

VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS PARA MONITORAMENTO DE INVASÕES EM PROPRIEDADES E FAIXAS DE SERVIDÃO

Daniel de Almeida Silva Gonçalves

Tecnólogo em Hidráulica e Tecnólogo em Edificações pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo, Engenheiro Civil pela Universidade Mogi das Cruzes, Pós-graduado em Geoprocessamento pelo Senac de São Paulo e MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Instituto de Administração - FIA. Desde 2008 é Gestor do Cadastro Técnico da Produção da Unidade de Negócio de Produção de Água da Metropolitana da SABESP e, desde 2015, professor em Engenharia Civil na Universidade Mogi das Cruzes - UMC.

Victoria Christina Betio de Almeida

Técnica em Edificações pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP, Engenheira Civil pela Universidade de Mogi das Cruzes - UMC, MBA em Gestão de Projetos pela Universidade de São Paulo - USP.

Adcleison Sousa Alves

Engenheiro Civil pela Universidade de Mogi das Cruzes - UMC.

Endereço: Rua Carlos Mazer, 416 Apto 33 Bl 01 - Itaquera - São Paulo - SP - CEP 08290-700 - Brasil -
Tel: +55 (11) 2524-5197 ou +55 (11) 99855-5377- e-mail: dsgoncalves@sabesp.com.br

RESUMO

Uma das dificuldades de empresas de saneamento, não apenas pelo alto custo, é fiscalizar áreas chamadas de faixa de servidão (FS), cujo objetivo é trazer segurança ao entorno numa eventual falha ou acidente, bem como, dar condições de entrada de equipamentos onde passam seus ativos lineares, muitos deles enterrados, aos quais, sofrem com a ocupação irregular de pessoas que desconhecem os riscos e as leis. Fazendo-se necessários levantamentos topográficos na FS envolvendo vários funcionários e equipamentos de alto custo, muitas vezes em locais de risco social, identificando construções irregulares e gerando documentação cadastral pertinente. Uma tecnologia de destaque na área de vigilância é o veículo aéreo não tripulado (VANT), que produz vídeos e fotos de alta resolução, orto e georeferenciadas, sem a necessidade de entrada nas FS. Assim, este artigo teve como objetivo analisar a viabilidade desta tecnologia na gestão patrimonial num trecho da faixa da Adutora do Rio Claro, gerenciada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), identificando irregularidades/invasões. Após a realização do voo e das fotos, foi comparado com levantamento tradicional com estação total e GNSS, concluindo-se que o produto gerado pelo VANT trouxe significativa segurança e rapidez para essa atividade.

PALAVRAS-CHAVE: VANT, Gestão Patrimonial, Faixa de Servidão.

INTRODUÇÃO

Com o crescimento e desenvolvimento das cidades, tornou-se necessário ampliar o sistema de abastecimento de energia, gás, água, esgoto e demais suprimentos de suma importância no dia a dia das pessoas. Para alocação desses ativos lineares, as concessionárias tiveram que criar passagens de oleodutos, gasodutos, adutoras de água e linhas de transmissão de energia elétrica (LT), demandando espaço em todo o território, tanto para sua construção quanto para manutenção e segurança da população residente no entorno.

Essas passagens são denominadas Faixas de Segurança ou Faixas de Servidão (FS), que, segundo a Agência Nacional de Petróleo (2011, p.7), em seu regulamento técnico de dutos terrestres, é a “área de terreno de largura definida, ao longo da diretriz dos dutos, legalmente destinada à construção, montagem, operação, inspeção e manutenção dos dutos”, cujo centro é o eixo da construção. Entre suas várias definições, pode-se conceituar a FS conforme a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), por meio da Norma Técnica SABESP (NTS) 132 (2016, p.3), como “a área de terreno, não pertencente à via pública, de largura definida em projeto, para conter uma ou mais tubulações no seu solo ou subsolo e que, por este motivo, deve ter utilização restrita por parte de seu proprietário” (Figura 1).



Figura 1: Faixa de servidão de uma adutora

De acordo com Cucco (2011), a largura de uma FS é definida durante a fase de projeto por parâmetros técnicos e de segurança conforme a especificação de cada uso. O intuito é delimitar uma área onde possam existir danos ou acidentes, de forma a garantir a segurança no entorno e a possibilidade de entrada de equipamentos dentro da faixa de servidão. Esta área requer delimitações para o uso dentro o imposto pela concessionária, ou seja, essas regiões são sujeitas a uso restrito, mantidas livres de construções. A Figura 2 exemplifica a largura de uma faixa de LT.



Figura 2: Ilustração de uma Faixa de Servidão de duto subterrâneo

As empresas concessionárias detectam com frequência invasões nas FS por parte da população. O rápido crescimento das áreas urbanas, associado a fatores como desconhecimento da população e aspectos como necessidade de habitação relacionados à vulnerabilidade social potencializam a ocorrência dessa infração (SOUTO, 2017).

De acordo com Campos et. al. (2003), as invasões vão desde barracos e favelas a extensões de muros, edículas ou piscinas, variando conforme a classe social, existindo inclusive atividade comercial.

As empresas concessionárias se preocupam com ocupações irregulares nas FS, pois geram problemas à manutenção, operação e preservação do patrimônio, além de diminuir a segurança das pessoas que ficam expostas a choques, quedas de torres e rompimentos das adutoras com altas pressões (SOUTO, 2017).

O monitoramento e a fiscalização dessas áreas muitas vezes não atingem os efeitos esperados, pois existem dificuldades em função da extensão dos trechos e, a princípio, as concessionárias devem cadastrar os invasores através de uma equipe técnica de topografia para confirmar a infração, demandando tempo e trazendo riscos para os funcionários (CUCCO, 2011).

No procedimento de identificação das edificações presentes nas FS é necessário fazer o levantamento topográfico para a demarcação da área invadida e, para isso, utilizam-se equipamentos como estação total e receptores de sistema global de navegação (GNSS), equipamentos com alto valor de mercado (Figura 3).



Figura 3: Levantamento topográfico realizado no município de Piracicaba – SP

Segundo Resende e Andrade (2011), em locais onde há uma maior desigualdade social, é ampliada a frustração com pobreza, desemprego e instabilidade social, portanto tendo, conseqüentemente, um maior índice de criminalidade, o que torna essas regiões locais com alto risco para estes levantamentos. Sendo assim, faz-se necessário, muitas vezes, contratar escolta policial e uma equipe em maior número e mais densa com o intuito de agilizar o processo e evitar conflitos com os residentes em áreas mais carentes.

