CIRCULAR TÉCNICA

05

Produção de ortomapas com VANTs e OpenDroneMap

Campinas, SP Dezemb<u>ro, 2018</u> Thiago Teixeira Santos Luciano Vieira Koenigkan





Produção de ortomapas com VANTs e OpenDroneMap¹

1. Introdução

Veículos Aéreos Não-Tripulados (VANTs) têm sido utilizados como alternativa para sensoriamento remoto em agricultura (Jorge; Inamasu, 2014). Ortomapas produzidos com o uso de VANTs podem apresentar resolução superior à de satélites, com *Ground Sample Distance* (GSD) inferior a 1 pixel/cm². VANTs podem sensorear áreas com maior frequência temporal, de acordo com a disponibilidade do operador de voo, do equipamento e da necessidade da aplicação, e não sofrem do problema de oclusão por nuvens, que acomete o sensoriamento por satélite.

Equipes interessadas em sensoriamento por VANTs geralmente necessitam de produtos digitais como mapas ortorretificados, modelos georreferenciados de superfície e nuvens de pontos 3-D. Tais dados podem ser utilizados em diversas aplicações para agricultura de precisão, conservação ambiental e aplicações de *Geographic Information System* (GIS) em geral. Atualmente, diversas empresas oferecem esses produtos na forma de serviços. Contudo, o valor das assinaturas cobradas pode ser proibitivo para diversos usuários interessados, incluindo grupos de pesquisa, extensionistas e pequenos produtores rurais. Além do custo, outros requisitos podem ser de importância aos usuários, como a privacidade dos dados ou a necessidade de maior controle e personalização do pipeline de sensoriamento.

OpenDroneMap (ODM)³ é um sistema de código aberto para a geração de produtos digitais georreferenciados a partir de imagens aéreas como as obtidas por VANTs. Ele é composto por diversos módulos integrados que realizam as etapas necessárias a um pipeline de fotogrametria. Embora seu desenvolvimento siga ativo, o sistema ainda não conta, até a presente data, com documentação completa, o que dificulta sua adoção.

Os autores da presente nota técnica vêm utilizando o sistema ODM com sucesso em atividades de pesquisa na Embrapa. A motivação para redação desta nota surgiu do relato de colegas que reportavam dificuldades no uso

¹ Thiago Teixeira Santos, cientista da computação, doutor em Ciências da Computação, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP. Luciano Vieira Koenigkan, cientista da computação, mestre em Engenharia Elétrica, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

² A título de comparação, o WorldView-3, um dos satélites comerciais de maior resolução na atualidade, apresenta GSD superior a 30 pixeis/cm.

³ Disponível em: <https://www.opendronemap.org>.

da ferramenta, combinadas a diversas dúvidas no uso e configuração de VANTs para a produção de ortomapas. Esta nota visa ser um tutorial para pesquisadores, consultores, extensionistas e outros usuários que desejem utilizar seus próprios VANTs na produção de ortomapas de maneira independente.

Esta nota está organizada da seguinte forma. Na Seção 2, introduzimos conceitos essenciais de fotogrametria para mapeamento por imagem. Na Seção 3, são apresentadas orientações para a realização dos voos destinados à criação dos ortomapas. Já na Seção 4, são descritos os componentes e o uso do sistema ODM e os produtos digitais que ele pode produzir. A Seção 5 apresenta e referencia os algoritmos atualmente empregados pelo ODM e se destina a especialistas em visão computacional e fotogrametria que desejam maiores detalhes sobre o funcionamento da ferramenta. A Seção 6 finaliza o trabalho com uma breve conclusão.

2. Princípios de fotogrametria

Fotogrametria consiste na ciência de obter medições acuradas e confiáveis a partir de imagens pelo uso de métodos da visão computacional (Granshaw, 2016). No mapeamento com o uso de imagens aéreas, duas técnicas são comumente utilizadas: *stitching* para a criação de panoramas (mosaicos) e *structure from motion* (SfM) para a criação de ortomapas.

Panoramas são imagens obtidas pela combinação de duas ou mais imagens, com o intuito de produzir um campo de visão maior. São criados por meio de transformações projetivas que mapeiam um plano em outro (Hartley; Zisserman, 2003). No plano de referência utilizado nesse mapeamento, não há distorções e medições acuradas podem ser realizadas. Porém, distorções são observadas em pontos fora deste plano, que se tornam maiores conforme a distância aumenta em relação a este plano de referência. Os panoramas são obtidos por *stitching*, que consiste na estimação de uma transformação projetiva (homografia) para cada imagem empregada.

Já um ortomapa digital (*digital orthomap* – DOM) é uma mapa baseado em uma ortofoto, uma imagem obtida pela projeção ortogonal da superfície de interesse no plano do mapa. Tal projeção compensa distorções causadas por *tilt* da câmera e pelo relevo, embora alguma distorção residual possa permanecer, geralmente em regiões ocupadas por construções ou outros objetos. Modelos tridimensionais da superfície são necessários para a criação de ortofotos, obtidos através da técnica de SfM (Westoby et al., 2012; Nex; Remondino, 2014; Smith et al., 2016). A criação de ortomapas é o objetivo principal do sistema ODM, que integra módulos dedicados à SfM.

