

ANÁLISE COMPARATIVA DAS TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO PLANIMÉTRICO: *REAL TIME KINEMATIC* (RTK) E VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)

Comparative analysis of planimetric topographic surveying techniques: Real Time Kinematic (RTK) and Unmanned Aerial Vehicles (UAV)

Julio Vicereki Trescastro

Centro Universitário Metodista - IPA

Curso de Engenharia Civil

Rua Frederico Ments, 1606 – Bairro Navegantes – Porto Alegre – RS, Brasil – 90240-111

julio3castro@gmail.com

Fabricio Pacheco Trescastro

Centro Universitário Metodista - IPA

Curso de Engenharia Civil

Rua Frederico Ments, 1606 – Bairro Navegantes – Porto Alegre – RS, Brasil – 90240-111

Trescastro.eng@gmail.com

Adriane Brill Thum

Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Curso de Especialização em Informações Espaciais Georreferenciadas

Av. Unisinos, 950 – Bloco 6A - Caixa Postal 275 – 93.022-000 – Bairro Cristo Rei - São Leopoldo – RS, Brasil

adrianebt@unisinos.br

Resumo:

Os levantamentos topográficos passam por evoluções tecnológicas, passando do uso de equipamentos ópticos mecânicos a digitais. O presente estudo tem como objetivo analisar comparativamente a técnica de levantamento topográfico planimétrico utilizando a tecnologia dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) com a consolidada técnica de Posicionamento Cinemático em Tempo Real (RTK). A área de estudo, uma quadra localizada no município de Sentinela do Sul - RS, situado na região Centro-sul do Rio Grande do Sul a cerca de 100 km da capital, Porto Alegre, nas coordenadas UTM Norte 6612612.988 m e Leste 445001.316 m. Foram realizados levantamentos topográficos planimétricos utilizando a técnica de Posicionamento Cinemático em Tempo Real e levantamento aerofotogramétrico por meio de VANT, os quais retornaram coordenadas planas de 13 pontos de verificação. A análise dos dados obtidos mostrou que a tecnologia VANT apresentou resultados semelhantes em comparação ao RTK, apresentando valores mínimo de 0,001 m e máximo de 0,233 m no eixo Leste e no eixo Norte, valores que variaram entre 0,004 m e 0,154 m, gerando uma pequena média de diferença nas coordenadas obtidas que pode variar considerando a qualidade e modelos de câmeras e aeronaves utilizados. O uso de VANTs é viável para levantamentos topográficos que não exijam um alto nível de precisão, como georreferenciamento de imóveis rurais, cadastro territorial rural, cadastro ambiental rural, entre outras aplicações topográficas.

Palavras chave: Topografia, VANT, RTK, Levantamento Topográfico Planimétrico.

Abstract

Topographic surveys go through technological evolutions, from the use of optical mechanical equipment to digital. The present study aims to comparatively analyze the planimetric topographic survey technique using Unmanned Aircraft Vehicles (UAVs) technology with the consolidated Real Time Kinematic Positioning (RTK) technique. The study area, one block located in Sentinela do Sul - RS, located in the south-central region of Rio Grande do Sul, about 100 km from the capital, Porto Alegre, at coordinates UTM North 6612612.988 m and East 445001.316 m. Planeimetric topographic surveys were carried out using the Real Time Kinematic Positioning technique and aerial

photogrammetric survey using UAV, which returned flat coordinates of 13 checkpoints. The analysis of the obtained data showed that the VANT technology presented similar results in comparison to the RTK, presenting minimum values of 0.001 m and maximum of 0.233 m in the Eastern axis and in the North axis, values that varied between 0.004 and 0.154 m, generating a small average of difference in the coordinates obtained that can vary considering the quality and models of cameras and aircraft used. The use of UAVs is feasible for topographic surveys that do not require a high level of precision, such as georeferencing of rural properties, rural land registry, rural environmental registry, among other topographic applications.

Keywords: Topography, UAV, RKT, Topography Planimetric Surveys.

1. INTRODUÇÃO

A partir da necessidade de descrever uma área, bem como demarcar o domínio de uma propriedade, surgiu a topografia. Segundo Gonçalves, Madeira e Souza (2012), a origem etimológica desta palavra vem do grego *topos* que significa “lugar” e *graphein* que significa descrever. Portanto, como o próprio nome indica, topografia significa descrever um lugar e os elementos que o compõe. Com o uso de métodos e técnicas de levantamentos topográficos é possível realizar medições da superfície terrestre e a partir destas informações, são elaborados mapas e plantas topográficas.

Silva e Segantine (2015), relatam que a topografia teve seu início com a necessidade dos povos demarcarem os limites de suas terras quando iniciaram a ter noção de propriedade. Os primeiros relatos históricos de levantamentos topográficos surgiram por volta de 2500 a.C. com os povos babilônicos, também são encontradas fontes deste mesmo período na Índia na China. Durante o período Romano a topografia passou por muitos avanços em decorrência da expansão do império e consequentes projetos de construção de cidades, rotas militares e estradas.

No presente, a topografia é a ciência responsável por estudar detalhadamente a superfície física da terra com todos os elementos que a compõem, sejam naturais ou artificiais. Desta maneira a topografia estuda e analisa a superfície terrestre por meio de levantamentos planimétricos e altimétrico. Com o desenvolvimento da informática e dos equipamentos eletrônicos utilizados no setor, a topografia alcançou maior versatilidade e agilidade nos processos, o que contribuiu para suprir as exigências do setor de engenharia e áreas afins, que necessitam constantemente de levantamentos mais ágeis e precisos, pois os softwares ligados a engenharia que utilizam de informações obtidas por meios topográficos exigem cada vez mais que os produtos gerados tenham maior precisão e nível de detalhamento.

