

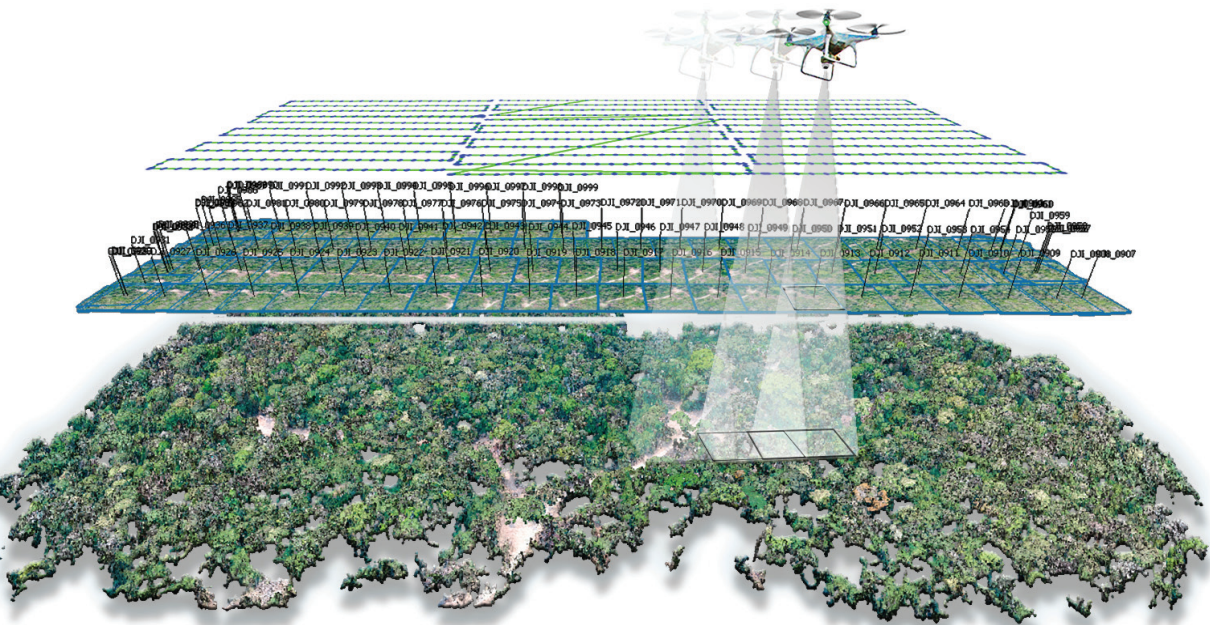
CIRCULAR TÉCNICA

75

Rio Branco, AC  
Novembro, 2018

# Planos de Voo Semiautônomos para Fotogrametria com Aeronaves Remotamente Pilotadas de Classe 3

Evandro Orfanó Figueiredo  
Symone Maria de Melo Figueiredo



## Introdução<sup>1</sup>

A cada dia está mais acessível ao profissional da área agrícola e florestal a construção de sua própria base de dados geográficos com imagens de altíssima resolução espacial, melhor que 10 cm. Essas imagens podem ser obtidas pela fotogrametria digital a partir de aeronaves remotamente pilotadas (RPAs), também conhecidas como drones.

Os principais benefícios da obtenção das imagens com RPAs contemplam os baixos custos materiais e operacionais, controle flexível da resolução espacial e temporal, coleta de dados de alta intensidade e ausência de risco para as tripulações (Tang; Shao, 2015).

Para a Agência Nacional de Aviação Civil (2016), uma *remotely-piloted aircraft* (RPA) é toda aeronave não tripulada pilotada a partir de uma estação de pilotagem remota (RPS) com finalidade diversa de recreação, a exemplo de todos os trabalhos realizados nas atividades agropecuárias feitos com drones.

Até pouco tempo, para dispor dessas informações de alta resolução, o responsável pelo empreendimento agropecuário ou florestal teria que contratar uma empresa de fotogrametria com aviões, cujo custo muitas vezes se torna impraticável em decorrência da escala da área a ser trabalhada ou sua localização.

Apesar de ser uma possibilidade tecnológica ainda cara para a realidade financeira dos profissionais das ciências agrárias, os valores dos equipamentos estão cada vez menores e as possibilidades de processamento das imagens geradas são inúmeras.

As cotações das RPAs oscilam entre R\$ 5 mil, podendo ultrapassar a casa dos seis dígitos. As opções tecnológicas contemplam multirrotores com quatro, seis e até oito motores, também RPAs do modelo asa fixa com decolagem manual, automática ou com uso de lançadores. Além desses, existe a opção de modelos mistos de asa fixa que decolam da mesma maneira que

---

<sup>1</sup> Evandro Orfanó Figueiredo, engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Manejo Florestal, pesquisador da Embrapa Acre; Symone Maria de Melo Figueiredo, engenheira-agrônoma, D.Sc. em Ciências de Florestas Tropicais, professora da Universidade Federal do Acre.

um multirroto e, ao atingirem a altura de cruzeiro, assumem a função de uma aeronave asa fixa.

A característica do pouso das RPAs também pode variar de uma aterrissagem manual, comandada pelo controle remoto, a uma forma completamente automatizada. Outra opção de pouso para os modelos de RPAs asa fixa é o sistema de paraquedas, porém poucos fabricantes oferecem essa alternativa.

As possibilidades dos sensores embarcados também são grandes, a exemplo das câmeras digitais RGB, convertidas para infravermelho, multiespectrais, com foco automático ou fixo, termais, sistemas LiDAR de baixa potência e muitas outras combinações.

Assim, um profissional com poucos recursos financeiros pode adquirir uma RPA de baixo custo e mapear, por meio de voos semiautônomos, milhares de hectares em um único dia de trabalho.

Quando se considera o uso de RPA de baixo custo para fotogrametria digital, a aeronave é o equipamento menos oneroso. Além da RPA, ainda serão necessários um GNSS (Global Navigation Satellite System) de portadora L2 para estabelecer os pontos de controle no solo (Berveglieri; Tommaselli, 2015), um computador *Workstation* com configuração mínima de memória RAM de 32 gigabytes e placa de vídeo dedicada de 8 gigabytes, além da licença do software específico de fotogrametria com RPAs, o que pode elevar o investimento inicial a mais de R\$ 100 mil.

Porém, alternativas são possíveis, a exemplo do aluguel do GNSS por temporada de serviço, evitando a aquisição do equipamento. E, principalmente, o processamento dos dados por meio do envio das fotos (pela plataforma de nuvem de dados) a sites especializados no processamento das imagens para obtenção de ortofotos, modelos digitais de superfície (MDS), modelos digitais do terreno (MDT), curvas de nível, ortofotos de índice de vegetação, nuvem de pontos, entre outros produtos. Dessa maneira, o investimento inicial fica limitado à RPA e seus sensores e controladores.

## Classificação das aeronaves remotamente pilotadas (RPAs)

Segundo a Agência Nacional de Aviação Civil (2016), a classificação das RPAs é feita de acordo com o peso máximo de decolagem (PMD) ordenado da seguinte maneira:

- a) Classe 1: RPA com PMD maior que 150 kg.
- b) Classe 2: RPA com PMD maior que 25 kg e menor ou igual a 150 kg.
- c) Classe 3: RPA com PMD menor ou igual a 25 kg.

A maioria das RPAs de classes 1 e 2 destina-se ao uso militar e de vigilância de fronteira. O grande mercado de aeronaves comerciais para uso na agropecuária são os equipamentos de classe 3, com exceção das RPAs destinadas à pulverização de defensivos agrícolas, cujo peso máximo de decolagem se enquadra na classe 2 em decorrência da carga de calda dos produtos agroquímicos.

As RPAs também podem ser classificadas de outras formas, considerando:

- a) Motorização elétrica, a combustão ou híbrido (elétrico e a combustão).
- b) Arquitetura da aeronave: asa fixa, multirrotor ou híbrido (decolagem com um multirrotor e após atingir altura de cruzeiro assume a dinâmica de um modelo de asa fixa).
- c) Autonomia de voo.
- d) Altitude de voo.

## Seleção do equipamento

Para uso no mapeamento das atividades de agricultura, pecuária e silvicultura, os melhores resultados de desempenho são alcançados com os modelos de RPAs de asa fixa, construídos com distintos materiais e tecnologias embarcadas (GNSS, sensores e câmeras) (Luz, 2015).

Em condições ideais de clima e ambiente a ser mapeado, um modelo de asa fixa pode cobrir facilmente cerca de 5.500 hectares em um dia de trabalho. No entanto, se no ambiente a ser mapeado houver muitas árvores, vários problemas podem ocorrer, a exemplo de colisões e pouso sobre a copa dessas árvores. Esses problemas acabam demandando horas de trabalho para pequenos reparos ou resgate da aeronave no dossel.

Assim, em ambientes desfavoráveis para decolagem e pouso, os melhores resultados de desempenho são alcançados pelas RPAs dos modelos multirrotores. Os multirrotores têm baixa eficiência energética e sua bateria dura em média 18 minutos, porém é possível decolar de pequenas clareiras e nos mais distintos ambientes.

Para alcançar um desempenho semelhante a um bom modelo de asa fixa é necessário realizar uma programação de dois multirrotores para voos simultâneos e sincronizados. Somente dessa forma é possível cumprir a meta de aproximadamente 5.500 hectares para um dia de trabalho, além da necessidade de adquirir dezenas de baterias.

Portanto, para cada ambiente e objetivo de trabalho existe um equipamento adequado. Para atender a essa demanda os profissionais podem contar com inúmeras possibilidades de mercado, com distinção de modelos, preços e fabricantes.

## Tipo de operação de voo

Segundo normas do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (Brasil, 2016), as operações de voo são definidas por seis categorias:

- a) Operação autônoma: a RPA opera sem intervenção do piloto no gerenciamento do voo. Esse tipo de operação é proibido no Brasil.
- b) Operação em linha de visada visual (VLOS): o piloto mantém o contato visual direto com a aeronave, de maneira a gerenciar a missão de voo a qualquer momento.

- c) Operação em linha de visada visual estendida (EVLOS): o piloto remoto não consegue manter o contato visual com a aeronave e necessita de observadores da RPA para manter a segurança do voo.
- d) Operação além da linha de visada visual (BVLOS): o piloto não mantém o contato visual com a aeronave, mesmo que possa contar com o apoio de observadores. Nessa categoria de operação ainda existem três subcategorias denominadas de BVLOS A – pilotagem direta; BVLOS B – piloto automático; e BVLOS C – pilotagem por *waypoint*.
- e) Operação em linha de visada rádio (RLOS): o enlace de pilotagem é feito entre dois pontos apenas pelo rádio (estação de pilotagem e RPA).
- f) Operação além da linha de visada rádio (BRLOS): o enlace da estação de controle e a RPA é realizado com auxílio de outros equipamentos (antenas repetidoras, satélites...).

## Regularização da aeronave remotamente pilotada

Antes de iniciar qualquer trabalho com RPAs, o profissional deve legitimar seus equipamentos nas agências reguladoras do setor de telecomunicações e aeronáutica.

Com o objetivo de facilitar o atendimento das exigências legais e fiscais, o profissional deve adquirir seu equipamento de uma empresa nacional, devendo constar na nota fiscal da aeronave o número de série do chassi/shell, da câmera fotográfica e do controle remoto. Essa nota é necessária para comprovação da origem e da regularidade fiscal do equipamento.

Muitas empresas no mercado nacional oferecem aeronaves com certificado de homologação da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel). Essa certificação assegura o bom funcionamento do sistema de comunicação e não permite a interferência entre distintos sistemas de rádios.

Caso o equipamento não tenha o selo da Anatel, é possível homologar a aeronave e controle remoto (RC/RPS), porém, o profissional deve atender uma série de exigências, a exemplo da taxa e fornecimento de documentos

peçoais e da aeronave. Muitas vezes, durante o processo de homologação, o usuário tem dificuldades de obter o certificado e relatório da Federal Communications Commission (FCC), o que é feito na *website* da FCC. A fim de evitar toda essa burocracia com o registro de equipamentos, muitos usuários preferem contratar assessorias especializadas nessa função.

Vencida a etapa de homologação do sistema de comunicação da aeronave, o passo seguinte é o cadastro do equipamento na Agência Nacional de Aviação Civil (Anac). A aeronave destinada ao monitoramento de áreas agropecuárias e florestais deve ser registrada no sistema da Anac (<https://sistemas.anac.gov.br/sisant>) para uso não recreativo. Para realizar o cadastro é necessário os documentos pessoais do usuário, certificado de homologação da Anatel, nota fiscal, fabricante e modelo do equipamento, número de série da aeronave, peso máximo na decolagem (PMD) e foto do equipamento.

Cumpridas as fases de registro na Anatel e Anac, deve-se proceder à contratação do seguro Reta (Responsabilidade do Explorador ou Transportador Aéreo), o qual é obrigatório a toda e qualquer RPA que opere no território brasileiro. O contrato do seguro Reta será no módulo de classe 3, para o qual é destinada a cobertura de bens no solo, despesas suplementares e danos materiais. Esse seguro oscila de preço de acordo com o tipo de trabalho, localização e PMD da aeronave, não contempla avarias na RPA e geralmente é renovado a cada 12 meses.

## Segurança no planejamento das missões de voo

Após a regularização do equipamento, o profissional deve buscar legitimar a operação de voo. No Brasil, o espaço aéreo é controlado e regulado pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (Decea), vinculado ao Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica. Dessa forma, em dezembro de 2016 foi reeditada a Instrução de Comando da Aeronáutica (ICA) 100-40, que regulamenta o uso das RPAs e institui os “Sistemas de aeronaves remotamente pilotadas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro” (Brasil, 2016).

Vencidas as etapas documentais dos equipamentos, o profissional deve proceder ao cadastro no ambiente Sarpas (<http://servicos.decea.gov.br/sarpas/>). Inicialmente, o profissional responsável pelo voo deverá se cadastrar e, em

seguida, realizar o cadastro de cada aeronave. De posse de todos os documentos digitalizados nas etapas anteriores o procedimento é rápido e acessível até mesmo aos usuários menos experientes.

Para cada missão de voo deve ser requerida a autorização no Sarpas. Em cada solicitação serão necessárias as seguintes informações:

- a) Regularização do piloto.
- b) Regularização da aeronave.
- c) Distância do plano de voo em relação às zonas de *no-fly*, em um raio de 5 milhas náuticas (9 km) de aeródromos, circuitos de tráfego aéreo, corredor visual de voo e de atividades da aviação agrícola (ressalta-se que o voo de RPA nunca tem prioridade sobre voos tripulados).
- d) Objetivo do voo.
- e) Para voos de 30 m a 120 m de altura manter a velocidade inferior a 120 km/h.
- f) Identificação do piloto (ID).
- g) Tipo de operação.
- h) Regra de voo.
- i) Janela de operação pelo horário oficial da aviação UTC-Zulu. O tempo zero na Universal Time Coordinated (UTC), passa pelo fuso de Portugal, Irlanda, Ilha da Madeira e Mauritània entre outras localidades, porém, ficou conhecido como Zulu desde os anos 1950 quando no alfabeto fonético da Organização do Tratado do Atlântico Norte (Otan) foi definido que a palavra Zulu seria usada para representar o “Z” (de zero), e conseqüentemente, o fuso zero da UTC (Carvalho, 2008).
- j) Ponto de decolagem.
- k) Meios de comunicação com o agente provedor do serviço de tráfego aéreo.



