



## Análise da Morfologia de Modelos Digitais de Superfície Gerados por VANT

### *Analysis of Digital Surface Models Morphology Generated by UAV*

Danilo Marques de Magalhães<sup>1</sup> e Ana Clara Mourão Moura<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geografia, Belo Horizonte, Brasil. [daniломmagalhaes@gmail.com](mailto:daniломmagalhaes@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9306-4326>

<sup>2</sup> Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura, Belo Horizonte, Brasil. [anaclaramoura@yahoo.com](mailto:anaclaramoura@yahoo.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6823-1938>

Recebido: 11.2019 | Aceito: 02.2021

**Resumo:** A utilização dos VANT para captura de dados espaciais não é novidade e vem sendo empregada por usuários civis desde o início do século XXI. Entretanto, a diversidade de plataformas, de equipamentos associados, dos métodos de coleta e de processamento de dados, nos mostra que ainda são necessários estudos para o aprimoramento dos métodos, visando à qualidade e acurácia dos dados espaciais gerados. Percebe-se que são, ainda, incipientes as discussões acerca das distorções morfológicas encontradas nos modelos gerados por VANT e esses erros podem comprometer o uso dos dados para algumas finalidades, como o cadastro territorial. Neste contexto é proposto este estudo que teve como objetivo principal avaliar a qualidade morfológica dos MDS gerados por VANT mediante diferentes técnicas de coletas de imagens aéreas. São comparados os MDS gerados por meio de diferentes técnicas de voo com VANT e um MDS gerado por LiDAR aerotransportado é adotado como parâmetro de comparação. Os resultados são analisados visualmente, por meio de perfis e por meio do cálculo da rugosidade identificada nos modelos, que consiste numa metodologia proposta para este estudo. Os resultados apontam que a correção da altitude do voo, proporcionando a manutenção de uma distância homogênea da aeronave em relação ao solo, apresenta melhores resultados quanto à morfologia dos MDS e, conseqüentemente, condiciona a qualidade dos produtos derivados, como o ortomosaico e o MDT.

**Palavras-chave:** MDS. VANT. Morfologia.

**Abstract:** The use of UAVs for spatial data capture is not new and has been performed by civil users since the beginning of the 21st century. However, the diversity of platforms, associated equipment, data collection and processing methods shows that studies are still needed to improve the methods, aiming the quality and accuracy of the generated spatial data. It is noticeable that discussions about the morphological distortions found in the models generated by UAV are still incipient and these errors may compromise the use of data for some purposes, such as the territorial cadastre. In this context, this study is proposed, whose main goal was to evaluate the morphological quality of DSM generated by UAV by different techniques of aerial image collection. DSM generated by different UAV flight techniques are compared, and an DSM generated by airborne LiDAR is adopted as a reference. The results are analyzed visually, through profiles and by calculating, the roughness identified in the models, which is a methodology proposed for this study. The results indicate that the flight altitude correction, providing the maintenance of a homogeneous distance from the aircraft in relation to the ground, presents better results related to the DSM morphology and, consequently, it is a condition to the quality of the derived products, such as the orthomosaic and the DTM.

**Keywords:** DSM. UAV. Morphology.

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos é notória a realização de estudos envolvendo os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), que vão desde análises dos equipamentos, métodos de coleta e de processamento dos dados à avaliação dos níveis de acurácia e possibilidades para aplicações dos mesmos. Estudos como os de Neto et al. (2017) e Zanetti, Gipp Júnior e Santos (2017) mostram que a utilização dos VANTs apoiados por Pontos de

Controle em solo (PC) com receptores GNSS – *Global Navigation Satellite System* – permitem a geração de produtos que atendem ao Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) na Classe A para grandes escalas, como 1:1.000 (DSG, 2011). Esses resultados indicam a possibilidade do uso dos VANTs para geração bases cartográficas para fins diversos, como, por exemplo, a realização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM), que demanda acurácia e qualidade gráfica dos dados gerados para realização de cadastros condizentes com a realidade mapeada (BRASIL, 2009; CUNHA; ERBA, 2010).

Além disso, os dados gerados com auxílio de VANTs podem servir, também, como bases para diversas outras aplicações, como no campo da geomorfologia, do meio ambiente, do agronegócio, das engenharias, do patrimônio cultural, do planejamento territorial, dentre outros (WANG; LI, 2007; EISENBEISS, 2008; COLOMINA; MOLINA, 2014; NEX; REMONDINO, 2014; PAULA; MOURA, 2018; MAGALHÃES; MOURA, 2018). Em resumo, os estudos têm evidenciado ganhos no sentido da agilidade e da redução de custos para criação e atualização de bases de dados georreferenciados, simplificação dos processos de coleta, métodos de processamento e geração de resultados, se comparado aos métodos tradicionais de aerofotogrametria ou levantamento topográfico em campo.

Percebe-se que os Modelos Digitais de Superfície (MDS) são peças importantes no processo de geração de dados com VANTs, pois representam tridimensionalmente a superfície modelada. A qualidade do MDS está atrelada à qualidade da nuvem de pontos que serve como base para sua criação que, por sua vez, depende da qualidade das fotografias aéreas tomadas. Consequentemente, a qualidade do MDS vai condicionar a qualidade dos dados subsequentes, como o Modelo Digital de Terreno (MDT) e o Ortomosaico.

Os VANT possuem a capacidade de gerar MDS com altíssima resolução espacial e temporal e estudos têm mostrado que estes produtos têm qualidade similar a modelos gerados por LiDAR (MAROTTA et al., 2015). Entretanto, ainda há pouca informação acerca da qualidade morfológica desses modelos (COLOMINA; MOLINA, 2014). Magalhães e Moura (2018) mostram que o modelo 3D gerado por VANT apresenta satisfatória fidelidade morfológica para atendimento ao padrão definido pelo City GML da OGC (2012), reproduzindo as dimensões dentro dos padrões aceitáveis e, sobretudo, mantendo as proporções da forma do objeto mensurado. Entretanto, foi observado que as maiores distorções na forma do objeto ocorreram nos locais em que foi necessário fazer um desvio na rota da aeronave durante o voo. Nesse sentido, entende-se que para garantir um MDS com alta fidelidade morfológica é necessário garantir uma distância homogênea entre a aeronave e o(s) alvo(s) imageado(s) durante a coleta de imagens.