Em decorrência do constante avanço tecnológico, surgiram novos métodos de levantamento topográfico, principalmente nos levantamentos aerofotogramétricos. O sistema mais utilizado para aquisição deste tipo de imagens é com o uso de Veículos Aéreos não Tripulados (VANTs), faz-se necessário destacar que existem outras siglas que correspondem a esta mesma tecnologia, como *Drone* (do inglês, zangão), *Remotely Piloted Aircraft* (RPA), Veículo Aéreo Remotamente Pilotado (VARP), *Unmanned Aircraft Systems* (UAS), *Unmanned Vehicle System* (UVS), *Unmanned Aircraft Vehicle* (UAV), dentre outras siglas, porém VANT é a mais utilizada no Brasil (COELHO, 2015).

O levantamento topográfico é a base para qualquer projeto, desde o mais simples ao mais elaborado, pois um erro pode ocasionar uma falha na execução da obra e comprometer todo o projeto. Quanto maior a exatidão, o nível de precisão do levantamento topográfico e o detalhamento dos elementos que compõem a região a ser mapeada, maior será a segurança na execução da obra, minimizando os erros característicos à topografia em um projeto. Os dados topográficos são extremamente importantes para a correta execução de qualquer projeto, pois é

através deles que o engenheiro irá extrair as informações necessárias para o início da obra, como serviços de terraplenagem, aterramento, demolição de estruturas existentes, etc.

A necessidade de analisar a tecnologia VANT, em comparação às técnicas tradicionais é que a mesma se apresenta como uma nova alternativa, comercialmente atrativa, com constante inovação tecnológica e que está em fase de consolidação no mercado. O que se torna interessante, pois o Brasil, ainda, necessita de grandes investimentos no setor de infraestrutura, cadastro territorial urbano e rural. E a utilização de tecnologias de baixo custo, como o caso do levantamento topográfico com o uso de VANT, pode ser uma alternativa viável que pode contribuir de forma positiva na redução de custos e agilidade na produção de produtos fotogramétricos de boa qualidade.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo apresenta-se um referencial teórico baseado na temática central e os principais assuntos relacionados como complemento de pesquisa.

O Posicionamento Cinemático em Tempo Real, do inglês *Real Time Kinematic* (RTK), proporciona o levantamento preciso e em tempo real das coordenadas dos pontos de interesse. Esse levantamento se dá através da correção instantânea dos dados e das correções obtidas de sinais de satélites, por meio de uma estação receptora instalada em um vértice de coordenadas conhecidas. Esta estação envia os dados e correções obtidas aos receptores que percorrem os vértices/pontos de interesse, dos quais se obtém instantaneamente coordenadas precisas. (AQUINO *et al.* 2013).

Os mesmos autores explicam que no método convencional de Posicionamento Cinemático em Tempo Real, os receptores que percorrem os vértices de interesse e a estação instalada no ponto de referência, se comunicam através de um sinal de rádio. A limitação de abrangência de área deste método está no alcance da transmissão das ondas de rádio, portanto o alcance máximo é definido pela potência dos rádios dos equipamentos, o que varia de acordo com a marca/modelo e tecnologia embarcada.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018) e Aquino *et al.* (2013), Posicionamento por Ponto Preciso é um serviço gratuito e online prestado pelo IBGE, o qual propicia aos usuários de receptores que utilizam o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), obterem coordenadas de pontos de interesse. Através de um processamento preciso, o sistema fornece coordenadas referenciadas ao Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) e ao *International Terrestrial Reference Frame* (ITRF).

O termo VANT foi criado para distinguir os veículos controlados remotamente dos demais, esta nomenclatura é relativamente nova, afinal, anteriormente todos os veículos aéreos eram necessariamente tripulados. Pode-se definir VANT como um veículo aéreo capaz de voar na atmosfera terrestre sem a necessidade de um piloto em seu interior, podendo ser operado por controle remoto ou de forma autônoma, por meio de programas específicos instalados em computadores, celulares ou *tablets* (SANTIAGO E CINTRA, 2017).

ANAC (2017), classifica os veículos aéreos não tripulados em aeromodelos e aeronaves remotamente pilotadas (RPAs). Aeromodelos são aeronaves utilizadas para recreação e lazer e as aeronaves remotamente pilotadas são utilizadas para fins experimentais, comerciais e institucionais. Os dois tipos de veículos só podem ser operados em uma distância de no mínimo 30 metros horizontais de pessoas não envolvidas com a operação do voo e cada piloto remoto só pode operar uma aeronave por vez. Veículos aéreos com peso máximo de decolagem de até 250 gramas não precisam ser cadastrados junto a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC),

veículos aéreos que ultrapassem este limite de peso e operados com linha de visada superior a 400 pés precisam ser cadastrados e o piloto remoto deverá possuir licença e habilitação.

3. ÁREA DE ESTUDO

O local escolhido para a realização do estudo está localizada no município de Sentinela do Sul, situado na região Centro-Sul do Rio Grande do Sul, distante aproximadamente 100km de Porto Alegre. A área de estudo é uma quadra do bairro Alto das Figueiras, situada entre as Ruas Hermes Rodel, Mário Rodel, Olma Avelino Cesar e Rua Dario Lipo, com área aproximada de 10.666 m², tem relevo predominantemente plano e não possui feições naturais relevantes. Como feições artificiais, possui algumas edificações, sendo na maioria casas, um hotel, um posto de combustíveis e alguns galpões. A escolha desta área se deu pelo fato de ser de fácil acesso e por possuir pontos perenes fotointerferíveis.

