

COMPARAÇÃO DO ERRO ALTIMÉTRICO DA AEROFOTOGRAMETRIA COM DRONE COM O MÉTODO DE POSICIONAMENTO RTK GNSS

COMPARISON OF THE ALTIMETRIC ERROR OF AEROPHOTOGRAMMETRY WITH DRONE WITH THE RTK GNSS POSITIONING METHOD

**Priscila Bocussi Rohr¹, Felipe Henrique Moraes², André Luis Domingues³,
Juliano Dalcin Martins⁴, Marcelo Lovato Brum⁵,
Richard Alberto Rodríguez Padrón⁶ e Alexandre Swarowsky⁷**

RESUMO

A busca do homem por maneiras de orientação e o desenvolvimento da tecnologia proporcionaram a criação de equipamentos capazes de fazer levantamentos topográficos de forma rápida e precisa. Por isso é necessário verificações a respeito da qualidade dos dados desses levantamentos, para que futuramente ajustes possam ser feitos, aproximando os valores coletados em relação à realidade do terreno. O objetivo deste trabalho é comparar valores altimétricos levantados e georreferenciados com o método de posicionamento denominado Real Time Kinematic (RTK), com pontos altimétricos obtidos do Modelo Digital do Terreno (MDT), elaborado a partir de fotografias tiradas durante um levantamento aerofotogramétrico com aeronave remotamente pilotada (também conhecida por drone), no Trevo de Restinga Seca - RS. O levantamento realizado com drone apresentou diferenças significativas para altimetria do terreno. Regiões do levantamento com a presença de obstáculos que impeçam a visualização da superfície do terreno (ex. dossel de árvores) pela câmera do drone são propícias a um maior erro altimétrico. Embora os drones ofereçam detalhamento, seus produtos devem ser utilizados com parcimônia.

Palavras-chave: Levantamento topográfico; *Real Time Kinematic*; Modelo Digital do Terreno.

ABSTRACT

Humans are in dire need of guidance and understanding about technology, especially the use of equipments that generate topographical surveys speedily and with high level of precision and accuracy. Therefore, it is necessary to verify the quality of the data from these surveys, so that future adjustments can be made, bringing the collected values closer to the reality of the terrain. The objective of this work is to compare

¹ Graduada em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: priscila.bocussi@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7901-0896>

² Graduado em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Franciscana (UFN), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: felipymor@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9420-4544>

³ Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Brasil. E-mail: eng.domingues@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8338-8853>

⁴ Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Brasil. E-mail: juliano.martins@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2501-1067>

⁵ Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Brasil. E-mail: marcelolvtb@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3468-5346>

⁶ Universidad Tecnológica del Uruguay, Durazno, Uruguay. E-mail: rarpadron@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5308-6827>

⁷ Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Brasil. E-mail: aleswar@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0787-2691>

altimetric values obtained using the positioning method called Real Time Kinematic (RTK) and georeferenced, with altimetry points obtained from the Digital Terrain Model (DTM), created from photographs taken during an aerophotogrammetric survey with Drone, at Cloverleaf of Restinga Seca - RS. It is expected to obtain the altimetric error of the values of aerophotogrammetry with drone, mainly, where the photographs of the drone do not record the surface of the ground or terrain. It is expedient to analyze the significance of the same.

Keywords: Topographic survey; Real Time Kinematic; Digital Terrain Model.

INTRODUÇÃO

Para Segantine e Silva (2015), a humanidade desde o início das civilizações sempre buscou formas de se orientar, para a expansão e conquista de territórios ou até mesmo para se aventurar desbravando novos horizontes, mas o homem só conseguiu obter precisão em seus métodos de localização, com o avanço da tecnologia, sendo possível melhores informações para a posição de pontos na ciência denominada como Geodésia. Foi com os satélites artificiais na órbita da Terra que houve o surgimento dos sistemas de posicionamento denominados como, *Global Navigation Satellite System - GNSS*.

A Topografia é uma ciência que estuda, projeta, representa, mensura e executa uma parte limitada da superfície terrestre não levando em conta a curvatura da Terra, até onde o erro de esfericidade poderá ser desprezível, e considerando os perímetros, dimensões, localização geográfica e posição (orientação) de objetos de interesse que estejam dentro desta porção” (COELHO *et al.*, 2020).

GNSS é um sistema de posicionamento global que possibilita, ao usuário, determinar a sua posição tridimensional em qualquer lugar da Terra ou em suas proximidades, em relação a um sistema de coordenadas predefinido. Ele fornece, fundamentalmente, as coordenadas cartesianas geocêntricas (X, Y, Z) do ponto observado, as quais são transformadas em coordenadas geográficas (latitude, longitude, altura elipsoidal) para o uso da comunidade civil e em coordenadas planas (E, N, H) para o uso em Geomática (SEGANTINE, SILVA, 2015).

O sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), é uma projeção transversal secante, representado como um cilindro colocado no plano da linha do equador, neste plano, criou-se dentro desta projeção um total de 60 fusos cada um com 6° de intervalo, com origem no sentido antimeridiano de Greenwich, em -180°, sendo contados a partir do 1 ao 60 (CORREA, 2017). No Brasil, o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - SIRGAS 2000, está em vigor, sendo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE responsável pelas correções dos dados de todas as estações do Sistema GNSS e assim disponibilizando coordenadas topográficas e coordenadas UTM (IBGE, 2011).

Contudo, o avanço ainda continua, atualmente utilizam-se as mesmas Estações Totais de anos atrás com acurácia maior e programas que facilitam seus trabalhos. GNSS com tecnologias para uso de metodologias de ponta, como o RTK, os drones também surgem para uso de localização e fotogrametria de alta resolução e Laser Scanner trazem uma imagem tridimensional de altíssima resolução,

devido à grande capacidade de armazenamento de seus dados. E assim por diante, surgem novas técnicas, instrumentos e metodologias para representar o terreno e seus elementos (MACHADO, 2023).

A tecnologia do sistema GNSS, possibilitou o desenvolvimento de várias técnicas de levantamentos topográficos ou geodésicos no campo, sendo possível a escolha delas, baseando-se no tipo de instrumento que será utilizado e/ou no nível de precisão requerida para este levantamento. Dentre as técnicas que podem ser usadas, está a técnica de levantamento diferencial baseado na medição da fase, usando o método de posicionamento denominado como *Real Time Kinematic* (RTK) GNSS ou Posicionamento Cinemático em Tempo Real e a técnica de Aerofotogrametria. A técnica ou método RTK GNSS, utiliza um receptor chamado de Base onde este combina informações com a antena remota Rover estabelecendo correções diferenciais através das fases das portadoras e das pseudodistâncias (código) para a medição das distâncias entre os satélites e as antenas GNSS do RTK. O Rover combina as informações e correções recebidas, assim esta técnica de levantamento determina em tempo real as suas respectivas coordenadas com uma precisão horizontal de até 1 a 2 cm (SEGANTINE, SILVA, 2015). Já a técnica de levantamento denominada como fotogrametria aérea ou aerofotogrametria, é uma derivação da fotogrametria, que diz respeito ao uso de aeronaves, aviões e drones, por exemplo, onde são tiradas fotografias do terreno para a geração de produtos, como o ortofotomosaico (TOMMASELLI, 2009).