A remoção dos infratores após muito tempo de invasão pode gerar processos longos de reintegração de posse, pois há casos em que precisam do aval de um juiz que avalie o caso e emita o mandado, favorecendo ou não a empresa concessionária. Esse procedimento tem altos custos, visto que a remoção tardia das construções gera gastos com possíveis indenizações, com maquinário e mão de obra.

Tendo em vista os problemas expostos acima no monitoramento de FS, faz-se necessário buscar novas tecnologias que diminuam os custos dessa atividade e tragam segurança e rapidez na determinação de possíveis invasões. Uma tecnologia que vem se destacando é a utilização dos veículos aéreos não tripulados (VANT), que permitem a geração de vídeos e imagens em alta resolução, orto e georeferenciadas, sem a necessidade de levantamento topográfico tradicional com estação total e GNSS.

Segundo DECEA (2018), a expressão VANT é oriunda do termo em inglês “*Unmanned Aerial Vehicle*” – UAV. Outras expressões podem ser encontradas na literatura, como *Remotely-Piloted Aircraft* - RPA (Aeronave Remotamente Pilotada). No Brasil, também é amplamente conhecido como “drone” (Figura 4).



Figura 4: Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT.

A definição de VANT tem sido atualizada constantemente pelas agências reguladoras. Segundo a Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA) 100-40 (2018, p.12) do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), entende-se VANT como “subcategoria de aeronaves não tripuladas, pilotada a partir de uma estação de pilotagem remota e utilizada para qualquer outro fim que não seja o recreativo e que seja capaz de interagir com o Controle de Tráfego Aéreo e outras aeronaves em tempo real”. Já a Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC (2017, p.4) – compreende VANT como “[...] aeronave não tripulada pilotada a partir de uma estação de pilotagem remota com finalidade diversa de recreação”.

Existem diversos relatos históricos sobre o uso de VANT. O primeiro sobre fotos aéreas ocorreu em 1890, quando Arthur Batut publicou a técnica “fotografia aérea por pipas”, fazendo uso de uma câmera fotográfica acoplada a uma pipa, obtendo as primeiras aerofotografias. Em 1906, George R. Lawrence, um dos adeptos desta técnica, utilizou um conjunto de 17 pipas para registrar os escombros da cidade de São Francisco nos Estados Unidos (EUA) após o terremoto ocorrido em 18 de abril de 1906 (LONGHITANO, 2010).

O final do século XX foi considerada a época moderna dos VANT. Nesse período, designers dos EUA e Israel começaram a experimentar veículos menores, mais lentos e com câmeras pequenas que podiam enviar fotos para o operador em tempo real (NASA, 2006).

Segundo Alves Júnior (2015), o primeiro VANT brasileiro foi desenvolvido pela extinta Companhia Brasileira de Tratores (CBT) e nomeado de BQM-1BR (Figura 5). Fabricado no ano de 1982, movido a jato e podendo atingir uma velocidade de 560 km/h, pesava cerca 92 kg e possuía uma envergadura de 3,18 m. Atualmente, o único exemplar existente está exposto no Museu Asas de um Sonho da LATAM Airlines Brasil, no município de São Carlos, situado no Estado de São Paulo.



Figura 5: Primeiro VANT Brasileiro CBT BQM-1RB

A ANAC aprovou em 2017 a Resolução nº 419 que define os requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil, sendo esta complementar às normas de operação de drones definidas pelo DECEA, ICA 100-40/2018, que orienta o acesso ao espaço aéreo brasileiro por aeronaves não tripuladas, e pela ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) para homologação do VANT.

Para realização de aerolevantamentos por empresas é necessário cadastro no Ministério da Defesa nos termos da Lei nº 1.177, de 21 de junho de 1971, Art. 1º e 6º:

Art. 1º A execução de aerolevantamentos no território nacional é da competência de organizações especializadas do Governo Federal.

Parágrafo único. Podem, também, executar aerolevantamentos outras organizações especializadas - de - governo estaduais e privadas - na forma estabelecida neste Decreto-lei e no seu Regulamento.

[...] Art. 6º As organizações a que se refere o parágrafo único do artigo 1º poderão ser autorizadas a executar aerolevantamentos desde que estejam inscritas no Estado-Maior das Forças Armadas em uma das seguintes categorias:

- a) executantes de todas as fases do aerolevantamento;
- b) executantes apenas de operações aéreas e/ou espaciais;
- c) executantes da interpretação ou de tradução dos dados obtidos em operações aéreas e/ou espaciais por outras organizações.

Conforme Alves Júnior (2017), atualmente existem vários modelos de VANT categorizados em relação ao tamanho, peso, material empregado na construção, entre outros aspectos. Apesar da diversidade, existem cinco categorias que se destacam:

- **Asa-Rotativa** - também conhecidos como multirotores, são capazes de pousar no ar, decolar e aterrissar verticalmente, além de possuírem capacidade para realização de manobras;
- **Asa-Fixa** - necessitam de uma pista de voo ou catapulta de lançamento.
- **Híbridos** - São capazes de voar verticalmente e, após a decolagem, possuem a capacidade de inclinar os motores e voar como aviões.
- **Blimps** - como balões de ar, geralmente são grandes em tamanho e executam voos de longa duração a baixas velocidades;
- **Flapping-Wing** - possuem asas flexíveis inspiradas em insetos.

Com o VANT é possível obter a ortofoto ou ortomosaico, que é uma fotografia aérea produzida em escala e livre de distorções, mostrando imagens de objetos em sua verdadeira posição geográfica. Por ser planimetricamente correta, é utilizada em medições diretas de distâncias, ângulos e posições (LOPES, 1989).

A obtenção de uma ortofoto é feita por meio da captura de imagens aéreas em voos realizados, em sua maioria, por VANT, por aviões ou por satélites. Por operarem mais próximos ao solo, os VANT conseguem obter ortofotos com maior riqueza de detalhes. Segundo Geosensori (2019), as fotos são transferidas para um aplicativo que as une por meio de um algoritmo avançado que identifica objetos presentes em mais de uma foto e os associa a pontos de coordenadas conhecidas para unir as fotos em uma única ortofoto (Figura 6).



Figura 6: Junção de fotografias obtidas através de VANT

Atualmente podem ser utilizadas câmeras digitais convencionais, pois tornou-se possível processar imagens e obter dados por meio de sistemas calibrados e com base em modelos que absorvem as distorções sofridas (TOMMASELLI, 2010).

De acordo com Hasegawa e Arruda Júnior (2004) as câmeras digitais convencionais possuem o ângulo de cobertura bem reduzido, sendo necessárias várias imagens para compor a mesma área da fotografia métrica analógica. Desse processo surgiu o nome mosaico ou mosaicagem.