Após fornecer as informações necessárias e considerando as RPAs classe 3 e voos até 120 metros de altura, o sistema define pelo deferimento ou não da solicitação em até 2 dias úteis.

Para planos de voo em áreas onde o Decea avalia ser necessário estabelecer um espaço aéreo condicionado e de uso exclusivo da RPA, será emitido um Notam (notice to airmem), cuja finalidade é informar antecipadamente os usuários do espaço aéreo sobre um determinado evento de maneira a garantir a segurança e regularidade da navegação (Brasil, 2016).

Alguns fabricantes de RPAs apresentam sistema de segurança próprio, o que confere maior garantia ao espaço aéreo regional. A fabricante SZ DJI Technology CO.LTD implantou um sistema de controle interno definido como *DJI's GEO system* ou mais conhecido pelo usuários como *no-fly zone* (DJI, 2018a).

Segundo a DJI (2018a), o sistema *GEO system* demarca os locais onde é seguro voar e enfatiza as regiões que podem apresentar alguma preocupação de segurança e, principalmente, os locais onde o voo é restrito/proibido. As zonas GEO de *no-fly* proíbem a ocorrência de voos em locais como aeroportos, usinas e penitenciárias. A fabricante também pode estabelecer zonas de *no-fly* temporárias em torno de grandes eventos em estádio, incêndios florestais ou outras situações de emergência demandas pelas autoridades de controle do espaço aéreo de cada país.

Determinados os planos de voo sobre áreas povoadas ou em condições perigosas para terceiros haverá necessidade da confecção de uma matriz de análise de risco. Esse documento deverá ser aprovado pela autoridade aeronáutica da região de operação do voo. As orientações para sua elaboração podem ser obtidas no Decea.

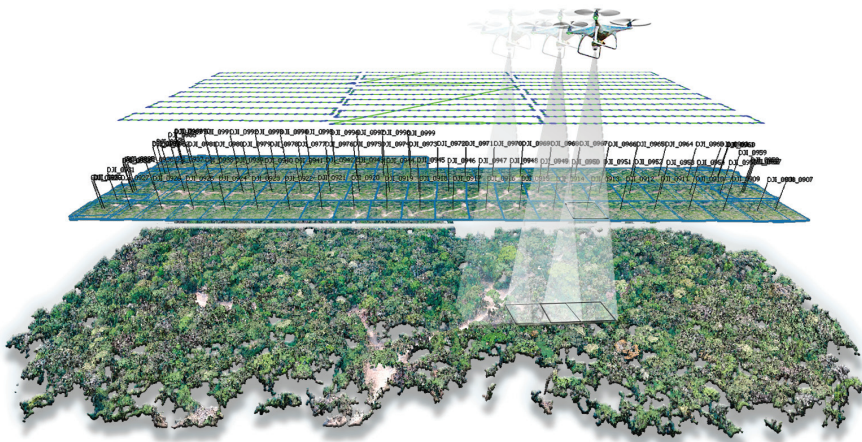
## Parâmetros para elaboração do plano de voo

O sucesso da missão de mapeamentos com RPAs começa com a definição do plano de voo adequado para cada objeto de interesse que se pretende mapear, mas o bom desempenho dos trabalhos envolve inúmeras possibilidades de combinações de alturas de voo, velocidade de cruzeiro da RPA, configuração das câmeras, luminosidade do dia, características do ambiente a ser mapeado e *overlap* lateral e longitudinal das linhas de sobrevoo (Figura 1).

Assim, neste tópico serão descritos em forma de tabelas e texto os parâmetros de voos de três modelos de multirrotores da fabricante DJI, visando à geração de imagens ortorretificadas com foco na construção civil, florestas nativas, florestas plantadas, lavouras, pastagens, sistemas agroflorestais, modelos digitais de superfície (MDS), curvas de nível e volumetria de toras de madeiras na floresta e no pátio industrial.

Os equipamentos testados foram o DJI Phantom 4, DJI Phantom 4 pro e DJI Mavic pro (originais de fabricação), com especificações de câmera conforme Tabela 1.

Ilustração: Daniel de Almeida Papa



**Figura 1.** Esquema de plano de voo para fotogrametria com RPA.

**Tabela 1.** Especificação de câmeras das três aeronaves remotamente pilotadas da fabricante SZ DJI Technology CO.LTD., 2017.

| RPA        | Largura do sensor (mm) $s_w$ | Altura do sensor (mm) $s_h$ | Distância focal equivalente a 35 mm $F_{35}$ (mm) | Largura da imagem (pixel) | Altura da imagem (pixel) | Distância focal verdadeira (FR) (mm) |
|------------|------------------------------|-----------------------------|---|---------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| DJI P4     | 6,17                         | 4,6                         | 20  | 4.000                     | 3.000                    | 3,5665                               |
| DJI Mavic  | 6,17                         | 4,6                         | 28  | 4.000                     | 3.000                    | 4,9931                               |
| DJI P4 pro | 13,2                         | 8,8                         | 24  | 5.472                     | 3.648                    | 9,1561                               |

Os últimos modelos de RPA da fabricante DJI vêm com uma série de tecnologias de segurança embarcadas, a exemplo dos sensores ultrassônicos e infravermelhos. Os principais componentes da RPA podem ser observados na Figura 2.



**Figura 2.** Esquema demonstrativo dos principais componentes da RPA DJI Phantom 4 pro, em que: 1) hélice de encaixe (modelo prata e preto); 2) rotor; 3) led indicativo de condição funcional; 4) sensor ultrassônico de desvio de obstáculos; 5) protetor de lente rosqueável (sem filtro de luz); 6) câmera fotográfica; 7) gimbal eletrônico de três eixos; 8) *slot* de inserção do cartão microSD; 9) *slot* de conexão de cabo USB; 10) ponto de *reset*; 11) sensor infravermelho de desvio de obstáculos; e 12) posição superior onde se encontra o GNSS na parte interna da shell.

Fonte: DJI (2018c).

## Ajuste das câmeras embarcadas na RPA

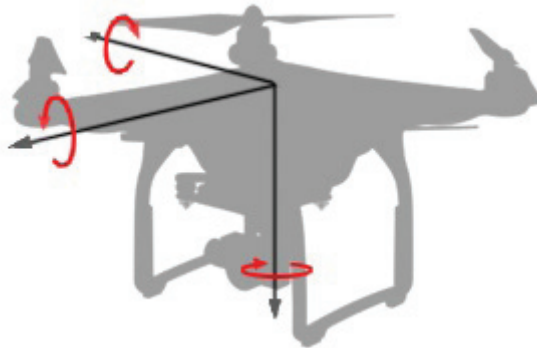
As aeronaves remotamente pilotadas da fabricante DJI já possuem um conjunto de equipamentos (GNSS, câmeras, sensores de proximidade e bússolas, dentre outros sensores). Esses recursos permitem fazer o trabalho de fotogrametria e são conhecidos como a carga útil da aeronave (*payload*).

Após a coleta das imagens, é necessário utilizar um software de fotogrametria digital para construção das ortofotos (Perin et al., 2016).

Para a formação do mosaico da ortofotografia digital utilizam-se na maioria dos casos os recursos do algoritmo SIFT (scale-invariant feature transform)

e suas variantes (Lowe, 2004). O SIFT é um método de extração de características invariantes à escala e rotação (*pitch*, *yaw* e *roll*) em imagens digitais (Lowe, 1999; Brown; Lowe, 2007; Tsay; Lee, 2012; Nex et al., 2015), no caso em questão, de imagens aéreas. O procedimento do algoritmo permite eliminar pontos com baixo contraste, sensíveis a ruídos e localizados ao longo de bordas.

Cada imagem captada pela aeronave possui uma oscilação de ângulo distinta do nadir (ângulo de 90° perpendicular ao solo) em decorrência da “atitude” da RPA. A atitude da aeronave durante o voo reflete todo o movimento da RPA, considerando um eixo triplo (*pitch*, *yaw* e *roll*) (Figura 3), que o gimbal eletrônico do multirrotor busca compensar (DJI, 2018b). Mesmo que o trabalho do gimbal corrija a maioria das oscilações, o algoritmo do software refina o ajuste e possibilita a formação da ortofoto perfeita.



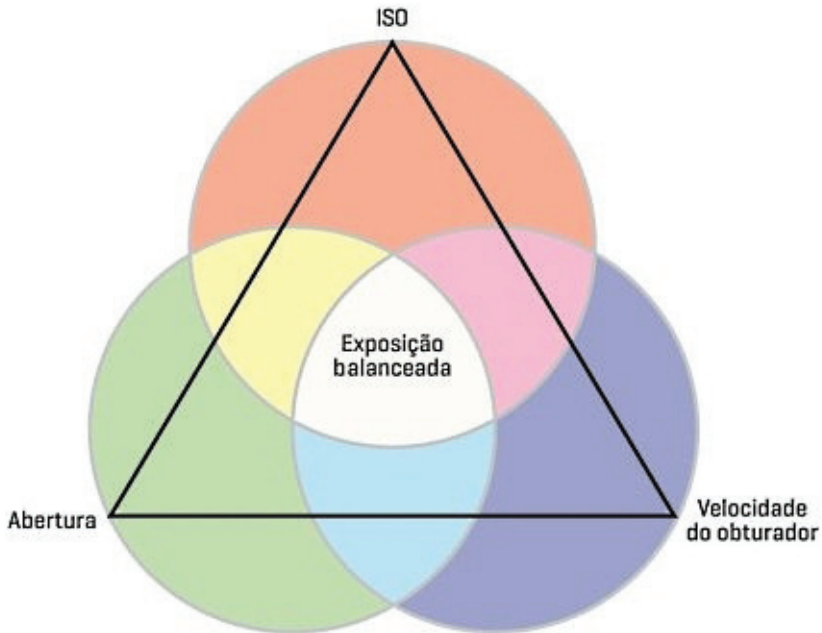
**Figura 3.** Atitude da aeronave remotamente pilotada em relação ao eixo triplo (*pitch*, *yaw* e *roll*).

Fonte: Adaptado de DJI (2018b).

A solução do algoritmo permite selecionar rapidamente pontos-chave ou *keypoints* e descarta os pontos nas imagens/fotografias que não se enquadram no critério de invariância local da escala (Se et al., 2001; Lowe, 2004).

Portanto, quanto mais próxima da perfeição estiver a imagem da aerofoto, melhor será o resultado do processamento para obtenção da ortofotografia. A

fotografia perfeita depende da exposição (registro da luz) bem balanceada do sensor da câmera às condições ambientais (Zeegen, 2009), assim o diagrama da Figura 4 ilustra bem o triângulo da exposição fotográfica.



**Figura 4.** Diagrama da exposição balanceada e o triângulo ISO, abertura do diafragma e velocidade do obturador (*shutter*).

Fonte: Marques (2018).

A sensibilidade ISO, a abertura e a velocidade do obturador são interdependentes, portanto, se um dos três parâmetros oscilar, e o objetivo é registrar uma mesma quantidade de luz no sensor da câmera, pelo menos um dos outros dois parâmetros também deverá ser alterado (Zeegen, 2009).

A velocidade ISO ou simplesmente ISO (International Standards Organization) é a medida que indica a sensibilidade do sensor da câmera à luz do ambiente, ou seja, quanto maior o número ISO, maior a sensibilidade do sensor à luz, e quanto menor o número ISO, menos luz será percebida pelo sensor da câmera (Araújo, 2018).

Assim, quando se eleva em uma escala o valor do ISO para cima (de 100 para 200), o ajuste deixa o sensor digital da câmera duas vezes mais sensível à luz, ou seja, registra mais luminosidade, o que pode ocasionar um efeito granuloso da imagem quando esse ajustamento é inadequado (Zeegen, 2009; Araújo, 2018). Para os trabalhos com fotogrametria com RPA emprega-se usualmente o valor de ISO 100.

A abertura do diafragma é o segundo parâmetro que define a quantidade de luz a ser registrada no sensor. Quanto maior for a abertura, mais claro será o registro de luz na imagem.

A determinação da abertura do diafragma é feita por meio de uma nomenclatura própria, denominada “Escala de Números F/Stop”. Quanto maior for o número, menor será a quantidade de luz a ser transmitida pela objetiva e menos luminosa a imagem se formará. Essa escala se apresenta da seguinte forma:  $f/1$ ,  $f/1.4$ ,  $f/2$ ,  $f/2.8$ ,  $f/4$ ,  $f/5.6$ ,  $f/8$ ,  $f/11$ ,  $f/16$ ,  $f/22$ ,  $f/32$ ,  $f/64$  (Photopro, 2018). Os melhores resultados com imagens obtidas com RPA são alcançados com abertura entre  $f/2.8$  e  $f/5.6$ , porém ressalta-se que a interdependência dos parâmetros e as condições ambientais de luminosidade podem requerer inúmeras combinações.

A velocidade de abertura do obturador ou *shutter* é a última base do tripé da exposição fotográfica. Esse parâmetro determina por quanto tempo o obturador ficará aberto para capturar a luz e registro da imagem no sensor. Usualmente, emprega-se velocidade entre  $1/120$  até  $1/1.000$ , também considerando a luminosidade do dia e a interdependência com o ISO e abertura do diafragma.

Além do tripé *shutter*, ISO e abertura, outros fatores são importantes na captura das fotografias com RPAs para fotogrametria, principalmente, a altura de voo e velocidade de cruzeiro da aeronave (Antunes, Hollatz, 2015; Figueiredo et al., 2016b; Pestana, 2017; Ruza et al.; 2017). Na Figura 5 observa-se a relação dos parâmetros da câmera fotográfica com a velocidade e altura de voo da RPA e o intervalo ótimo de ajuste (IOA) para alcance de um bom resultado da ortofoto.

