vegetation, and an assessment of techniques for use in urban planning.** *Remote Sensing of Environment*, 186, 637-651, 2016.
- da Silva, C. A., Duarte, C. R., Dos Santos, A. L. S., Amaro, V. E., Bicho, C. P., e Sabadia, J. A. B. **Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS e LiDAR.** *Boletim de Ciências Geodésicas*, 22(1), 73-94, (2016).
- de Sousa, H. L. **Sensoriamento Remoto com VANTs: uma nova possibilidade para a aquisição de geoinformações.** *Brazilian Journal of Geomatics*, 5(3), 326-342, 2017.
- Feng, Q. L., Liu, J. T., Gong, J. H. **UAV Remote Sensing for Urban Vegetation Mapping Using Random Forest and Texture Analysis.** *Remote Sensing*, 7(1), 1074-1094, 2015. Disponível em://WOS:000348401900051. doi:10.3390/rs70101074
- Fornace, K. M., Drakeley, C. J., William, T., Espino, F., Cox, J. **Mapping infectious disease landscapes: unmanned aerial vehicles and epidemiology.** *Trends in parasitology*, 30(11), pp. 514-519, 2014.
- Gallacher, D. **Drone applications for environmental management in urban spaces: A review.** *International Journal of Sustainable Land Use and Urban Planning*, 3(4), 2016.
- Garrett, B., Anderson, K. **Drone methodologies: Taking flight in human and physical geography.** *Transactions of the Institute of British Geographers*, 2018.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R. **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone.** *Remote Sensing of Environment*, 202, pp.18-27, 2017.
- Haas, P. Y., Balistreri, C., Pontelandolfo, P., Triscone, G., Pekoz, H., Pignatiello, A. **Development of an unmanned aerial vehicle UAV for air quality measurement in urban areas.** *Paper presented at the 32nd AIAA Applied Aerodynamics Conference*, 2014.
- Hancke, G. P., Silva, B. D. E. **The Role of Advanced Sensing in Smart Cities.** *Sensors*, 13(1), pp. 393-425, 2013. Disponível em: <Go to ISI>://WOS:000314024800022. doi:10.3390/s130100393
- Hassanalian, M., & Abdelkefi, A. **Classifications, applications, and design challenges of drones: A review.** *Progress in Aerospace Sciences*, 91, pp. 99-131, 2017.
- Heimhuber, V., Hannemann, J.-C., Rieger, W. **Flood risk management in remote and impoverished areas—a case study of Onaville, Haiti.** *Water*, 7(7), pp. 3832-3860, 2015.
- Herwitz, S., Berthold, R., Dunagan, S., Sullivan, D., Fladeland, M., Brass, J. **UAV homeland security demonstration.** Paper apresentado em *the AIAA 3rd" Unmanned Unlimited" Technical Conference, Workshop and Exhibit*, 2004.
- Honjo, T., Tsunematsu, N., Yokoyama, H., Yamasaki, Y., Umeki, K. J. U. C. **Analysis of urban surface temperature change using structure-from-motion thermal mosaicing.** 20, pp. 135-147. 2017.
- Illingworth, S., Allen, G., Percival, C., Hollingsworth, P., Gallagher, M., Ricketts, H., Roberts, G. **Measurement of boundary layer ozone concentrations on-board a Skywalker unmanned aerial**