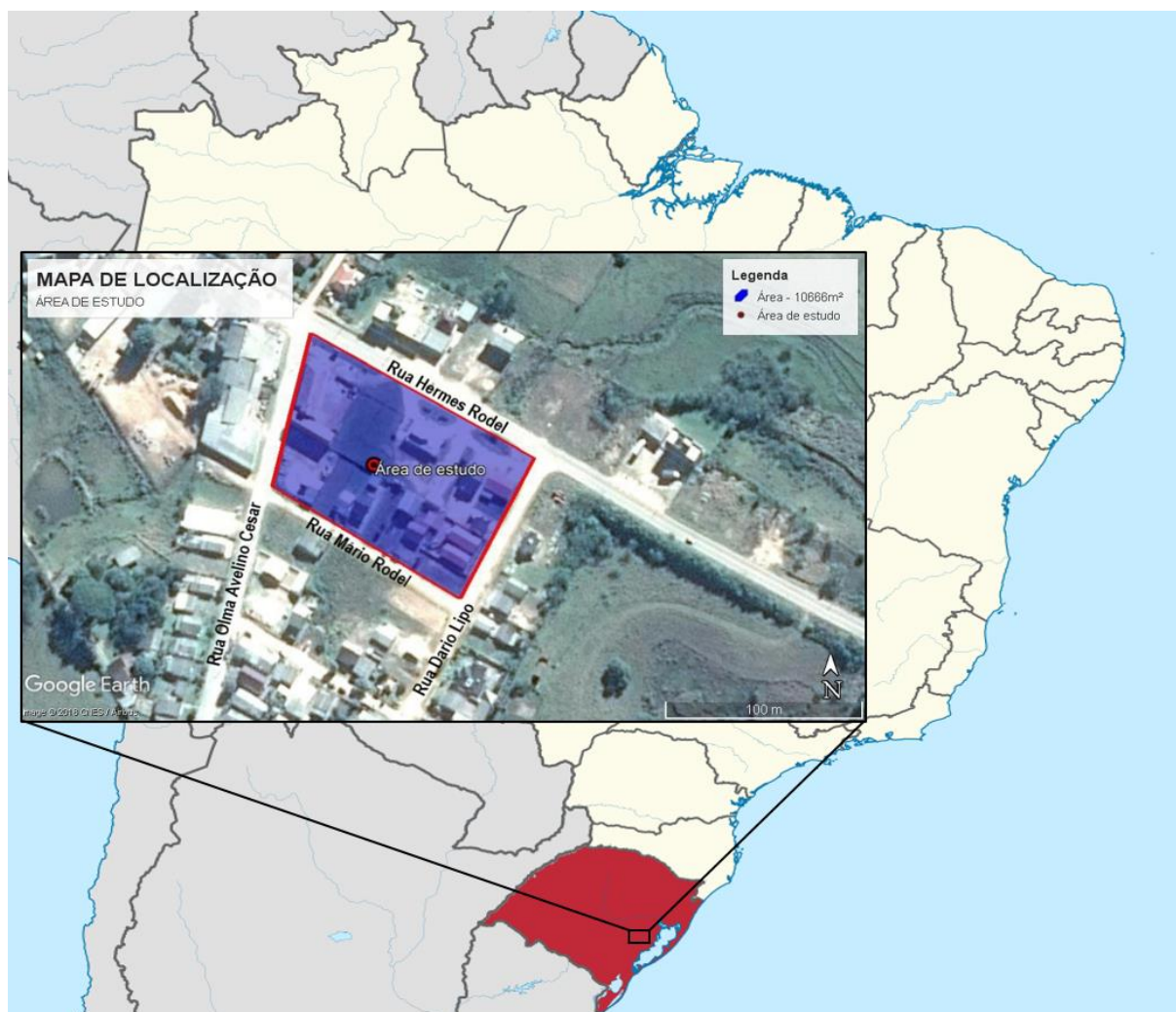


Figura 1 – Área de estudo

4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi organizado em cinco etapas, apresentadas no organograma da Figura 2.

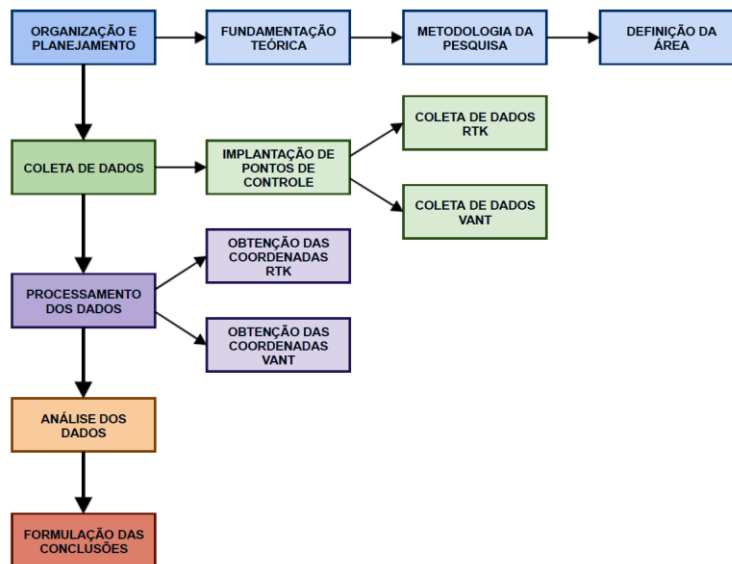


Figura 2 – Fluxograma da pesquisa

Os levantamentos topográficos desta pesquisa foram realizados no dia primeiro de março de 2018 e limitaram-se em obter coordenadas planimétricas de 13 pontos distribuídos aleatoriamente na área de estudo. Foram utilizadas duas técnicas de levantamento topográfico, uma por posicionamento cinemático em tempo real (RTK) e outra utilizando imagens aéreas, obtidas por meio de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). A utilização das duas técnicas, se deu pelo fato ambas retornarem resultados de coordenadas no sistema de projeção Universal Transversal de Mercator (UTM), o qual é um dos sistemas de coordenadas mais utilizados. Sendo o método RTK amplamente empregado em levantamentos topográficos, tornando viável a comparação com o método de levantamento por imagens aéreas.