É preciso buscar informações a respeito do Sistema Geodésico Brasileiro, sobre ferramentas topográficas, formas de mapeamento terrestre, aerolevantamento, Modelo Digital de Elevação (MDE) e Modelo Digital de Terreno (MDT), para a validação e a análise dos dados altimétricos gerados pelas técnicas usadas nas formas de orientação que serão discutidas a seguir.

Para obter maior precisão dos dados levantados *in loco* e as coordenadas estarem georreferenciadas pelo Sistema Geodésico Brasileiro, é necessário o seu pós-processamento, chamado de Posicionamento por Ponto Preciso - PPP, este serviço online é disponibilizado pelo site do IBGE, que permite corrigir coordenadas topográficas e coordenadas UTM referenciadas ao SIRGAS2000. Na correção dos dados, o IBGE-PPP utiliza arquivos de órbita e de correções dos relógios dos satélites mais precisos disponíveis naquele momento, onde estes são disponibilizados pelo *International GNSS Service* (IGS) e *Natural Resources Canada* (NRCan), as três categorias (Ultra-Rápida, Rápida e Final) e os períodos utilizados pelo IBGE-PPP, como estão descritos no Quadro 1.

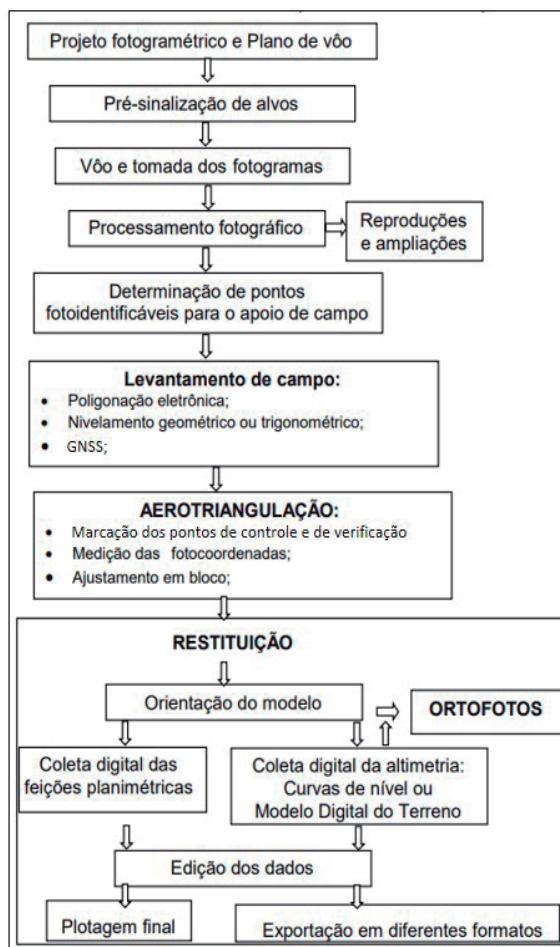
Quadro 1 - Disponibilidade dos Produtos do NRCan.

Produto NRCan				
Órbitas / intervalo	Relógios / Intervalo	Constelação	Quando o IBGE-PPP irá utilizar	Precisão da órbita
Ultrarrápida (MEU) 15 minutos	EMU 30 segundos	GPS(1h) e GPS+ GLONASS(3h)	a partir de 1h30m-2h30 após o fim do rastreio até a disponibilidade das órbitas EMR	+ ou - 15 cm
Rápida (EMR) 15 minutos	EMR 30 segundos	GPS e GLONASS	a partir de 12-36 horas após o fim do rastreio até a disponibilidade das órbitas EMF	+ ou - 5 cm
Final (EMF) 15 minutos	EMF 30 segundos	GPS e GLONASS	a partir de 11-17 dias após o fim do rastreio	+ ou - 2 cm

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia (2020).

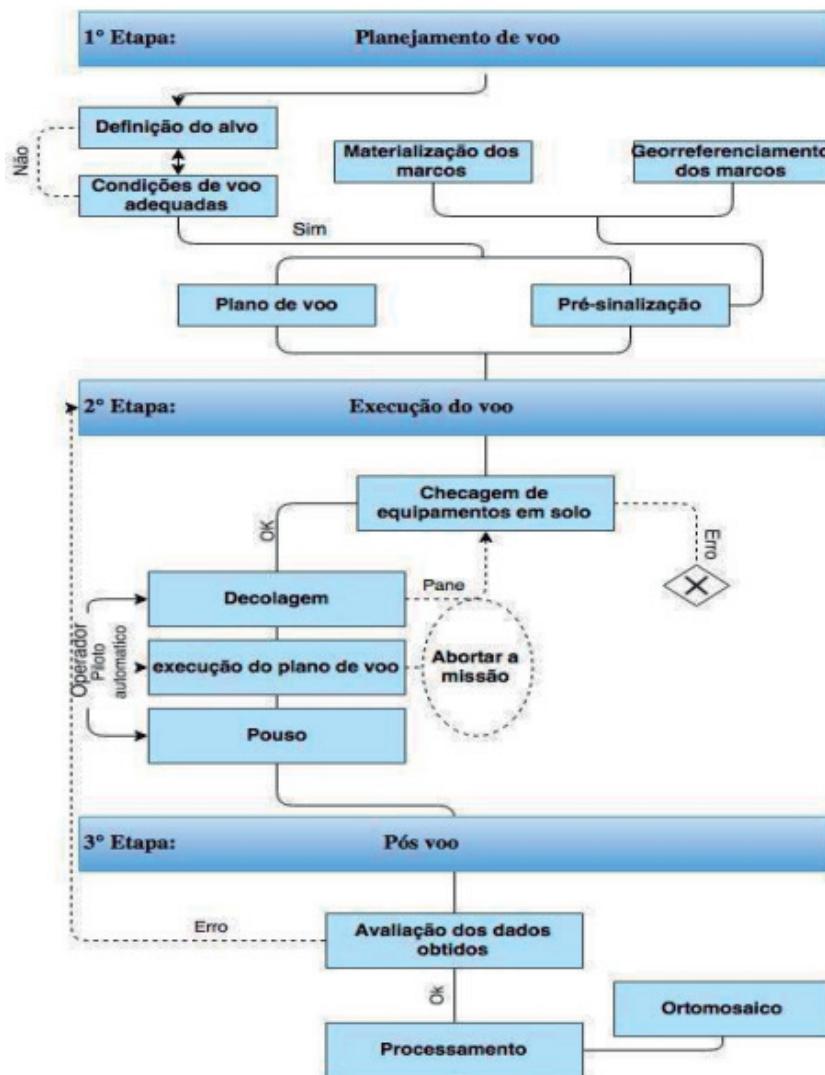
Atlas Escola, do IBGE (2022), descreve a aerofotogrametria ou levantamento aerofotogramétrico como um dos métodos utilizados para o mapeamento da superfície terrestre, este método é feito através do voo fotogramétrico. O levantamento aerofotogramétrico busca seguir o fluxograma descrito na Figura 1 para a geração das ortofotos. Veículos Aéreos não Tripulados (VANTs), que podem ser conhecidos como aeronave remotamente pilotada ou Drone, que como na Figura 2 podem seguir o fluxograma apresentado para o mapeamento e geração do Ortomosaico.

Figura 1 - Fluxograma para mapeamento com avião pelo processo fotogramétrico.



Fonte: TOMMASELLI (2009).

Figura 2 - Fluxograma para mapeamento e geração de ortomosaico pela utilização de VANTs.



Fonte: ALEXANDRE, RAMOS, DEUS, GOMES (2017).