- vehicle.** *Atmospheric Science Letters*, 15(4), pp. 252-258, 2014. Disponível em: <Go to ISI>://WOS:000344338200003. doi:10.1002/asl2.496
- Jensen, O. B. **Drone city—power, design and aerial mobility in the age of “smart cities”.** *Geographica Helvetica*, 71(2), pp. 67-75, 2016.
- Koutalakis, P., Tzoraki, O., Zaimes, G. UAVs for Hydrologic Scopes: **Application of a Low-Cost UAV to Estimate Surface Water Velocity by Using Three Different Image-Based Methods.** *Drones*, 3(1), 14, 2019.
- Leitão, J. P., Moy de Vitry, M., Scheidegger, A., Rieckermann, J. **Assessing the quality of digital elevation models obtained from mini unmanned aerial vehicles for overland flow modelling in urban areas.** *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(4), pp. 1637-1653, 2016.
- Lindberg, F., Grimmond, C. **Continuous sky view factor maps from high resolution urban digital elevation models.** *Climate Research*, 42(3), pp.177-183, 2010.
- Mandanici, E., Conte, P., Girelli, V. A. J. R. S. **Integration of aerial thermal imagery, LiDAR data and ground surveys for surface temperature mapping in urban environments.** *Remote Sensing*, 8(10), 880, 2016.
- Miranda Neto, A. B., Almeida, I. E. S. d. **A análise do emprego do veículo aéreo não tripulado (vant) nas ações e operações pm.** (Especialização), UNEB/PMBA, Salvador. 2009.
- Moguel, E., Conejero, J. M., Sanchez-Figueroa, F., Hernandez, J., Preciado, J. C., Rodriguez-Echeverria, R. **Towards the Use of Unmanned Aerial Systems for Providing Sustainable Services in Smart Cities.** *Sensors*, 18(1), 2018. Disponível em: <Go to ISI>://WOS:000423286300063. doi:10.3390/s18010064
- Mohammed, F., Idries, A., Mohamed, N., Al-Jaroodi, J., Jawhar, I., Ieee.(May 27-30). **UAVs for Smart Cities: Opportunities and Challenges.** Artigo apresentado em: *The International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, Orlando, FL, 2014.
- Moore, S. K. **Superaccurate GPS Chips Coming to Smartphones in 2018.** *IEEE Spectrum*, Sept, 21. 2017.
- Noor, N. M., Abdullah, A., e Hashim, M. **Remote sensing UAV/drones and its applications for urban areas: a review.** *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 169(1), 012003, 2018. Disponível em: <http://stacks.iop.org/1755-1315/169/i=1/a=012003>.
- Norzailawati Mohd Noor and Alias Abdullah and Mazlan, H. **Remote sensing UAV/drones and its applications for urban areas: a review.** *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 169(1), 012003, 2018. Disponível em: <http://stacks.iop.org/1755-1315/169/i=1/a=012003>.
- Oke, T. R. **Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations.** *Journal of climatology*, 1(3), pp. 237-254, 1981.
- Osman, A. M. S. **A novel big data analytics framework for smart cities.** *Future Generation Computer Systems-the International Journal of Escience*, 91, pp. 620-633, 2019. Disponível em: <Go to ISI>://WOS:000451790900054. doi:10.1016/j.future.2018.06.046
- Papa, U., Del Core, G. **Design of sonar sensor model for safe landing of an UAV.** Artigo apresentado em *The Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace)*, 2015 IEEE, 2015.
- Petri, C. A., Bourscheidt, V. **Impactos da resolução espacial de modelos digitais de superfície no cálculo da perda de solo através da EUPS em ambiente urbano.** Artigo apresentado em Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, Santos, SP. 2017.
- Pérez, E., García, P. **Monitoring soil erosion by raster images: From aerial photographs to drone taken pictures.** *Eur. J. Geogr*, 8, pp.116-128, 2017.
- Ridolfi, E., e Manciola, P. **Water Level Measurements from Drones: A Pilot Case Study at a Dam Site.** *Water*, 10(3), 297, 2018.
- Roldán, J. J., Joossen, G., Sanz, D., del Cerro, J., Barrientos, A. **Mini-UAV based sensory system for measuring environmental variables in greenhouses.** *Sensors*, 15(2), pp. 3334-3350, 2015.
- Salvo, G., Caruso, L., Scordo, A. **Urban traffic analysis through an UAV.** *Procedia: social & behavioral sciences*, 111, pp. 1083-1091, 2014.