Tanto stitching quanto SfM necessitam de uma etapa preliminar, em que são estabelecidas correspondências entre imagens. Esse é um conceito

importante, que leva a cuidados especiais no momento da realização do voo e captura de imagens com o VANT.

2.1. Correspondências entre imagens

Correspondências entre imagens são um elemento essencial nos pipelines de fotogrametria, tanto na criação de panoramas como na produção de ortofotos. A Figura 1 ilustra o processo. Algoritmos conhecidos como detectores de pontos de interesse (Tuytelaars; Mikolajczyk, 2007) são empregados na identificação de pontos salientes nas imagens. A vizinhança desses pontos é caracterizada por meio de um descritor, que pode ser interpretado como uma assinatura das características visuais naquela localização. Esses descritores são então comparados em imagens diferentes na tentativa de estabelecer correspondências, como pode ser visto na Figura 1. Algoritmos robustos para *stitching* e SfM são capazes de lidar com algum nível de correspondências incorretas, mas um número elevado delas pode levar a falhas dos processos fotogramétricos.

O usuário deve então manter em mente, ao executar o voo, que as imagens devem apresentar um nível de sobreposição suficiente para que centenas de correspondências possam ser encontradas entre imagens vizinhas, o que possibilita robustez aos algoritmos de visão computacional empregados. Felizmente, aplicativos de *software* para planejamento de voo oferecem funcionalidades que permitem a manutenção de níveis estabelecidos de sobreposição durante o voo, como será visto a seguir, na Seção 3.2.



Figura 1. Correspondências entre imagens. (a) e (b) Duas imagens sucessivas obtidas por um VANT na Fazenda Canchim (São Carlos, SP). (c) Correspondências obtidas automaticamente, utilizando-se um detector de pontos ORB (Rublee et al., 2011). Note a existência de correspondências corretas e incorretas.

3. Captura de imagens com multirrotores

Os multirrotores atuais disponíveis comercialmente são de fácil utilização e não requerem treinamento específico além das orientações fornecidas pelos fabricantes. A seguir são apresentadas orientações gerais a usuários que desejem utilizar multirrotores na geração de imagens para produção de ortomapas.

3.1. Legislação

A legislação brasileira aplicável às operações de aeronaves não tripuladas tem evoluído bastante nos últimos anos e atualmente encontra-se em um nível de maturidade suficiente para que se tenha clareza quanto aos requisitos e condições necessários para o uso de VANTs.

Para realizar operações com aeronaves não tripuladas, é necessário conhecer e cumprir a legislação existente sobre o assunto. Um bom ponto de partida é a página temática sobre "Drones" existente no sítio da Agência Nacional de Aviação Civil (Anac)⁴. A Anac também disponibiliza a cartilha Orientações para Usuários de Drones⁵, que auxilia no entendimento sobre as regras de uso dos equipamentos em questão.

Outros órgãos brasileiros dispõem de regras sobre a operação de VANTs e, segundo publicação atualizada em 25 de julho de 2018, no portal da Anac⁶, esses órgãos são os seguintes:

Anac Agência Nacional de Aviação Civil,
 Anatel Agência Nacional de Telecomunicações,
 Decea Departamento de Controle do Espaço Aéreo e
 Receita Secretaria da Receita Federal do Brasil.

3.2. Planejamento da missão

O planejamento da missão é a determinação prévia do percurso a ser executado pelo VANT, incluindo as posições em que as imagens serão capturadas. Tal planejamento permite a automação, a replicabilidade e a estabilidade do processo de mapeamento (Eisenbeiss; Sauerbier, 2011).

⁴ Disponível em: <http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones>.

⁵ Disponível em: <http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones/orientacoes_para_usuarios.pdf>.

⁶ Disponível em: <http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones/regras-de-todos--os-orgaos-brasileiros-sobre-operacao-de-drones>.

No momento de redação desta nota técnica, diversos aplicativos gratuitos para planejamento se encontram disponíveis, sua maioria para dispositivos móveis como *tablets* e *smartphones* que devem ser utilizados em conjunto com as aeronaves. Exemplos incluem Pix4D Capture, DroneHarmony, Precision Flight e DroneDeploy, entre outros. Esses aplicativos permitem o planejamento prévio da missão, o envio do plano ao piloto automático embarcado no VANT e o acompanhamento da execução da missão por telemetria. Eles operam em sua maioria com aeronaves produzidas por dois dos principais fabricantes de VANTs atualmente: DJI⁷ e Parrot⁸. Outra alternativa para planejamento é o *software* de código aberto Ardupilot⁹, compatível com diversos *hardware* de controle, como Pixhawk¹⁰ e NAVIO2¹¹.