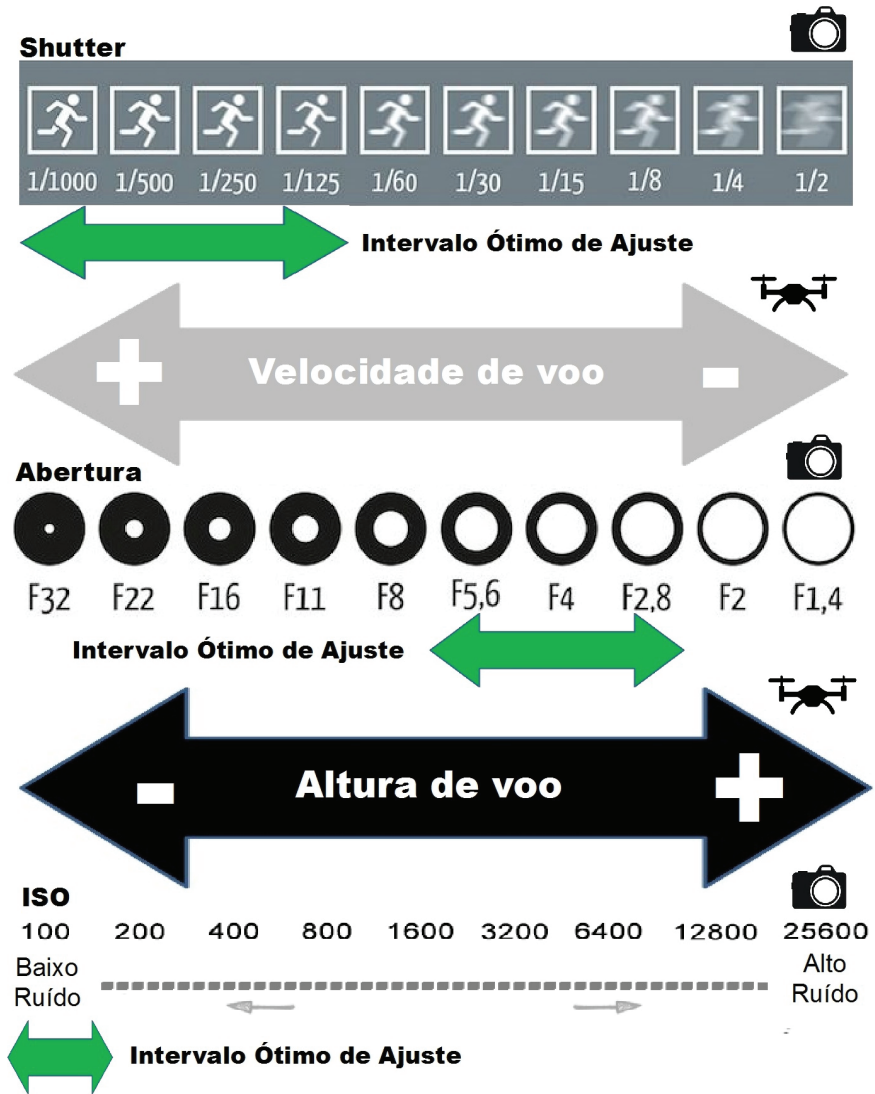


Figura 5. Relação do ajuste de *shutter*, abertura e ISO com a altura e velocidade de voo, 2018.



## Efeito *rolling shutter*

A velocidade de abertura do obturador é fortemente relacionada com a velocidade da RPA e sua altura de voo, portanto, quanto mais rápida e mais baixa (menor distância entre o drone e a superfície mapeada), mais rápida deverá ser a abertura do obturador, caso contrário será observado o efeito *rolling shutter*.

O *rolling shutter effect* ocorre quando a relação da posição da câmera sobre o alvo que se pretende mapear foi alterada em decorrência do deslocamento da RPA, gerando uma imagem distorcida (PIX4D, 2015a).

Ao usar essas imagens distorcidas, os softwares de fotogrametria para RPAs não conseguem estabelecer uma correspondência satisfatória entre os pontos-chave das imagens, o que acarreta ortofotos com grandes deformações. Em alguns casos, o processamento das fotos aéreas não se completa e nenhum produto de fotogrametria é obtido. Na Figura 6A observa-se uma aproximação visual de uma ortofoto sem o efeito do *rolling shutter* e na Figura 6B a ortofoto do mesmo local com imagens obtidas com o efeito de rolamento.

Fotos: Evandro Orfanó Figueiredo



**Figura 6.** Ortofoto gerada a partir de imagens sem distorção (A) e ortofoto gerada com imagens sob influência do *rolling shutter effect* (B), Reserva Florestal da Embrapa Acre, Rio Branco, Acre, 2017.

A estimativa desse rolamento da imagem deve ser calculada antes do planejamento de cada voo, por meio da fórmula (PIX4D, 2015d):

$$\Delta \approx (V \cdot h) \times (FR \times (Im_h / S_h)) \times T$$

Em que:

$\Delta$  = número de pixels deslocados verticalmente.

V = velocidade da RPA (metros/segundo).

h = altura do voo ou distância entre a câmera e a superfície que se pretende mapear.

FR = distância focal verdadeira (mm).

$Im_h$  = altura da imagem em pixels (número de pixels na vertical da foto).

$S_h$  = altura do sensor (mm).

T = valor do *shutter* em milissegundos (tempo de abertura do obturador).

Segundo a Pix4D (2015d), valores de  $\Delta$  superiores a dois devem ser evitados ou deve-se empregar um modelo de correção disponível no software Pix4DMapper.

Essa recomendação funciona quando se pretende mapear ambientes de construção civil e pastagens. Quando o objetivo é mapear florestas nativas e plantadas, sistemas agroflorestais ou estimar a volumetria de toras por meio de nuvens de pontos o valor de  $\Delta$  deve ser menor.

Os resultados dos experimentos realizados pela Embrapa Acre indicam que valores de  $\Delta$  superiores a 1,2 pixels de deslocamento dificultam o processamento e geram ortofotos de baixa qualidade nos seguintes ambientes: floresta aberta com bambu, floresta densa com árvores decíduas no período seco e sistemas agroflorestais com predominância de palmeiras. Assim, durante o planejamento de voo, o técnico deve calcular os parâmetros para um  $\Delta$  mais baixo, diminuindo ou aumentando a altura e velocidade de voo.

## Balanco de branco (*white balance – WB*)

O ajuste de balanço de branco (WB) da câmera não interfere no desempenho nas etapas do processo das imagens para obtenção da ortofoto, porém, resulta em forte interferência na aparência do resultado final.

O WB busca equilibrar a cor da luz no ambiente. Em dias mais nublados a luz é mais azulada, enquanto nos dias ensolarados é mais amarela, com isso a câmera digital faz uma compensação gerando um equilíbrio na obtenção de fotos sequências (Zeegen, 2009).

O problema ocorre quando o operador da RPA configura a câmera para um balanço de branco automático (AWB), a partir desse momento os sensores da câmera se ajustam de acordo com a entrada de luz no ambiente, possibilitando a obtenção de imagens mais amarelas ou mais azuladas, o que acarreta ortofotos com diferentes tons (Figura 7).

O procedimento correto é avaliar se o ambiente a ser mapeado está mais nublado (luz azul) ou mais ensolarado (luz amarela) e definir um balanço de branco fixo, assim se elimina o efeito de múltiplos tons e as possíveis manchas apenas representarão as nuvens sombreadas na superfície do terreno.

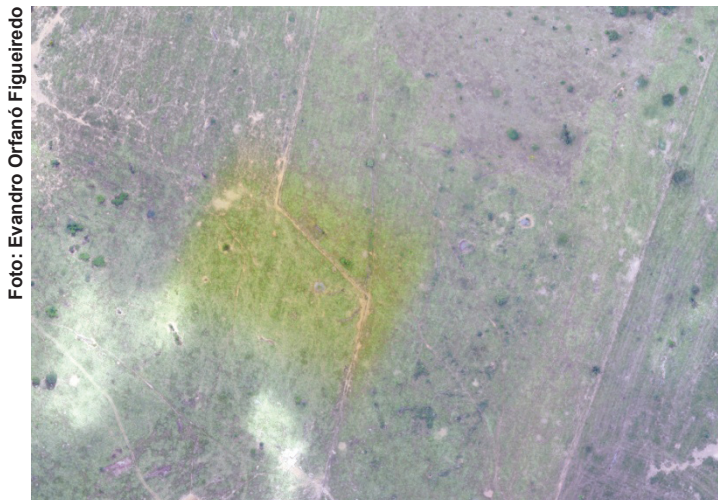


Foto: Evandro Orfanó Figueiredo

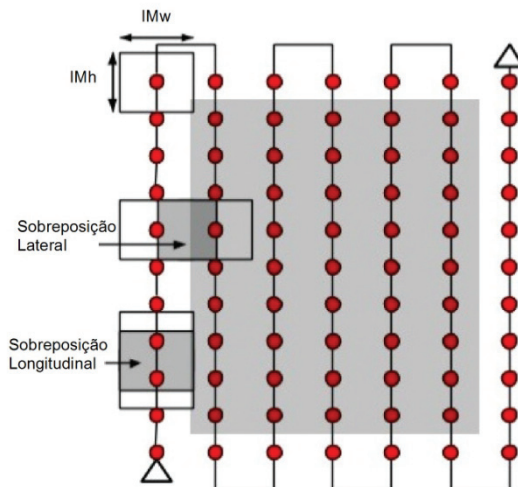
**Figura 7.** Ortofoto obtida com ajuste da câmera da RPA com balanço de branco automático, Fazenda Vale Verde, Porto Velho, Rondônia, 2016.

## Sobreposição das fotos aéreas (*overlap*)

Para construção da ortofoto é necessário que as imagens aéreas sejam captadas com uma determinada sobreposição (*overlap*). Essa sobreposição de fotos obtidas em um mesmo local permite que o algoritmo do software de processamento de imagens encontre automaticamente milhares de pontos comuns entre as imagens sequências.

Cada ponto comum encontrado em uma imagem é chamado de ponto-chave. Quando dois pontos-chave em imagens diferentes são os mesmos, passam a ser denominados de pontos-chave correspondentes. Cada grupo de pontos-chave adequadamente combinados gerará um ponto 3D. Quando há alta sobreposição entre duas imagens, a área comum capturada é maior e mais pontos-chave podem ser combinados. Quanto mais pontos-chave existem, mais precisamente os pontos 3D podem ser computados. Portanto, a regra principal é manter alta sobreposição entre as imagens (PIX4D, 2015b).

A sobreposição pode ser longitudinal (dentro da linha de voo) e lateral (entre as linhas de voo). No mínimo o plano de voo deve prever um *overlap* longitudinal de 70% e lateral de 60%, no entanto cada situação demandará um ajuste específico (Figura 8).



**Figura 8.** Esquema de um plano de voo com destaque para a sobreposição lateral e longitudinal na captura das imagens, Rio Branco, Acre, 2018.

Fonte: Adaptado de PIX4D (2015c).

## Cálculo do plano de voo

A definição dos parâmetros técnicos do plano de voo é o princípio para o sucesso da construção dos modelos estereoscópicos. A pergunta inicial que se faz é: Qual o GSD (ground sampling distance) necessário para se obter uma ortofoto compatível com a superfície que se pretende mapear? (Figueiredo et al., 2016b).

O GSD significa quanto em centímetros um pixel da imagem aérea irá representar no solo (Bethel et al., 2001). Se o projeto fotogramétrico for para mensurar grandes áreas (estradas, pastagens, focos de desmatamento, etc.), provavelmente, um GSD entre 7 cm e 10 cm será suficiente.

Se o interesse for o inventário de florestas nativas deve-se planejar obter ortofotos com GSD entre 3 cm e 5 cm (Figura 9).



Foto: Evandro Orfanó Figueiredo

**Figura 9.** Ortofoto de uma floresta densa, com GSD de 4,3 cm, utilizada para o inventário da Reserva Florestal da Embrapa Acre, Rio Branco, Acre, 2017.

No entanto, se o interesse for mensurar o comprimento e/ou volume de objetos menores que 50 cm (em uma das faces) será satisfatório que o GSD tenha valores menores que 1 in (Figueiredo et al., 2016a), ou seja, o plano de voo deve ser realizado de acordo com o interesse de observação (Figura 10).

Foto: Evandro Orfanó Figueiredo



**Figura 10.** Ortofoto do geoglifo "Chiquinho", com GSD de 2,28 cm, cujo objetivo foi mapear a estrutura arqueológica com dados planimétricos e altimétricos, Senador Guiomard, Acre, 2017.

Fonte: Castillo et al. (2017).

Considerando o interesse do mapeamento, deve-se previamente calcular a altura de voo para um dado GSD e, a partir de então, derivar vários cálculos e informações úteis para realização de um plano de voo exitoso visando à coleta de imagens para fotogrametria digital.

Assim, voos mais altos, para uma mesma configuração de câmera, possibilitam obter ortofotos com maior GSD ou menor resolução espacial, enquanto, voos baixos geram ortofotos com maior nível de detalhamento (Zufferey et al., 2010; Küng et al., 2011; Figueiredo et al., 2016a).

No entanto, voos mais baixos apresentam dois inconvenientes importantes. O primeiro está relacionado à segurança da missão de voo. Alturas abaixo de 30 metros podem não retirar da linha de voo objetos como árvores, linhas de transmissão de energia, torres, chaminés entre outros obstáculos. O segundo aspecto está vinculado ao custo operacional de processamento. Caso seja planejada uma missão de voo de 10 metros de altura e resguardados os aspectos de segurança, o GSD para uma RPA do modelo Phantom P4 pro seria aproximadamente de 0,26 cm, porém haveria necessidade de milhares de imagens o que implicaria em muitas horas para o processamento de dados (Figueiredo et al., 2016b).

Utilizando dados técnicos de acordo com as especificações das câmeras embarcadas das RPAs (P4, Mavic pro e P4 pro), tem-se os parâmetros de planos de voo recomendados em função dos objetivos do mapeamento descritos nas Tabelas 2 a 13. O cálculo inicial partiu da seguinte fórmula: altura de voo para um dado GSD ( $H$ ), distância longitudinal percorrida no solo por uma imagem ( $D_{long}$ ), distância lateral percorrida no solo por uma imagem ( $D_{lat}$ ) e área de abrangência de uma imagem ( $I_{area}$ ). As fórmulas foram adaptadas de Pix4D (2015d).

$$D_{long} = \left[ \frac{(IM_w \cdot GSD)}{100} \right]$$

$$D_{lat} = \left[ \frac{(IM_h \cdot GSD)}{100} \right]$$

$$I_{area} = \left[ \frac{(IM_w \cdot GSD)}{100} \right] \times \left[ \frac{(IM_h \cdot GSD)}{100} \right]$$

$$H = \left[ \frac{(IM_w \cdot GSD)}{100} \right] \times \frac{\left[ \frac{(f_{35} \cdot S_w)}{34,6} \right]}{S_w}$$

Em que:

H = altura de voo para um dado GSD (m).

$S_w$  = largura do sensor (mm).

GSD = ground sample distance (cm).

$IM_w$  = largura da imagem (pixels).

$IM_h$  = altura da imagem (pixels).

$D_{long}$  = distância longitudinal percorrida no solo por uma foto (m).

$D_{lat}$  = distância lateral percorrida no solo por uma foto (m).

$f_{35}$  = distância focal equivalente a 35 milímetros (mm).



Os parâmetros para o plano de voo foram divididos em três partes para cada RPA. As Tabelas 2, 6 e 10 são destinadas aos cálculos de voo para fotogrametria em paisagens com superfície homogênea, ou seja, superfícies onde o processamento será mais complexo no sentido de identificar os pontos-chave e coincidentes em imagens sequências e com sobreposição alta (próximo ou acima de 85% de *overlap* lateral).

Um exemplo clássico de superfície homogênea são as lâminas d'água, para as quais não é possível identificar pontos-chave e o processamento de *matching* entre fotos sequenciais simples não se realiza, portanto, não se obtém a ortofoto final. Dessa forma, é bastante comum a ocorrência de falhas de mapeamento em propriedades com grandes represas e regiões litorâneas.

As Tabelas 3, 7 e 11 contêm os cálculos de parâmetros de voo para paisagens heterogêneas, em que existem muitas características peculiares em cada foto, as quais permitem que o algoritmo do software de processamento de ortofotos localize com facilidade muitos pontos-chave nas imagens e estabeleça uma ótima relação de coincidência entre fotos sequenciais, mesmo que o *overlap* lateral esteja próximo de 60%.