Percebe-se que importantes esforços vêm sendo empreendidos na definição da acurácia posicional planimétrica e altimétrica dos produtos gerados por VANTs, entretanto pouco se discute, ainda, acerca da qualidade morfológica desses dados, ou seja, o quanto esses modelos respeitam as formas e proporções dos elementos imageados. Acredita-se que tal avaliação se faz relevante, uma vez que a utilização dos dados em Sistemas de Informações Geográficas com funções tridimensionais (SIG-3D), atualmente, proporciona aplicações diversas, que vão desde a extração de cotas altimétrica até reproduções em realidade virtual usando modelos tridimensionais realísticos.

Nesse sentido, observa-se que a variação da altura da aeronave durante a operação interfere negativamente na qualidade do MDS final, gerando um dado com formas mais distantes da realidade, o que poderá comprometer a precisão das cotas altimétricas, proporcionar pior qualidade na ortorretificação do mosaico final, além de uma pior representação gráfica 3D.

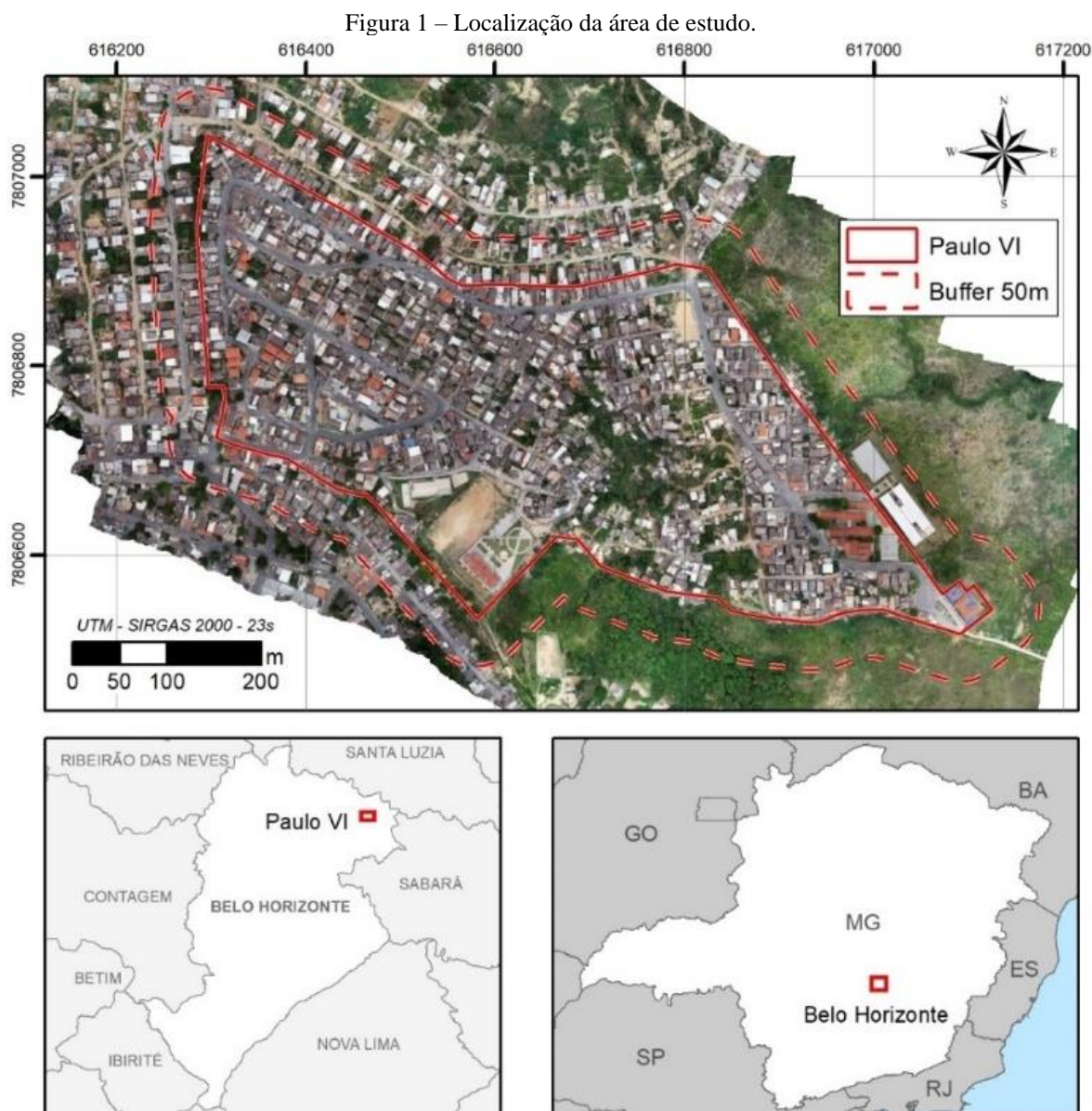
Diante do exposto, tem-se como objetivo central deste trabalho avaliar a qualidade morfológica dos MDS gerados por VANT mediante diferentes técnicas de coletas de imagens aéreas. Os objetivos específicos são: entender em que medida a correção da altitude do VANT durante o voo influencia na qualidade do MDS e do ortomosaico gerados por VANT; propor uma metodologia para avaliação morfológica de MDS gerados por VANT; e evidenciar a importância de se considerar a morfologia dos MDS como critério de qualidade na geração de dados espaciais com VANT.