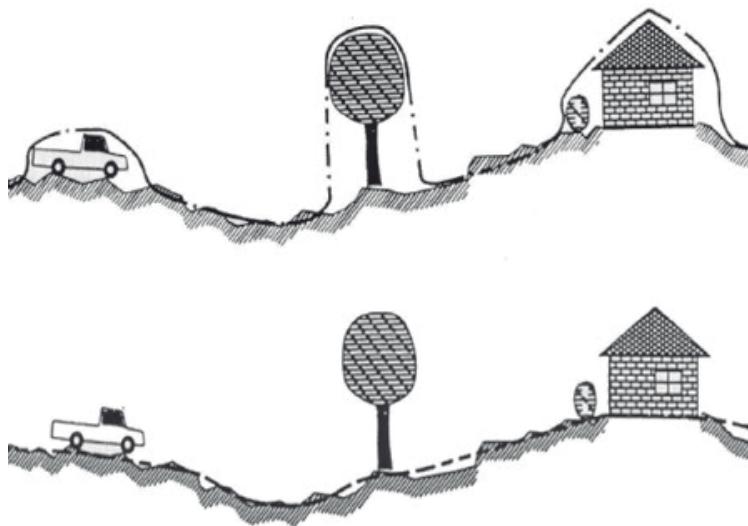
O Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) brasileiro, desenvolveu o SARPAS (Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas), um sistema para facilitar a solicitação de acesso ao espaço aéreo por drones. Para realizar a solicitação de voo, é necessário cadastrar-se no site do SARPAS e registrar o drone (DECEA, 2020).

O Agisoft Metashape Pro é um software fotogramétrico usado para reconstrução 3D, visualização e mapeamento. Ele pode processar imagens de drones para criar nuvens de pontos densas e, a partir delas, gerar Modelos Digitais de Elevação, Modelos Digitais do Terreno e Ortofotomosaicos (AGISOFT, 2021).

O IBGE (2022) definiu o Modelo Digital de Elevação (MDE) como um modelo digital que representa as altitudes das superfícies topográficas, incluindo elementos como cobertura vegetal e edificações. Ele também pode ser chamado de Modelo Numérico de Superfície (MNS) ou Modelo Digital de Superfície (MDS). Por outro lado, o Modelo Numérico do Terreno (MNT) ou Modelo Digital

de Terreno (MDT) é um modelo matemático que representa apenas a superfície do terreno, excluindo elementos como árvores e edifícios. O MDT é utilizado para diversas finalidades, como traçado de curvas de nível, cálculo de volumes, mapas de declividade e retificação de imagens aéreas para ortofotomosaicos, Figura 3 (SEGANTINE, SILVA, 2015).

Figura 3 - Modelo Digital de Elevação e Modelo Digital de Terreno (MDE e MDT).



Fonte: Construção do Autor.

Assim, este trabalho tem como objetivo analisar estatisticamente dados altimétricos levantados pelo método de posicionamento RTK GNSS e o método de aerolevantamento e verificar o erro nas cotas altimétricas retiradas do MDT (Modelo Digital do Terreno) gerado pelo levantamento aerofotogramétrico realizado por um VANT multirotor (drone).

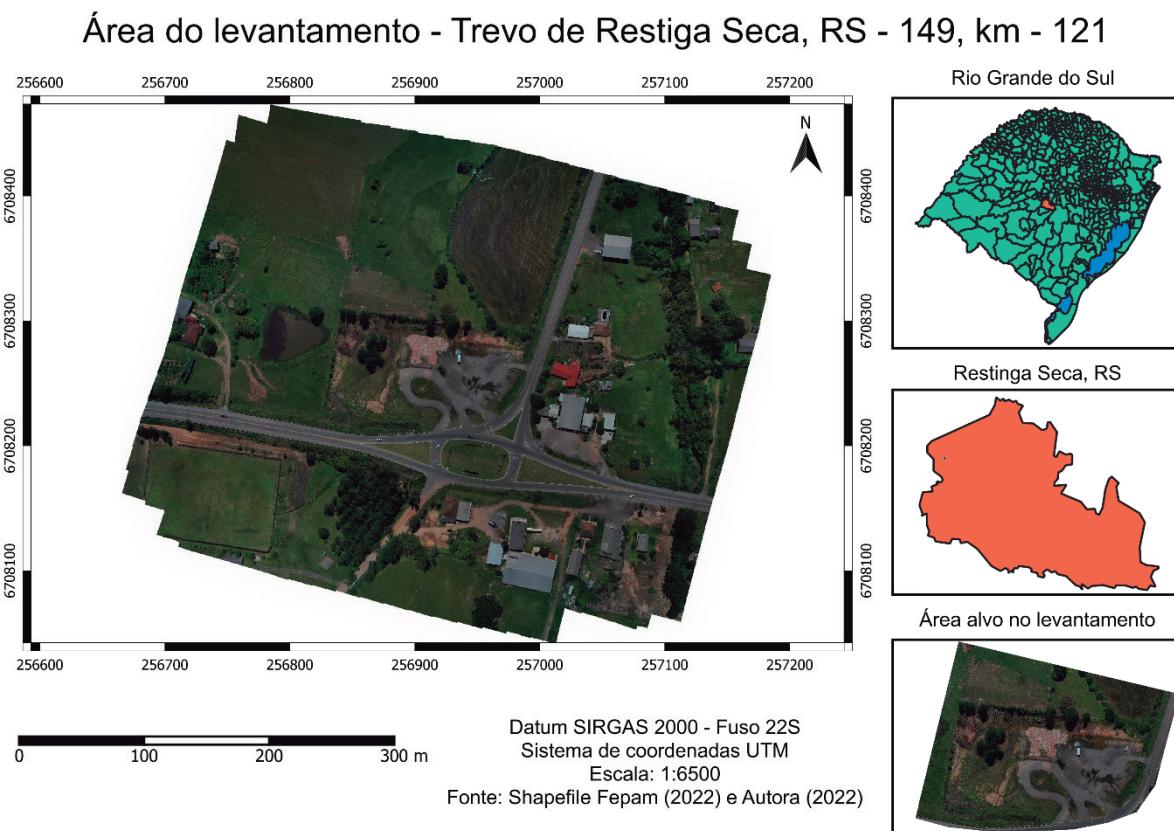
METODOLOGIA

As primeiras etapas metodológicas do levantamento e processamento dos pontos de cotas altimétricas com o método de posicionamento RTK GNSS e o levantamento aerofotogramétrico com o drone, assim como o processamento das imagens para a obtenção do ortofotomosaico, já foram realizadas. Foi através das primeiras etapas que os dados com as cotas altimétricas dos dois levantamentos foram determinados, onde tais cotas altimétricas foram utilizadas nas etapas seguintes, para fins de comparação e análises estatísticas, determinando o erro na altimetria de pontos, gerado pela modelagem do terreno com as imagens capturadas pelo drone em relação aos pontos obtidos pelo método de posicionamento RTK GNSS.