Já nas Tabelas 4, 5, 8, 9, 12 e 13 consta a relação ótima (células verdes), regular (células amarelas) e ruim (células vermelhas) das alturas e velocidades de voo e o ajuste do tempo de abertura do obturador (*shutter*) a fim de se evitar ou minimizar o *rolling shutter effect*.

Essas tabelas oferecem apenas algumas das muitas combinações possíveis e viáveis, porém, os dados apresentados são os mais usuais para os valores de altura e velocidade de voo das referidas RPAs.

Todos os voos desses experimentos foram realizados com RPAs homologadas e aprovadas pelas autoridades de monitoramento.

**Tabela 2.** Parâmetros do plano de voo para a RPA DJI Phantom P4, considerando distintos objetivos de mapeamento em paisagem homogênea, Rio Branco, Acre, 2018.

| Altura de voo (m) <sup>(1)</sup> | Dados do plano de voo |                  |                                  |                                   | Foto/ortofoto                    |                                |   |                | Overlap     |                  | Objeto/alvo a ser mapeado |
|----------------------------------|-----------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---|----------------|-------------|------------------|---------------------------|
|                                  | Altura de voo (ft)    | Velocidade (m/s) | Intervalo entre fotos (segundos) | Distância entre linhas de voo (m) | Cobertura horizontal da foto (m) | Cobertura vertical da foto (m) | Área de cobertura da foto (m <sup>2</sup> ) | GSD (cm/pixel) | Lateral (%) | Longitudinal (%) |                           |
| 10                               | 32,81                 | 1                | 2                                | 3                                 | 17,30                            | 12,98                          | 224   | 0,43           | 82,66       | 84,59            | Cn                        |
| 20                               | 65,62                 | 2                | 2                                | 6                                 | 34,60                            | 25,95                          | 898   | 0,87           | 82,66       | 84,59            | Cn Pi                     |
| 30                               | 98,43                 | 3                | 2                                | 9                                 | 51,90                            | 38,93                          | 2.020                                       | 1,30           | 82,66       | 84,59            | C Cn Pi                   |
| 40                               | 131,23                | 4                | 2                                | 13                                | 69,20                            | 51,90                          | 3.591                                       | 1,73           | 81,21       | 84,59            | C Cn Pi                   |
| 50                               | 164,04                | 5                | 2                                | 16                                | 86,50                            | 64,88                          | 5.612                                       | 2,16           | 81,50       | 84,59            | C Cn Pf                   |
| 60                               | 196,85                | 6                | 2                                | 19                                | 103,80                           | 77,85                          | 8.081                                       | 2,60           | 81,70       | 84,59            | C Cn Pf                   |

Continua...

Tabela 2. Continuação.

| Altura de voo (m) <sup>(1)</sup> | Dados do plano de voo |                  |                                  |                                   | Foto/ortofoto                    |                                |   |                | Overlap     |                  | Objeto/alvo a ser mapeado |
|----------------------------------|-----------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---|----------------|-------------|------------------|---------------------------|
|                                  | Altura de voo (ft)    | Velocidade (m/s) | Intervalo entre fotos (segundos) | Distância entre linhas de voo (m) | Cobertura horizontal da foto (m) | Cobertura vertical da foto (m) | Área de cobertura da foto (m <sup>2</sup> ) | GSD (cm/pixel) | Lateral (%) | Longitudinal (%) |                           |
| 70                               | 229,66                | 7                | 2                                | 22                                | 121,10                           | 90,83                          | 10.999                                      | 3,03           | 81,83       | 84,59            | C Fn Cn<br>PAf            |
| 80                               | 262,47                | 8                | 2                                | 25                                | 138,40                           | 103,80                         | 14.366                                      | 3,46           | 81,94       | 84,59            | Fn Cn<br>PAf              |
| 90                               | 295,28                | 9                | 2                                | 29                                | 155,70                           | 116,78                         | 18.182                                      | 3,89           | 81,37       | 84,59            | Fn Cn<br>PAf              |
| 100                              | 328,08                | 9                | 2                                | 32                                | 173,00                           | 129,75                         | 22.447                                      | 4,33           | 81,50       | 86,13            | Fn Cn<br>PAf              |
| 110                              | 360,89                | 9                | 2                                | 35                                | 190,30                           | 142,73                         | 27.161                                      | 4,76           | 81,61       | 87,39            | Fn Cn<br>PAf              |
| 120                              | 393,70                | 10               | 2                                | 38                                | 207,60                           | 155,70                         | 32.323                                      | 5,19           | 81,70       | 87,15            | Fn Fp L<br>Cn PAf         |

<sup>(1)</sup>m = metros; ft = pés; m/s = metros por segundo; GSD = ground sample distance; Af = sistemas agroflorestais; C = construção civil; Cn = curvas de nível e modelo digital de superfície (MDS); Fn = floresta nativa; Fp = floresta plantada; L = lavouras; P = pastagens; Pf = páteo de toras na floresta; Pl = páteo de toras na indústria.

Parâmetros da câmera embarcada: largura do sensor (S<sub>w</sub>) = 6,17 mm; altura do sensor (S<sub>h</sub>) = 4,6 mm; formato da imagem = 4:3; distância focal equivalente a 35 mm = 20 mm; largura da imagem (IM<sub>w</sub>) = 4.000 pixels; altura da imagem (IM<sub>h</sub>) = 3.000 pixels; distância focal verdadeira = 3,56 mm.

A altura de voo deve ser considerada a partir da superfície a ser mapeada.

**Tabela 3.** Parâmetros do plano de voo para a RPA DJI Phantom P4, considerando distintos objetivos de mapeamento em paisagem heterogênea, Rio Branco, Acre, 2018.

| Altura de voo (m) <sup>(1)</sup> | Dados do plano de voo |                  |                                  |                                   |                                  | Foto/ortofoto                  |   |                |             | Overlap          |      | Objeto/alvo a ser mapeado |
|----------------------------------|-----------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---|----------------|-------------|------------------|------|---------------------------|
|                                  | Altura de voo (ft)    | Velocidade (m/s) | Intervalo entre fotos (segundos) | Distância entre linhas de voo (m) | Cobertura horizontal da foto (m) | Cobertura vertical da foto (m) | Área de cobertura da foto (m <sup>2</sup> ) | GSD (cm/pixel) | Lateral (%) | Longitudinal (%) |      |                           |
| 10                               | 32,81                 | 1                | 3                                | 4                                 | 17,30                            | 12,98                          | 224   | 0,43           | 76,88       | 76,88            | Cn   |                           |
| 20                               | 65,62                 | 2                | 3                                | 8                                 | 34,60                            | 25,95                          | 898   | 0,87           | 76,88       | 76,88            | Cn   |                           |
| 30                               | 98,43                 | 3                | 3                                | 12                                | 51,90                            | 38,93                          | 2.020                                       | 1,30           | 76,88       | 76,88            | C Cn |                           |
| 40                               | 131,23                | 4                | 3                                | 15                                | 69,20                            | 51,90                          | 3.591                                       | 1,73           | 78,32       | 76,88            | C Cn |                           |
| 50                               | 164,04                | 5                | 3                                | 20                                | 86,50                            | 64,88                          | 5.612                                       | 2,16           | 76,88       | 76,88            | C Cn |                           |
| 60                               | 196,85                | 6                | 3                                | 24                                | 103,80                           | 77,85                          | 8.081                                       | 2,60           | 76,88       | 76,88            | C Cn |                           |
| 70                               | 229,66                | 7                | 3                                | 28                                | 121,10                           | 90,83                          | 10.999                                      | 3,03           | 76,88       | 76,88            | C Cn |                           |

Continua...

Tabela 3. Continuação.

| Altura de voo (m) <sup>(1)</sup> | Dados do plano de voo |                  |                                  |                                   | Foto/ortofoto                    |                                |   |                | Overlap     |                  |        | Objeto/alvo a ser mapeado |
|----------------------------------|-----------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---|----------------|-------------|------------------|--------|---------------------------|
|                                  | Altura de voo (ft)    | Velocidade (m/s) | Intervalo entre fotos (segundos) | Distância entre linhas de voo (m) | Cobertura horizontal da foto (m) | Cobertura vertical da foto (m) | Área de cobertura da foto (m <sup>2</sup> ) | GSD (cm/pixel) | Lateral (%) | Longitudinal (%) |        |                           |
| 80                               | 262,47                | 8                | 3                                | 55                                | 138,40                           | 103,80                         | 14.366                                      | 3,46           | 60,26       | 76,88            | C Cn P |                           |
| 90                               | 295,28                | 9                | 3                                | 60                                | 155,70                           | 116,78                         | 18.182                                      | 3,89           | 61,46       | 76,88            | C Cn P |                           |
| 100                              | 328,08                | 10               | 3                                | 65                                | 173,00                           | 129,75                         | 22.447                                      | 4,33           | 62,43       | 76,88            | Cn P   |                           |
| 110                              | 360,89                | 11               | 3                                | 70                                | 190,30                           | 142,73                         | 27.161                                      | 4,76           | 63,22       | 76,88            | Cn P   |                           |
| 120                              | 393,70                | 12               | 3                                | 75                                | 207,60                           | 155,70                         | 32.323                                      | 5,19           | 63,87       | 76,88            | L Cn P |                           |

<sup>(1)</sup>m = metros; ft = pés; m/s = metros por segundo; GSD = ground sample distance; C = construção civil; Cn = curvas de nível e modelo digital de superfície (MDS); L = lavouras; P = pastagens.

Parâmetros da câmera embarcada: largura do sensor ( $S_w$ ) = 6,17 mm; altura do sensor ( $S_h$ ) = 4,6 mm; formato da imagem = 4:3; distância focal equivalente a 35 mm = 20 mm; largura da imagem ( $IM_w$ ) = 4.000 pixels; altura da imagem ( $IM_h$ ) = 3.000 pixels; distância focal verdadeira = 3,56 mm.

A altura de voo deve ser considerada a partir da superfície a ser mapeada.

**Tabela 4.** Estimativa do número de pixels deslocados ( $\Delta$ ) pelo efeito *rolling shutter* conforme a altura e velocidade da RPA e parâmetros da câmera embarcada no modelo DJI Phantom P4, considerando distintos objetivos de mapeamento em paisagem homogênea, Rio Branco, Acre, 2018.

| Dados do plano de voo            |                    |                  | Foto/ortofoto  |                           |        |       |       |       |       |       |       |       | Shutter e $\Delta$ |       |       |  |
|----------------------------------|--------------------|------------------|----------------|---------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|--|
| Altura de voo (m) <sup>(1)</sup> | Altura de voo (ft) | Velocidade (m/s) | GSD (cm/pixel) | Objeto/alvo a ser mapeado | 1/1000 | 1/800 | 1/620 | 1/500 | 1/400 | 1/320 | 1/240 | 1/200 | 1/160              | 1/120 | 1/100 |  |
| 10                               | 32,81              | 1                | 0,43           | Cn                        | 0,23   | 0,29  | 0,38  | 0,47  | 0,58  | 0,73  | 0,97  | 1,16  | 1,45               | 1,94  | 2,33  |  |
| 20                               | 65,62              | 2                | 0,87           | Cn Pi                     | 0,23   | 0,29  | 0,38  | 0,47  | 0,58  | 0,73  | 0,97  | 1,16  | 1,45               | 1,94  | 2,33  |  |
| 30                               | 98,43              | 3                | 1,30           | C Cn Pi                   | 0,23   | 0,29  | 0,38  | 0,47  | 0,58  | 0,73  | 0,97  | 1,16  | 1,45               | 1,94  | 2,33  |  |
| 40                               | 131,23             | 4                | 1,73           | C Cn Pi                   | 0,23   | 0,29  | 0,38  | 0,47  | 0,58  | 0,73  | 0,97  | 1,16  | 1,45               | 1,94  | 2,33  |  |
| 50                               | 164,04             | 5                | 2,16           | C Cn Pf                   | 0,23   | 0,29  | 0,38  | 0,47  | 0,58  | 0,73  | 0,97  | 1,16  | 1,45               | 1,94  | 2,33  |  |

Continua...

Tabela 4. Continuação.

| Dados do plano de voo            |                    | Foto/ortofoto    |                |                           |        |       |       |       |       |       |       | Shutter e $\sigma$ |       |       |       |
|----------------------------------|--------------------|------------------|----------------|---------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-------|
| Altura de voo (m) <sup>(1)</sup> | Altura de voo (ft) | Velocidade (m/s) | GSD (cm/pixel) | Objeto/alvo a ser mapeado | 1/1000 | 1/800 | 1/620 | 1/500 | 1/400 | 1/320 | 1/240 | 1/200              | 1/160 | 1/120 | 1/100 |
| 60                               | 196,85             | 6                | 2,60           | C Cn Pf                   | 0,23   | 0,29  | 0,38  | 0,47  | 0,58  | 0,73  | 0,97  | 1,16               | 1,45  | 1,94  | 2,33  |
| 70                               | 229,66             | 7                | 3,03           | C Fn Cn P Af              | 0,23   | 0,29  | 0,38  | 0,47  | 0,58  | 0,73  | 0,97  | 1,16               | 1,45  | 1,94  | 2,33  |
| 80                               | 262,47             | 8                | 3,46           | Fn Cn P Af                | 0,23   | 0,29  | 0,38  | 0,47  | 0,58  | 0,73  | 0,97  | 1,16               | 1,45  | 1,94  | 2,33  |
| 90                               | 295,28             | 9                | 3,89           | Fn Cn P Af                | 0,23   | 0,29  | 0,38  | 0,47  | 0,58  | 0,73  | 0,97  | 1,16               | 1,45  | 1,94  | 2,33  |
| 100                              | 328,08             | 9                | 4,33           | Fn Cn P Af                | 0,21   | 0,26  | 0,34  | 0,42  | 0,52  | 0,65  | 0,87  | 1,05               | 1,31  | 1,74  | 2,09  |
| 110                              | 360,89             | 9                | 4,76           | Fn Cn P Af                | 0,19   | 0,24  | 0,31  | 0,38  | 0,48  | 0,59  | 0,79  | 0,95               | 1,20  | 1,59  | 1,90  |
| 120                              | 393,70             | 10               | 5,19           | Fn Fp L Cn P Af           | 0,19   | 0,24  | 0,31  | 0,39  | 0,48  | 0,61  | 0,81  | 0,97               | 1,21  | 1,62  | 1,94  |

<sup>(1)</sup>m = metros; ft = pés; m/s = metros por segundo; GSD = ground sample distance; Af = sistemas agroflorestais; C = construção civil; Cn = curvas de nível e modelo digital de superfície (MDS); Fn = floresta nativa; Fp = floresta plantada; L = lavouras; P = pastagens; Pf = pátio de toras na floresta; Pl = pátio de toras na indústria.

Relação ótima entre velocidade, altura e shutter; Relação regular entre velocidade, altura e shutter; Relação ruim entre velocidade, altura e shutter.

Parâmetros da câmera embarcada: largura do sensor ( $S_x$ ) = 6,17 mm; altura do sensor ( $S_y$ ) = 4,6 mm; formato da imagem = 4:3; distância focal equivalente a 35 mm = 20 mm; largura da imagem ( $IM_x$ ) = 4.000 pixels; altura da imagem ( $IM_y$ ) = 3.000 pixels; distância focal verdadeira = 3,56 mm.

A altura de voo deve ser considerada a partir da superfície a ser mapeada.