Busca-se por meio deste estudo verificar os efeitos que a variação topográfica, ou seja, a variação da distância entre o VANT e os alvos imageados possuem sobre a geração do MDS e, com isso, indicar métodos mais eficientes para coleta de dados em campo. Os resultados obtidos com este trabalho podem contribuir para aprimoramento das técnicas de coleta de dados com VANTs a fim de gerar produtos cartográficos precisos e

com potencial para uma representação tridimensional realística da área mapeada.

## 2 ÁREA DE ESTUDO

A área selecionada para o estudo foi o bairro Conjunto Paulo VI, localizado na regional Nordeste do município de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais (Figura 1). A área foi classificada como de alta vulnerabilidade frente às mudanças climáticas previstas para o município num horizonte de 30 anos, sendo que a verticalização no local poderá comprometer a circulação dos ventos próximos à superfície gerando uma série de problemas subsequentes (WAY CARBON, 2016). Portanto, a geração de um MDS que proporcione uma representação das formas de relevo e da volumetria das edificações de modo fidedigno consiste num dado de suma relevância para subsidiar estudos e proposições de soluções para o local.



Fonte: Os autores (2021).

Para além do limite do bairro foi estabelecido um *buffer* de 50m a fim de evitar os efeitos de borda comumente observados em ortofotagens geradas por VANT, sendo, portanto, a área total de imageamento de 65,36 ha.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados três diferentes dados para avaliação morfológica do MDS, a saber:

- a) **LiDAR:** aerolevantamento a laser disponibilizado pela PRODABEL, utilizado como referência para comparação, pois é amplamente utilizado para gestão urbana neste município;
- b) **VANT Altura Relativa:** método de coleta de imagens em que há a correção de altitude durante o voo do VANT, com base numa imagem SRTM, proporcionando manter o equipamento a uma distância homogênea em relação ao solo durante todo o voo;
- c) **VANT Altitude Fixa:** método de coleta de imagens sem correção de altitude durante o voo do VANT, mantendo uma altura fixa em relação ao ponto de decolagem. Neste caso a distância do VANT em relação à superfície é variável durante o voo, não sendo consideradas as variações topográficas, e é o método mais comumente empregado.

#### 3.1 Dados LiDAR

Os dados LiDAR utilizados foram gerados pelo sistema *Airborne Laser Scanning*, em 2015, e foi planejado para abranger toda a área do município de Belo Horizonte, mais uma faixa adicional de 200m pertencente aos municípios circunvizinhos, totalizando uma área aproximada de 360km<sup>2</sup>. O voo para aquisição da nuvem de pontos com a tecnologia LiDAR foi realizado com base nos parâmetros apresentados na Tabela 1.

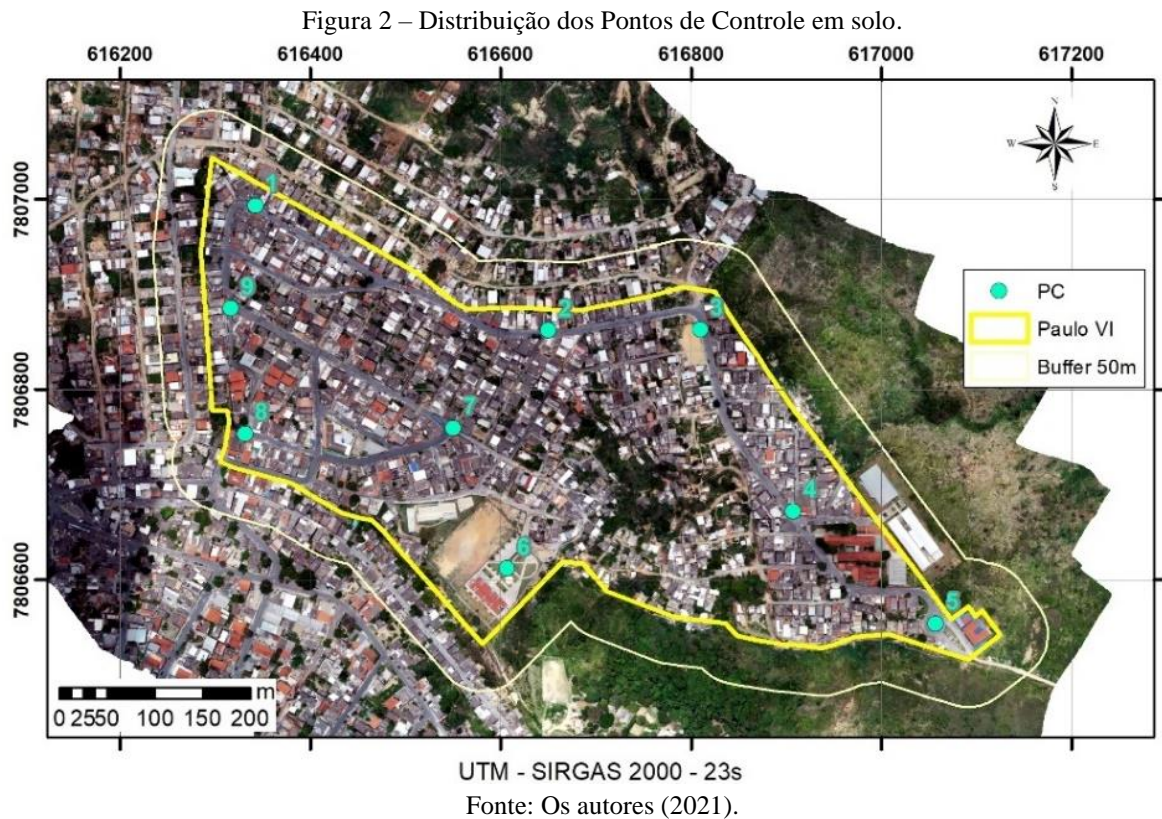
Tabela 1– Parâmetros de aquisição dos dados LiDAR

Ângulo de abertura (FOV)	20°
Altitude do voo	2.388,1 m
Largura da faixa	1.688,1 m
Superposição lateral (entre faixas)	36,4 %
Número de faixas	76
Direção do voo	Variada
Densidade de pontos (média na área de estudo)	6,06

Fonte: PRODABEL (2015).