O equipamento utilizado para o levantamento RTK, foi um receptor GNSS RTK da marca South, modelo S82T, composto por uma estação GNSS fixa e um conjunto móvel equipado com uma antena, radio e uma controladora, a qual armazena os dados coletados e os verifica continuamente, se comunicando com a estação GNSS.

Foram coletadas as coordenadas de 13 pontos, distribuídos de forma aleatória na área de estudo e de 4 pontos de controle utilizados para a ortorretificação da imagem. Os locais dos pontos foram escolhidos de acordo com as características do local, onde pudessem ser posteriormente identificados no ortomosaico e que permanecessem perenes durante o período dos levantamentos.

Para a captação das imagens foi utilizado o veículo aéreo não tripulado modelo Phantom 4 Advanced, da empresa DJI. O dispositivo é composto por uma plataforma dotada de 4 hélices, possui câmera de 20 megapixels, com sensor de 1 polegada e obturador mecânico, tem a capacidade de gravar vídeos na qualidade de 4K a 60 quadros por segundo. Possui cinco sensores de visão, posicionamento por satélite de banda dupla (GPS e GLONASS), telémetros ultrassônicos e sensores redundantes, é equipado com uma bateria de 5.870 mAh, que proporciona autonomia de voo de aproximadamente 30 minutos.

Para a realização do plano de voo foi utilizado o aplicativo Pix4Dcapture da empresa Pix4D, (disponível para *Android* e *IOS*) o qual utiliza o sistema GPS de um celular ou *tablet* para a geolocalização do VANT e o planejamento de voo.

Foi escolhido um voo tipo grelha a uma altura de 80 metros, neste tipo de voo a aeronave sobrevoa o terreno em faixas, capturando as imagens aéreas. Estas imagens são capturadas com uma sobreposição longitudinal e lateral. O valor de sobreposição utilizado foi de 80%, com eficiência de 72%. Como se pode ver na Figura 3, foi definida como região de voo uma área de 77,280 m² extrapolando os limites de área de estudo. A escolha de sobrevoar uma área maior que a de interesse se dá pelo fato do ortomosaico gerado a partir da junção das imagens obtidas normalmente apresentar distorções em suas extremidades. Desta maneira, centralizando a área de interesse na região sobrevoada e adotando uma sobreposição de imagens, é possível evitar distorções na área de interesse, garantindo qualidade na geração do produto final.

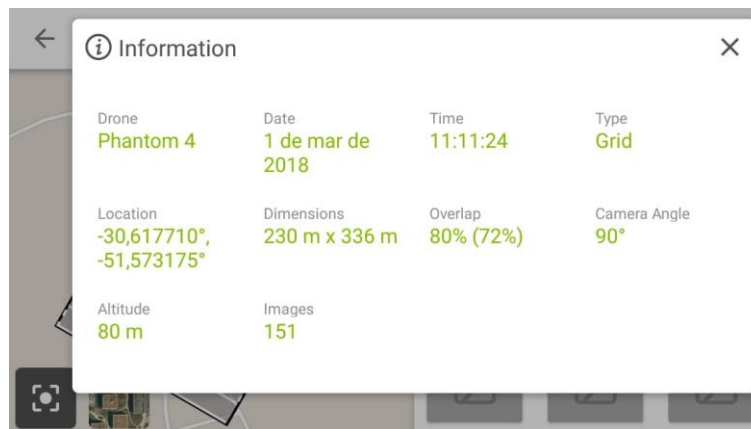


Figura 3 – Plano de voo Pix4Dcapture

Após realizado o voo, as imagens coletadas pela câmera embarcada na plataforma VANT, foram processadas no programa aerofotogramétrico PhotoScan da empresa russa Agisoft LLC. Primeiramente o *software* realiza o processo de ortorretificação das imagens, projetando-as ortogonalmente à uma escala constante, suprimindo deslocamentos em função do relevo e ao ângulo de captura das imagens. Com as imagens devidamente corrigidas o software organiza de forma autônoma e faz a junção de todas as imagens obtidas, gerando um ortomosaico que é a unificação de todas as fotos ortorretificadas em uma grande imagem. A Figura 4 apresenta o ortomosaico da área de estudo, gerado no programa PhotoScan através das imagens obtidas pela câmera embarcada no VANT.

Figura 4 – Ortomosaico gerado pelo *software* PhotoScan

Após coletados todos os dados em campo e gerado o ortomosaico, o mesmo foi importado para o programa AutoCAD 2015 da empresa Autodesk, onde foram lançados os 13 pontos de interesse, de acordo com as coordenadas obtidas pelo levantamento topográfico utilizando o sistema RTK. Posteriormente, com os pontos de controle e de interesse obtidos pelo levantamento com RTK lançados, foram localizados e lançados no ortomosaico os pontos de interesse de acordo com o levantamento aerofotogramétrico. A identificação dos locais dos pontos se deu através do próprio ortomosaico, com o auxílio das fotos tiradas durante o levantamento por RTK. A localização dos pontos obtidos através do levantamento por Posicionamento Cinemático em Tempo Real, foi realizada por meio de marcadores na cor branca, os pontos de interesse obtidos pelo levantamento com VANT foram localizados por fotoidentificação dos pontos conhecidos ortomosaico e posteriormente foram demarcados por marcadores na cor rosa, o local de posicionamento da estação GNSS (ponto georreferenciado) foi demarcado por um marcador de cor amarela e os pontos de controle foram identificados por marcadores na cor vermelha. Na Figura 5, é possível observar os pontos lançados no ortomosaico identificados de ambas as técnicas.