**Tabela 5.** Estimativa do número de pixels deslocados ( $\Delta$ ) pelo efeito *rolling shutter* conforme a altura e velocidade da RPA e parâmetros da câmera embarcada no modelo DJI Phantom P4, considerando distintos objetivos de mapeamento em paisagem heterogênea, Rio Branco, Acre, 2018.

| Dados do plano de voo            |                    | Foto/ortofoto    |                |                           |        |       |       |       |       |       |       | Shutter e $\Delta$ |       |       |       |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------------|--------------------|------------------|----------------|---------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|
| Altura de voo (m) <sup>(1)</sup> | Altura de voo (ft) | Velocidade (m/s) | GSD (cm/pixel) | Objeto/alvo a ser mapeado | 1/1000 | 1/800 | 1/620 | 1/500 | 1/400 | 1/320 | 1/240 | 1/200              | 1/160 | 1/120 | 1/100 |  |  |  |  |  |  |
| 10                               | 32,81              | 1                | 0,43           | Cn                        | 0,23   | 0,29  | 0,38  | 0,47  | 0,58  | 0,73  | 0,97  | 1,16               | 1,45  | 1,94  | 2,33  |  |  |  |  |  |  |
| 20                               | 65,62              | 2                | 0,87           | Cn                        | 0,23   | 0,29  | 0,38  | 0,47  | 0,58  | 0,73  | 0,97  | 1,16               | 1,45  | 1,94  | 2,33  |  |  |  |  |  |  |
| 30                               | 98,43              | 3                | 1,30           | C Cn                      | 0,23   | 0,29  | 0,38  | 0,47  | 0,58  | 0,73  | 0,97  | 1,16               | 1,45  | 1,94  | 2,33  |  |  |  |  |  |  |
| 40                               | 131,23             | 4                | 1,73           | C Cn                      | 0,23   | 0,29  | 0,38  | 0,47  | 0,58  | 0,73  | 0,97  | 1,16               | 1,45  | 1,94  | 2,33  |  |  |  |  |  |  |
| 50                               | 164,04             | 5                | 2,16           | C Cn                      | 0,23   | 0,29  | 0,38  | 0,47  | 0,58  | 0,73  | 0,97  | 1,16               | 1,45  | 1,94  | 2,33  |  |  |  |  |  |  |
| 60                               | 196,85             | 6                | 2,60           | C Cn                      | 0,23   | 0,29  | 0,38  | 0,47  | 0,58  | 0,73  | 0,97  | 1,16               | 1,45  | 1,94  | 2,33  |  |  |  |  |  |  |
| 70                               | 229,66             | 7                | 3,03           | C Cn                      | 0,23   | 0,29  | 0,38  | 0,47  | 0,58  | 0,73  | 0,97  | 1,16               | 1,45  | 1,94  | 2,33  |  |  |  |  |  |  |

Continua...



Tabela 5. Continuação.

| Dados do plano de voo            |                    | Foto/ortofoto    |                |                           |        |       |       |       |       |       |       | Shutter e o Δ |       |       |       |
|----------------------------------|--------------------|------------------|----------------|---------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------|
| Altura de voo (m) <sup>(1)</sup> | Altura de voo (ft) | Velocidade (m/s) | GSD (cm/pixel) | Objeto/alvo a ser mapeado | 1/1000 | 1/800 | 1/620 | 1/500 | 1/400 | 1/320 | 1/240 | 1/200         | 1/160 | 1/120 | 1/100 |
| 80                               | 262,47             | 8                | 3,46           | C Cn P                    | 0,23   | 0,29  | 0,38  | 0,47  | 0,58  | 0,73  | 0,97  | 1,16          | 1,45  | 1,94  | 2,33  |
| 90                               | 295,28             | 9                | 3,89           | C Cn P                    | 0,23   | 0,29  | 0,38  | 0,47  | 0,58  | 0,73  | 0,97  | 1,16          | 1,45  | 1,94  | 2,33  |
| 100                              | 328,08             | 10               | 4,33           | Cn P                      | 0,23   | 0,29  | 0,38  | 0,47  | 0,58  | 0,73  | 0,97  | 1,16          | 1,45  | 1,94  | 2,33  |
| 110                              | 360,89             | 11               | 4,76           | Cn P                      | 0,23   | 0,29  | 0,38  | 0,47  | 0,58  | 0,73  | 0,97  | 1,16          | 1,45  | 1,94  | 2,33  |
| 120                              | 393,70             | 12               | 5,19           | L Cn P                    | 0,23   | 0,29  | 0,38  | 0,47  | 0,58  | 0,73  | 0,97  | 1,16          | 1,45  | 1,94  | 2,33  |

<sup>(1)</sup>m = metros; ft = pés; m/s = metros por segundo; GSD = ground sample distance; C = construção civil; Cn = curvas de nível e modelo digital de superfície (MDS); L = lavouras; P = pastagens.

■ Relação ótima entre velocidade, altura e *shutter*; ■ Relação regular entre velocidade, altura e *shutter*; ■ Relação ruim entre velocidade, altura e *shutter*.

Parâmetros da câmera embarcada: largura do sensor ( $S_w$ ) = 6,17 mm; altura do sensor ( $S_h$ ) = 4,6 mm; formato da imagem = 4:3; distância focal equivalente a 35 mm = 20 mm; largura da imagem ( $IM_w$ ) = 4.000 pixels; altura da imagem ( $IM_h$ ) = 3.000 pixels; distância focal verdadeira = 3,56 mm.

A altura de voo deve ser considerada a partir da superfície a ser mapeada.

**Tabela 6.** Parâmetros do plano de voo para a RPA DJI Mavic pro, considerando distintos objetivos de mapeamento em paisagem homogênea, Rio Branco, Acre, 2018.

| Altura de voo (m) <sup>(1)</sup> | Dados do plano de voo |                  |                                  |                                   | Foto/ortofoto                    |                                |   |                | Overlap     |                  |         | Objeto/alvo a ser mapeado |
|----------------------------------|-----------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---|----------------|-------------|------------------|---------|---------------------------|
|                                  | Altura de voo (ft)    | Velocidade (m/s) | Intervalo entre fotos (segundos) | Distância entre linhas de voo (m) | Cobertura horizontal da foto (m) | Cobertura vertical da foto (m) | Área de cobertura da foto (m <sup>2</sup> ) | GSD (cm/pixel) | Lateral (%) | Longitudinal (%) |         |                           |
| 10                               | 32,81                 | 1                | 2                                | 3                                 | 12,36                            | 9,27                           | 115   | 0,31           | 75,72       | 78,42            | Cn      |                           |
| 20                               | 65,62                 | 1                | 2                                | 4                                 | 24,71                            | 18,54                          | 458   | 0,62           | 83,82       | 89,21            | Cn Pi   |                           |
| 30                               | 98,43                 | 2                | 2                                | 7                                 | 37,07                            | 27,80                          | 1.031                                       | 0,93           | 81,12       | 85,61            | C Cn Pi |                           |
| 40                               | 131,23                | 3                | 2                                | 9                                 | 49,43                            | 37,07                          | 1.832                                       | 1,24           | 81,79       | 83,82            | C Cn Pi |                           |
| 50                               | 164,04                | 4                | 2                                | 12                                | 61,79                            | 46,34                          | 2.863                                       | 1,54           | 80,58       | 82,74            | C Cn Pf |                           |
| 60                               | 196,85                | 5                | 2                                | 14                                | 74,14                            | 55,61                          | 4.123                                       | 1,85           | 81,12       | 82,02            | C Cn Pf |                           |

Continua...

Tabela 6. Continuação.

| Altura de voo (m) <sup>(1)</sup> | Dados do plano de voo |                  |                                  |                                   | Foto/ortofoto                    |                                |   |                | Overlap     |                  |                 | Objeto/alvo a ser mapeado |
|----------------------------------|-----------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---|----------------|-------------|------------------|-----------------|---------------------------|
|                                  | Altura de voo (ft)    | Velocidade (m/s) | Intervalo entre fotos (segundos) | Distância entre linhas de voo (m) | Cobertura horizontal da foto (m) | Cobertura vertical da foto (m) | Área de cobertura da foto (m <sup>2</sup> ) | GSD (cm/pixel) | Lateral (%) | Longitudinal (%) |                 |                           |
| 70                               | 229,66                | 6                | 2                                | 17                                | 86,50                            | 64,88                          | 5.612                                       | 2,16           | 80,35       | 81,50            | C Cn Pf         |                           |
| 80                               | 262,47                | 7                | 2                                | 18                                | 98,86                            | 74,14                          | 7.330                                       | 2,47           | 81,79       | 81,12            | C Cn P          |                           |
| 90                               | 295,28                | 8                | 2                                | 21                                | 111,21                           | 83,41                          | 9.276                                       | 2,78           | 81,12       | 80,82            | Fn Cn P         |                           |
| 100                              | 328,08                | 9                | 2                                | 23                                | 123,57                           | 92,68                          | 11.452                                      | 3,09           | 81,39       | 80,58            | Fn Cn P         |                           |
| 110                              | 360,89                | 9                | 2                                | 25                                | 135,93                           | 101,95                         | 13.857                                      | 3,40           | 81,61       | 82,34            | Fn Fp Cn P Af   |                           |
| 120                              | 393,70                | 10               | 2                                | 27                                | 148,29                           | 111,21                         | 16.491                                      | 3,71           | 81,79       | 82,02            | Fn Fp L Cn P Af |                           |

<sup>(1)</sup>m = metros; ft = pés; m/s = metros por segundo; GSD = ground sample distance; Af = sistemas agroflorestais; C = construção civil; Cn = curvas de nível e modelo digital de superfície (MDS); Fn = floresta nativa; Fp = floresta plantada; L = lavouras; P = pastagens; Pf = páteo de toras na floresta; Pl = páteo de toras na indústria.

Parâmetros da câmera embarcada: largura do sensor ( $S_x$ ) = 6,17 mm; altura do sensor ( $S_y$ ) = 4,6 mm; formato da imagem = 4:3; distância focal equivalente a 35 mm = 28 mm; largura da imagem ( $IM_x$ ) = 4.000 pixels; altura da imagem ( $IM_y$ ) = 3.000 pixels; distância focal verdadeira = 4,99 mm.

A altura de voo deve ser considerada a partir da superfície a ser mapeada.

**Tabela 7.** Parâmetros do plano de voo para a RPA DJI Mavic pro, considerando distintos objetivos de mapeamento em paisagem heterogênea, Rio Branco, Acre, 2018.

| Altura de voo (m) <sup>(a)</sup> | Dados do plano de voo |                  |                                  |                                   |                                  | Foto/ortofoto                  |   |                |             | Overlap          |      | Objeto/alvo a ser mapeado |
|----------------------------------|-----------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---|----------------|-------------|------------------|------|---------------------------|
|                                  | Altura de voo (ft)    | Velocidade (m/s) | Intervalo entre fotos (segundos) | Distância entre linhas de voo (m) | Cobertura horizontal da foto (m) | Cobertura vertical da foto (m) | Área de cobertura da foto (m <sup>2</sup> ) | GSD (cm/pixel) | Lateral (%) | Longitudinal (%) |      |                           |
| 10                               | 32,81                 | 1                | 2                                | 3                                 | 12,36                            | 9,27                           | 115   | 0,31           | 75,72       | 78,42            | Cn   |                           |
| 20                               | 65,62                 | 1                | 4                                | 6                                 | 24,71                            | 18,54                          | 458   | 0,62           | 75,72       | 78,42            | Cn   |                           |
| 30                               | 98,43                 | 1                | 7                                | 9                                 | 37,07                            | 27,80                          | 1.031                                       | 0,93           | 75,72       | 74,82            | C Cn |                           |
| 40                               | 131,23                | 2                | 4                                | 12                                | 49,43                            | 37,07                          | 1.832                                       | 1,24           | 75,72       | 78,42            | C Cn |                           |
| 50                               | 164,04                | 3                | 4                                | 15                                | 61,79                            | 46,34                          | 2.863                                       | 1,54           | 75,72       | 74,10            | C Cn |                           |
| 60                               | 196,85                | 4                | 3                                | 18                                | 74,14                            | 55,61                          | 4.123                                       | 1,85           | 75,72       | 78,42            | C Cn |                           |

Continua...

Tabela 7. Continuação.

| Altura de voo (m) <sup>(1)</sup> | Dados do plano de voo |                  |                                  |                                   |                                  | Foto/ortofoto                  |   |                |             | Overlap          |          | Objeto/alvo a ser mapeado |
|----------------------------------|-----------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---|----------------|-------------|------------------|----------|---------------------------|
|                                  | Altura de voo (ft)    | Velocidade (m/s) | Intervalo entre fotos (segundos) | Distância entre linhas de voo (m) | Cobertura horizontal da foto (m) | Cobertura vertical da foto (m) | Área de cobertura da foto (m <sup>2</sup> ) | GSD (cm/pixel) | Lateral (%) | Longitudinal (%) |          |                           |
| 70                               | 229,66                | 5                | 3                                | 21                                | 86,50                            | 64,88                          | 5.612                                       | 2,16           | 75,72       | 76,88            | C Cn     |                           |
| 80                               | 262,47                | 6                | 3                                | 35                                | 98,86                            | 74,14                          | 7.330                                       | 2,47           | 64,60       | 75,72            | C Cn     |                           |
| 90                               | 295,28                | 7                | 3                                | 40                                | 111,21                           | 83,41                          | 9.276                                       | 2,78           | 64,03       | 74,82            | C Cn P   |                           |
| 100                              | 328,08                | 8                | 3                                | 45                                | 123,57                           | 92,68                          | 11.452                                      | 3,09           | 63,58       | 74,10            | C Cn P   |                           |
| 110                              | 360,89                | 8                | 3                                | 50                                | 135,93                           | 101,95                         | 13.857                                      | 3,40           | 63,22       | 76,46            | C Cn P   |                           |
| 120                              | 393,70                | 9                | 3                                | 55                                | 148,29                           | 111,21                         | 16.491                                      | 3,71           | 62,91       | 75,72            | C L Cn P |                           |

<sup>(1)</sup>m = metros; ft = pés; m/s = metros por segundo; GSD = ground sample distance; C = construção civil; Cn = curvas de nível e modelo digital de superfície (MDS); L = lavouras; P = pastagens.

Parâmetros da câmera embarcada: largura do sensor ( $S_x$ ) = 6,17 mm; altura do sensor ( $S_y$ ) = 4,6 mm; formato da imagem = 4:3; distância focal equivalente a 35 mm = 28 mm; largura da imagem ( $IM_x$ ) = 4.000 pixels; altura da imagem ( $IM_y$ ) = 3.000 pixels; distância focal verdadeira = 4,99 mm.

A altura de voo deve ser considerada a partir da superfície a ser mapeada.