Cabe ao leitor que irá realizar o voo a escolha de um aplicativo de planejamento de missão compatível com sua aeronave. As orientações desta nota técnica podem ser facilmente seguidas em todos os aplicativos citados anteriormente. O mesmo deve valer para a quase totalidade dos aplicativos de planejamento de missão existentes. Como referência, as imagens apresentadas nesta nota foram produzidas com uma aeronave DJI Phantom 4 Pro. Esse VANT executou diversas missões, planejadas utilizando-se Pix4D Capture, DroneHarmony e Precision Flight.

Missões também podem ser planejadas com o auxílio de *software* GIS, como o ArcGIS ou o QGIS¹². Alguns aplicativos de planejamento de missão permitem a importação de arquivos *Keyhole Markup Language* (KML) e GeoJSON¹³, de modo que missões podem ser planejadas previamente com *software* GIS em um computador *desktop* e então armazenadas em arquivos que podem ser importados pelos aplicativos nos dispositivos móveis.

3.3. Configurações

Durante o planejamento da missão, alguns parâmetros precisam ser definidos pelo usuário que opera o voo. Tais parâmetros têm efeitos diretos sobre os produtos georreferenciados gerados.

⁷ DJI <https://www.dji.com>

⁸ Parrot <https://www.parrot.com>

⁹ Ardupilot <http://ardupilot.org>

¹⁰ Pixhwak <http://pixhawk.org>

¹¹ Emlid NAVIO2 <https://emlid.com.br/introducing-navio2

¹² QGIS é um GIS de código aberto <https://www.qgis.org>

¹³ GeoJSON <http://geojson.org>

3.3.1. Altura

A altura de voo é certamente um dos mais importantes parâmetros a ser definido pelo operador. Ela está diretamente ligada à GSD dos ortomapas gerados¹⁴. A altura também afeta o tempo necessário para a cobertura total da área, além de estar obviamente ligada a questões de segurança referentes a colisões.

Os aplicativos de planejamento de missão tomam apenas o ponto de decolagem como referência para a altura do voo, que é mantida constante em relação a esse ponto. Dessa forma deve-se estar atento e levar em consideração no planejamento a ocorrência de elevações do terreno e obstáculos presentes na região. Uma estratégia para diminuir a chance de problemas é realizar a decolagem do ponto mais alto do terreno quando possível.

A GSD é uma função definida pela altura do voo, pelas dimensões da imagem (em pixeis) e pelo tamanho do sensor (em centímetros). Os aplicativos de planejamento de voo oferecem como funcionalidade o cômputo automático do GSD em função da altura, uma vez identificada a câmera da aeronave. Existem também calculadoras disponíveis na Internet que realizam o cômputo da GSD. Considere um voo realizado a uma altura *h* com uma câmera com distância focal *f* que porta um sensor com dimensões *w*sensor × *h*sensor. Assumindo que as imagens geradas tem resolução de *w*pixeis × *h*pixeis, a GSD é definida como :

$$GSD = \max \left(GSD_{w}, GSD_{h} \right) \tag{1}$$

em que

$$GSD_{h} = \frac{h \cdot h_{\text{sensor}}}{f \cdot h_{\text{pixeis}}},$$
(2)

$$GSD_{w} = \frac{h \cdot w_{\text{sensor}}}{f \cdot w_{\text{pixeis}}}$$
(3)

Assumindo todas as medidas em centímetros, o resultado da Equação 1 será a GSD em cm/pixel.

3.3.2. Sobreposição

Considerando a necessidade do cômputo de correspondências, apresentada na Seção 2.1, voos para geração de panoramas ou ortofotos utilizam, via de regra, uma sobreposição de 70% a 90% entre imagens. A sobreposição é um parâmetro comum nos aplicativos de planejamento de voo. A partir da taxa de

¹⁴ A GSD é a distância correspondente ao espaço entre o centro de dois pixeis vizinhos, comumente denida em cm/pixel.

sobreposição, da altura e da área a ser coberta, o *software* de planejamento determina automaticamente um percurso para o VANT.

Alterações na velocidade do vento e imprecisões do sistema de posicionamento GNSS levam a imprecisões no posicionamento do VANT, alterando a sobreposição entre imagens. Esse é outro motivo para o uso de grandes sobreposições entre 70% e 90%: fornecer uma margem de segurança para o cômputo de correspondências (Nex; Remondino, 2014).

3.3.3. Modo parada versus modo cruzeiro

O planejamento pode fazer um multirrotor parar no ar no momento da captura de cada imagem (modo parada – *stop mode*) ou realizar a captura em movimento (modo cruzeiro – *cruising mode*). Segundo Eisenbeiss e Sauerbier (2011), a captura de imagens em modo de parada pode produzir instabilidade na manutenção da direção de voo e na sobreposição de imagens em comparação ao modo de cruzeiro, além de resultar em voos mais longos e, consequentemente, com maior consumo de bateria. Comumente, o tempo necessário para um mapeamento no modo parada é proibitivo ou pouco prático. No entanto, nos casos em que não seja possível evitar condições de iluminação insuficientes (em razão do horário ou da presença de nuvens), o modo parada permite ajustes da câmera com tempos de exposição maiores para compensar a falta de luz, buscando com a parada evitar borramentos nas imagens (*motion blur*).