LEVANTAMENTO E PROCESSAMENTOS DOS PONTOS DE COTAS ALTIMÉTRICAS

No levantamento com o Drone e o RTK GNSS foram determinados os dados que foram utilizados neste trabalho, entre os dados obtidos estão os pontos de cotas planialtimétricas, para isso foi necessário ir até o trevo da RS - 149, km 121, Quarta Colônia de Imigração, Restinga Seca - RS, local mostrado no Mapa de Localização na Figura 4, onde foi feito a instalação e operação do método de posicionamento RTK GNSS. Foi colocado um tripé, uma base niveladora e a base receptora de sinal GNSS no topo, após isso deu-se a montagem do rover que é colocado sobre um bastão móvel onde possui um receptor de sinal GNSS. Os equipamentos foram ligados e foi feita a conexão entre os satélites artificiais e o RTK GNSS, durante o levantamento foi necessário, para dar início a captura de pontos no terreno, esperar um tempo de 5 minutos ou mais, para a base fazer a média das coordenadas do local onde foi instalada, obtendo assim, uma coordenada mais precisa no início do levantamento. Com o rover e um aparelho denominado coletora, onde os dados ficaram armazenados com uma determinada coordenada, o operador percorreu o perímetro do local capturando pontos de cota.

Figura 4 - Mapa de Localização da Área do Levantamento.



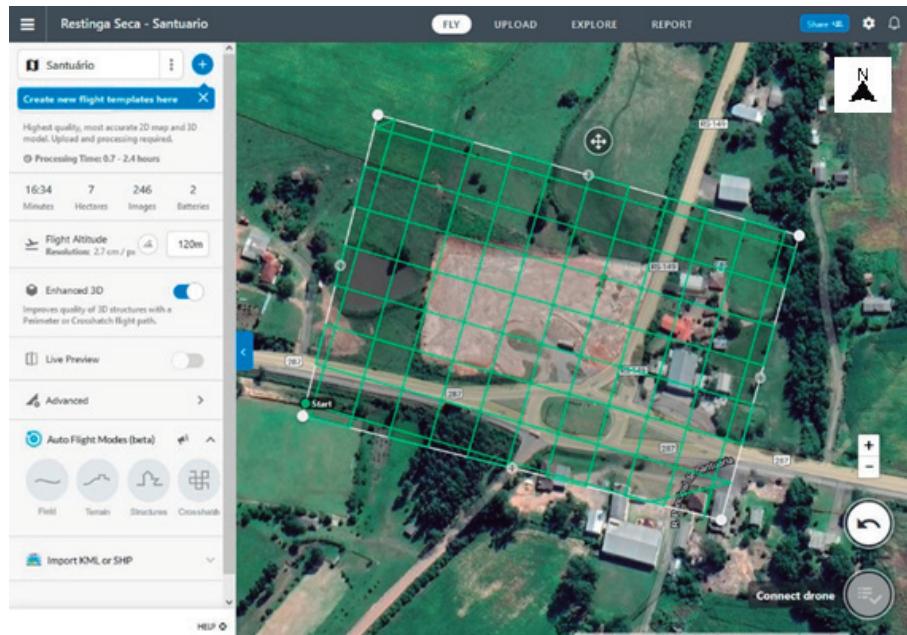
Fonte: Construção do Autor.

Para o pós-processamento dos dados armazenados na coletrora, foi necessário a utilização do Serviço online para pós-processamento de dados GNSS, disponibilizado no site do IBGE, onde as coordenadas da base foram ajustadas e houve a geração de uma nova coordenada conhecida para o ponto da base, que conforme as órbitas dos satélites, como mostra o Quadro 1, podem ser ultra-rápida, rápida e final. Após a correção do PPP no site do IBGE, foi plotado no software AutoCAD, o novo ponto com as coordenadas UTM, norte, leste e a altitude da base georreferenciada no SIRGAS2000 e foi movido o ponto da base levantado no campo para cima do ponto georreferenciado, juntamente com todos os outros pontos do levantamento.

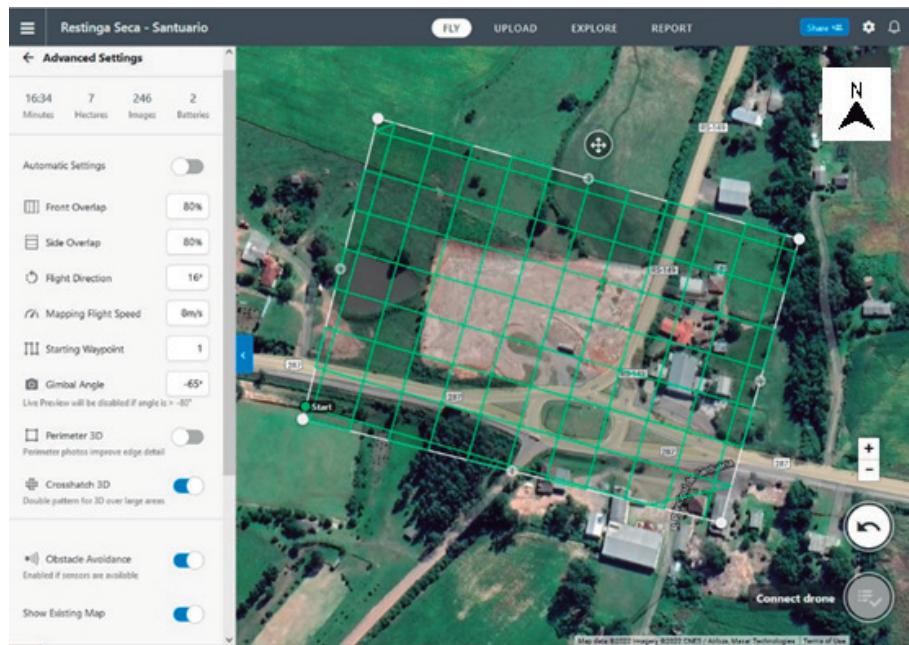
LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO

Para realizar o aerolevantamento no campo, foi necessário anteriormente, solicitar a autorização de voo para o DECEA, através do site SARPAS e criar um planejamento de voo, como na Figura 5 e Figura 6, onde foi determinado a altura de voo de 120m, a área capturada de sete hectares, a velocidade de voo de 8m/s e o grau de sobreposição das fotografias que foi de 80%, como representado na Figura 8, entre outros detalhes de voo. A área de voo do levantamento precisa ser maior que a área que será alvo do levantamento planialtimétrico, pois nas fotografias das bordas as sobreposições não ocorrem dentro do parâmetro estipulado de 80%.

Figura 5 - Planejamento de voo.



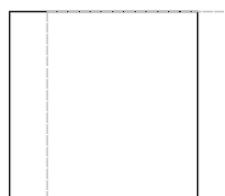
Fonte: Construção do Autor.

Figura 6 - Planejamento de Voo.

Fonte: Construção do Autor.

Figura 7 - Sobreposição das fotografias durante o Aerolevantamento.**Sobreposição frontal
80%**

(a)



(b)

**Sobreposição lateral
80%**

Fonte: Construção do Autor.

Já no campo foram colocados alvos espalhados e em locais visíveis na área de interesse, onde houve a necessidade de ser levantados os pontos dos centros destes alvos com o método de posicionamento RTK GNSS, para ajudar na correção dos pontos em uma das etapas seguintes no processo de alinhamento das imagens. Com isso, foi possível ser dado início ao aerolevantamento, onde o Drone MAVIC 2 PRO, representado na Figura 8, seguiu o plano de voo criado, capturando as imagens do local, geralmente se tratando de um processo considerado rápido, em comparação com o tempo gasto para o levantamento com o RTK GNSS.

Figura 8 - Drone MAVIC 2 PRO que foi usado para o aerolevantamento.