#### 3.2 Coleta de Pontos de Controle em solo

Para melhoria do posicionamento planimétrico e altimétrico dos produtos gerados, foram coletados 9 PC distribuídos de modo disperso (Figura 2) e de modo a amostrar as variações do terreno, conforme experiência apresentadas por Santos et al. (2016) e Zanetti, Gripp Júnior e Santos (2017). Os PC foram coletados com auxílio de equipamento receptor GNSS de dupla frequência da marca Topcon modelo Hiper SR, por meio do método relativo estático, conforme instruções obtidas em IBGE (2008), que são baseadas em Monico (2000). O receptor base realizou as observações por um período de 4h30min e os demais pontos, coletados com o *rover*, por um período de 20min cada.



Após a coleta dos PC em campo, foi realizada a correção das coordenadas com base nos dados disponibilizados pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do IBGE. O ajuste foi realizado no *software* Topcon Tools e os resultados finais apresentaram um erro médio de 3mm para as coordenadas planimétricas (XY) e 4mm para os valores altimétricos (Z).

### 3.3 Coleta de dados com o VANT

Foi utilizado o VANT multirrotor Phantom 4 Pro da fabricante DJI, que possui um sensor CMOS de 1 polegada, com 20MP efetivos, numa lente com campo de visada diagonal de até 84°. Estudos que utilizaram essa aeronave, destacam a boa relação de custo-benefício, pois integra diversos sensores já calibrados, proporcionam flexibilidade do plano, possibilidade de voar próximos aos objetos e geração de dados com altíssima resolução (MAGALHÃES; MOURA, 2018).

Para planejamento e controle do voo foi utilizado o aplicativo Map Pilot, pois possui a função *Terrain Aware* que proporciona o reconhecimento das cotas altimétrica do terreno, tomando como base uma imagem SRTM. Isso faz com que a aeronave se mantenha a uma altura uniforme em relação ao solo, o que proporciona a coleta de todas as imagens com o mesmo GSD (*Ground Sample Distance*), reduzindo, assim, a interferência da variação do terreno na qualidade dos produtos gerados (DRONESMADEEASY, 2019).

Foram realizados dois voos para coleta de dados com o VANT, sendo o primeiro com a altitude de 150m e com a utilização da função *Terrain Aware*. O segundo voo foi realizado sem a avaliação do terreno para a correção da altitude durante o voo e foi executado a uma altitude fixa de 200m acima do ponto de decolagem. Isso, pois durante o primeiro voo, a cota mais alta atingida pelo VANT foi de 200m acima do ponto de decolagem.

Os voos foram realizados em horários próximos ao meio dia a fim de reduzir a quantidade de sombras presentes nas imagens e, com isso, reduzir as distorções nos MDS (ABER; MARZOLF; RIES, 2010; MAROTTA et al., 2015). Para o voo com altitude de 150m relativa ao solo foram coletadas 261 imagens com GSD de 4,1cm. Já o segundo voo, com 200m acima do ponto de decolagem, promoveu a coleta de 127 imagens, com GSD de 5,5cm. Ambos os voos se valeram de 75% de sobreposição frontal e lateral das imagens.

### 3.4 Processamento dos dados

Para geração dos MDS a partir das fotografias coletadas pelo VANT foi utilizado o *software* Agisoft PhotoScan versão 1.4.2. Todos os procedimentos e parâmetros definidos foram iguais para ambos os voos. A escolha desses parâmetros foi baseada nas recomendações do manual do *software* e balizada por testes que levaram em consideração o tempo de processamento computacional e a qualidade final dos dados gerados. Os principais parâmetros definidos no *software* foram:

- a) Alinhamento de fotos: média acurácia;
- b) Otimização do alinhamento: *defalut*;
- c) Construção da Nuvem Densa: Qualidade média e filtro agressivo;
- d) Construção do MDS: Fonte dos dados = Nuvem densa;
- e) Construção do Ortomosaico: Superfície para ortorretificação = MDS.

No momento da exportação dos dados foi definida a resolução espacial de 20cm para os MDS, pois foi o valor médio encontrado entre os resultados dos dois voos (Altura Relativa e Altitude Fixa).