3.3.4. Configurações de câmera

Parâmetros de câmera como abertura, tempo de exposição e balanço de branco (*white-balance*) devem ser determinados pelo usuário conforme a disponibilidade de luz ambiente, de maneira similar ao que é usualmente esperado em fotografia. Algoritmos de SfM, empregados no pipeline de fotogrametria, beneficiam-se do uso de foco fixo, que deve ser preferido.

VANTs usualmente têm suas câmeras instaladas em *gimbals*, que permitem que a câmera seja estabilizada em certo ângulo. Em mapeamento, utilizase normalmente um ângulo de 90[°], de modo que o sensor da câmera fique, idealmente, paralelo ao solo.

3.4. GCPs

Pontos de controle no solo (*Ground Control Points* (GCPs)) são pontos com coordenadas geoespaciais conhecidas, possibilitando o georreferenciamento preciso do trabalho fotogramétrico (Granshaw, 2016).

Esses pontos podem ser localizados a posteriori, com o uso de *software* GIS. Alternativamente, eles podem ser marcados no local, por exemplo, com

o uso de um sistema GNSS RTK ou outro sistema que permita leituras de posicionamento corrigidas. No local do voo, é importante que o operador identifique pontos que podem ser facilmente discerníveis nas imagens do VANT, considerando-se a GSD (resolução) obtida. O operador pode utilizar elementos fixos do ambiente, como rochas, estacas e construções, ou o uso de marcadores devidamente posicionados e geolocalizados. Exemplos do uso marcadores como GCPs podem ser vistos nos trabalhos de Westoby et al. (2012) e Smith et al. (2016).

3.5. Checklist

No Apêndice 1 desta nota se encontra uma lista de conferência com itens que o usuário responsável pelo voo deveria considerar em três momentos diferentes: antes da saída para o sítio do voo, imediatamente antes do voo e imediatamente após o voo.

4. Utilização do OpenDroneMap

ODM é um sistema de código aberto para fotogrametria aérea desenvolvido por Piero Toffanin e Dakota Benjamin, com contribuições de diversos outros desenvolvedores através da plataforma GitHub. O sistema integra *software* original com componentes de outros projetos de código aberto, como o sistema OpenSfM para *structure from motion* e o *software* de visão estéreo múltipla (SMVS, sigla em ingês) para a construção de modelos tridimensionais densos, empregado na síntese dos modelos de superfície (*Digital Surface Models* (DSMs)) necessários à geração dos ortomapas (Piatti; Lerma, 2014). O número de componentes e seus requisitos tornam a instalação do sistema complexa, o que prejudica sobretudo usuários sem grande experiência com desenvolvimento em sistemas Linux. Em razão disso, os desenvolvedores fornecem e recomendam o uso de um *container* Docker.

Containers são uma alternativa de virtualização que opera no nível do sistema operacional, criando ambientes virtuais isolados que se comportam como computadores reais do ponto de vista de programas neles executados. Em outras palavras, *containers* podem ser vistos uma alternativa computacionalmente mais leve às máquinas virtuais. No caso do ODM, o *container* Docker disponibilizado pelos desenvolvedores fornece todo o *software* do sistema e suas dependências configurados e prontos para operação, de forma que a execução se dá de maneira isolada, porém com um custo computacional extra inferior ao de uma máquina virtual. O container oferece ainda outras vantagens, como o dimensionamento de recursos computacionais (processadores e memória) reservados ao ODM e a possibilidade de seu uso em computadores operados por Microsoft Windows ou Apple macOS.

4.1. Instalação

Atendidos os requisitos mínimos de *hardware*, a instalação do ODM é realizada automaticamente via Docker, conforme detalhado a seguir.

4.1.1. Requisitos de hardware

A documentação do ODM informa a necessidade um mínimo de 4 GB de memória RAM, sendo 16 GB ou mais recomendável. As necessidades de memória e processamento crescem conforme o número de imagens e sua resolução. ODM opera paralelizado e irá se beneficiar dos vários núcleos de processamento disponíveis para o *container*.

O exemplo utilizado nesta nota consiste em uma área de cerca de 6 hectares na Fazenda Canchim em São Carlos, SP. Um DJI Phantom 4 Pro foi utilizado para capturar 715 imagens com 4864 × 3648 pixeis de resolução. O ODM foi executado em uma máquina virtual mantida na nuvem privada da Embrapa Informática Agropecuária contendo 252 GB de memória e 64 núcleos de processamento. O processamento levou 7 horas para um GSM de 1 cm/pixel. Essas configurações estão dimensionadas para a resolução e escala pretendidas nos projetos de pesquisa desenvolvidos pelos autores. Outros usuários podem utilizar o ODM em configurações de hardware mais modestas. Aqueles que necessitam de um poder de processamento similar podem fazer uso de máquinas virtuais locáveis em serviços de computação em nuvem como Amazon AWS ou Microsoft Azure, entre outros.