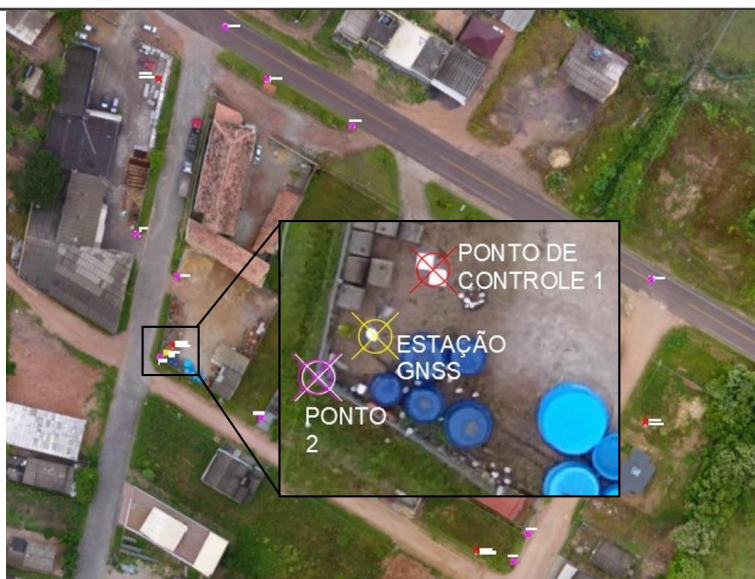


Figura 5 – Pontos lançados no ortomosaico no AutoCAD

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após lançar no ortomosaico todos os pontos levantados a partir das duas técnicas de levantamento topográfico aplicadas, foram obtidas as coordenadas planas Norte (ordenadas) e Este (abscissas) no sistema de projeção Universal Transversal de Mercator (UTM) dos 13 pontos de interesse verificados. Para a organização e análise das coordenadas obtidas em cada método foi utilizado o programa Microsoft Excel 2013, com o qual foram elaboradas planilhas e representações gráficas para a realização dos cálculos e análises estatísticas das coordenadas obtidas.

A análise da acurácia posicional calculada neste estudo, consiste na média (\bar{X}) das discrepâncias (Δ) das coordenadas obtidas em cada ponto de interesse. O cálculo da incerteza das verificações será estimado a partir da variância (Var) da média das discrepâncias calculadas.

Para obter a variação posicional das coordenadas obtidas pelos dois métodos de levantamento topográfico de cada ponto de interesse, foram calculadas as discrepâncias das coordenadas abscissas (ΔX_i) e ordenadas (ΔY_i), que são a diferença ente a coordenada de referência (X_i^{RTK}) e a coordenada obtida pelo método analisado (X_i^{VANT}), calculadas para cada ponto i a partir das equações 1 e 2.

$$\Delta X_i = X_i^{RTK} - X_i^{VANT} \quad (1)$$

Onde:

ΔX_i = Discrepância posicional das coordenadas Este

X_i^{RTK} = Coordenada de referência Este obtida por RTK

X_i^{VANT} = Coordenada Este obtida por VANT

$$\Delta Y_i = Y_i^{RTK} - Y_i^{VANT} \quad (2)$$

Onde:

ΔY_i = Discrepância posicional das coordenadas Norte
 Y_i^{RTK} = Coordenada de referência Norte obtida por RTK
 Y_i^{VANT} = Coordenada Norte obtida por VANT

O cálculo da média das discrepâncias de cada eixo de coordenadas, se deu através da equação 3, que é a razão entre o somatório das discrepâncias dos pontos de interesse analisados ($\sum_{i=1}^N \Delta_i$) e o número total de amostras analisadas (N).

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta_i}{N} \quad (3)$$

Onde:

\bar{X} = Média aritmética das discrepâncias

$\sum_{i=1}^N \Delta_i$ = Somatório das discrepâncias

N = Total de amostras

A variância amostral ($Var(\Delta)$) é uma medida de dispersão do conjunto de discrepâncias amostrais e serve para informar o grau que os dados numéricos calculados se distanciam do valor médio. O cálculo da variância amostral é dado pela equação 4 que é a diferença entre a média quadrática e o quadrado da média das discrepâncias. Porém, a pesar de ser muito útil para calcular os desvios dos deltas calculados, a variância não é representada na mesma unidade dos resultados.

$$Var(\Delta) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta_i - \bar{X})^2 \quad (4)$$

Onde:

$Var(\Delta)$ = Variância das discrepâncias

Δ_i = Discrepância posicional

\bar{X} = Média aritmética das discrepâncias

N = Total de amostras

Para analisar a dispersão do conjunto de dados calculados no mesmo sistema de medidas, utiliza-se o desvio-padrão, representado na equação 5, que é calculado através da raiz quadrada da variância. Esta medida foi utilizada para representar o quanto as discrepâncias posicionais calculadas se distanciam da média aritmética das mesmas.

$$\sigma(\Delta) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta_i - \bar{X})^2} \quad (5)$$

Onde:

$\sigma(\Delta)$ = Desvio-padrão das discrepâncias

Δ_i = Discrepância posicional

\bar{X} = Média aritmética das discrepâncias

N = Total de amostras

Para avaliar a acurácia posicional dos pontos de verificação através das coordenadas obtidas com VANT e RTK, primeiramente os dados coletados foram classificados de acordo com o eixo de coordenadas analisadas, gerando um par de coordenadas Este e um par de coordenadas Norte para cada ponto de verificação.