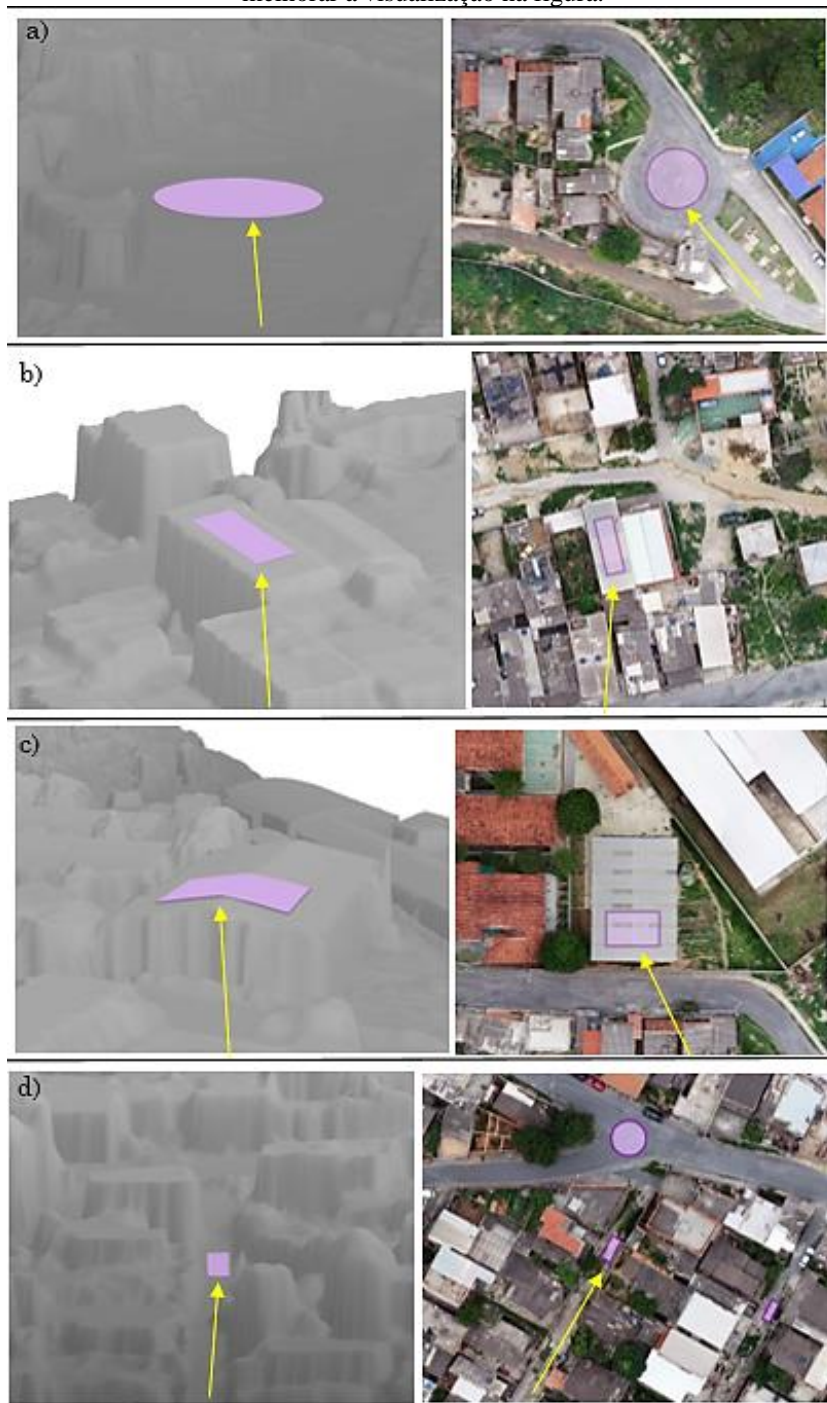
Para gerar o MDS a partir dos dados LiDAR foi realizada a interpolação da nuvem de pontos numa resolução espacial, também, de 20cm. O procedimento foi feito no *software* ArcGIS 10.5 por meio da ferramenta *Topo to Raster* que é específica para criação de MDT e MDS a partir de diferentes feições vetoriais (ARCGIS TUTORIALS, 2019). Todos os MDS foram recortados dentro do polígono gerado pelo buffer de 50m a partir do limite do bairro Conjunto Paulo VI. De posse dos três modelos digitais de superfície procedeu-se para a análise comparativa dos dados.

### 3.5 Comparação da morfologia dos MDS

A avaliação dos MDS se deu, inicialmente, por meio da análise visual da morfologia das edificações presentes nos modelos e no ortomosaico, o que já nos demonstrou significativa diferença entre os três modelos gerados. Na sequência foram gerados perfis nos MDS e a comparação dos resultados nos mostrou que as linhas apresentavam irregularidades ao longo das edificações e terreno, sendo este um indício de que essas variações representavam rugosidades indesejadas no modelo, distanciando-os da forma verdadeira. Entretanto, a análise das linhas de perfis se limita a trechos estreitos do MDS e não possibilitam entender a dispersão dos erros em termos de área. Nesse sentido, buscou-se avaliar a diferença entre a *área 2D* (superfície plana esperada) e a *área 3D* (superfície irregular modelada).

Para isso, foram selecionadas, inicialmente, amostras em superfícies planas, como trechos do terreno livres de edificações e vegetações e lajes/telhados das edificações. Num segundo momento, a fim de testar a qualidade dos MDS em áreas mais “complexas” para modelagem, foram coletadas amostras em becos estreitos e de alta declividade e em telhados com formas irregulares. Foi observado empiricamente que tanto nas lajes planas quanto nos telhados irregulares, bem como nas ruas planas quanto nas ruas declivosas, os resultados apresentaram o mesmo padrão para todos MDS, na maioria das amostras. Portanto, identificou-se que a avaliação proposta neste estudo poderia ser testada nas quatro situações, que foram: terreno plano em ruas abertas, lajes de edificações, ruas declivosas em becos estreitos e telhados com morfologia irregulares. Os resultados são apresentados de modo geral, agrupando as quatro situações mencionadas. A Figura 3 exemplifica os diferentes tipos de amostras.