As câmeras convencionais sempre capturam variações de escala dos objetos, representando-os com algum tipo de distorção, que tendem a ser maiores nas lentes dos VANT pelo tamanho reduzido. Somam-se a essas distorções os efeitos de perspectiva da inclinação da câmera durante a obtenção de cada foto. Porém, os aplicativos utilizados na obtenção de ortofotos lidam com esses problemas e corrigem essas distorções de maneira praticamente automática (JANUÁRIO, 2019).

Carvalho, Araújo (2009) informam que as fotografias obtidas durante o voo são classificadas de acordo com a inclinação do eixo óptico em relação ao terreno, podendo ser: fotografias aéreas oblíquas altas, fotografias aéreas oblíquas baixas ou fotografias aéreas verticais (Figura 7).

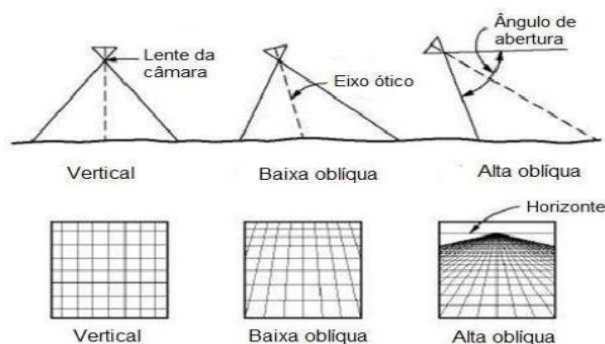


Figura 7: Fotografias aéreas de acordo com a inclinação do sensor

Conforme Wolf e Dewitt (2014), as fotografias aéreas oblíquas possuem o eixo da câmera intencionalmente inclinado, sendo que a oblíqua alta inclui a linha do horizonte e a oblíqua baixa não. As fotografias verticais são obtidas com o eixo da câmera na inclinação mais verticalmente possível, porém, devido as inclinações inevitáveis da aeronave, a imagem não é verdadeiramente vertical. Normalmente essas inclinações não intencionais são menores que 1° e raramente maiores que 3° . Felizmente existem instrumentos e procedimentos que garantem a precisão da imagem.

Para a geração de mosaicos devem ser utilizadas fotografias aéreas verticais, pois a partir delas podem ser retiradas relações geométricas da área de estudo como distâncias horizontais e verticais, áreas e ângulos. Não se usam fotografias oblíquas para geração de mosaicos devido as variações de escala e distorções (CASSEMIRO, 2014; CARVALHO, ARAÚJO, 2009).

Cada foto tirada durante o voo cobre uma área que se superpõe com as fotos anteriores por volta de 60% longitudinalmente e 25% lateralmente (Figura 8). Dessas superposições é aproveitada somente a porção central, no qual o deslocamento devido ao relevo e as distorções são menores (TOMMASELLI, 2009).

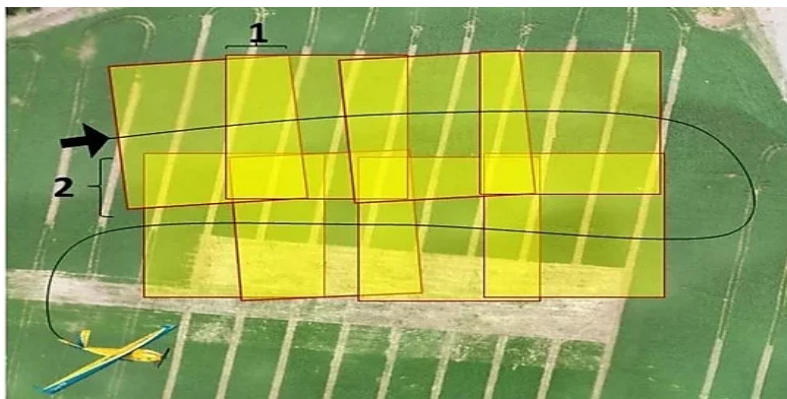


Figura 8: Superposição longitudinal (1) e superposição lateral (2) de fotos

A escolha do modelo adequado de VANT varia conforme a aplicação. Para obtenção de ortofotos, os modelos mais comumente usados são VANT asa fixa e VANT asa rotativa (multirotor). A utilização dos multirotor tem aumentado, pois confere maior estabilidade à aeronave sobre o ponto de captura da fotografia, o que garante maior precisão de imagem quando comparado a outros métodos. O problema em utilizar esse modelo está na falta de aerodinâmica e no curto tempo de voo devido à dificuldade em armazenar carga em baterias.

Entretanto, é possível mapear grandes áreas desde que se troquem as baterias, ou seja, realizando mais de um voo (CASSEMIRO, 2014).

Segundo Ferreira et al (2013), diversos fatores influenciam na obtenção de resultados com boa qualidade, por isso um bom planejamento da coleta dos dados é imprescindível. Definida a área de estudo, é necessário avaliar a segurança das pessoas envolvidas, equipamentos e bens materiais utilizados no levantamento. Outros fatores como condições legais de operação, obstáculos como torres e linhas de transmissão, condições de clima e locais para pouso e decolagem devem ser observados. Com a definição de todos os parâmetros, são definidas então a altura de voo e a rota a ser percorrida.

A precisão da ortofoto está diretamente ligada ao conhecimento da posição de cada foto obtida durante o voo. A maioria dos VANT com capacidade de realizar mapeamento aéreo possui sistema GNSS, porém com baixa precisão, sendo equivalente aos encontrados em telefones celulares, com erros de até 10 metros. Já existem VANT no mercado que contam com sistema GNSS de alta precisão, conhecidos como RTK e PPK (GEOSENSORI, 2019; FERREIRA et al, 2013).

- **RTK (Real Time Kinetic — cinemático em tempo real)** - atua na correção dos dados e fornece os mesmos em tempo real.
- **PPK (Post Processed Kinetic - cinemático pós-processado)** - armazena os dados em campo e são processados em escritório, ou seja, não fornece posição em tempo real.

Apesar de possuírem alta precisão, ainda assim é necessário o uso de pontos de controle, que implicará na precisão final do produto.

Pontos de controle são pontos locados fisicamente onde uma estação total ou um par de receptores GNSS de precisão (Figura 9) permanece por um determinado período até que se tenham informações de geolocalização da rede de satélites utilizada, servindo de apoio ao georeferenciamento das fotos. Estes devem estar dispostos em locais planos, com boa visibilidade e afastados de objetos altos como árvores ou prédios (TRINDADE; NUNES, 2018).



Figura 9: Exemplo de ponto de controle

Quando a posição cartográfica de cada imagem se associa a algum sistema de coordenadas, sendo o mais comum o sistema de projeção Universal Transversal de Mercator (UTM), tem-se um georreferenciamento da imagem (GRIPP JR, 2009).