5.1 Acurácia posicional das coordenadas abscissas (Este)

Após a classificação das coordenadas por eixo e ponto de verificação, foram calculadas as discrepâncias posicionais das coordenadas abscissas (ΔX_i), através da equação 1.

Discrepância posicional das coordenadas abscissas no ponto de verificação 1:

$$\begin{aligned}\Delta X_i &= X_i^{RTK} - X_i^{VANT} \\ \Delta X_1 &= 445004,397 - 445004,367 \\ \Delta X_1 &= 0,033 \text{ m}\end{aligned}$$

Da mesma maneira, foram calculadas as discrepâncias posicionais das coordenadas Este dos 13 pontos.

Após o cálculo das discrepâncias posicionais de cada ponto de interesse, foi calculada a média aritmética das mesmas, de acordo com a equação 3.

Média aritmética das discrepâncias posicionais das coordenadas abscissas:

$$\begin{aligned}\bar{X} &= \frac{\sum_{i=1}^N \Delta_i}{N} \\ \bar{X} &= \frac{0,814}{13} \\ \bar{X} &= 0,063 \text{ m}\end{aligned}$$

Após o cálculo da média aritmética, foram calculados a variância amostral e o desvio-padrão das discrepâncias posicionais encontradas. Os resultados foram obtidos através da aplicação das equações 4 e 5.

Variância amostral das discrepâncias posicionais no eixo das abscissas:

$$\begin{aligned}Var(\Delta) &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta_i - \bar{X})^2 \\ Var(\Delta) &= 0,004 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Desvio-padrão das discrepâncias posicionais no eixo das abscissas:

$$\begin{aligned}\sigma(\Delta) &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta_i - \bar{X})^2} \\ \sigma(\Delta) &= \sqrt{0,004} \\ \sigma(\Delta) &= 0,0063 \text{ m}\end{aligned}$$

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos através da análise estatística das coordenadas abscissas obtidas pelas duas técnicas de levantamentos topográficos planimétricos.

Tabela 1 - Coordenadas Leste - Oeste (E)

Pontos	Coordenadas RTK (m)	Coordenadas VANT (m)	ΔX (m)
1	445004,397	445004,367	0,030
2	444999,580	444999,470	0,110
3	445027,778	445027,711	0,067
4	445045,034	445045,035	0,001
5	445097,982	445097,997	0,015
6	445101,915	445101,897	0,018
7	445115,703	445115,709	0,006
8	445136,371	445136,287	0,084
9	445083,946	445083,919	0,027
10	445053,004	445052,938	0,066
11	445029,587	445029,354	0,233
12	445017,745	445017,719	0,026
13	444993,079	444992,950	0,129
Média das discrepâncias (m)			0,063
Variância (m²)			0,004
Desvio padrão (m)			0,063

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

6. Os resultados apresentados na Tabela 1, podem ser melhor visualizados no gráfico da Figura

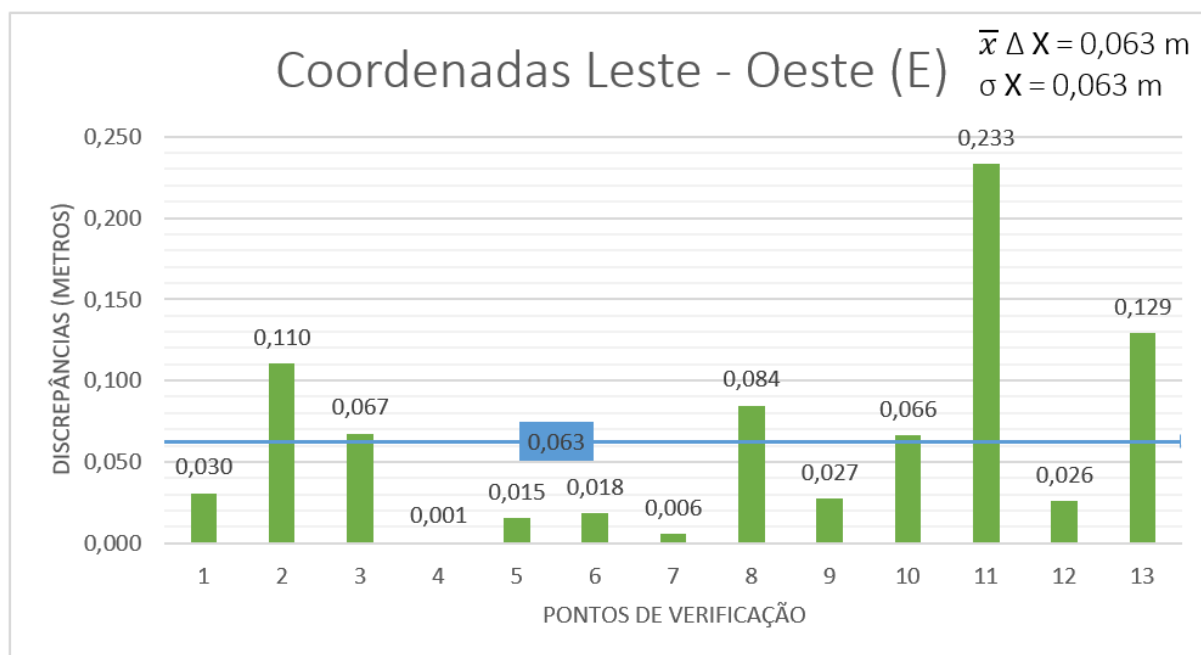


Figura 6 - Pontos de verificação x discrepâncias das coordenadas Este
 Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Com os valores apresentados na Tabela 1 e no gráfico da Figura 6, é possível observar que a média das discrepâncias posicionais das coordenadas abscissas foi de 0,063 metros, casualmente o mesmo valor do desvio padrão das amostras. Alguns pontos apresentaram resultados muito próximos de coordenadas, como no Ponto de verificação 4, em que a diferença posicional foi de apenas 0,001 metros. Voltando ao ortomosaico e aproximando a imagem na região do Ponto 4 é possível verificar que a marcação das coordenadas obtidas por VANT (em rosa) e por RTK (em branco), estão praticamente sobrepostas, como se pode visualizar na Figura 7.