4.1.2. Instalação do Docker

A instalação do ODM consiste essencialmente na instalação do Docker, um sistema de código aberto para disponibilização de aplicações na forma de *containers*. Caberá ao próprio Docker o download e a instalação do *container* ODM no computador do usuário.

Em distribuições do sistema Linux baseadas em Debian, como o Ubuntu, o Docker pode ser facilmente instalado com o Comando 1 executado em um terminal do sistema. Consulte a documentação oficial do Docker¹⁵, se necessário, para mais opções e informações, incluindo instruções específicas para sistemas Windows e macOS.

\$ sudo apt install docker

Comando 1: Instalação do Docker em sistemas Linux baseados em Debian, como o Ubuntu Linux.

¹⁵ Docker <https://docs.docker.com/install>

4.2. Execução

Considere um diretório tutorial, disponível no diretório pessoal do usuário, /home/odm. Neste exemplo, as imagens obtidas pelo VANT encontram-se disponíveis em /home/odm/tutorial/images. O ODM pode ser executado com o Comando 2.

\$ docker run -ti --rm -v /home/odm/tutorial:/datasets/code opendronemap/ opendronemap --project-path /datasets

Comando 2: Execução do ODM com Docker.

Comando 2 iniciará um processo longo que irá, ao final, disponibilizar uma série de produtos digitais no diretório tutorial, um deles sendo um arquivo GeoTIFF contendo o ortomapa produzido. O comando envolve opções passadas ao Docker e ao ODM que serão detalhadas a seguir.

A primeira execução ODM via Docker será particularmente longa e irá necessitar de uma conexão à Internet. A primeira execução é responsável pelo download da imagem Docker do ODM, um pacote de *software* que contém tudo que é necessário à execução da aplicação: o código, bibliotecas de *software*, variáveis de ambiente e arquivos de configuração. A partir da imagem, o Docker pode produzir o *container*, uma instância para execução da aplicação. Uma fez que o Docker tenha feito o download e o registro da imagem no computador do usuário, novas execuções (novos *containers*) podem ser gerados localmente a partir da imagem obtida na primeira execução.

A imagem do ODM é chamada opendronemap/opendronemap. Em Comando 2, comandos e opções que aparecem antes do nome da imagem se referem ao Docker e as opções após são passadas diretamente ao ODM. Assim, o Docker recebe os seguintes comandos:

run Executa uma aplicação em um container, a partir da imagem escolhida.

-ti Inicia um console virtual de forma que a saída produzida pelo ODM seja visível no terminal.

- - rm *Clean-up*, remove o sistema de arquivos do container, permitindo que a próxima execução inicie em um estado limpo a partir da imagem.

-v /home/odm/tutorial:/datasets/code Este é o comando de compartilhamento de volume, permitindo a troca de arquivos com o container. Aqui o diretório tutorial está sendo compartilhado com o container com o nome /datasets/code, o diretório no qual o ODM irá buscar pelas imagens e depositar os arquivos gerados.



Figura 2. Ortomapa produzido, armazenado no arquivo GeoTIFF odm_georeferenced_model.ply.

O leitor interessado em mais opções na execução de containers pode consultar a referência do comando run na documentação oficial do Docker¹⁶. Há configurações especiais para restrição no uso de recursos do computador hospedeiro, como CPU e memória, entre outras opções.

No exemplo, só um comando foi dirigido ao ODM:

--project-path /datasets informa o caminho ao diretório do projeto, em que o ODM irá realizar a leitura e escrita de arquivos durante sua execução.

4.3. Resultados produzidos

O principal produto digital gerado pela execução do ODM é um ortomapa (Figura 2) na forma de um arquivo GeoTIFF, que pode ser visualizado em um sistema GIS, como o QGIS, na forma de uma camada do tipo raster. Outro resultado é a nuvem de pontos 3-D georreferenciada, utilizada no processo de ortorretificação. Ela estará disponível como um arquivo Polygon File Format (PLY) e pode ser visualizada e manipulada por meio de aplicativos como o Meshlab¹⁷ (Figura 3). Obtidas por técnicas de visão estéreo múltipla, essas nuvens podem ser utilizadas como alternativa de baixo custo a sensores de varredura laser, como LiDAR. A partir dessa nuvem de pontos, ODM produz uma malha poligonal (mesh), que também pode ser visualizada com aplicativos de manipulação 3-D. A Figura 4 ilustra a malha gerada, como exibida pelo *software* Meshlab.

¹⁶ Docker run reference <https://docs.docker.com/engine/reference/run>

Como resultado da execução do Comando <u>2</u>, os arquivos mencionados estarão disponíveis no diretório tutorial, nas seguintes localizações:



O diretório odm_texturing contém os arquivos com dados de textura necessários à exibição texturizada da malha em odm_textured_model_ geo.obj.



(a)



Figura 3. Nuvem de pontos 3-D (*point cloud*), disponibilizada no arquivo odm_georeferenced_model.ply. (a) Nuvem como visualizada no aplicativo Meshlab. (b) Detalhe – note que a nuvem consiste apenas em pontos coloridos, não há ainda informação de superfície.