Ainda segundo o autor, o conceito da geração de ortomosaicos é relativamente simples, o processo transforma a projeção central na imagem em projeção ortogonal (perpendicular) ao plano. A partir das coordenadas das imagens e dos pontos de controle, com alguns ajustes de observações são obtidos parâmetros de transformação. A imagem se encontra ortorretificada quando esta passa por correções relacionadas ao relevo e os elementos encontrados na imagem estão perpendiculares ao plano da imagem.

Segundo Viana (2015), os aplicativos avançados e de simples manipulação para geração de ortofotos são os baseados em algoritmos SfM (*Structure from Motion*), como visto na tabela 1.

Tabela 1: Aplicativos existentes no mercado para processamento de imagens de VANT

SOFTWARE	INDICADO	PRODUTOS
Agisoft PhotoScan	Iniciantes	Mosaico de Ortofoto, Modelo Digital de Superfície, Modelo Digital do Terreno (Filtragem) e Índice de Vegetação
Pix 4D Mapper	Iniciantes	Mosaico de Ortofoto, Modelo Digital de Superfície, Modelo Digital do Terreno (Filtragem) e Índice de Vegetação
Trimble UAS MASTER	Projetos de alta precisão	Mosaico de Ortofoto, Modelo Digital de Superfície e extração de forma automática do Modelo Digital do Terreno
Menci APS	Iniciantes	Ortofoto, Modelo Digital de Elevação e Modelo Digital do Terreno. Facilidade de modificar os dados de saída e exportação de imagens. Possui ferramenta CAD e visualizador 3D
Acute 3D	Iniciantes	Modelos em 3D. Fluxo de informações confusas sendo necessário outro software para visualização do resultado e pós processamento
Microsoft Ice	Iniciantes	Faz a junção das imagens, mas não ortorretifica o mapa. Não gera nuvem de pontos ou Modelo Digital de Superfície e Terreno

Estes aplicativos permitem a reconstrução automática de uma cena tridimensional através do rastreamento de pontos notáveis entre as fotos inseridas no processamento.

Cada ponto notável possui uma coordenada que é computada e todas as imagens passam a formar a chamada nuvem dispersa, que é a distribuição espacial dos pontos identificados. A partir daí são inseridos os pontos de controle para a geração de uma segunda nuvem de pontos, chamada nuvem densa (Figura 10), e então o sistema é capaz de gerar uma superfície (VIANA, 2015).

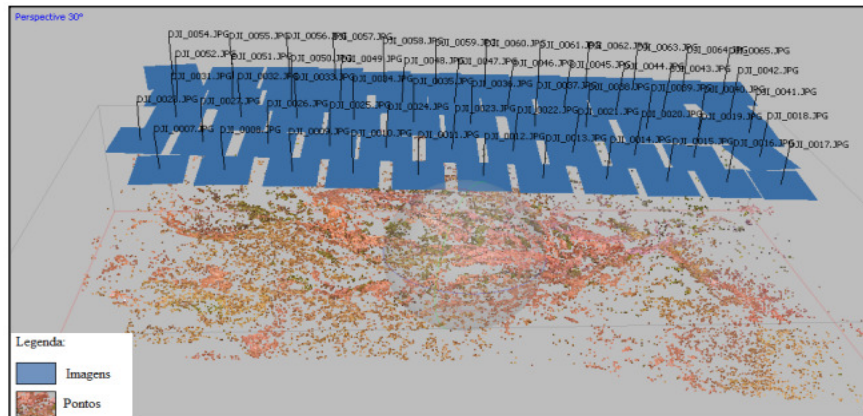


Figura 10: Nuvem de pontos gerado pelo software

Segundo Zanetti (2017), da superfície gerada é obtido o MDS (Modelo Digital de Superfície), que é um modelo matemático que representa a superfície terrestre levando em consideração as cotas dos objetos contidos nela, como edificações e vegetação. A partir do MDS é gerada a ortofoto da área de estudo (Figura 11).



Figura 11: Ortomosaico gerado pelo aplicativo

Para melhorar e facilitar o monitoramento das FS e outras áreas, existem aplicativos que detectam mudanças nas cores dos pixels ao se comparar duas imagens da mesma região em datas diferentes, além de poderem recortar as imagens, usando ou não as coordenadas geográficas desejadas, delimitando a área de estudo.

Como dito anteriormente, é cada vez mais comum a utilização de câmeras convencionais em aerolevantamentos e estas utilizam um sistema de cores denominado RGB (*Red, Green and Blue* – Vermelho, Verde e Azul, respectivamente), mostrando nas fotografias objetos e ambientes em suas cores reais, exibindo o que se vê a olho nu (Figura 12). Cada uma dessas cores corresponde a um intervalo entre dois comprimentos de ondas no espectro eletromagnético, sendo chamadas de bandas espectrais (MAPPA, 2019; QUARTAROLI, 2014).

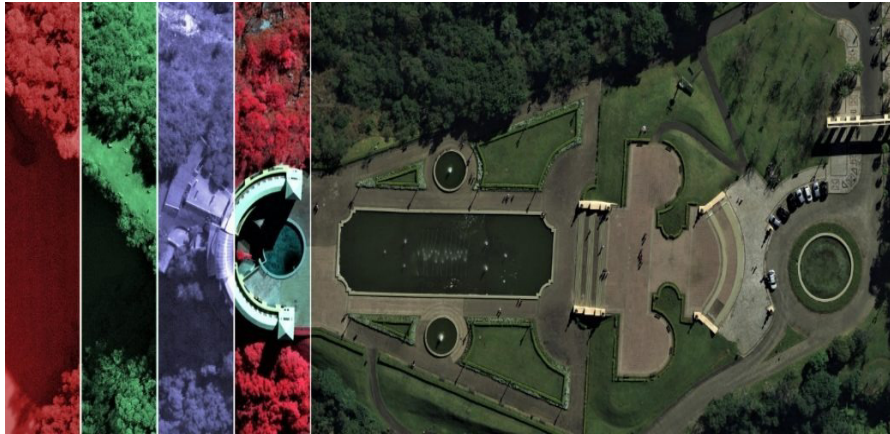


Figura 12: Imagem em composição colorida (vermelha, verde, azul e infravermelha próxima)

Aplicativos como o Qgis utilizam operações aritméticas em imagens multitemporais (bandas espectrais individuais obtidas sobre a mesma área em diferentes datas) para reproduzir a diferença entre elas. Segundo Crósta (1992), a subtração da mesma banda de diferentes imagens serve para realçar pequenas diferenças espectrais, detectando mudanças na cobertura em imagens. Essas mudanças podem apontar alguns fenômenos como desmatamento, mudança no uso do solo, expansão de áreas urbanas etc.