- Salvo, G., Caruso, L., Scordo, A., Guido, G., Vitale, A. **Traffic data acquirement by unmanned aerial vehicle**. *European Journal of Remote Sensing*, 50(1), 343-351, 2017. Disponível em: <Go to ISI>://WOS:000405204300027. doi:10.1080/22797254.2017.1328978
- Shaad, K., Ninsalam, Y., Padawangi, R., Burlando, P. **Towards high resolution and cost-effective terrain mapping for urban hydrodynamic modelling in densely settled river-corridors**. *Sustainable Cities and Society*, 20, pp. 168-179, 2016. Disponível em: <Go to ISI>://WOS:000367399700015. doi:10.1016/j.scs.2015.09.005
- Sinha, A., Tsourdos, A., White, B. **Multi UAV Coordination for Tracking the Dispersion of a Contaminant Cloud in an Urban Region**. *European Journal of Control*, 15(3-4), pp. 441-448, 2009. Disponível em: <Go to ISI>://WOS:000269400100014. doi:10.3166/ejc.15.441-448
- Soto-Estrada, E., Correa-Echeverri, S., Posada-Posada, M. I. J. J. o. U. a. E. E. **Thermal analysis of urban land cover using an unmaned aerial vehicle (uav) in medellin, colombia**. 11(2), pp.142-149, 2018.
- Spadotto, A. J. **Análise jurídica e ambiental do uso de drones em área urbana no Brasil**. *Revista de Direito da Cidade*, 8(2), pp. 611-630, 2016.
- Tenedório, J. A., Estanqueiro, R., Matos Lima, A., Marques, J. **Remote sensing from unmanned aerial vehicles for 3D urban modelling: case study of Loulé, Portugal**. Artigo apresentado em *The Back to the Sense of the City: International Monograph Book*, 2016.
- Tokarczyk, P., Leitao, J. P., Rieckermann, J., Schindler, K., Blumensaat, F. (2015). **High-quality observation of surface imperviousness for urban runoff modelling using UAV imagery**. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(10), pp. 4215-4228, 2015.
- Tomic, T., Schmid, K., Lutz, P., Domel, A., Kassecker, M., Mair, E., Burschka, D. (2012). **Toward a Fully Autonomous UAV Research Platform for Indoor and Outdoor Urban Search and Rescue**. *Ieee Robotics & Automation Magazine*, 19(3), pp. 46-56, 2012. Disponível em: <Go to ISI>://WOS:000309058000010. doi:10.1109/mra.2012.2206473
- Viana, S. M. **Percepção e quantificação das árvores na área urbana do município de São Carlos, SP**. (PhD), Universidade de São Paulo, 2013.
- Villanueva, J. K. S., Ang, M., Inocencio, L. C. V., Rejuso, M. V. D., Tolentino, J. T. **Urban wind flow simulation of lidar-extracted building geometry in up diliman, quezon city, philippines using computational fluid dynamics model**. Artigo apresentado em *The Proceedings of the 36rd Asian Conference on Remote Sensing*, Quezon, Philippines, 2015.
- Zaréa, M., Pognonec, G., Schmidt, C., Schnur, T., Lana, J., Boehm, C., Rigaud, E. (2013). **First steps in developing an automated aerial surveillance approach**. *Journal of Risk Research*, 16(3-4), pp. 407-420, 2013.

Sobre os autores

Gonzalo Prudkin é professor Adjunto do Departamento de Ciências da Comunicação da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) Campus Frederico Westphalen, RS, Brasil. Possui graduação em Comunicação Social com Menção em Jornalismo pela Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER), Paraná, Entre Ríos, Argentina. Doutor pelo Programa de Pós-graduação em Comunicação e Cultura Contemporâneas da Facom - Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, Bahia, Brasil. Pós-Doutor pelo Programa de Pós-graduação em Comunicação e Informação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil. Especializa-se nas áreas de Jornalismo Digital (com ênfase de pesquisa em Jornalismo *drone* e Jornalismo robot) e Preservação do patrimônio cultural material e imaterial.

Fábio Marcelo Breunig possui graduação em Geografia pela Universidade Federal de Santa Maria (2006), Mestrado e Doutorado em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2008 e 2011, respectivamente). Possui Pós-doutorado e detém desde 2014 bolsa de produtividade em pesquisa (PQ) do CNPq. Suas atividades de pesquisa e ensino estão relacionadas a Sensoriamento Remoto do Ambiente (agricultura, floresta, água), SIG, Análise de Erros e Modelagem Ambiental.

Este livro (e-book) foi finalizado no outono de 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

Centro de Ciências Sociais e Humanas

Departamento de Ciências da Comunicação

Reitor	Paulo Afonso Burmann
Vice-reitor	Luciano Schuch
Diretor do CCSH	Mauri Leodir Löbner
Chefe do Departamento de Ciências da Comunicação	Rodrigo Stéfani Correa
Capa e diagramação	Gonzalo Prudkin
Revisão	Andréa F. Weber

FACOS-UFSM

Diretora Editorial	Ada Cristina Machado da Silveira
Editora Executiva	Sandra Depexe
Comissão Editorial	Ada Cristina Machado da Silveira (UFSM)
	Eduardo Andrés Vizer (UBA)
	Eugênia Maria Mariano da Rocha Barichello (UFSM)
	Flavi Ferreira Lisbôa Filho (UFSM)
	Maria Ivete Trevisan Fossá (UFSM)
	Marina Poggi (UNQ)
	Paulo César Castro (UFRJ)
	Sonia Rosa Tedeschi (UNL)
	Veneza Mayora Ronsini (UFSM)
Conselho Técnico	Aline Roes Dalmolin (UFSM)
Administrativo	Leandro Stevens (UFSM)
	Liliane Dutra Brignol (UFSM)
	Sandra Depexe (UFSM)