Figura 4. Malha tridimensional georreferenciada armazenada no arquivo odm_textured_model_geo.obj. (a) Malha texturizada, como exibida pelo aplicativo Meshlab. (b) e (c) Detalhe da malha – é possível ver a estrutura triangular da malha e a textura mapeada.

4.4. Outras opções e configurações do ODM

O Comando 2 é suficiente para a produção de ortomapas e modelos tridimensionais, mas há diversas opções e configurações disponíveis para o ODM que permitem a geração de outros produtos (mapas de superfície, por exemplo) ou alteração no processo de execução e nos produtos gerados. Para uma lista completa de opções, o usuário pode utilizar o Comando <u>3</u>.

\$ docker run -ti --rm opendronemap/opendronemap --help

Comando 3: Descrição das opções disponíveis no ODM.

Por exemplo, podemos utilizar a opção --version para verificar a versão da imagem do ODM (Comando <u>4</u>). Nesta nota, está sendo utilizada a versão 0.4, lançada em setembro de 2018.

\$ docker run -ti --rm opendronemap/opendronemap --version

OpenDroneMap 0.4.0

Comando 4: Exibição da versão do ODM em uso.

A seguir, serão apresentadas algumas opções. Para um conjunto completo

de possibilidades, o leitor deve se referir à documentação da ODM além do comando - - help.

4.4.1. Geração de modelos de superfície e terreno

Modelos de superfície, Digital Surface Models (DSMs), e modelos de terreno, Digital Terrain Models (DTMs), podem ser gerados com as opções - - dsm e - - dtm respectivamente. ODM irá produzir mapas em GeoTIFF disponíveis no diretório odm_dem:

```
tutorial/
|-- odm_dem
|-- odm_dsm.tif
|-- odm_dtm.tif
```

4.4.2. Resolução do ortomapa

A opção --orthophoto-resolution permite definir as resolução do ortomapa. Na versão 0.4 do ODM, o argumento esperado é interpretado em **centímetros por pixel (cm/pixel)**. O valor padrão utilizado é de 5 cm/pixel, adotado caso a opção não seja utilizada. Executando-se o ODM com a opção -orthophoto-resolution 2.0, será produzido um ortomapa com 2 cm/ pixel. Porém, o usuário deve assegurar que a GSD das imagens produzidas pelo VANT é suficiente para a resolução pretendida no ortomapa. Caso contrário, qualquer aumento de resolução será mero fruto de interpolação.

4.4.3. Overviews

Para facilitar a visualização rápida de ortomapas em aplicativos GIS são utilizados overviews, versões do mapa em resoluções menores que podem ser exploradas por aplicativos como o QGIS para uma navegação mais responsiva. O arquivo GeoTIFF pode manter a versão original do mapa com sua resolução máxima e um conjunto de *overviews*. O ODM pode produzir GeoTIFFs com overviews com o uso da opção --build-overviews.

4.5. Interrupção do ODM

Caso o usuário deseje interromper a execução por qualquer motivo, ele pode utilizar o comando stop do Docker em outro terminal. Primeiramente, é necessário listar os *containers* em execução com o comando ps (Comando 5).

\$ docker ps CONTAINER ID IMAGE COMMAND 0f86477b893e opendronemap/opendronemap "python /code/r..." CREATED NAMES 3 minutes ago nostalgic_spence

Comando 5: Lista os containers em execução.

O container em execução possui um identificador, container ID, e também um nome, um mnemônico mais amigável ao usuário que pode ser utilizado como alternativa ao identificador. No exemplo em Comando 5, o ODM está sendo executado no container 0f86477b893e, apelidado automaticamente pelo Docker como nostalgic_spence. Podemos interromper a execução com o comando stop (Comando <u>6</u>).

\$ docker stop nostalgic_spence

Comando 6: Interrupção de um container em execução.

5. Algoritmos empregados pelo OpenDroneMap

Esta seção identifica os algoritmos utilizados pelo *pipeline* de fotogrametria na atual versão do OpenDroneMap (versão 0.4) e se destina sobretudo aos usuários interessados nos aspectos de visão computacional. Leitores interessados apenas no uso do ODM para a criação de seus produtos digitais georreferenciados podem seguramente ignorar esta seção.

O *pipeline* de fotogrametria para sensoriamento remoto por imagem é bem estabelecido (Westoby et al., 2012; Nex; Remondino, 2014; Smith et al., 2016) e consiste essencialmente:

- 1. na identificação de correspondências entre imagens;
- no uso de structure from motion para determinação da posição das câmeras e de um modelo tridimensional esparso da cena – na forma de uma nuvem de pontos 3-D;
- no uso de visão estéreo múltipla para a obtenção de um modelo tridimensional denso da cena – novamente na forma de uma nuvem de pontos;
- na obtenção de uma malha poligonal texturizada para representar a superfície da cena;
- 5. finalmente, na projeção da malha texturizada em um mapa ortorretificado.