**Tabela 8.** Estimativa do número de pixels deslocados ( $\Delta$ ) pelo efeito *rolling shutter* conforme a altura e velocidade da RPA e parâmetros da câmera embarcada no modelo DJI Mavic pro, considerando distintos objetivos de mapeamento em paisagem homogênea, Rio Branco, Acre, 2018.

| Dados do plano de voo            |                    |                  | Foto/ortofoto  |                           |        |       |       |       |       |       |       |       | Shutter e o $\Delta$ |       |       |  |  |
|----------------------------------|--------------------|------------------|----------------|---------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|--|--|
| Altura de voo (m) <sup>(1)</sup> | Altura de voo (ft) | Velocidade (m/s) | GSD (cm/pixel) | Objeto/alvo a ser mapeado | 1/1000 | 1/800 | 1/620 | 1/500 | 1/400 | 1/320 | 1/240 | 1/200 | 1/160                | 1/120 | 1/100 |  |  |
| 10                               | 32,81              | 1                | 0,31           | Cn                        | 0,33   | 0,41  | 0,53  | 0,65  | 0,81  | 1,02  | 1,36  | 1,63  | 2,04                 | 2,71  | 3,26  |  |  |
| 20                               | 65,62              | 1                | 0,62           | Cn Pi                     | 0,16   | 0,20  | 0,26  | 0,33  | 0,41  | 0,51  | 0,68  | 0,81  | 1,02                 | 1,36  | 1,63  |  |  |
| 30                               | 98,43              | 2                | 0,93           | C Cn Pi                   | 0,22   | 0,27  | 0,35  | 0,43  | 0,54  | 0,68  | 0,90  | 1,09  | 1,36                 | 1,81  | 2,17  |  |  |
| 40                               | 131,23             | 3                | 1,24           | C Cn Pi                   | 0,24   | 0,31  | 0,39  | 0,49  | 0,61  | 0,76  | 1,02  | 1,22  | 1,53                 | 2,04  | 2,44  |  |  |
| 50                               | 164,04             | 4                | 1,54           | C Cn Pf                   | 0,26   | 0,33  | 0,42  | 0,52  | 0,65  | 0,81  | 1,09  | 1,30  | 1,63                 | 2,17  | 2,61  |  |  |
| 60                               | 196,85             | 5                | 1,85           | C Cn Pf                   | 0,27   | 0,34  | 0,44  | 0,54  | 0,68  | 0,85  | 1,13  | 1,36  | 1,70                 | 2,26  | 2,71  |  |  |

Continua...

Tabela 8. Continuação.

| Dados do plano de voo            |                    | Foto/ortofoto    |                |                           |        |       |       |       |       |       |       |       | Shutter e $\Delta$ |       |       |  |
|----------------------------------|--------------------|------------------|----------------|---------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|--|
| Altura de voo (m) <sup>(1)</sup> | Altura de voo (ft) | Velocidade (m/s) | GSD (cm/pixel) | Objeto/alvo a ser mapeado | 1/1000 | 1/800 | 1/620 | 1/500 | 1/400 | 1/320 | 1/240 | 1/200 | 1/160              | 1/120 | 1/100 |  |
| 70                               | 229,66             | 6                | 2,16           | C Cn Pf                   | 0,28   | 0,35  | 0,45  | 0,56  | 0,70  | 0,87  | 1,16  | 1,40  | 1,74               | 2,33  | 2,79  |  |
| 80                               | 262,47             | 7                | 2,47           | C Cn P                    | 0,28   | 0,36  | 0,46  | 0,57  | 0,71  | 0,89  | 1,19  | 1,42  | 1,78               | 2,37  | 2,85  |  |
| 90                               | 295,28             | 8                | 2,78           | Fn Cn P                   | 0,29   | 0,36  | 0,47  | 0,58  | 0,72  | 0,90  | 1,21  | 1,45  | 1,81               | 2,41  | 2,89  |  |
| 100                              | 328,08             | 9                | 3,09           | Fn Cn P                   | 0,29   | 0,37  | 0,47  | 0,59  | 0,73  | 0,92  | 1,22  | 1,47  | 1,83               | 2,44  | 2,93  |  |
| 110                              | 360,89             | 9                | 3,40           | Fn Fp Cn P Af             | 0,27   | 0,33  | 0,43  | 0,53  | 0,67  | 0,83  | 1,11  | 1,33  | 1,67               | 2,22  | 2,66  |  |
| 120                              | 393,70             | 10               | 3,71           | Fn Fp L Cn P Af           | 0,27   | 0,34  | 0,44  | 0,54  | 0,68  | 0,85  | 1,13  | 1,36  | 1,70               | 2,26  | 2,71  |  |

<sup>(1)</sup>m = metros; ft = pés; m/s = metros por segundo; GSD = ground sample distance; Af = sistemas agroflorestais; C = construção civil; Cn = curvas de nível e modelo digital de superfície (MDS); Fn = floresta nativa; Fp = floresta plantada; L = lavouras; P = pastagens; Pf = páteo de toras na floresta; PI = páteo de toras na indústria.

■ Relação ótima entre velocidade, altura e *shutter*; ■ Relação regular entre velocidade, altura e *shutter*; ■ Relação ruim entre velocidade, altura e *shutter*.

Parâmetros da câmera embarcada: largura do sensor ( $S_x$ ) = 6,17 mm; altura do sensor ( $S_y$ ) = 4,6 mm; formato da imagem = 4:3; distância focal equivalente a 35 mm = 28 mm; largura da imagem ( $IM_x$ ) = 4.000 pixels; altura da imagem ( $IM_y$ ) = 3.000 pixels; distância focal verdadeira = 4,99 mm.

A altura de voo deve ser considerada a partir da superfície a ser mapeada.

**Tabela 9.** Estimativa do número de pixels deslocados ( $\Delta$ ) pelo efeito *rolling shutter* conforme a altura e velocidade da RPA e parâmetros da câmera embarcada no modelo DJI Mavic pro, considerando distintos objetivos de mapeamento em paisagem heterogênea, Rio Branco, Acre, 2018.

| Dados do plano de voo            |                    |                  | Foto/ortofoto  |                           |        |       |       |       |       |       |       |       | Shutter e $\Delta$ |       |       |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------------|--------------------|------------------|----------------|---------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|
| Altura de voo (m) <sup>(1)</sup> | Altura de voo (ft) | Velocidade (m/s) | GSD (cm/pixel) | Objeto/alvo a ser mapeado | 1/1000 | 1/800 | 1/620 | 1/500 | 1/400 | 1/320 | 1/240 | 1/200 | 1/160              | 1/120 | 1/100 |  |  |  |  |  |  |  |
| 10                               | 32,81              | 1                | 0,31           | Cn                        | 0,33   | 0,41  | 0,53  | 0,65  | 0,81  | 1,02  | 1,36  | 1,36  | 1,63               | 2,04  | 2,71  |  |  |  |  |  |  |  |
| 20                               | 65,62              | 1                | 0,62           | Cn                        | 0,16   | 0,20  | 0,26  | 0,33  | 0,41  | 0,51  | 0,68  | 0,68  | 0,81               | 1,02  | 1,36  |  |  |  |  |  |  |  |
| 30                               | 98,43              | 1                | 0,93           | C Cn                      | 0,11   | 0,14  | 0,18  | 0,22  | 0,27  | 0,34  | 0,45  | 0,45  | 0,54               | 0,68  | 0,90  |  |  |  |  |  |  |  |
| 40                               | 131,23             | 2                | 1,24           | C Cn                      | 0,16   | 0,20  | 0,26  | 0,33  | 0,41  | 0,51  | 0,68  | 0,68  | 0,81               | 1,02  | 1,36  |  |  |  |  |  |  |  |
| 50                               | 164,04             | 3                | 1,54           | C Cn                      | 0,20   | 0,24  | 0,32  | 0,39  | 0,49  | 0,61  | 0,81  | 0,81  | 0,98               | 1,22  | 1,63  |  |  |  |  |  |  |  |
| 60                               | 196,85             | 4                | 1,85           | C Cn                      | 0,22   | 0,27  | 0,35  | 0,43  | 0,54  | 0,68  | 0,90  | 0,90  | 1,09               | 1,36  | 1,81  |  |  |  |  |  |  |  |

Continua...



Tabela 9. Continuação.

| Dados do plano de voo            |                    | Foto/ortofoto    |                |                           |        |       |       |       |       |       |       | Shutter e o $\Delta$ |       |       |       |
|----------------------------------|--------------------|------------------|----------------|---------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|
| Altura de voo (m) <sup>(1)</sup> | Altura de voo (ft) | Velocidade (m/s) | GSD (cm/pixel) | Objeto/alvo a ser mapeado | 1/1000 | 1/800 | 1/620 | 1/500 | 1/400 | 1/320 | 1/240 | 1/200                | 1/160 | 1/120 | 1/100 |
| 70                               | 229,66             | 5                | 2,16           | C Cn                      | 0,23   | 0,29  | 0,38  | 0,47  | 0,58  | 0,73  | 0,97  | 0,97                 | 1,16  | 1,45  | 1,94  |
| 80                               | 262,47             | 6                | 2,47           | C Cn                      | 0,24   | 0,31  | 0,39  | 0,49  | 0,61  | 0,76  | 1,02  | 1,02                 | 1,22  | 1,53  | 2,04  |
| 90                               | 295,28             | 7                | 2,78           | C Cn P                    | 0,25   | 0,32  | 0,41  | 0,51  | 0,63  | 0,79  | 1,06  | 1,06                 | 1,27  | 1,58  | 2,11  |
| 100                              | 328,08             | 8                | 3,09           | C Cn P                    | 0,26   | 0,33  | 0,42  | 0,52  | 0,65  | 0,81  | 1,09  | 1,09                 | 1,30  | 1,63  | 2,17  |
| 110                              | 360,89             | 8                | 3,40           | C Cn P                    | 0,24   | 0,30  | 0,38  | 0,47  | 0,59  | 0,74  | 0,99  | 0,99                 | 1,20  | 1,48  | 1,97  |
| 120                              | 393,70             | 9                | 3,71           | C L Cn P                  | 0,24   | 0,31  | 0,39  | 0,49  | 0,61  | 0,76  | 1,02  | 1,02                 | 1,22  | 1,53  | 2,04  |

<sup>(1)</sup>m = metros; ft = pés; m/s = metros por segundo; GSD = ground sample distance; C = construção civil; Cn = curvas de nível e modelo digital de superfície (MDS); L = lavouras; P = pastagens.

■ Relação ótima entre velocidade, altura e *shutter*; ■ Relação regular entre velocidade, altura e *shutter*; ■ Relação ruim entre velocidade, altura e *shutter*.

Parâmetros da câmera embarcada: largura do sensor ( $S_x$ ) = 6,17 mm; altura do sensor ( $S_y$ ) = 4,6 mm; formato da imagem = 4:3; distância focal equivalente a 35 mm = 28 mm; largura da imagem ( $IM_w$ ) = 4.000 pixels; altura da imagem ( $IM_h$ ) = 3.000 pixels; distância focal verdadeira = 4,99 mm.

A altura de voo deve ser considerada a partir da superfície a ser mapeada.

**Tabela 10.** Parâmetros do plano de voo para a RPA DJI Phantom P4 pro, considerando distintos objetivos de mapeamento em paisagem homogênea, Rio Branco, Acre, 2018.

| Altura de voo (m) <sup>(1)</sup> | Dados do plano de voo |                  |                                  |                                   | Foto/ortofoto                    |                                |   |                | Overlap     |                  | Objeto/alvo a ser mapeado |
|----------------------------------|-----------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---|----------------|-------------|------------------|---------------------------|
|                                  | Altura de voo (ft)    | Velocidade (m/s) | Intervalo entre fotos (segundos) | Distância entre linhas de voo (m) | Cobertura horizontal da foto (m) | Cobertura vertical da foto (m) | Área de cobertura da foto (m <sup>2</sup> ) | GSD (cm/pixel) | Lateral (%) | Longitudinal (%) |                           |
| 10                               | 32,81                 | 1                | 1                                | 2                                 | 14,42                            | 9,61                           | 139   | 0,26           | 86,13       | 89,60            | Cn Pi                     |
| 20                               | 65,62                 | 1                | 3                                | 5                                 | 28,83                            | 19,22                          | 554   | 0,53           | 82,66       | 84,39            | Cn Pi                     |
| 30                               | 98,43                 | 1                | 5                                | 8                                 | 43,25                            | 28,83                          | 1,247                                       | 0,79           | 81,50       | 82,66            | C Cn Pi                   |
| 40                               | 131,23                | 3                | 2                                | 11                                | 57,67                            | 38,44                          | 2,217                                       | 1,05           | 80,92       | 84,39            | C Cn Pi                   |
| 50                               | 164,04                | 4                | 2                                | 14                                | 72,08                            | 48,06                          | 3,464                                       | 1,32           | 80,58       | 83,35            | C Cn Pi                   |
| 60                               | 196,85                | 5                | 2                                | 16                                | 86,50                            | 57,67                          | 4,988                                       | 1,58           | 81,50       | 82,66            | C Cn Pf                   |

Continua...

Tabela 10. Continuação.

| Dados do plano de voo                  |                          |                     |  |  | Foto/ortofoto                             |   |  |                       | Overlap        |                     | Objeto/<br>alvo a ser<br>mapeado |
|--|--------------------------|---------------------|--|--|---|---|--|-----------------------|----------------|---------------------|----------------------------------|
| Altura<br>de voo<br>(m) <sup>(1)</sup> | Altura<br>de voo<br>(ft) | Velocidade<br>(m/s) | Intervalo<br>entre fotos<br>(segundos) | Distância<br>entre<br>linhas de<br>voo (m) | Cobertura<br>horizontal<br>da foto<br>(m) | Cobertura<br>vertical<br>da foto<br>(m) | Área de<br>cobertura<br>da foto<br>(m <sup>2</sup> ) | GSD<br>(cm/<br>pixel) | Lateral<br>(%) | Longitudinal<br>(%) |                                  |
| 70                                     | 229,66                   | 6                   | 2                                      | 19   | 100,92                                    | 67,28                                   | 6.789  | 1,84                  | 81,17          | 82,16               | C Cn Pf                          |
| 80                                     | 262,47                   | 7                   | 2                                      | 21   | 115,33                                    | 76,89                                   | 8.868  | 2,11                  | 81,79          | 81,79               | C Cn Pf                          |
| 90                                     | 295,28                   | 8                   | 2                                      | 24   | 129,75                                    | 86,50                                   | 11.223   | 2,37                  | 81,50          | 81,50               | Fn Cn Pf Af                      |
| 100                                    | 328,08                   | 9                   | 2                                      | 26   | 144,17                                    | 96,11                                   | 13.856   | 2,63                  | 81,97          | 81,27               | Fn Cn P Af                       |
| 110                                    | 360,89                   | 9                   | 2                                      | 29   | 158,58                                    | 105,72                                  | 16.766   | 2,90                  | 81,71          | 82,97               | Fn Fp Cn<br>P Af                 |
| 120                                    | 393,70                   | 10                  | 2                                      | 32   | 173,00                                    | 115,33                                  | 19.953   | 3,16                  | 81,50          | 82,66               | Fn Fp L Cn<br>P Af               |

<sup>(1)</sup>m = metros; ft = pés; m/s = metros por segundo; GSD = ground sample distance; Af = sistemas agroflorestais; C = construção civil; Cn = curvas de nível e modelo digital de superfície (MDS); Fn = floresta nativa; Fp = floresta plantada; L = lavouras; P = pastagens; Pf = pátio de toras na floresta; Pi = pátio de toras na indústria.

Parâmetros da câmera embarcada: largura do sensor ( $S_w$ ) = 13,2 mm; altura do sensor ( $S_n$ ) = 8,8 mm; formato da imagem = 3:2; distância focal equivalente a 35 mm = 24 mm; largura da imagem ( $IM_w$ ) = 5.472 pixels; altura da imagem ( $IM_n$ ) = 3.648 pixels; distância focal verdadeira = 9,16 mm.