Figura 7 – Ponto de verificação 4 no ortomosaico

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Neste caso, o ponto de interesse analisado é o vértice de um muro, cuja localização é fotoidentificável, ou seja, possível de se identificar através do levantamento aerofotogramétrico.

Outros pontos porém, apresentam diferenças que se distanciam da média, como no caso do Ponto de verificação 11, que apresentou uma discrepância posicional de 0,233 metros. Voltando ao ortomosaico e observando a localização das coordenadas neste ponto na Figura 8, é possível observar que os marcadores estão com uma pequena distância ente si. Este erro de localização pode ter ocorrido por uma falha na geração do ortomosaico, ocasionando uma distorção da imagem próximo ao ponto.



Figura 8 – Ponto de verificação 4 no ortomosaico
Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Diversos fatores podem ter influenciado nesta distorção da imagem, como as condições climáticas na região durante o voo do VANT para a obtenção das imagens ou um erro operacional durante o levantamento por RTK.

5.2 Acurácia posicional das coordenadas ordenadas (Norte)

A avaliação da acurácia posicional das coordenadas Norte, seguiu o mesmo processo das coordenadas Este. Primeiramente foram calculadas as discrepâncias posicionais (ΔY_i), de todos os pontos de verificação através da equação 2.

Discrepância posicional das coordenadas abscissas no ponto de verificação 1:

$$\begin{aligned}\Delta Y_i &= Y_i^{RTK} - Y_i^{VANT} \\ \Delta Y_1 &= 6612634,096 - 6612634,164 \\ \Delta X_1 &= 0,068 \text{ m}\end{aligned}$$

Da mesma maneira, foram calculadas as diferenças posicionais das coordenadas Norte dos 13 pontos.

Seguindo o mesmo processo de cálculo do eixo das abscissas, após o cálculo das discrepâncias posicionais de cada ponto de interesse, foi calculada a média aritmética das mesmas, de acordo com a equação 3.

Média aritmética das discrepâncias posicionais das coordenadas ordenadas:

$$\begin{aligned}\bar{X} &= \frac{\sum_{i=1}^N \Delta_i}{N} \\ \bar{X} &= \frac{0,870}{13} \\ \bar{X} &= 0,067 \text{ m}\end{aligned}$$

Obtida a média aritmética, foram calculados a variância amostral e o desvio-padrão dos das discrepâncias posicionais encontradas. Os resultados foram obtidos através da aplicação das equações 4 e 5.

Variância amostral das discrepâncias posicionais das coordenadas ordenadas:

$$Var(\Delta) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta_i - \bar{X})^2$$

$$Var(\Delta) = 0,002 \text{ m}^2$$

Desvio-padrão das discrepâncias posicionais no eixo das ordenadas:

$$\sigma(\Delta) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta_i - \bar{X})^2}$$

$$\sigma(\Delta) = \sqrt{0,002}$$

$$\sigma(\Delta) = 0,0046 \text{ m}$$

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos através da análise estatística das coordenadas Norte obtidas através dos levantamentos topográficos planimétricos com VANT e RTK.

Tabela 2 - Coordenadas Norte - Sul (N)

Pontos	Coordenadas RTK (m)	Coordenadas VANT (m)	ΔY (m)
1	6612634,096	6612634,164	0,068
2	6612611,726	6612611,747	0,021
3	6612594,850	6612594,801	0,049
4	6612584,695	6612584,720	0,025
5	6612554,961	6612554,965	0,004
6	6612562,624	6612562,578	0,046
7	6612593,004	6612593,008	0,004
8	6612633,415	6612633,315	0,100
9	6612648,634	6612648,548	0,086
10	6612676,064	6612675,989	0,075
11	6612689,004	6612689,118	0,114
12	6612703,712	6612703,587	0,125
13	6612645,993	6612645,839	0,154
Média das discrepâncias (m)			0,067
Variância (m²)			0,002
Desvio padrão (m)			0,046

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

A Figura 9, apresenta graficamente os resultados obtidos expostos na Tabela 2.