OBJETIVOS

Para avaliar tecnicamente essa tecnologia na gestão do uso e ocupação do solo de FS de uma empresa concessionária, este artigo obteve fotos em alta resolução, orto e georeferenciadas geradas a partir de voo sobre a FS da Adutora do Rio Claro, pertencente a SABESP, com objetivo de:

- Avaliar o uso e precisão da tecnologia para monitoramento de áreas;
- Apresentar as normas para execução de voo com VANT;
- Apresentar programas computacionais existentes no mercado que utilizam algoritmos de detecção de mudança nas cores de pixels e como eles funcionam na gestão patrimonial;
- Apresentar outros processos de trabalho que poderiam ser beneficiados pela tecnologia na gestão de ativos e monitoramento do uso e ocupação do solo.

METODOLOGIA

Para atender aos objetivos traçados por este artigo, foi escolhido um trecho da FS da Adutora do Rio Claro, pertencente à SABESP, onde foram detectadas possíveis invasões (Figura 13).



Figura 13: Limites da Faixa de Servidão da Adutora Rio Claro a ser estudada

Esta FS está situada no bairro de Sapopemba, Zona Leste da cidade de São Paulo, próxima à Avenida Jacu Pêssego (SP-017) e à Av. Sapopemba. O bairro é composto, em sua maioria, pela classe média baixa, onde se encontram diversas moradias de baixa renda próximas à adutora. As extremidades laterais da FS são definidas com 15 metros de cada lado do eixo da Adutora Rio Claro, totalizando uma faixa de servidão com 30 metros de largura total (Figura 14).



Figura 14: Moradias instaladas na FS da adutora de água

Para avaliação de quais moradias estavam invadindo a FS, a SABESP fez parceria com a empresa Horus Aeronaves para avaliar se a tecnologia poderia fornecer fotos aéreas de qualidade e precisão, além de verificar o tempo de execução e a preservação de seus funcionários e equipamentos. Em um voo preliminar, vários imóveis foram identificados invadindo a FS em questão, como mostra a Figura 15.



Figura 15: Moradias instaladas dentro da Faixa de Segurança

REALIZAÇÃO DO VOO COM VANT

Para obtenção de fotos de toda a FS utilizando VANT de forma segura, a equipe da empresa Horus solicitou à SABESP que o voo fosse feito em uma de suas propriedades, sendo escolhido o Reservatório Jardim da Conquista (Figura 16).



LEGENDA



-  Adutora de água da concessionária SABESP
-  Ponto de partida escolhido para voo

Figura 16: Reservatório Jardim da Conquista circulado em azul

O plano de voo foi elaborado pelo aplicativo Mission Planner, dando cinco voltas sobre a FS (Figura 17), a uma altura de 20 m, distância de 50 m entre cada linha, sobreposição frontal de 80% e sobreposição lateral de 85%.



Figura 17: Faixas de voo percorridas pelo VANT

AQUISIÇÃO DOS DADOS PELO VANT

Para a aquisição das fotografias foi utilizado o VANT DJI Mavic 2 Pro (Figura 18) com bateria suficiente para a realização das cinco voltas e obtenção das fotografias de toda a FS.



Figura 18: VANT DJI Mavic 2 Pro

Este modelo se enquadra na classe 3 da regulamentação da ANAC (2017), sendo do tipo Asa-Rotativa, cujas características estão listadas na Tabela 2.

Tabela 2: Características do VANT DJI Mavic 2 Pro

Peso de decolagem	907 g
Velocidade máxima de subida	5 m/s (modo S) e 4 m/s (modo P)
Velocidade máxima de descida	3 m/s
Velocidade máxima de movimentação (próximo ao nível do mar, sem vento)	72 km/h (modo S)
Altura máxima de serviço (acima do nível do mar)	6000 m
Tempo máximo de voo (sem vento)	31 minutos (a constantes 25 km/h)
Tempo máximo de voo estacionário (sem vento)	29 minutos
Distância máxima de voo (sem vento)	18 km (a constantes 50 km/h)
GNSS	GPS + GLONASS
Resolução das fotos	20 Megapixels
Tamanho máximo da imagem	5472×3648
Resolução Horizontal	96 dpi
Resolução vertical	96 dpi
Intensidade de bits	32
Compactação	LZW
Resolução de vídeo	4k
GSD	≤ 6 cm/pixel
Precisão	≤ 5 cm

O VANT decolou do chão, sem qualquer manipulação dos presentes, e levou em torno de 25 minutos para concluir o voo e aterrissar no mesmo local em que iniciou a sua decolagem.

PROCESSAMENTO DAS FOTOS OBTIDAS PELO VANT

O processamento das imagens foi realizado por meio do aplicativo *Mappa Drone Mapping Analysis*, na qual foram selecionadas as imagens e posteriormente realizadas as ortoretificações, georeferenciamento e mosaicagem, gerando uma ortofoto. O sistema de projeção utilizado foi UTM Fuso 23S, pois ainda não era obrigatório o uso da UTM SIRGAS 2000 no Brasil.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização do voo, a SABESP disponibilizou a ortofoto da área de estudo. Com o equipamento utilizado foi possível obter um ortomosaico com alta resolução e precisão (Figura 19).



Figura 19: Ortomosaico gerado pelo aplicativo *Mappa Drone Mapping Analysis*

Realizando uma aproximação no ortomosaico sobre a área da FS da adutora é possível visualizar em detalhes e identificar facilmente a adutora e as residências irregulares sobre ela (Figura 20).



Figura 20: Aproximação no ortomosaico sobre a área da adutora

Ao realizar uma nova aproximação no ortomosaico (Figura 21), é possível verificar detalhes significativos da adutora e das residências ocupando a FS, detalhes esses que seriam muito difíceis utilizando o levantamento tradicional com estação total e GNSS.



Figura 21: Detalhes do ortomosaico

Dentro da FS em questão existe uma estação elevatória de água (EEA) da SABESP (Figura 22), a qual já foi objeto de levantamento topográfico com estação total e GNSS.



Figura 22: Estação elevatória de água (EEA) da SABESP circulado em azul

A SABESP disponibilizou a documentação cadastral elaborada a partir desse levantamento, cujo objetivo era comparar as coordenadas com aquelas obtidas através do VANT (Figura 23).