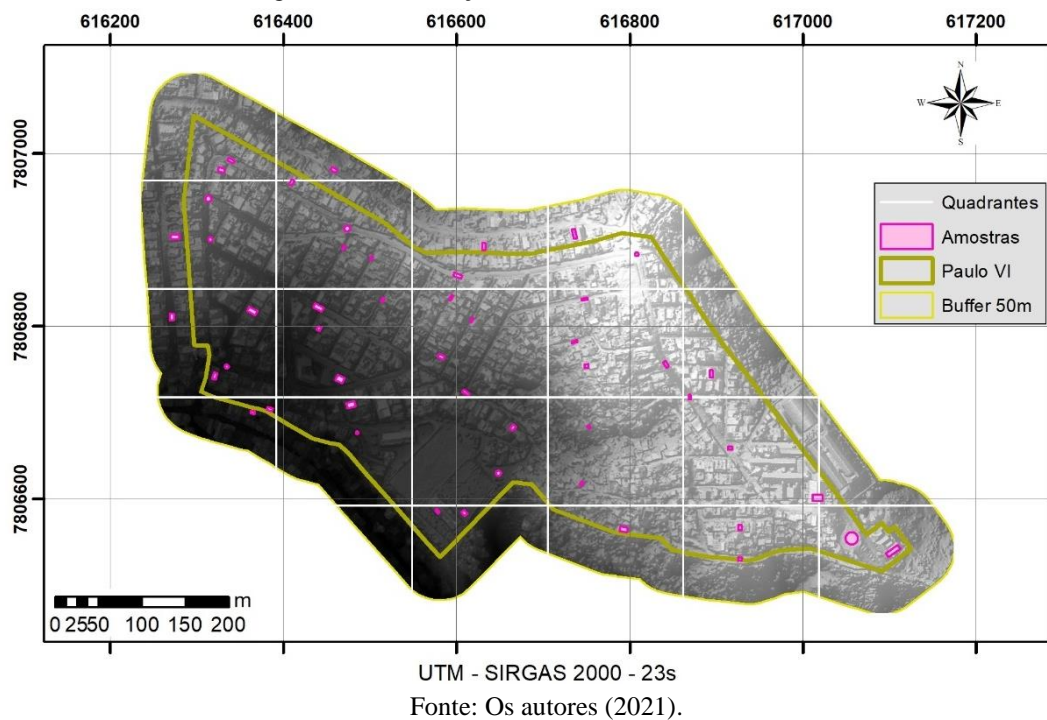
Figura 3 – Amostra coletadas para cálculo das áreas 2D e 3D. a) Amostra em rua plana; b) Amostra em telhado plano; c) Amostra em telhado irregular; d) Amostra em rua declivosa. Obs.1: As setas amarelas indicam a direção da visualização 3D em relação à imagem aérea 2D. Obs.2: Foi realizada uma pequena extrusão nos polígonos para melhorar a visualização na figura.



Fonte: Os autores (2021).

Foram coletadas, ao todo, 49 amostras por meio da criação de polígonos no *software* ArcGIS (Figura 4). As amostras obedeceram a um padrão disperso, obtido a partir da criação de quadrantes amostrais com área de 2ha cada e seleção aleatória de cada uma das tipologias avaliadas dentro de cada quadrante (SANTOS, 2010). Na sequência, as cotas altimétricas dos MDS foram extraídas dentro dos polígonos amostrais e, a partir desses dados, foram calculadas as áreas 2D e 3D utilizando a ferramenta *Surface Volume*. As amostras foram organizadas por fonte de dados (LiDAR, VANT Altura Relativa e VANT Altitude Fixa) e por tipologia amostrada (rua plana, laje plana, rua declivosa, telhado irregular).

Figura 4 – Distribuição das amostras na área de estudo.



Partiu-se do princípio de que um MDS com morfologia fiel à realidade deveria apresentar baixa rugosidade quando analisada uma superfície plana do terreno ou das edificações. Para medir tal rugosidade, foi proposta a seguinte formulação expressa pela Eq. (1):

$$M = \frac{(A + \Delta A)}{A} \quad (1)$$

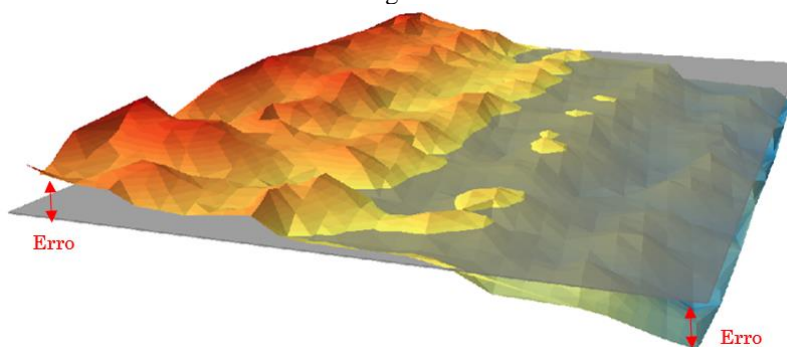
onde  $M$  é a morfologia da amostra analisada;  $A$  é a área 2D da amostra;  $\Delta A$  é a diferença entre os valores da área 3D e da área 2D da amostra. Dessa maneira, uma amostra com morfologia ideal no MDS deveria apresentar valor de  $\Delta A$  igual zero e, portanto,  $M$  igual a 1. Assim, quanto mais distante do valor 1 for o resultado, maior a rugosidade da amostra e, portanto, pior a morfologia do MDS.

A Figura 5 ilustra a comparação entre a forma rugosa visualizada no MDS e a forma ideal para o mesmo trecho. O modelo rugoso representado pelo degrade de cores do azul ao vermelho consiste em uma das amostras do MDS VANT Altitude Fixa extraída da laje de uma edificação, onde se esperava que o modelo representasse uma superfície plana. O polígono plano na cor cinza consiste na área 2D que seria a representação ideal para o trecho analisado. É possível perceber que a área para a superfície bidimensional será menor do que a área tridimensional e que a variação entre os dois modelos é a representação do erro existente no MDS que se busca analisar.

Os resultados da análise morfológica de cada uma das amostras foram tratados por estatísticas descritivas para facilitar a compreensão do resultado de modo geral, com auxílio do *software* Excel.



Figura 5 – Comparação entre área 2D e 3D. Obs.: foi realizado um exagero vertical de 2x para melhor visualização na figura.



Fonte: Os autores (2021).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise visual mostrou que o MDS gerado pelo VANT com Altura Relativa apresentou melhor morfologia dos alvos imageados. É possível perceber mais nitidamente a delimitação dos telhados das edificações, sejam eles planos ou com formas irregulares, maior homogeneidade nas cotas altimétricas das pistas de rolamento e, de modo geral, formas com os ângulos mais bem definidos para todos os objetos em solo, conforme evidencia o comparativo apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Comparação entre MDS. a) MDS VANT Altura Relativa; b) MDS VANT Altitude Fixa; c) MDS LiDAR; d) Ortomosaico VANT Altura Relativa. As setas amarelas comparam distorções em telhados irregulares das edificações e as setas rosas comparam distorções no terreno em becos estreitos.