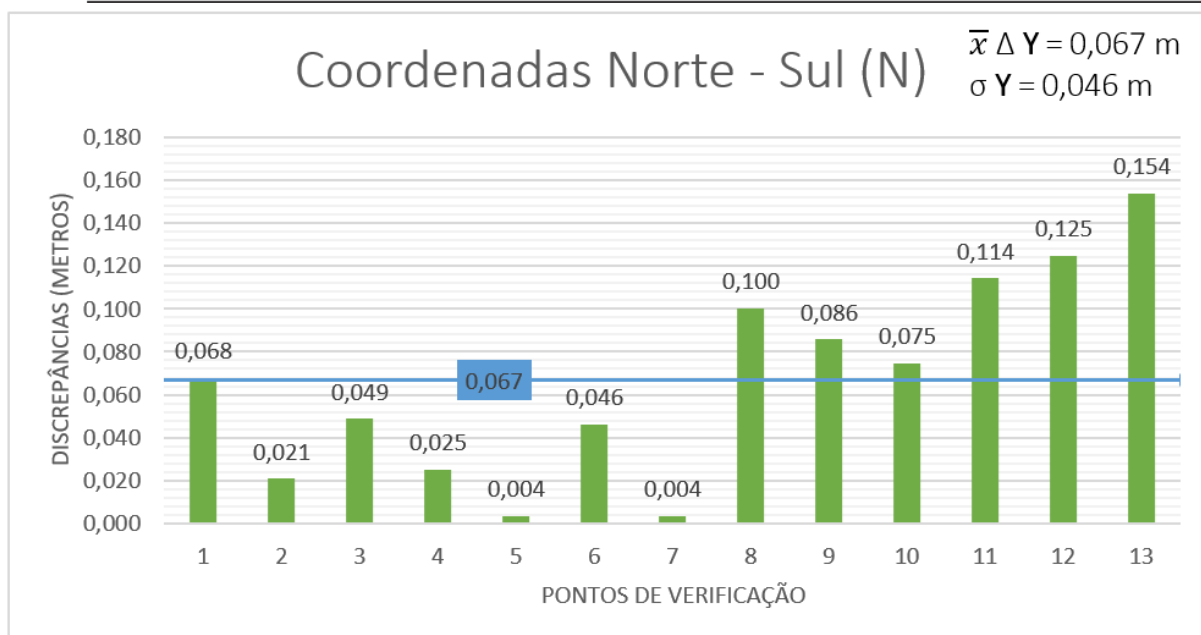


Figura 9 - Pontos de verificação x discrepâncias das coordenadas Norte
Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Observando os resultados expostos no gráfico da Figura 9, é possível analisar que alguns pontos de verificação apresentaram discrepâncias posicionais das coordenadas no eixo das ordenadas acima da média, sendo o Ponto de verificação 13 o que mais se distancia. Analisando a imagem da localização do ponto no ortomosaico na Figura 10, é possível observar que o mourão de cerca escolhido como ponto de verificação, apesar de ser um ponto perene, não pode ser considerado como de fácil fotoidentificação.



Figura 10 – Ponto de verificação 13 no ortomosaico
Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Analisando de forma geral os resultados obtidos na análise posicional das coordenadas obtidas com VANT, é possível verificar que os pontos de interesse apresentaram disparidades posicionais entre os métodos dentro da normalidade. O método de levantamento topográfico planimétrico utilizando VANT, apresentou discordância máxima de coordenadas de 0,023 metros. Ao realizar a análise das médias das discrepâncias, observou-se que em ambos eixos de coordenadas o valor médio das mesmas ficou na casa dos 6 centímetros.

Tal resultado pode ser considerado satisfatório, para levantamentos topográficos que não exijam um alto índice de precisão, podendo considerar o levantamento topográfico planimétrico por meio de veículo aéreo não tripulado como uma ferramenta relevante para diversas aplicações, como cadastro territorial rural, georreferenciamento de imóveis rurais, cadastro técnico multitudinário, cadastro ambiental rural, etc. Considerando que o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, por meio da Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais (2013), estabelece como padrões posicionais de vértices definidores de limites um valor mínimo de precisão de 0,50 m para os limites artificiais; de 3 metros ou superior para os limites naturais e por fim, de 7,5 m ou superior para os limites considerados inacessíveis.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que a utilização de tecnologias de baixo custo, como o caso do levantamento topográfico aerofotogramétrico a partir de imagens obtidas com VANT, pode ser uma alternativa viável que vem a contribuir de forma positiva na redução de custos e agilidade na produção de produtos topográficos, que variam de acordo com o modelo de aeronave utilizado e qualidade do sensor de câmera embarcado.

A aplicação de levantamentos topográficos planimétricos a partir de imagens obtidas por VANT poderá ser utilizado, principalmente em projetos com menor exigência de precisão como georreferenciamento de imóveis rurais, cadastro territorial rural, cadastro ambiental rural, entre outros.

Recomenda-se a realização de estudos complementares à obtenção de maiores informações pertinentes à qualidade dos dados apresentados neste estudo, bem como outros procedimento e análises relevantes para a consolidação desta tecnologia como:

Variar a quantidade e a distribuição dos pontos de verificação e de controle distribuídos na área de estudo;

Ampliar o estudo comparativo a levantamentos planialtimétricos, envolvendo outros produtos aerofotogramétricos como Modelos Digitais de Terreno e Modelos Digitais de Superfície;

Comparativo entre ortomosaicos gerados por outros softwares de ortorretificação de imagem;

Incrementar a análise das discrepâncias, enquadrando os resultados obtidos nas classes de precisão e localização de acordo com padrão de exatidão cartográfica brasileiro.

Referências Bibliográficas

AQUINO, Acilayne Freitas de *et al* (Ed.). **Manual Técnico de Posicionamento:** Georreferenciamento de Imóveis Rurais. Brasília: INCRA, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133:** Execução de levantamento topográfico. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. 35 p.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DA AVIAÇÃO CIVIL. **DRONES**. 2017. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

COELHO, I. A. **Avaliação da qualidade posicional de dados oriundos de VANT para mapeamento fotogramétrico aplicado em projetos rodoviários**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

GONÇALVES, J. A.; MADEIRA, S.; SOUSA, J. J. **Topografia conceitos e aplicações**. 3. Ed. Lisboa: Lidel, 2012.

GOOGLE EARTH. **Google Earth**. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/>>. Acesso em: 05 mai. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Home Page**. Disponível em: <<http://www.ibge.org.br>>. Acesso em: 01 out. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Serviço online para pós-processamento de dados GNSS - IBGE-PPP**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/16334-servico-online-para-pos-processamento-de-dados-gnss-ibge-ppp.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

NTGIR, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. Brasília, 2013. 3ª Edição.

SANTIAGO E CINTRA (São Paulo). **O que é um VANT?** 2017. Disponível em: <<https://www.santiagoecintra.com.br/blog/geo-tecnologias/o-que-e-um-vant>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

SILVA, I. & SEGANTINE, P.C.L. 2015. **Topografia para engenharia – teoria e prática de geomática**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.