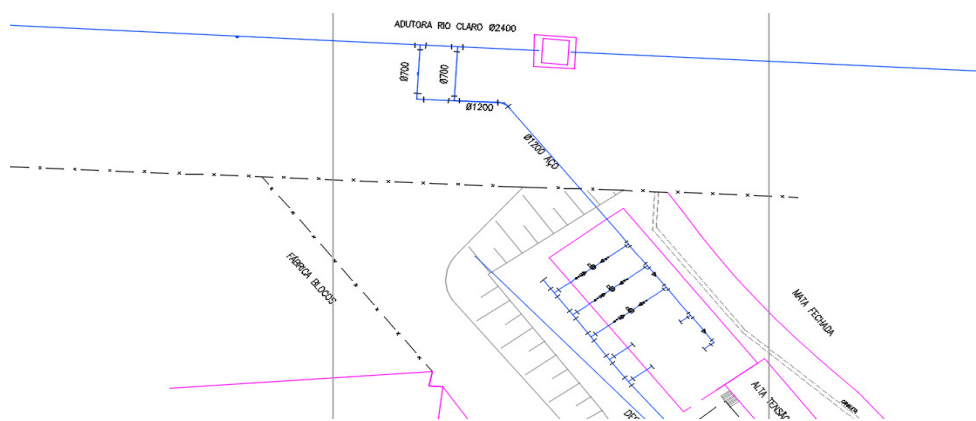


Figura 23: Levantamento topográfico da EEA

Os levantamentos topográficos realizados com estação total e receptores GNSS permitem determinar coordenadas com precisão de até três metros, sendo que, para um posicionamento com alta precisão, é necessária uma combinação adequada entre o equipamento, o método de posicionamento e o programa de pós-processamento, eliminando erros de maneira aceitável, levando à aquisição de coordenadas de precisão centimétrica. (LOCH & CORDINI, 2000; IBGE, 2017).

A Figura 24 mostra a linha vermelha do levantamento topográfico colocada sobre o ortomosaico obtido pelo VANT, onde é possível ver que a mesma coincide com o eixo da adutora.



Figura 24: Levantamento topográfico sobre o ortomosaico obtido com VANT

Esta comparação foi realizada no aplicativo AutoCAD, da empresa Autodesk, e obteve uma diferença de apenas 5,38 cm em relação ao levantamento topográfico que a SABESP realizou na EEA (Figura 25), evidenciando que a tecnologia gera resultados muito próximos do método tradicional.



Figura 25: Precisão do ortomosaico

Os critérios para classificação de produtos cartográficos (mapas cadastrais, topográficos ou geográficos) por meio de parâmetros de exatidão e da distribuição de erros presentes são definidos pelo decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, que determina o uso de um índice conhecido como Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), utilizado para aferir e padronizar a qualidade de produtos cartográficos brasileiros impressos (MARTIN, 2016). Segundo o autor, o decreto de lei define os valores admissíveis de erros conforme a escala do mapa (Tabela 3), relacionando os produtos cartográficos em três classes de cartas, sendo estas a representação no plano em escala.

Tabela 3: Precisão posicional de acordo com cada PEC

Carta	PEC	Erro Padrão	PEC	Erro Padrão
	Planimétrico		Altimétrico	
Carta A	0,5 mm x escala	0,3 mm x escala	1/2 equidistância	1/3 equidistância
Carta B	0,8 mm x escala	0,5 mm x escala	3/5 equidistância	2/5 equidistância
Carta C	1,0 mm x escala	0,6 mm x escala	3/4 equidistância	1/2 equidistância

Martin (2016) apresenta em seu artigo valores referentes ao Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) oriundos da Especificação Técnica dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-PCDG). Estes valores são complementares aos estabelecidos no Decreto nº 89.817.

A Tabela 4 mostra o PEC-PCD Planimétrico e o Erro Padrão (EP) das classes “B”, “C” e “D” que correspondem as classes “A”, “B” e “C”, respectivamente, do PEC Planimétrico previstos no Decreto 89.817. Ainda segundo o decreto, EP e Desvio Padrão (DP) devem ser considerados como sinônimos.

Tabela 4: Padrão de exatidão planimétrica dos produtos cartográficos digitais

PEC	PEC-PCD	1:1000		1:2000		1:5000		1:10000	
		PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
-	A	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85	2,80	1,70
A	B	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50	5,00	3,00
B	C	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50	8,00	5,00
C	D	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00	10,00	6,00

Tendo em vista que o objetivo deste artigo era avaliar a precisão de imagens obtidas através de VANT para possibilitar a elaboração de documentação cadastral patrimonial que identifique invasões em faixas de servidão, é preciso comparar os resultados de precisão com os valores da Tabela 4.

A documentação mencionada acima deve ser elaborada na escala 1:1000, de forma a apresentar o maior número de detalhes em um formato de papel que garanta a sua leitura. De acordo com a Tabela 4, a PEC PCD A – correspondente à maior precisão possível – e considerando a escala 1:1000, foi possível verificar um ótimo resultado obtido pela ortofoto (5,38 cm), já que o erro máximo para cada levantamento deve ser inferior a 17 cm no plano horizontal.

Como demonstrado, o ortomosaico possui alta qualidade na resolução e na sua precisão, denotando que a obtenção de informações por meio de VANT se apresenta como uma alternativa promissora para o mercado, pois apresenta resultados precisos e satisfatórios em relação ao tempo de obtenção dos dados, podendo identificar com eficiência as edificações que fazem divisa com faixas de servidão e áreas construídas inapropriadamente dentro da faixa, como visto na Figura 26.

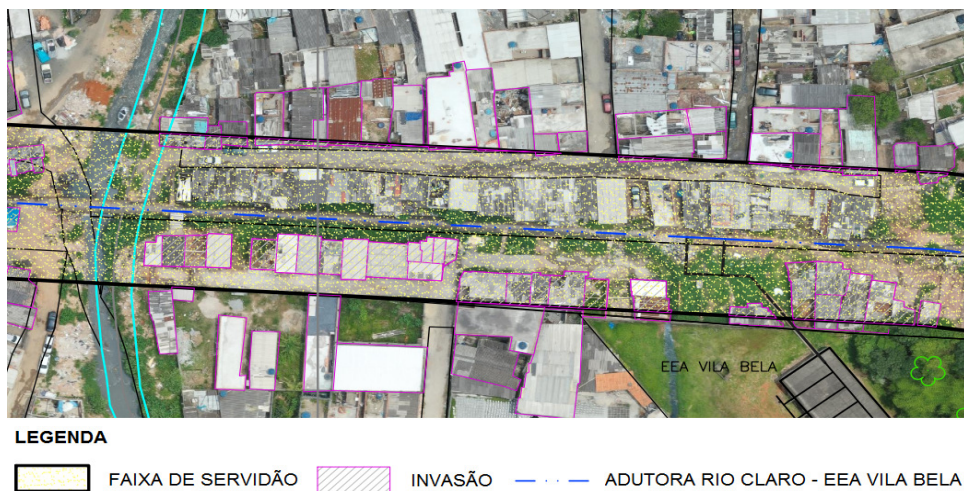


Figura 26: Imóveis identificados invadindo a faixa de servidão

Ao se aproximar da Figura 26, é possível ver com detalhes o contorno feito sobre a ortofoto, mantendo a qualidade e precisão dos levantamentos topográficos tradicionais (Figura 27).