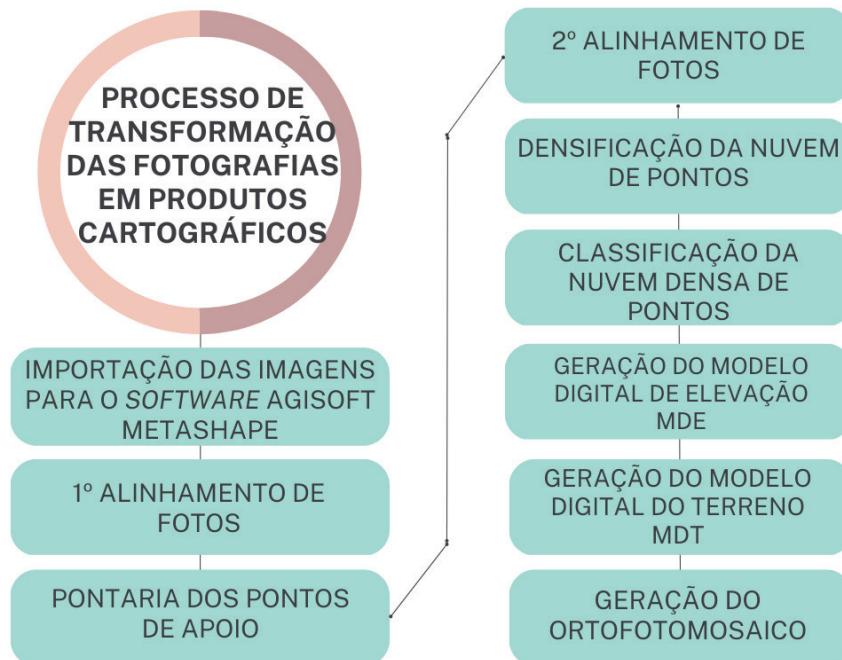


Fonte: DJI (2022).

PROCESSAMENTO DAS FOTOGRAFIAS PARA A TRANSFORMAÇÃO EM PRODUTOS CARTOGRÁFICOS

As imagens do local capturadas com a câmera embarcada no Drone, foram importadas para o software Agisoft Metashape Pro, onde foram feitas as etapas descritas no fluxograma da Figura 9, até a geração do Ortofotomosaico, com resolução espacial de 3cm.

Figura 9 - Fluxograma do Processamento das Fotografias para a Transformação em Produtos Cartográficos.



Fonte: Construção do Autor.

DETERMINAÇÃO DOS PONTOS DE COTAS ALTIMÉTRICAS NO MODELO DIGITAL DO TERRENO

Foram importados para o software QGIS, o MDT gerado após o processamento das fotografias da Aerofotogrametria e os pontos de cota altimétrica, determinados com o método de posicionamento RTK GNSS e corrigidos no IBGE-PPP, após isto, houve a obtenção dos valores altimétricos exatos dos pixels do MDT, ou seja, onde os pontos do RTK GNSS coincidem com o MDT do Drone. Como resultado obteve-se uma planilha com duas colunas de pontos, uma coluna dos pontos de cotas altimétricas do RTK GNSS e outra coluna com os valores altimétricos obtidos através da Aerofotogrametria utilizando o Drone, que foram usadas para o estudo e a análise que foi desenvolvida neste trabalho.

MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA O CÁLCULO DO ERRO NOS PONTOS ALTIMÉTRICO DO LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO

Foi calculado o erro dos valores altimétricos dos pontos obtidos com o aerolevantamento feito a campo com o drone e foi feita a análise para verificar se este erro possui relevância em um levantamento topográfico. Este erro foi calculado, pois para a geração do MDT no software Agisoft Metashape Pro faz estimativas, por exemplo, em locais onde há a presença de árvores, não sendo possível a visualização do solo nas imagens, o programa cria uma malha triangular para suprir a falta de informação, podendo gerar partes no MDT que não mostram a realidade do terreno em questão.

Os valores altimétricos dos pontos obtidos no campo com o método de posicionamento RTK GNSS e a correção do PPP no site do IBGE, foram considerados os valores reais do local de estudo. Utilizando o software QGIS, o MDT foi importado juntamente com as cotas altimétricas do método de posicionamento RTK GNSS, e extraído as cotas altimétricas dos pontos coincidentes entre o MDT e o RTK GNSS.

Para realizar a análise estatística destes dados foi usado o Programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), que possui diversas ferramentas de análise e tratamento de dados. Neste estudo foram utilizados, o Teste de Kolmogorov-Smirnov para verificação da normalidade da distribuição das amostras, e o Teste de Wilcoxon, para verificar a significância da diferença entre os métodos de medição altimétrica e foi feito o cálculo da média aritmética dos pontos.

MÉDIA ARITMÉTICA

A média aritmética foi calculada através da equação 1 onde \bar{x} é a *média da amostra*, o *número de amostras*, a amostra.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{1}{n(x_1 + x_2 + \dots + x_n)} \quad (1)$$

TESTE DE NORMALIDADE

Para o teste de normalidade foi empregado o Teste de Kolmogorov-Smirnov, que avalia a distribuição de um conjunto de amostras para determinar o tipo de distribuição teórica deste conjunto. O teste compara a distribuição de frequências acumuladas ($F_0(x)$) que deveria ocorrer, com a distribuição de frequências acumuladas das amostras ($S_n(x)$). A maior diferença em módulo entre $F_0(x)$ e $S_n(x)$ é denominada desvio máximo (D), Equação 2.

$$D = |F_0(x) - S_n(x)| \quad n = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2)$$

Para a realização do teste são levantadas duas hipóteses, a hipótese nula (H_0), afirma que não pode ser descartada a possibilidade que a distribuição seja normal, e H_1 , onde é descartada esta possibilidade.

TESTE DE WILCOXON

No teste de Wilcoxon, utiliza-se pares de amostras, que são comparadas, a fim de verificar se há variação de seus valores. Para isso o teste faz a diferença entre as amostras e atribui postos para cada uma delas, começando pela menor, de valor 1, até a maior, de valor n , após esta atribuição, cada posto receberá o sinal da diferença, se a diferença for negativa o posto será negativo, se a diferença for positiva o posto será positivo, se a diferença entre duas amostras for igual, ela será excluída da análise. Os postos positivos serão somados em T^+ e os postos negativos serão somados em T^- . O valor T utilizado será o menor entre T^+ e T^- .