A altura de voo deve ser considerada a partir da superfície a ser mapeada.

**Tabela 11.** Parâmetros do plano de voo para a RPA DJI Phantom P4 pro, considerando distintos objetivos de mapeamento em paisagem heterogênea, Rio Branco, Acre, 2018.

| Altura de voo (m) <sup>(1)</sup> | Dados do plano de voo |                  |                                  |                                   | Foto/ortofoto                    |                                |   |                | Overlap     |                  | Objeto/alvo a ser mapeado |
|----------------------------------|-----------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---|----------------|-------------|------------------|---------------------------|
|                                  | Altura de voo (ft)    | Velocidade (m/s) | Intervalo entre fotos (segundos) | Distância entre linhas de voo (m) | Cobertura horizontal da foto (m) | Cobertura vertical da foto (m) | Área de cobertura da foto (m <sup>2</sup> ) | GSD (cm/pixel) | Lateral (%) | Longitudinal (%) |                           |
| 10                               | 32,81                 | 1                | 2                                | 3                                 | 14,42                            | 9,61                           | 139   | 0,26           | 79,19       | 79,19            | Cn                        |
| 20                               | 65,62                 | 1                | 4                                | 7                                 | 28,83                            | 19,22                          | 554   | 0,53           | 75,72       | 79,19            | Cn                        |
| 30                               | 98,43                 | 1                | 7                                | 10                                | 43,25                            | 28,83                          | 1.247                                       | 0,79           | 76,88       | 75,72            | C Cn                      |
| 40                               | 131,23                | 2                | 4                                | 14                                | 57,67                            | 38,44                          | 2.217                                       | 1,05           | 75,72       | 79,19            | C Cn                      |
| 50                               | 164,04                | 3                | 4                                | 18                                | 72,08                            | 48,06                          | 3.464                                       | 1,32           | 75,03       | 75,03            | C Cn                      |
| 60                               | 196,85                | 4                | 3                                | 21                                | 86,50                            | 57,67                          | 4.988                                       | 1,58           | 75,72       | 79,19            | C Cn                      |

Continua...

Tabela 11. Continuação.

| Dados do plano de voo                     |                          |                     |  | Foto/ortofoto                              |   |                                      |  | Overlap               |                | Objeto/<br>alvo a ser<br>mapeado |                     |
|---|--------------------------|---------------------|--|--|---|--------------------------------------|--|-----------------------|----------------|----------------------------------|---------------------|
| Altura<br>de<br>voo<br>(m) <sup>(1)</sup> | Altura<br>de voo<br>(ft) | Velocidade<br>(m/s) | Intervalo<br>entre fotos<br>(segundos) | Distância<br>entre<br>linhas de<br>voo (m) | Cobertura<br>horizontal<br>da foto<br>(m) | Cobertura<br>vertical da<br>foto (m) | Área de<br>cobertura<br>da foto<br>(m <sup>2</sup> ) | GSD<br>(cm/<br>pixel) | Lateral<br>(%) |                                  | Longitudinal<br>(%) |
| 70  | 229,66                   | 5                   | 3                                      | 25   | 100,92                                    | 67,28                                | 6.789  | 1,84                  | 75,23          | 77,70                            | C Cn                |
| 80  | 262,47                   | 6                   | 3                                      | 45   | 115,33                                    | 76,89                                | 8.868  | 2,11                  | 60,98          | 76,59                            | C Cn                |
| 90  | 295,28                   | 7                   | 3                                      | 50   | 129,75                                    | 86,50                                | 11.223   | 2,37                  | 61,46          | 75,72                            | Cn P                |
| 100                                       | 328,08                   | 8                   | 3                                      | 55   | 144,17                                    | 96,11                                | 13.856   | 2,63                  | 61,85          | 75,03                            | Cn P Af             |
| 110                                       | 360,89                   | 8                   | 3                                      | 60   | 158,58                                    | 105,72                               | 16.766   | 2,90                  | 62,17          | 77,30                            | L Cn P Af           |
| 120                                       | 393,70                   | 9                   | 3                                      | 65   | 173,00                                    | 115,33                               | 19.953   | 3,16                  | 62,43          | 76,59                            | L Cn P Af           |

<sup>(1)</sup>m = metros; ft = pés; m/s = metros por segundo; GSD = ground sample distance; Af = sistemas agroflorestais; C = construção civil; Cn = curvas de nível e modelo digital de superfície (MDS); L = lavouras; P = pastagens.

Parâmetros da câmera embarcada: largura do sensor ( $S_w$ ) = 13,2 mm; altura do sensor ( $S_h$ ) = 8,8 mm; formato da imagem = 3:2; distância focal equivalente a 35 mm = 24 mm; largura da imagem ( $IM_w$ ) = 5.472 pixels; altura da imagem ( $IM_h$ ) = 3.648 pixels; distância focal verdadeira = 9,16 mm.

A altura de voo deve ser considerada a partir da superfície a ser mapeada.

**Tabela 12.** Estimativa do número de pixels deslocados ( $\Delta$ ) pelo efeito *rolling shutter* conforme a altura e velocidade da RPA e parâmetros da câmera embarcada no modelo DJI Phantom P4 pro, considerando distintos objetivos de mapeamento em paisagem homogênea, Rio Branco, Acre, 2018.

| Dados do plano de voo            |                    |                  | Foto/ortofoto      |                           |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------|--------------------|------------------|--------------------|---------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                  |                    |                  | Shutter e $\Delta$ |                           |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Altura de voo (m) <sup>(1)</sup> | Altura de voo (ft) | Velocidade (m/s) | GSD (cm/pixel)     | Objeto/alvo a ser mapeado | 1/1000 | 1/800 | 1/620 | 1/500 | 1/400 | 1/320 | 1/240 | 1/200 | 1/160 | 1/120 | 1/100 |
| 10                               | 32,81              | 1                | 0,26               | Cn Pi                     | 0,38   | 0,47  | 0,61  | 0,76  | 0,95  | 1,19  | 1,58  | 1,90  | 2,37  | 3,16  | 3,80  |
| 20                               | 65,62              | 1                | 0,53               | Cn Pi                     | 0,19   | 0,24  | 0,31  | 0,38  | 0,47  | 0,59  | 0,79  | 0,95  | 1,19  | 1,58  | 1,90  |
| 30                               | 98,43              | 1                | 0,79               | C Cn Pi                   | 0,13   | 0,16  | 0,20  | 0,25  | 0,32  | 0,40  | 0,53  | 0,63  | 0,79  | 1,05  | 1,27  |
| 40                               | 131,23             | 3                | 1,05               | C Cn Pi                   | 0,28   | 0,36  | 0,46  | 0,57  | 0,71  | 0,89  | 1,19  | 1,42  | 1,78  | 2,37  | 2,85  |
| 50                               | 164,04             | 4                | 1,32               | C Cn Pi                   | 0,30   | 0,38  | 0,49  | 0,61  | 0,76  | 0,95  | 1,27  | 1,52  | 1,90  | 2,53  | 3,04  |
| 60                               | 196,85             | 5                | 1,58               | C Cn Pf                   | 0,32   | 0,40  | 0,51  | 0,63  | 0,79  | 0,99  | 1,32  | 1,58  | 1,98  | 2,64  | 3,16  |

Continua...

Tabela 12. Continuação.

| Dados do plano de voo            |                    | Foto/ortofoto        |                |                           |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------|--------------------|----------------------|----------------|---------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                  |                    | Shutter e o $\Delta$ |                |                           |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Altura de voo (m) <sup>(1)</sup> | Altura de voo (ft) | Velocidade (m/s)     | GSD (cm/pixel) | Objeto/alvo a ser mapeado | 1/1000 | 1/800 | 1/620 | 1/500 | 1/400 | 1/320 | 1/240 | 1/200 | 1/160 | 1/120 | 1/100 |
| 70                               | 229,66             | 6                    | 1,84           | C Cn Pf                   | 0,33   | 0,41  | 0,52  | 0,65  | 0,81  | 1,02  | 1,36  | 1,63  | 2,03  | 2,71  | 3,25  |
| 80                               | 262,47             | 7                    | 2,11           | C Cn Pf                   | 0,33   | 0,42  | 0,54  | 0,66  | 0,83  | 1,04  | 1,38  | 1,66  | 2,08  | 2,77  | 3,32  |
| 90                               | 295,28             | 8                    | 2,37           | Fn Cn P f Af              | 0,34   | 0,42  | 0,54  | 0,67  | 0,84  | 1,05  | 1,41  | 1,69  | 2,11  | 2,81  | 3,37  |
| 100                              | 328,08             | 9                    | 2,63           | Fn Cn P Af                | 0,34   | 0,43  | 0,55  | 0,68  | 0,85  | 1,07  | 1,42  | 1,71  | 2,14  | 2,85  | 3,42  |
| 110                              | 360,89             | 9                    | 2,90           | Fn Fp Cn P Af             | 0,31   | 0,39  | 0,50  | 0,62  | 0,78  | 0,97  | 1,29  | 1,55  | 1,94  | 2,59  | 3,11  |
| 120                              | 393,70             | 10                   | 3,16           | Fn Fp L Cn P Af           | 0,32   | 0,40  | 0,51  | 0,63  | 0,79  | 0,99  | 1,32  | 1,58  | 1,98  | 2,64  | 3,16  |

<sup>(1)</sup>m = metros; ft = pés; m/s = metros por segundo; GSD = ground sample distance; Af = sistemas agroflorestais; C = construção civil; Cn = curvas de nível e modelo digital de superfície (MDS); Fn = floresta nativa; Fp = floresta plantada; L = lavouras; P = pastagens; Pf = páteo de toras na floresta; Pi = páteo de toras na indústria.

■ Relação ótima entre velocidade, altura e shutter; ■ Relação regular entre velocidade, altura e shutter; ■ Relação ruim entre velocidade, altura e shutter.

Parâmetros da câmera embarcada: largura do sensor ( $S_w$ ) = 13,2 mm; altura do sensor ( $S_h$ ) = 8,8 mm; formato da imagem = 3:2; distância focal equivalente a 35 mm = 24 mm; largura da imagem ( $IM_x$ ) = 5.472 pixels; altura da imagem ( $IM_y$ ) = 3.648 pixels; distância focal verdadeira = 9,16 mm.

A altura de voo deve ser considerada a partir da superfície a ser mapeada.

**Tabela 13.** Estimativa do número de pixels deslocados ( $\Delta$ ) pelo efeito *rolling shutter* conforme a altura e velocidade da RPA e parâmetros da câmera embarcada no modelo DJI Phantom P4 pro, considerando distintos objetivos de mapeamento em paisagem heterogênea, Rio Branco, Acre, 2018.

| Dados do plano de voo            |                    | Foto/ortofotografia |                |                           |        |       |       |       |       |       |       | Shutter e o $\Delta$ |       |       |       |  |  |
|----------------------------------|--------------------|---------------------|----------------|---------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|--|--|
| Altura de voo (m) <sup>(1)</sup> | Altura de voo (ft) | Velocidade (m/s)    | GSD (cm/pixel) | Objeto/alvo a ser mapeado | 1/1000 | 1/800 | 1/620 | 1/500 | 1/400 | 1/320 | 1/240 | 1/200                | 1/160 | 1/120 | 1/100 |  |  |
| 10                               | 32,81              | 1                   | 0,26           | Cn                        | 0,38   | 0,47  | 0,61  | 0,76  | 0,95  | 1,19  | 1,58  | 1,90                 | 2,37  | 3,16  | 3,80  |  |  |
| 20                               | 65,62              | 1                   | 0,53           | Cn                        | 0,19   | 0,24  | 0,31  | 0,38  | 0,47  | 0,59  | 0,79  | 0,95                 | 1,19  | 1,58  | 1,90  |  |  |
| 30                               | 98,43              | 1                   | 0,79           | C Cn                      | 0,13   | 0,16  | 0,20  | 0,25  | 0,32  | 0,40  | 0,53  | 0,63                 | 0,79  | 1,05  | 1,27  |  |  |
| 40                               | 131,23             | 2                   | 1,05           | C Cn                      | 0,19   | 0,24  | 0,31  | 0,38  | 0,47  | 0,59  | 0,79  | 0,95                 | 1,19  | 1,58  | 1,90  |  |  |
| 50                               | 164,04             | 3                   | 1,32           | C Cn                      | 0,23   | 0,28  | 0,37  | 0,46  | 0,57  | 0,71  | 0,95  | 1,14                 | 1,42  | 1,90  | 2,28  |  |  |
| 60                               | 196,85             | 4                   | 1,58           | C Cn                      | 0,25   | 0,32  | 0,41  | 0,51  | 0,63  | 0,79  | 1,05  | 1,27                 | 1,58  | 2,11  | 2,53  |  |  |

Continua...



Tabela 13. Continuação.

| Dados do plano de voo            |                    | Fotofotofoto     |                |                           |        |       |       |       |       |       |       | Shutter e o $\Delta$ |       |       |       |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------------|--------------------|------------------|----------------|---------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|
| Altura de voo (m) <sup>(1)</sup> | Altura de voo (ft) | Velocidade (m/s) | GSD (cm/pixel) | Objeto/alvo a ser mapeado | 1/1000 | 1/800 | 1/620 | 1/500 | 1/400 | 1/320 | 1/240 | 1/200                | 1/160 | 1/120 | 1/100 |  |  |  |  |  |  |
| 70                               | 229,66             | 5                | 1,84           | C Cn                      | 0,27   | 0,34  | 0,44  | 0,54  | 0,68  | 0,85  | 1,13  | 1,36                 | 1,69  | 2,26  | 2,71  |  |  |  |  |  |  |
| 80                               | 262,47             | 6                | 2,11           | C Cn                      | 0,28   | 0,36  | 0,46  | 0,57  | 0,71  | 0,89  | 1,19  | 1,42                 | 1,78  | 2,37  | 2,85  |  |  |  |  |  |  |
| 90                               | 295,28             | 7                | 2,37           | Cn P                      | 0,30   | 0,37  | 0,48  | 0,59  | 0,74  | 0,92  | 1,23  | 1,48                 | 1,85  | 2,46  | 2,95  |  |  |  |  |  |  |
| 100                              | 328,08             | 8                | 2,63           | Cn P Af                   | 0,30   | 0,38  | 0,49  | 0,61  | 0,76  | 0,95  | 1,27  | 1,52                 | 1,90  | 2,53  | 3,04  |  |  |  |  |  |  |
| 110                              | 360,89             | 8                | 2,90           | L Cn P Af                 | 0,28   | 0,35  | 0,45  | 0,55  | 0,69  | 0,86  | 1,15  | 1,38                 | 1,73  | 2,30  | 2,76  |  |  |  |  |  |  |
| 120                              | 393,70             | 9                | 3,16           | L Cn P Af                 | 0,28   | 0,36  | 0,46  | 0,57  | 0,71  | 0,89  | 1,19  | 1,42                 | 1,78  | 2,37  | 2,85  |  |  |  |  |  |  |

<sup>(1)</sup>m = metros; ft = pés; m/s = metros por segundo; GSD = ground sample distance; Af = sistemas agroflorestais; C = construção civil; Cn = curvas de nível e modelo digital de superfície (MDS); L = lavouras; P = pastagens.