As duas primeiras etapas são realizadas pelo sistema de código aberto OpenSfM¹⁸. OpenSfM identifica pontos de interesse utilizando o detector baseado em Hessiana proposto por Mikolajczyk e Schmid (2002) e os descreve utilizando descritores HoG (Zhu et al., 2006). As correspondências são estabelecidas pelo algoritmo FLANN (Muja; Lowe, 2009). OpenSfM determina a localização de cada câmera e reconstrução 3-D do modelo esparso pelo método de resectioning (Scaramuzza; Fraundorfer, 2011) e realiza o bundle *adjustment*, o processo de otimização conjunta que simultaneamente refina os parâmetros da câmera (sua posição) e os parâmetros da estrutura (as coordenadas tridimensionais dos pontos observados) (Triggs et al., 2000).

Com a localização das câmeras conhecida, um modelo tridimensional denso é gerado pelo método de visão estéreo múltipla proposto por Langguth et al. (2016). A nuvem de pontos tridimensional gerada é então utilizada na geração de uma malha triangular pelo método proposto por Kazhdan e Hoppe (2013). Finalmente, a malha pode ser projetada ortogonalmente no datum, gerando o ortomapa (Piatti; Lerma, 2014).

6. Conclusões

O mapeamento de alta resolução por sensoreamento remoto tornou-se possível a uma vasta gama de usuários graças a dois avanços recentes: a popularização de VANTs de baixo custo, mais especificamente multirrotores e aeronaves do tipo asa fixa, e a maturação de técnicas de visão computacional para fotogrametria. OpenDroneMap é um exemplo desse amadurecimento.

Com a popularização dessas ferramentas entre grupos de pesquisa, extensionistas, consultores, *AgriTechs* e produtores agrícolas, pode-se esperar uma série de inovações em agricultura de precisão, além de novos produtos e serviços para o campo, baseados na possibilidade de mapeamento

com alta resolução espacial e temporal a um custo acessível.

¹⁸ OpenSfM <https://github.com/mapillary/OpenSfM>

Referências

EISENBEISS, H.; SAUERBIER, M. Investigation of UAV systems and flight modes for photogrammetric applications. **The Photogrammetric Record**, v. 26, n. 136, p. 400–421, Dec. 2011. DOI: 10.1111/j.1477-9730.2011.00657.x.

GRANSHAW, S. I. Photogrammetric terminology: third edition. **The Photogrammetric Record**, v. 31, n. 154, p. 210–252, June 2016. DOI: 10.1111/phor.12146.

HARTLEY, R.; ZISSERMAN, A. Multiple view geometry in computer vision. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

JORGE, L. A. de C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (vant) em agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. De C. et al.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa Instrumentação, 2014. p. 109–134.

KAZHDAN, M.; HOPPE, H. Screened Poisson surface reconstruction. **ACM Transactions on Graphics**, v. 32, n. 3, p. 29:1-29:13, June 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.1145/2487228.2487237.

LANGGUTH, F.; SUNKAVALLI, K.; HADAP, S.; GOESELE, M. Shadingaware multi-view stereo. In: EUROPEAN CONFERENCE ON COMPUTER VISION, 14., 2016, Amsterdam. **Computer vision**: ECCV 2016: proceedings. Switzerland: Springer, 2016. pt III. p. 469–485. (Lecture notes in computer science, 9907).

MIKOLAJCZYK, K.; SCHMID, C. An affine invariant interest point detector. In: EUROPEAN CONFERENCE ON COMPUTER VISION, 7., 2002, Copenhagen. **Computer vision - ECCV 2012**: proceedings. Berling: Springer, 2002. pt. I. p. 128–142. (Lecture notes in computer science, 2350).

MUJA, M.; LOWE, D. G. Fast approximate nearest neighbors with automatic algorithm configuration. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER VISION THEORY AND APPLICATIONS, 14., 2009, Lisboa. Proceedings... Portugal: INSTICC, 2009. v. 1. p. 331-340. DOI: 10.5220/0001787803310340.

NEX, F.; REMONDINO, F. UAV for 3D mapping applications: a review. **Applied Geomatics**, v. 6, n. 1, p. 1–15, Mar. 2014. DOI: https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x.

PIATTI, E. J.; LERMA, J. L. Generation of true ortho-images based on virtual worlds: learning aspects. **The Photogrammetric Record**, United Kingdom, v. 29, n. 145, p. 49–67, Mar. 2014. DOI: 10.1111/phor.12053.

RUBLEE, E.; RABAUD, V.; KONOLIGE, K.; BRADSKI, G. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER VISION, 2011, Barcelona. Proceedings... Piscataway: IEEE, 2011. p. 2564–2571. DOI: 10.1109/ICCV.2011.6126544.

SCARAMUZZA, D.; FRAUNDORFER, F. Visual odometry: part. I: the first 30 years and fundamentals: tutorial. **IEEE Robotics & Automation Magazine**, New York, v. 18, n. 4, p. 80–92, Dec. 2011. DOI: 10.1109/MRA.2011.943233.