O teste possui algumas variações para pequenas e grandes amostras, para este trabalho foi utilizado o teste para mais de 25 amostras, calculando a variável de teste z , pela Equação 3.

$$z = \frac{T - \frac{N(N + 1)}{4}}{\sqrt{\frac{N(N + 1)(2N + 1)}{24}}} \quad (3)$$

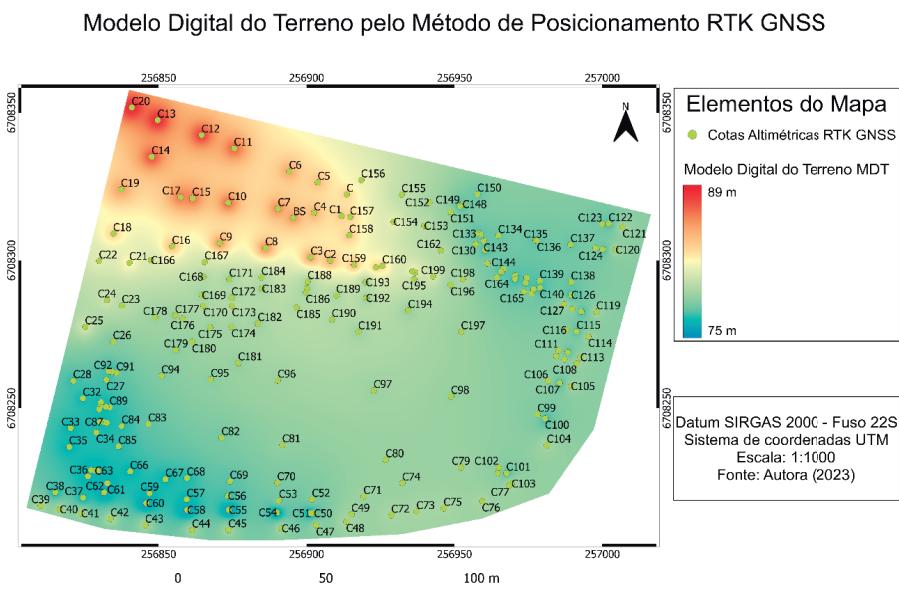
A hipótese nula para este teste afirma que não pode ser descartada a possibilidade de que não há diferença, já a hipótese H_1 descarta tal possibilidade.

Resultados e discussão

Analizando a Figura 10 e a Figura 11 é possível verificar que a Aerofotogrametria com Drone gera um MDT mais detalhado do local levantado e com grande quantidade de informações, que podem

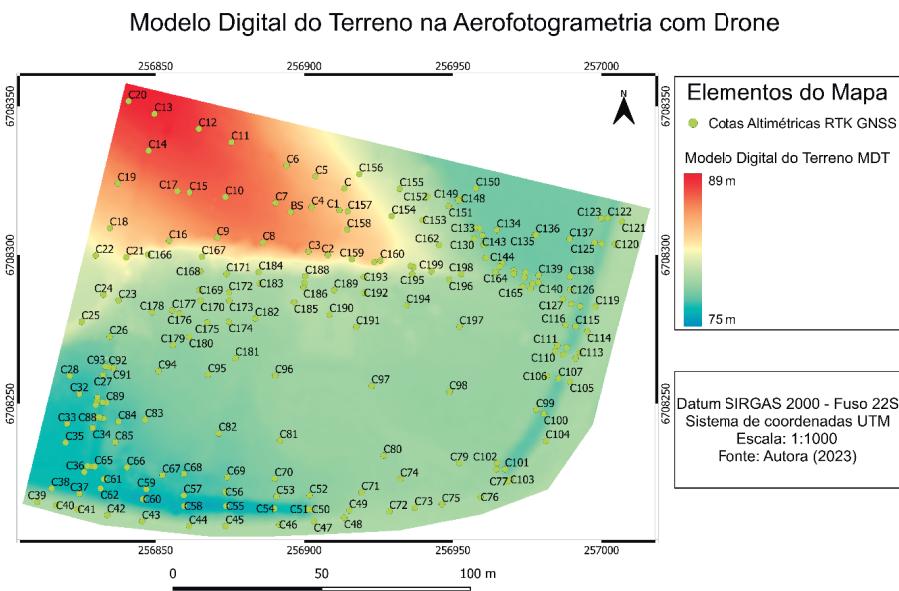
ser usadas para um melhor entendimento do relevo do terreno. Este detalhamento da Figura 11 é obtido pela grande quantidade de *pixels* nas fotografias, resultando em uma nuvem de pontos altimétricos com alta densidade, que pelo método de posicionamento RTK GNSS seria impossível de ser alcançada.

Figura 10 - Mapa do Modelo Digital do Terreno pelo Método de Posicionamento RTK GNSS.



Fonte: Construção do Autor.

Figura 11 - Mapa do Modelo Digital do Terreno na Aerofotogrametria com Drone.

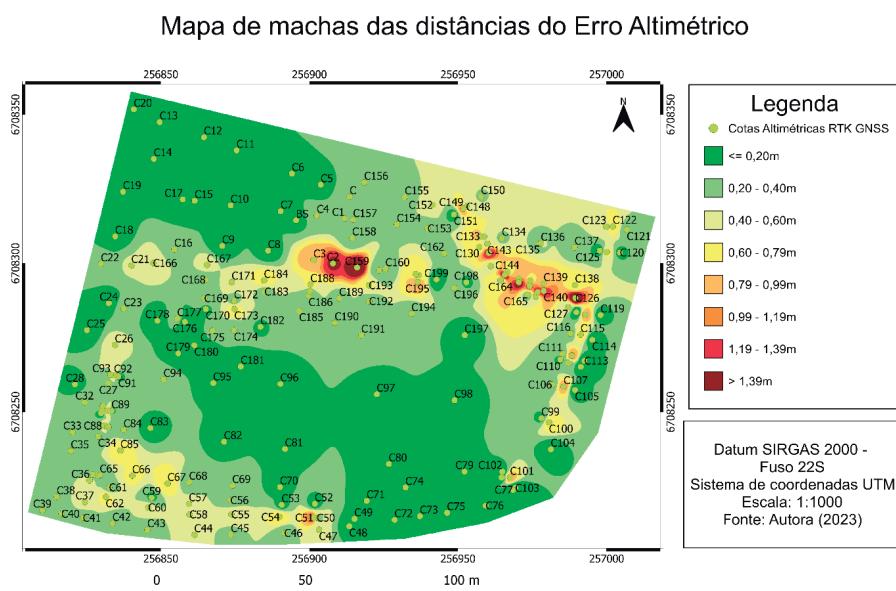


Fonte: Construção do Autor.

Com o intuito de visualizar a diferença altimétrica, entre os dois métodos foi construído o mapa da Figura 12, onde as áreas com cores mais quentes, denotam as maiores diferenças. Se comparado com o mapa da Figura 13, é possível observar que essas regiões de maiores erros coincidem com locais em que há árvores, vegetação rasteira e desnível.

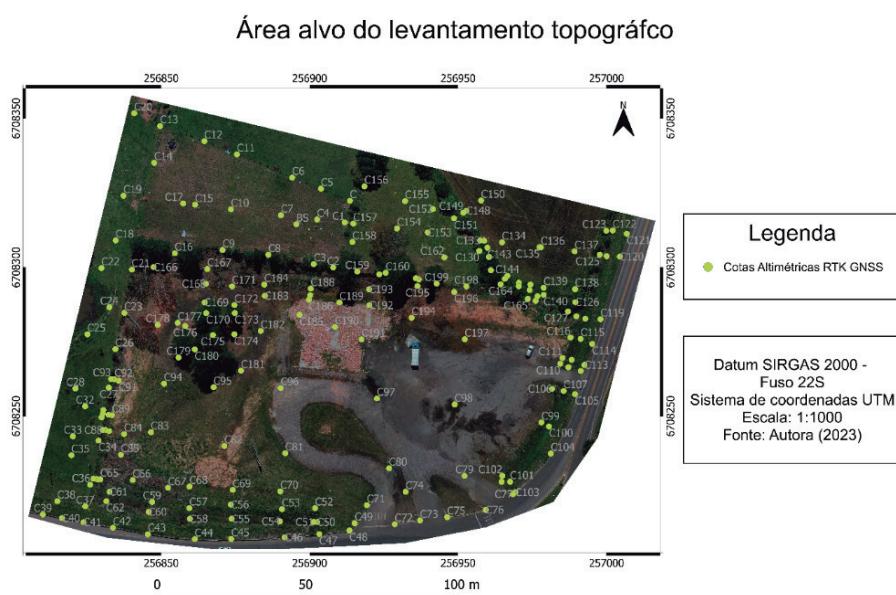
Analizando os pontos C170, C175, C180 e os demais próximos a esses, constata-se que o MDT gerado pelo VANT não teve um erro elevado, mesmo tendo vegetação nesta área, na Figura 10, também se observa que a área no entorno dos pontos não possui desníveis, permitindo que a triangulação do software Agisoft Metashape Pro tenha maior acurácia nesse local. A área entorno dos pontos C2, C159, C164, C140 e os demais que estão nas regiões de maior erro é mais acidentada em comparação aos pontos anteriormente citados, que resulta em uma triangulação do software com menor precisão.