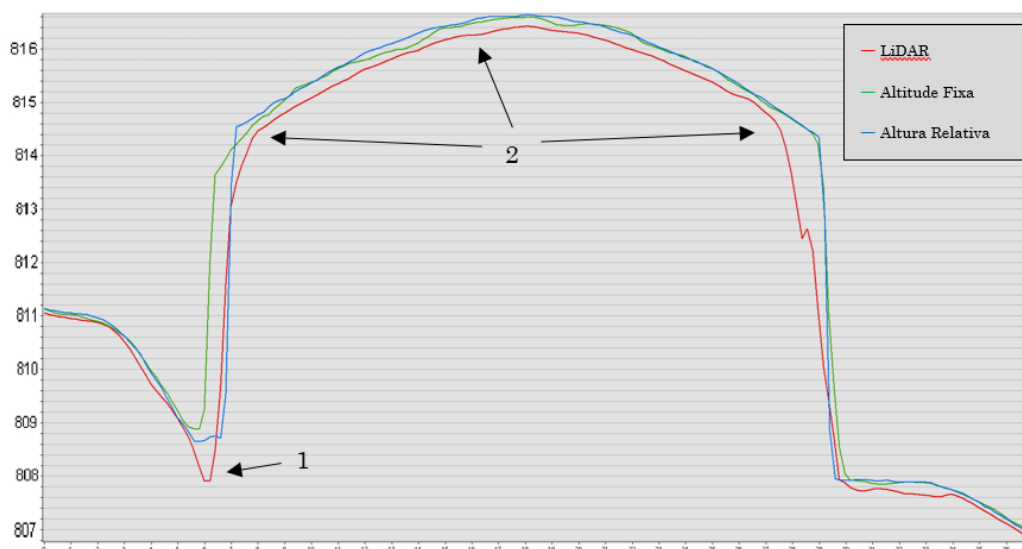
Fonte: Os autores (2021).

Ao avaliar os perfis das edificações, nota-se que os valores altimétricos são semelhantes para os MDS

Altura Relativa e MDS Altitude Fixa, entretanto novamente fica evidente uma melhor definição de forma gerada pelo primeiro dado. As Figuras 7, 8, 9 e 10 apresentam dois comparativos entre perfis gerados em situações distintas, sendo a primeira uma edificação isolada, distantes de outras edificações e de vegetação densa, em terreno plano, onde espera-se maior qualidade morfológica no MDS. O segundo perfil abarca duas edificações em terreno declivoso, em área com alta concentração de edificações, onde entende-se que há maior complexidade para geração dos MDS com boa fidelidade morfológica. Em ambos os casos, o MDS Altura Relativa apresentou melhor fidelidade à morfologia original das edificações, se comparado ao MDS gerado pelo VANT Altitude Fixa. Os dados do LiDAR apresentaram melhor capacidade de identificar pequenos trechos de terreno entre as edificações, porém este apresenta rugosidade semelhante ao VANT Altitude Relativa, bem como ângulos mais arredondados nas bordas da edificação.

Na Figura 7 fica evidente que o MDS Altura Relativa apresenta ângulos mais bem definidos do que nos demais dados. Além disso, percebe-se o desenho de uma linha mais homogênea do que a identificada no VANT Altitude Fixa, o que reforça as vantagens do método de correção da altitude durante o voo para coleta de dados.

Figura 7 – Perfis A-B sobre uma edificação em área livre. 1: Trecho do terreno próximo à edificação; 2: Bordas arredondadas e rugosidade no telhado.



Fonte: Os autores (2021).

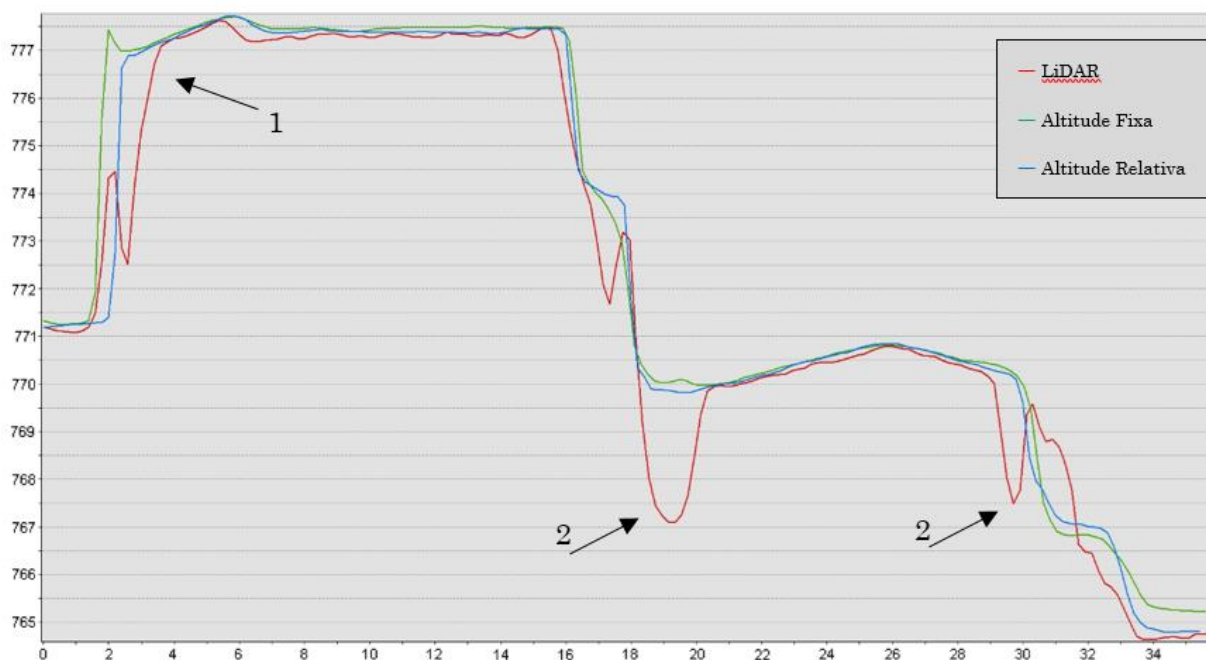
Figura 8 – Edificação analisada em área livre.