SMITH, M. W.; CARRIVICK, J. L.; QUINCEY, D. J. Structure from motion photogrammetry in physical geography. **Progress in Physical Geography**, London, v. 40, n. 2, p. 247–275, 2016. DOI: 10.1177/0309133315615805.

TRIGGS, B.; MCLAUCHLAN, P. F.; HARTLEY, R. I.; FITZGIBBON, A. W. Bundle adjustment - a modern synthesis. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON VISION ALGORITHMS, 1999, Greece. **Vision algorithms**: theory and practice: proceedings. Berlin: Springer, 2000. p. 298–372. (Lecture notes in computer science, 1883).

TUYTELAARS, T.; MIKOLAJCZYK, K. Local invariant feature detectors: a survey. **Foundations and Trends® in Computer Graphics and Vision**, Boston, v. 3, n. 3, p. 177–280, 2007. DOI: 10.1561/0600000017.

WESTOBY, M. J.; BRASINGTON, J.; GLASSER, N. F.; HAMBREY, M. J.; REYNOLDS, J. M. 'Structure-from-Motion'photogrammetry: a low-cost, effective tool for geoscience applications. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 179, p. 300–314, Dec. 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021.

ZHU, Q.; YEH, M. C.; CHENG, K. T.; AVIDAN, S. Fast human detection using a cascade of histograms of oriented gradients. In: IEEE COMPUTER SOCIETY CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION, 2006, New York. **Proceedings**... Los Alamitos: IEEE, 2006. v. 2, 8 p. DOI: 10.1109/CVPR.2006.119.

Apêndice 1 - Lista de checagem

Antes de sair para o local do voo

- Sempre tenha em mãos a autorização para realização do voo obtida com a devida antecedência junto ao orgão competente, conforme previsto na legislação aplicável.
- Confira a previsão do tempo.
- Atualize o software da aeronave (*firmware*) e dos aplicativo utilizados no voo.
- Tenha o voo já planejado, sempre respeitando as restrições previstas na legislação aplicável, como distância mínima de aeródromos e altura permitida para o voo.
- Separe a documentação necessária, como o Certificado de Homologação da Anatel.
- Carregue a bateria, o controle e, se necessário, *tablets* ou *smartphones* que serão utilizados.
- Formate e verifique os cartões de memória que serão utilizados.

Antes do voo

- Sempre verifique se as condições previstas na legislação aplicável estão sendo respeitadas para a realização do voo, como a distância mínima de pessoas que estejam presentes no local.
- Verifique se todas as proteções de transporte foram removidas da aeronave, assim como protetores de lentes e da câmera.
- Insira o cartão de memória e capture algumas imagens para testar o sistema, verificando se as fotografias são corretamente armazenadas no cartão. Aproveite para configurar parâmetros de exposição sob a luz ambiente.
- Certifique-se de que todas as partes removíveis da aeronave, como propulsores, baterias e câmeras, estão fixadas de forma correta e segura.
- Examine a aeronave em busca de avarias.
- Confira a existência de obstáculos frente à altura planejada para o voo que tem em regra como referência o ponto de decolagem.
- Cheque se não há outras aeronaves, como aviões agrícolas ou

VANTs, em operação na mesma área no período em que o voo será realizado.

- Configure o *homepoint*, a localização para a qual o VANT deve retornar em caso de emergência.
- Faça um curto e rápido voo manual para testar a integridade e funcionamento do sistema.

Após o voo

 Confira as imagens geradas. Aplicativos de controle de missão podem fazer a visualização das imagens. As imagens podem também ser carregadas em um aplicativo GIS para conferência. Por exemplo, o complemento (*plug-in*) *ImportPhotos* para o QGIS utiliza a localização contida nos metadados Exif de cada imagem para localizá-la no mapa.

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

Embrapa Informática Agropecuária

Av. Dr. André Tosello, 209 Cidade Universitária Campinas, SP, Brasil CEP. 13083-886 Fone: (19) 3211-5700

www.embrapa.br www.embrapa.br/fale-conosco/sac

> 1ª edição Versão digital (2018)



MINISTÉRIO DA Agricultura, pecuária E abastecimento



Comitê Local de Publicações da Unidade Responsável

> Presidente Stanley R. de M. Oliveira

Secretária-Executiva Carla Cristiane Osawa

Membros

Adriana Farah Gonzalez, Carla Geovana do Nascimento Macário, Flávia B. Fiorini, Jayme Barbedo, Kleber X. Sampaio de Souza, Luiz Antonio Falaguasta Barbosa, Maria Goretti Praxedes, Paula Regina K. Falcão, Ricardo Augusto Dante e Sónia Ternes

> Supervisão editorial Kleber X. Sampaio de Souza

> > Revisão de texto Edsel Rodrigues Teles

Normalização bibliográfica Maria Goretti Gurgel Praxedes

Projeto gráfico da coleção Carlos Eduardo Felice Barbeiro

> Editoração eletrônica Flávia B. Fiorini

Foto da capa Thiago Teixeira Santos CGPE 14960