Figura 12 - Mapa de manchas das distâncias do Erro Altimétrico.



Fonte: Construção do Autor.

Figura 13 - Mapa da área alvo do levantamento topográfico.



Fonte: Construção do Autor.

Foi realizado o teste de normalidade com os valores das cotas altimétricas do RTK GNSS, que resultou nos valores do Quadro 2 e nos valores estatísticos apresentados no Quadro 3.

Quadro 2 - Teste de normalidade para as amostras do RTK GNSS.

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estatística	df	Sig.	Estatística	df	Sig.
RTK	0,236	203	,000	,838	203	,000
a. Lilliefors Significance Correction						

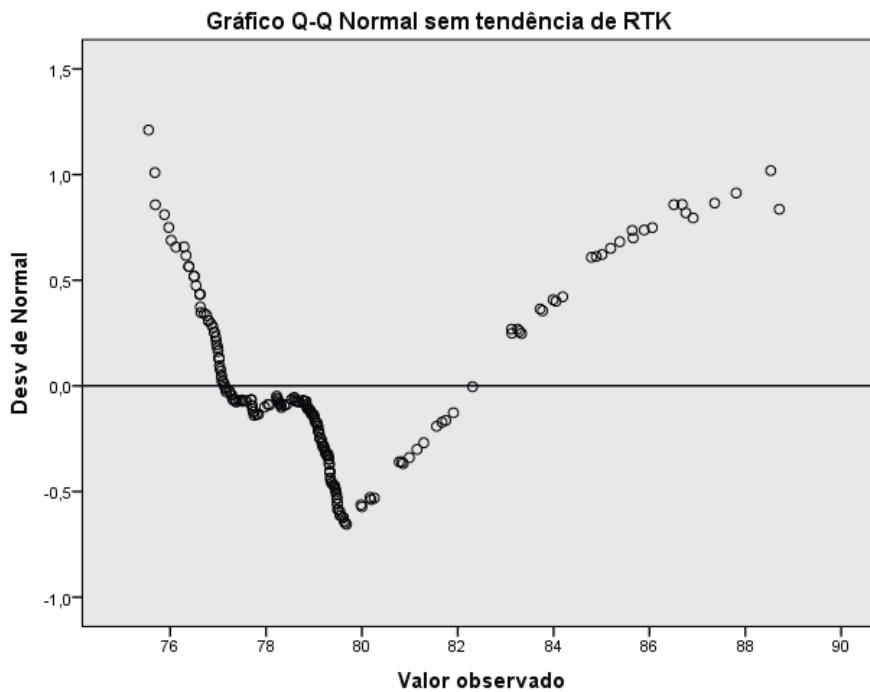
Fonte: Construção do Autor.

Quadro 3 - Dados estatísticos das amostras do RTK GNSS.

Descriptivos		
	Estatísticas	Modelo padrão
RTK	Média	79,3180
	Intervalo de confiança de 95% para média	78,9378
	Limite inferior	79,6983
	Limite superior	
	5% da média aparada	79,0701
	Mediana	78,9500
	variância	7,549
	Desvio padlão	2,74746
	Mínimo	75,55
	Máximo	88,71
	Range	13,16
	Amplitude Interquartil	2,24
	Assimetria	1,506
	Kurtosls	0,171
		0,340

Fonte: Construção do Autor.

Observando os resultados do teste de normalidade, temos que o valor da significância ou p-valor foi de 0,000, como mostra o Quadro 2, por este resultado ser menor que 0,05, pode-se afirmar que a hipótese nula é rejeitada, portanto, os valores das amostras não seguem uma distribuição normal. A Figura 15 também evidencia o desvio de normalidade dos valores observados, onde é possível visualizar que os valores das cotas altimétricas apresentam uma grande dispersão, confirmando assim, que não se trata de uma distribuição normal das amostras em questão.

Figura 15 - Q-Q normalidade sem tendência de RTK GNSS.

Fonte: Construção do Autor.

Realizando o teste de normalidade para as amostras do drone, os resultados obtidos são mostrados no Quadro 4 e Quadro 5, e na Figura 16.

Quadro 4 - Teste de normalidade para as amostras do drone.

	Tests of Nonreality					
	Kolmooorov-Smimov			Shapiro-Wilk		
	Estatística	df	Sig.	Estatística	df	Sig.
Drone	0,235	203	0,000	0,822	203	0
a. Lilliefors Significance Correction						

Fonte: Construção do Autor.

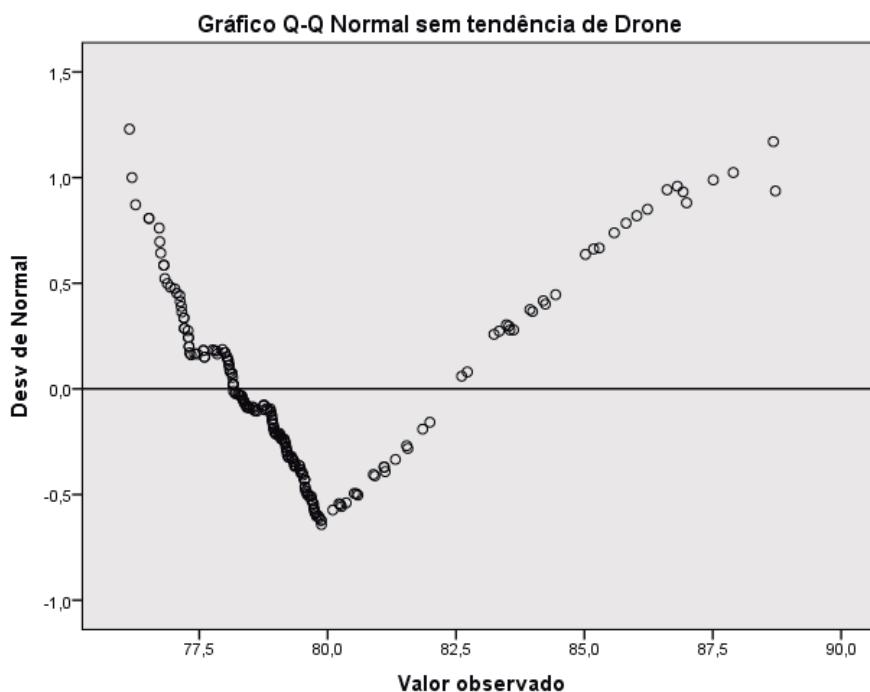
Quadro 5 - Dados adicionais das amostras do drone.