■ Relação ótima entre velocidade, altura e shutter; ■ Relação regular entre velocidade, altura e shutter; ■ Relação ruim entre velocidade, altura e shutter.

Parâmetros da câmera embarcada: largura do sensor ( $S_v$ ) = 13,2 mm; altura do sensor ( $S_h$ ) = 8,8 mm; formato da imagem = 3:2; distância focal equivalente a 35 mm = 24 mm; largura da imagem ( $IM_w$ ) = 5.472 pixels; altura da imagem ( $IM_h$ ) = 3.648 pixels; distância focal verdadeira = 9,16 mm.

A altura de voo deve ser considerada a partir da superfície a ser mapeada.

## Tempo ou duração de voo

A duração ou tempo de cada missão de voo para o mapeamento de uma superfície deve ser avaliada em função da capacidade de amperagem da bateria, vida útil da bateria e condições climáticas (velocidade do vento).

Dependendo do modelo da RPA utilizada, o usuário terá alguns minutos a mais ou a menos na programação de seu tempo de voo. Apesar do fabricante indicar que seu equipamento apresenta uma autonomia de voo de até 28 minutos (para os modelos estudados), isso na prática não se concretiza.

Sempre é prudente considerar um plano de voo entre 55% e 65% da capacidade da bateria, o que corresponde a um tempo de voo entre 14 a 16 minutos. O piloto remoto deve incluir nesse intervalo o tempo gasto para a decolagem e pouso da aeronave.

Uma margem de segurança ampla para o tempo de voo permitirá que o piloto remoto enfrente possíveis intempéries do clima sem colocar em risco a aeronave e o patrimônio de terceiros presente na localidade mapeada.

## Utilização dos parâmetros nos aplicativos de voo

Atualmente, tem-se no mercado diversos aplicativos para tablets e smartphones no sistema Android e IOS, destinados às RPAs da DJI. Os mais usuais são: Pix4DCapture, Litchi, DJI Ground Station PRO, DJI GO 4, DJI GO, DroneDeploy, Altizure, SkyDrones, Precision Fly dentre muitos outros presentes no iTunes e PlayStore.

Na maioria dos aplicativos, os cálculos de velocidade, ajuste de câmeras, *overlap* lateral e longitudinal e altura de voo são realizados pelo sistema do aplicativo, porém nem sempre o plano proposto pelo sistema será o mais adequado. A realização de cálculos prévios servirá para estabelecer um novo plano de voo de acordo com a necessidade do usuário para o mapeamento de um determinado local.

Assim, quando se planeja uma missão de mapeamento para o inventário de um ecossistema florestal, o dossel eleva a superfície de mapeamento. Como nenhum aplicativo soluciona esse problema, o piloto remoto deve refazer os

cálculos obtendo novos parâmetros para a missão de voo, os quais deverão ser inseridos no sistema do aplicativo.

Portanto, é fundamental calcular antecipadamente cada missão para que o usuário não tenha surpresas desagradáveis durante o processamento dos dados, culminando com a não obtenção da ortofoto desejada.

## Checklist para execução da missão

Vale ressaltar que a prevenção de acidentes e incidentes aeronáuticos deve ser uma prioridade de cada piloto remoto das RPAs. Os princípios da filosofia do Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (Brasil, 2018) devem ser aplicados, principalmente, dois deles: a) todo acidente aeronáutico pode ser evitado; e b) todo acidente aeronáutico resulta de vários eventos e nunca de uma causa isolada.

Desse modo, antes do início de cada missão, o piloto responsável deverá realizar um *checklist*, a fim de garantir a segurança mínima do voo, contemplando os seguintes pontos:

- a) Manter atualizado o software de controle interno (*Firmware*) do RPA e do controle remoto (RC) ou estação de pilotagem remota (RPS).
- b) Manter atualizada a versão do aplicativo de voo.
- c) Conferir se as condições climáticas (ventos, precipitação e luminosidade) estão adequadas para o início e conclusão da missão.
- d) Verificar a fixação das hélices.
- e) Verificar a carga de energia do controle remoto (RC/RPS).
- f) Verificar a carga de energia da estação de controle (tablet ou smartphone).
- g) Habilitar o GPS do tablet ou smartphone.
- h) Verificar se a bateria não tem nenhuma célula de energia danificada.
- i) Verificar a carga de energia das baterias.

- j) Retirar o protetor da câmera (sensor embarcado).
- k) Retirar o protetor do gimbal mecânico ou eletrônico (quando existir).
- l) Selecionar um ponto de decolagem (*home-point*) longe de interferências magnéticas, considerando proximidade de redes de energia, solos com grande quantidade de minerais metálicos e junto a veículos automotores.
- m) Escolher um *home-point* plano e sem obstáculos no solo (grama, pequenas pedras, gravetos...) que possam interferir na calibração do gimbal da RPA após o acionamento da bateria. Caso se observem problemas no procedimento de calibração gimbal (câmera em posição inclinada), a bateria deve ser desligada e o equipamento reiniciado.
- n) Observar se existem obstruções (fio, árvores e construções, dentre outros) acima do espaço aéreo do *home-point* que possam provocar colisões e queda da aeronave.
- o) Verificar no software/aplicativo de plano de voo se todos os pontos de passagem da RPA estão na altura programada.
- p) Conferir no software/aplicativo se a velocidade de cruzeiro do plano de voo está adequada para a missão, considerando para isso todos os pontos de passagem do equipamento.
- q) Após o equipamento ligado deve-se esperar a apropriação da coordenada geográfica pelo GNSS da RPA, visando fixar o *home-point*.
- r) Verificar se o cartão de memória (microSD) está fixado corretamente no *slot* do equipamento e se é da categoria *Class 10* ou superior, bem como se há espaço livre de memória suficiente para armazenar todas as imagens da missão de voo.
- s) Ajustar os parâmetros da câmera fotográfica de acordo com o alvo pretendido de mapeamento, luminosidade do dia, altura e velocidade da missão.

Após a conferência desses 19 pontos críticos, o piloto responsável estará pronto para realizar a missão. Quando se negligencia um ou vários aspectos

desse *checklist* ocorrem problemas referentes à segurança do voo, aborto da missão ou qualidade das informações coletadas, obrigando a equipe técnica a repetir o trabalho.

## Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Requisitos gerais para veículos aéreos não tripulados e aeromodelos**. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/transparencia/audiencia/2015/aud13/anexo1.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2016.
- ANTUNES, A. F. B.; HOLLATZ, R. C. V. Cadastro técnico multifinalitário de baixo custo utilizando VANT (veículo aéreo não tripulado). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: Inpe: Selper, 2015. p. 5858-5864.
- ARAÚJO, A. P. de. **Sensibilidade ISO**. [2018]. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/fotografia/sensibilidade-iso/>>. Acesso em: 05 fev. 2018.
- BERVEGLIERI, A.; TOMMASELLI, A. M. G. Locating control points in aerial images with a multi-scale approach based on terrestrial image patches. **The Photogrammetric Record**, v. 30, n. 149, p. 63-81, Mar. 2015.
- BETHEL, J. S.; MCGLONE, J. C.; MIKHAIL, E. M. **Introduction to modern Photogrammetry**. New York: John Wiley & Sons, 2001. 477 p.
- BRASIL. Força Aérea Brasileira. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. SIPAER. **Prevenção de acidentes**. [2018]. Disponível em: <<http://www2.fab.mil.br/cenipa/index.php/prevencao-de-acidentes>>. Acesso em: 21 fev. 2018.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **ICA 100-40 - Sistemas de aeronaves remotamente pilotadas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro**. 2016. Disponível em: <<https://publicacoes.decea.gov.br/>>. Acesso em: 06 fev. 2018.
- BROWN, M.; LOWE, D. G. Automatic panoramic image stitching using invariant features. **International Journal of Computer Vision**, v. 74, n. 1, p. 59-73, Aug. 2007.
- CARVALHO, E. A. **Leituras cartográficas e interpretações estatísticas I: geografia**. Natal: EDUFRRN, 2008. 248 p.

CASTILLO, A. D.; RAMPANELLI, I.; FERNANDES, T. J.; MARDINI, J.; FIGUEIREDO, E. O. Preliminary results of the 2017 season in the Amazonian earthen structures known as geoglyphs. **SAGVNTVM**. Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia, v. 49, p. 231-234, 2017.

DJI. **Fly safe geo zone map**. [2018a]. Disponível em: <<https://www.dji.com/flysafe/geo-map>>. Acesso em: 02 fev. 2018.

DJI. **Controle de voo**. [2018b]. Disponível em: <[https://developer.dji.com/mobile-sdk/documentation/introduction/flightController\\_concepts.html](https://developer.dji.com/mobile-sdk/documentation/introduction/flightController_concepts.html)>. Acesso em: 20 fev. 2018.

DJI. **Phantom 4 Pro**. [2018c]. Disponível em: <<https://www.dji.com/phantom-4-pro>>. Acesso em: 14 ago. 2018.

FIGUEIREDO, E. O.; OLIVEIRA, M. V. N. d'; FIGUEIREDO, S. M. M. Uso de aeronaves remotamente pilotadas (ARP) no planejamento florestal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 8.; INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE AGRICULTURE, 5., 2016, Sinop. **Ciência, tecnologia e inovação para desenvolvimento sustentável das novas fronteiras agrícolas: anais**. Sinop: Universidade Federal do Mato Grosso, 2016a.

FIGUEIREDO, E. O.; OLIVEIRA, M. V. N. d'; LOCKS, C. J.; PAPA, D. de A. **Estimativa do volume de madeira em pátios de estocagem de toras por meio de câmeras RGB instaladas em aeronaves remotamente pilotadas (ARP)**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2016b. 39 p. (Embrapa Acre. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 55).

KÜNG, O.; STRECHA, C.; BEYELER, A.; ZUFFEREY, J. C.; FLOREANO, D.; FUA, P.; GERVAIX, F. The accuracy of automatic photogrammetric techniques on ultra-light UAV imagery. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNMANNED AERIAL VEHICLE IN GEOMATICS (UAV-g), 2011, Zurich. **Proceedings...** Zurich: ETH Zurich; IGP; geomETH; UAV Research Group, 2011. (N. EPFL-CONF-168806).

LOWE, D. G. Object recognition from local scale-invariant features. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER VISION, 7., 1999, Kerkyra, Greece. **Proceedings...** Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society, 1999. p. 1150-1157.

LOWE, D. G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. **International Journal of Computer Vision**, v. 60, n. 2, p. 91-110, Nov. 2004.

LUZ, C. C. D. **Avaliação da exatidão absoluta de ortofoto obtida por meio de dados brutos oriundos de veículos aéreos não tripulados (SISVANT)**. 2015. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas: Fotogrametria) – Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MARQUES, F. **O triângulo do terror**. 2018. Disponível em: <<https://soufotista.wordpress.com/tag/triangulo-da-exposicao/>>. Acesso em: 14 ago. 2018.

NEX, F.; GERKE, M.; REMONDINO, F.; PRZYBILLA, H. J.; BÄUMKER, M.; ZURHORST, A. ISPRS Benchmark for multi-platform photogrammetry. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 2-3/W4, p. 135-142, Mar. 2015.

PERIN, G.; GERKE, T.; LACERDA, V. S.; DA ROSA, J. Z.; CAIRES, E. F.; GUIMARÃES, A. M. Análise de acurácia de georrefereciamento de mosaicos de imagens obtidas por RPA. **Anais do EATI**, v. 193, p. 193-199, nov. 2016. Anais do Encontro Anual de Tecnologia da Informação e VII Simpósio de Tecnologia da Informação da Região Noroeste do RS.

PESTANA, J. M. da S. **Estabelecimento da correspondência entre imagens aéreas e terrestres**. 2017. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas: Aquisição, Análise e Representação de Informações Espaciais) – Pós-graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

PHOTOPRO. **O que é o diafragma na fotografia?** [2018]. Disponível em: <<https://www.photopro.com.br/tutoriais-gratis/o-que-e-diafragma-fotografia/>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

PIX4D. **Selecionando o tipo de plano de aquisição de imagens**. 2015a. Disponível em: <<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557459>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

PIX4D. **Step 1. Before Starting a Project > 1. Designing the Image Acquisition Plan > b. Computing the Flight Height for a given GSD**. 2015b. Disponível em: <<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557469>>. Acesso em: 02 mar. 2016.

PIX4D. **Step 1. Before Starting a Project > 1. Designing the Image Acquisition Plan > a. Selecting the Image Acquisition Plan Type**. 2015c. Disponível em: <<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557459-Step-1-Before-Starting-a-Project-1-Designing-the-Image-Acquisition-Plan-a-Selecting-the-Image-Acquisition-Plan-Type>>. Acesso em: 01 out. 2015.

PIX4D. **TOOLS - Vertical Pixel Displacement Calculator**. 2015d. Disponível em: <<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/115000409383#gsc.tab=0>>. Acesso em: 06 fev. 2018.

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**, v. 4, n. 1, p. 83-88, Jan./Mar. 2017.

SE, S.; LOWE, D.; LITTLE, J. Vision-based mobile robot localization and mapping using scale-invariant features. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND AUTOMATION, 2001, Seoul. **Proceedings...** Piscataway, NJ: IEEE Robotic and Automation Society, 2001. p. 2051-2058.

TANG, L.; SHAO, G. Drone remote sensing for forestry research and practices. **Journal of Forestry Research**, v. 26, n. 4, p. 791-797, Dec. 2015.

TSAY, J. R.; LEE, M. S. SIFT for dense point cloud matching and aero triangulation. **The International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences**, v. 39-B3, p. 69-74, 2012. Edition of XXII ISPRS Congress, 2012, Melbourne.

ZEEGEN, L. **Fundamentos de ilustração (recurso eletrônico)**. Porto Alegre: Bookman, 2009. 176 p.

ZUFFEREY, J. C.; BEYELER, A.; FLOREANO, D. Autonomous flight at low altitude using light sensors and little computational power. **International Journal of Micro Air Vehicles**, v. 2, n. 2, p. 107-117, June 2010.

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

**Embrapa Acre**  
Rodovia BR 364, km 14,  
sentido Rio Branco/Porto Velho  
Caixa Postal 321, CEP 69900-970 Rio  
Branco, AC  
Fone: (68) 3212-3200, Fax: (68) 3212-3285  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

1ª edição (2018): on-line



Comitê Local de Publicações da Embrapa Acre

Presidente  
*Elias Melo de Miranda*  
Secretária-Executiva  
*Claudia Carvalho Sena*

Membros  
*Carlos Mauricio Soares de Andrade, Celso Luis Bergo, Evandro Orfanó Figueiredo, Rivaldalve Coelho Gonçalves, Rodrigo Souza Santos, Romeu de Carvalho Andrade Neto, Tadário Kamel de Oliveira, Tatiana de Campos, Virginia de Souza Álvares*

Supervisão editorial e revisão de texto  
*Claudia Carvalho Sena, Suely Moreira de Melo*

Normalização bibliográfica  
*Renata do Carmo França Seabra*

Editoração eletrônica e tratamento das ilustrações  
*Francisco Carlos da Rocha Gomes*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Ilustração da capa  
*Daniel de Almeida Papa*

CGPE 14867