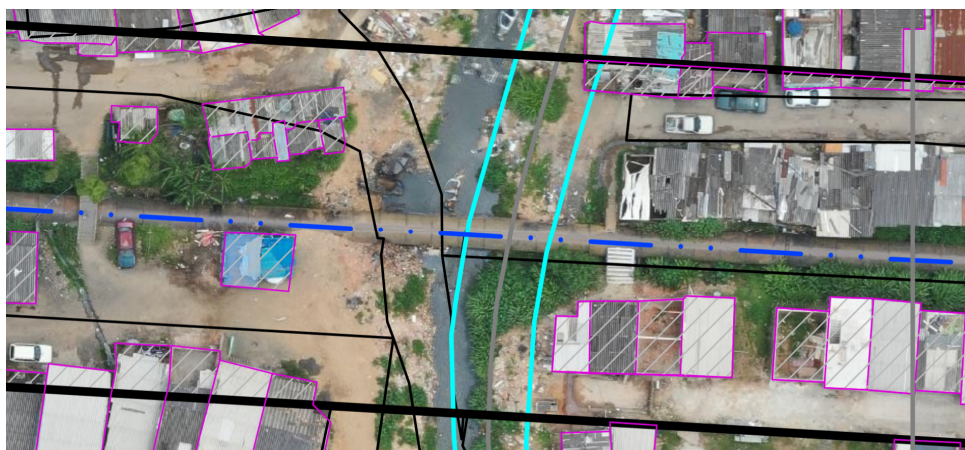


Figura 27: Aproximação da ortofoto para verificação dos imóveis invasores

Por meio de aplicativos que comparam cores de pixels de duas ortofotos obtidas em períodos diferentes ainda seria possível delimitar a área da FS e visualizar de forma automática os invasores à medida que isso fosse acontecendo, porém, devido à pandemia do Covid-19, não foi possível realizar o segundo voo e obtenção da segunda ortofoto para esta avaliação.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente artigo possibilitou uma análise de como as FS são vulneráveis e propícias à invasão e como o processo de monitoramento tradicional é lento e arriscado. Além disso, permitiu utilizar uma tecnologia promissora e avaliar como esse recurso pode melhorar o monitoramento de propriedades.

A utilização de VANT para monitoramento de grandes áreas se mostrou eficiente, pois adquirem imagens num tempo muito curto, de alta qualidade, resolução e precisão, questões essenciais para a gestão patrimonial de empresas.

O levantamento mostrou dados confiáveis e com precisão equivalente ao método de levantamento topográfico tradicional para elaboração de cadastro patrimonial, dentro do Erro Padrão aceitável para Produtos Cartográficos Digitais. De forma segura e rápida, a técnica estabelece um novo modelo de monitoramento, facilitando a aquisição de dados em tempo reduzido quando comparado ao método tradicional (até 48 horas), preservando a segurança dos membros envolvidos e dos instrumentos utilizados, eliminando a necessidade de volta ao local para confirmação de pontos, a chance de roubo de equipamentos e preservando a imagem da empresa perante a sociedade.

Outro ponto observado foi a facilidade em identificar e mensurar invasões na FS, acelerando o planejamento das atividades para reintegração de posse e as intervenções às invasões. Além disso, permite criar um histórico de fotos que pode ser utilizado na comprovação legal de posse, quando da necessidade de reintegração de posse.

Diante dos resultados expostos neste artigo, outras áreas podem se beneficiar da tecnologia VANT, como por exemplo no planejamento de novos projetos, no monitoramento ambiental como identificação de perda de água, clorofila em mananciais e turbidez da água, atualização cadastral de imóveis em prefeituras ou organizações privadas e aperfeiçoamento de dados cartográficos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, ANAC. **Regulamento brasileiro da aviação civil especial RBAC-E nº94, Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil, 2017.** Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones>>. Acesso em: 10 maio 2020.
2. AGUIAR, Valther Xavier. **ESTEIO investe em um novo sensor aéreo.** Disponível em: <<https://mundogeo.com/2020/10/13/esteio-investe-em-um-novo-sensor-aereo/>>. Acesso em: 06 novembro 2020.
3. ALVES JÚNIOR, L. R. **Análise de produtos cartográficos obtidos com câmera digital não métrica acoplada a um Veículo Aéreo Não Tripulado em áreas urbanas e rurais no Estado de Goiás.** 2015. 114 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2015
4. ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Diretoria nº 98, de 2 de fevereiro de 2011. **Aprova o Regulamento Técnico de Dutos Terrestres para Movimentação de Petróleo, Derivados e Gás Natural (RTDT).** [S. l.], 2011.
5. ARRUDA JUNIOR, E. R. **“Mosaicagem” de imagens digitais.** 2002. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2002.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133: Execução de levantamento topográfico.** Rio de Janeiro, 1994.
7. BARCELOS, A. C. **O uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) em monitoramento de campo: aplicabilidades e viabilidades.** 2017. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.
8. BATISTA, F. L. **Plano de Voo e Aquisição de Imagens.** 22 de fev. 2017. Disponível em: <<https://www.austertecnologia.com/single-post/2017/05/27/Plano-de-Voo-e-Aquisi%C3%A7%C3%A3o-de-Imagens>>. Acesso em: 5 outubro 2020.
9. BORTOLETTO, Renan. **Piracicaba: começam as intervenções de saneamento básico na Portelinha.** Disponível em: <<http://www.fatopolitico.com/2017/04/17/piracicaba-comecam-intervencoes-de-saneamento-basico-na-portelinha/>>. Acesso em: 5 outubro 2020.
10. BRASIL. Decreto-lei nº 1.177, de 21 de junho de 1971. **Dispõe sobre aerolevantamentos no território nacional, e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 de jun. 1971. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1965-1988/Del1177.htm>. Acesso em: 14 maio 2020.
11. **Câmeras RGB e Multiespectral: diferenças e mapas gerados.** Mappa, 15 de out. de 2019. Disponível em: <<https://mappa.ag/cameras-rgb-multiespectral-diferencas-mapas-gerados/>>. Acesso em: 10 julho 2020.
12. CAMPOS, U. S. et al. **Sensoriamento remoto aplicado ao controle patrimonial e ocupação de faixas de linhas de transmissão.** In: Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica. 2., 2003, Anais [...] Salvador: Universidade Salvador, 2003. p. 1167-1171.
13. CARVALHO, E. A.; ARAÚJO, P. C. **As fotografias aéreas e sua utilização pela Cartografia.** Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2009.
14. CASSEMIRO, G. H. M.; PINTO, H. B. **Composição e processamento de imagens aéreas de alta-resolução obtidas com drone.** 2014. Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília, UNB, Brasília, 2014.

15. CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Ed. rev. Campinas: Embrapa, 1992. 170 p.
16. CUCCO, Julia. **Gestão territorial em faixas de servidão de linhas de Transmissão propensas à invasão utilizando lógica difusa**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
17. DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO, DECEA. **Aeronaves não tripuladas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro**. ICA-100-40. 2018. Disponível em: <<https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=5250>> Acesso em: 10 maio 2020.
18. FERREIRA, A. M. R. et al. **Utilização de aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciado multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 16., 2013, Anais [...] Foz do Iguaçu: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003, p. 9308-9315.
19. **GOOGLE EARTH-MAPAS**. Disponível em: <<https://maps.google.com/>>. Acesso em: 2 maio 2020.
20. GRIPP JR, Joel. **Ortorretificação de imagens de alta resolução para aplicação no cadastro técnico rural e mapeamento de área de preservação permanente e reservas legais**. 2009. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
21. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Especificações e normas para levantamentos geodésicos associados ao sistema geodésico brasileiro**. Rio de Janeiro, 2017.
22. JANUÁRIO, Gabriel. **Pontos de controle: o que são?**. Disponível em: <<https://www.geosensori.com.br/2019/04/25/pontos-de-controle-o-que-sao/>>. Acesso em: 24 junho 2020.
23. LOCH, C.; CORDINI, J. **Topografia contemporânea: planimetria**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2000.
24. LONGHITANO, G. A. **Vants para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. 2010. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes – Geoprocessamento) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.
25. LOPES, J. A. Ortofoto. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 43, p. 32-36, jan. 1989.
26. Mavic 2 PRO X Phantom 4 ADV/PRO. **Droneng Drones e Engenharia**. 10 de jul. de 2019. Disponível em: <<https://blog.droneng.com.br/mavic-2-pro-x-phantom-4-adv-pro/>>. Acesso em: 5 outubro 2020.
27. MONTEIRO, R. S. **Grupo CEMIG**. In: Encontro nacional de invasões de faixas de servidão das linhas de transmissão. Pernambuco. 2013. p. 1 - 59.
28. NASA. **GL-10 Greased Lightning**. Disponível em: <https://www.nasa.gov/centers/dryden/pdf/175939main_Earth_Obs_UAV_Vol_1_v1.1_Final.pdf>. Acesso em: 15 maio 2020.
29. NORMA INTERNA DA SABESP. NTS 132. **Faixa de servidão e de desapropriação para sistemas lineares de água e esgoto**. São Paulo, 2016.
30. **O que é ortofoto?**. GeoSensori, Salgueiro, 10 de jun. de 2019. Disponível em: <<https://www.geosensori.com.br/2019/06/10/o-que-e-ortofoto/>>. Acesso em: 20 maio 2020.
31. **Photograph of San Francisco in ruins from Lawrence Captive Airship**, 2000 feet above San Francisco Bay overlooking water front. Sunset over Golden. Library of Congress, 2016. Disponível em: <<https://www.loc.gov/resource/pan.6a34514/>>. Acesso em: 18 novembro 2020.

32. QUARTAROLI, C. F.; VICENTE, L. E.; ARAUJO, L. S. **Sensoriamento Remoto**. Separata de: TÔSTO, S. G.; RODRIGUES, C. A. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. (ed.). Geotecnologias e geoinformação. Brasília: Embrapa, 2014. cap. 4, p. 62-79. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/988056/1/Cap.4.pdf>>. Acesso em: 15 julho 2020.
33. RESENDE, João Paulo; ANDRADE, Mônica Viegas. **Crime social, castigo social: desigualdade de renda e taxas de criminalidade nos grandes municípios brasileiros**. Estud. Econ. [online]. 2011, vol.41, n.1, pp.173-195. ISSN 0101-4161.
34. **Saiba por que os drones são a melhor opção para mapeamento de faixa de domínio**. Aero Sensoriamento Remoto. 23 de nov. 2018. Disponível em: <<https://www.aerodronebrasil.com/2018/11/23/mapeamento-de-faixa-dedominio/>>. Acesso em: 5 outubro 2020.
35. **Segurança na Faixa de Dutos**. Transpetro, 2020. Disponível em: <<http://transpetro.com.br/transpetro-institucional/tecnologia-e-seguranca/politica-de-seguranca-meio-ambiente-e-saude/seguranca-na-faixa-de-dutos/proibicoes-e-permissoes.htm>>. Acesso em 17 abril 2021.
36. SOUTO, Janio Queiroz. **Mapeamento de áreas de pressão à ocupação irregular da faixa de passagem: o caso da linha anhanguera-guarulhos**. 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia Humana, Universidade de São Paulo, 2017.
37. TOMMASELLI, A. M. G.; HASEGAWA, J. K.; GALO, M.; IMAI, N. N.; RUY, R. da S. **Sensoriamento remoto aerotransportado: uma abordagem usando câmaras digitais**. In: Fernando Luiz de Paula Santil; Hélio Silveira; Maria Luzia de Souza; e Fernando Ricardo dos Santos. (Org.). Recursos tecnológicos aplicados à Cartografia. Maringá: Sthampa Gráfica e Editora, 2010, v. 1, p. 81-116.
38. TÔSTO, S. G.; RODRIGUES, C. A. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. (Ed.). **Geotecnologias e geoinformação**. Brasília, DF: Embrapa, 2014
39. TRINDADE, C. A.; NUNES, J. C. S. **Influência do uso de pontos de controle de campo na melhoria da acurácia dos dados coletados por meio de VANT nas periciais ambientais**. Revista Brasileira de Criminalística. [online]. 2018. Disponível em: <<http://rbc.org.br/ojs/index.php/rbc/article/view/244>>. Acesso em: 26 junho 2020.
40. VIANA, C. D. **Análise estrutural de descontinuidade baseada em técnicas de structure from motion: aplicação em mina a céu aberto**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
41. WOLF, P.R.; DEWITT, B.A. **Elements of Photogrammetry: with Application in GIS**. 4rd edition. USA: McGraw-Hill, 2014.
42. ZANETTI, J. **Influência do número e distribuição de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento por vant**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.