		Descriptivos	
		Estatística	Modelo padrão
Drone	Média	79,6333	0,18121
	Intervalo de confiança de 95% para média de 5% da média aparada	79,2760 79,9906 79,3833	
	Mediana	79,0700	
	Variância	6,666	
	Desvio padrão	2,58184	
	Mínimo	76,14	
	Máximo	88,72	
	Range	12,58	
	Amplitude interquartil	1,72	
	Assimetria	1,643	0,171
	Kurtosis	2,420	0,340

Fonte: Construção do Autor.

Analizando os resultados do teste de normalidade da Quadro 4, o valor da significância ou p-valor foi de 0,000, portanto, menor que 0,05, rejeitando a hipótese nula, consequentemente, as amostras não seguem uma distribuição normal, que pode ser confirmada pela grande dispersão das cotas altimétricas no desvio da normalidade como mostra a Figura 16.

Figura 16 - Q-Q normalidade sem tendência de Drone.



O teste de normalidade tem a função de definir qual tipo de teste comparativo é mais adequado para as amostras a serem analisadas, como as amostras não resultaram em uma distribuição normal, usou-se um teste não paramétrico para identificar a significância da diferença entre as amostras.

Através do Teste de Wilcoxon, que analisa pares de amostras, foi comparado as amostras das cotas altimétricas do RTK GNSS e drone, que resultou nos Quadros 6 e 7.

Quadro 6 - Postos das amostras do RTK GNSS e drone.

Classificações			
	N	Mean Rank	Sum of Ranks
RTK- Drone Negative Ranks	188 ^a	101,77	19132,00
Positive Ranks	14 ^b	97,93	1371,00
Ties	1 ^c		
Total	203 ^d		

a. RTK < drone

b. RTK > drone

c. RTK = drone

Quadro 7 - Estatística Z e significância da diferença das amostras entre RTK GNSS e Drone.

Teste Estatísticas	RTK - Drone
z	-10.676 ^b
Sig. Assint.(2 caudas)	0,000
Síg exata (2 extremidades)	0,000
Sig exata (1 extremidade) Probabilidade de ponto	0,000 0,000

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Com base em pontos positivos.

Fonte: Construção do Autor.

No Quadro 6, é apresentado os postos das amostras, onde o número de postos negativos é muito maior que o número de postos positivos, o que já evidencia uma diferença significativa entre as amostras, pois, em casos em que as amostras possuem o mesmo número de postos negativos e positivos, estas tendem a não possuir uma diferença significativa, portanto, há uma tendência de existir uma diferença significativa.

No Quadro 7 observa-se o valor da significância exata unilateral que é 0,000, por ser menor que 0,05, rejeita-se a hipótese nula, portanto, a diferença entre as amostras é significativa, como já esperado pelo fato de que o número de postos negativos é muito maior que o número de postos positivos.

Outra relação que pode ser observada é a diferença entre a média das amostras do RTK GNSS e do Drone, 79,31 metros e 79,63 metros, consecutivamente, presentes nos Quadros 3 e 6, tendo uma diferença de 0,32 metros, o que evidencia a tendência de valores maiores para as cotas geradas pelo MDT do Drone. Também é importante observar que alguns pontos tiveram erro absoluto maior que 1 metro, sendo o maior de 1,60 metros.

CONCLUSÃO

O estudo comparou a precisão das cotas altimétricas obtidas por RTK GNSS e aerofotogrametria com drone, concluindo que o levantamento realizado com drone apresentou diferenças significativas para a altimetria do terreno. Regiões do levantamento com a presença de obstáculos que impeçam a visualização da superfície do terreno (ex. dossel de árvores) pela câmera do drone são propícias a um maior erro altimétrico nos produtos gerados por aerofotogrametria. Portanto em levantamentos urbanos, onde a precisão é crucial, o uso de VANTs para altimetria deve levar em consideração as características de cobertura do terreno. Embora os drones ofereçam detalhamento, seus produtos devem ser utilizados com parcimônia. Contudo, em projetos menos sensíveis à precisão, e grandes áreas, os drones podem ser úteis pela facilidade e rapidez na obtenção de dados topográficos.

REFERÊNCIAS

- AGISOFT. **Metashape**. 2021. Disponível em: https://www.agisoft.com/pdf/metashape_presentation.pdf. Acesso em: 10 jul. 2022.
- ALEXANDRE, F.; RAMOS, R.; DEUS, R.; GOMES, D. Aerofotogrametria de Pequeno Formato Aplicada a Realização da Cartografia Básica da Cidade de Palmerina - PE. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v.1, p. 5565-5572, 2017.
- AUTODESK. **Autocad Map 3D**. 2022. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/autocad-map-3d/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2022/PTB/MAP3D-Use/files/GUID-A128C0CF-2BC4-425F-B303-58B91A9B856C.htm.html>. Acesso em: 17 de jul. 2022.
- AUTODESK. **Para Que Serve o Autocad?**. 2022. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>. Acesso em: 17 de jul. 2022.
- COELHO, J. M.; ROLIM NETO, F. C.; ANDRADE, J. S. C. O. **Topografia Geral**. 2 ed. Recife, Editora UFRPE, 2020.
- CORREA, P. **Topografia e Geoprocessamento**. 1. ed. Porto Alegre, RS. Sagah Educação S.A., 2017.
- DECEA - DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. **O Que é SARPAS?**. 2020. Disponível em: <https://ajuda.decea.mil.br/base-de-conhecimento/o-que-e-sarpas-2/>. Acesso em: 06 de jul. 2022.
- DJI. **MAVIC 2**. 2022. Disponível em: <https://www.dji.com/br/mavic-2>. Acesso em: 29 ago. 2022.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Aerofotogrametria**. Rio de Janeiro. 2022. Disponível em: <https://atlasescolar.ibge.gov.br/conceitos-gerais/o-que-ecartografia/aerofotogrametria.html>. Acesso em: 27 jul. 2022.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. DIRETORIA DE GEOCIÊNCIAS, COORDENAÇÃO DE GEODÉSIA. **IBGE - PPP: Serviço On-Line para Pós-Procesamento de Dados GNSS**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101677.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2022.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **MDE - Modelo Digital de Elevação**. Rio de Janeiro. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie/10856-mde-modelo-digital-de-elevacao.html>. Acesso em: 27 jul. 2022.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Monitoramento da Variação das Coordenadas de Estações da Rede SIRGAS 2003 a 2010**. Rio de Janeiro. 2011. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/sirgas/relatorio/sirgas_2003_2010_27_6_11.pdf. Acesso em: 17 jun. 2022.

IBM. **IBM SPSS Statistics**. 2023. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/products/spss-statistics>. Acesso em: 13 jan. 2023.

KIM, Tae Kyun. T test as a parametric statistic. **Korean journal of anesthesiology**, v. 68, n. 6, p. 540, 2015.

MACHADO, J. **Topografia e Agricultura de Precisão**. 1. Ed. Recife, 315p, 2023.

NETO, Pedro Luiz de Oliveira Costa. **Estatística**. 2. ed. São Paulo, SP. Editora Blucher, 2002.

SEGANTINE, P.; SILVA, I. **Topografia para Engenharia - Teoria e Prática de Geomática**. 5. ed. Rio de Janeiro, RJ. Grupo GEN, 2015.

SIEGEL, S.; CASTELLAN JR, N. John. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento**. 2. Ed. Artmed Editora, 2006.

TOMMASELLI, A. **Fotogrametria Básica**. p. 15-18, 2009.