Fonte: Os autores (2021).

O número 2 nas Figuras 9 e 10 evidenciam a dificuldade de modelar o terreno em locais com alta densidade de edificações, sendo que o dado LiDAR foi o único capaz de gerar essa informação com precisão. Isso, pois os MDS gerados por VANT são construídos a partir das fotografias aéreas e as sombras projetadas pelas edificações inviabilizam a modelagem precisa, conforme explicaram Aber, Marzolf e Ries (2010).

Figura 9 – Perfis C-D sobre edificações em área adensada.



Fonte: Os autores (2021).

Figura 10 – Edificações analisadas em área adensada. 1: Quina arredondada da edificação; 2: Altitude do terreno.

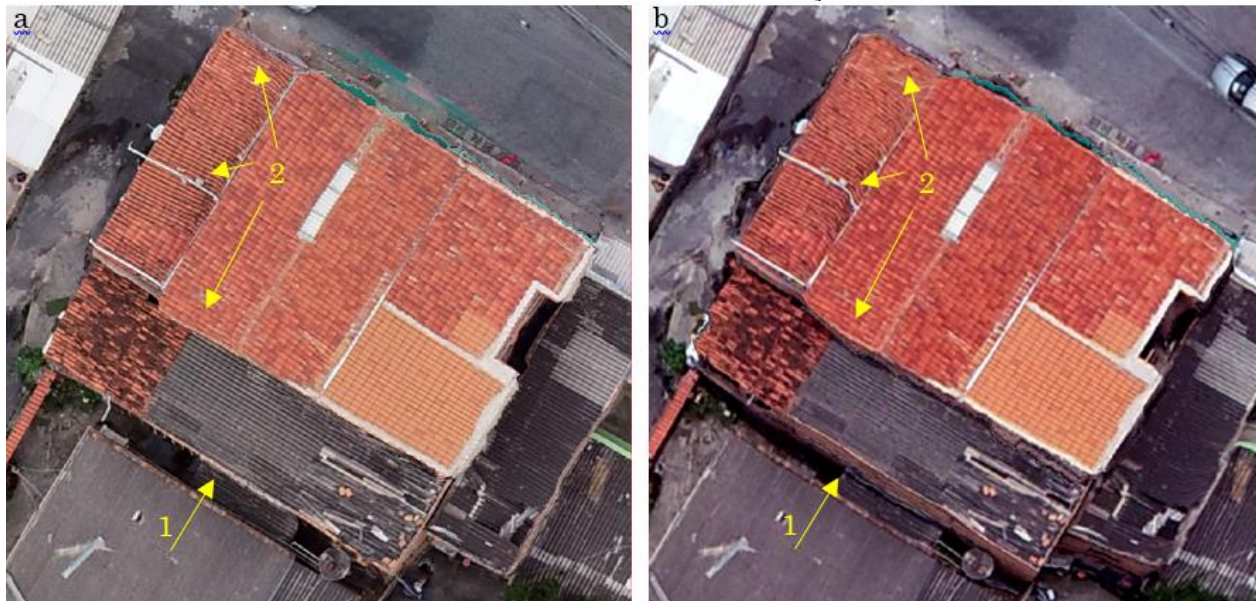


Fonte: Os autores (2021).

Observa-se, ainda, que os dados LiDAR apresentam formas mais arredondadas nas quinas das edificações, como indica a seta de número 1, bem como as paredes das edificações apresentam angulação mais distantes de 90° em relação ao solo, se comparado com o VANT Altura Relativa. Isso é entendido pela menor densidade de pontos do dado LiDAR em relação dos dados VANT, que decorre da diferença de altitude de voo entre os dois equipamentos.

Quando avaliada a ortoretificação dos mosaicos gerados pelo VANT, percebe-se novamente melhores resultados para os dados com correção da altitude de voo, conforme pode ser observado no comparativo apresentado pela Figura 11. Neste caso não foi avaliado o ortomosaico da PRODABEL, pois o procedimento de ortoretificação da imagem não foi informado pela empresa.

Figura 11 – Comparação entre Ortoretificação dos mosaicos. a) Ortomosaico Altitude Relativa; b) Ortomosaico Altitude Fixa. 1: Limite mal definido do telhado; 2: Distorções nas formas do telhado.



Fonte: Os autores (2021).

Na figura, destacado com o número 1, percebe-se que o Ortomosaico Altitude Fixa apresenta um limite do telhado mal definido, sendo visível parte da parede da edificação misturada ao telhado. Destacado pelo número 2, estão distorções na forma do telhado, o que impediria a geração de um cadastro dessa edificação com delimitação precisa. Esses erros podem ser explicados pela quantidade inferior de imagens coletadas para a recobertura da área no voo com altitude fixa. Além disso, a variação do GDS de cada uma das fotografias dificulta a geração de um MDS homogêneo, o que influencia negativamente no processo de mosaicagem.

Os resultados apresentados até aqui já respaldam a afirmação de que o MDS gerado por VANT com correção de altitude durante o voo possui morfologia mais fidedigna ao objeto imageado do que o outro produto VANT analisado. E, em alguns quesitos, apresentou melhor desempenho, também, que o produto LiDAR. Entretanto, são avaliações pontuais, individualizadas em pequenos trechos do MDS e sem uma verificação estatística que contribua para entendimento do problema de modo geral, ou seja, como os erros se dispersam ao longo do MDS. Para isso, foi realizada a análise morfológica dos MDS conforme apresentado na Eq. (1) e os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Análise da Morfologia dos MDS

Dado	LiDAR	Altura relativa	Altitude fixa
Média	1,0683	1,0241	1,0340
Mediana	1,0314	1,0132	1,0139
Moda	1,0173	1,0044	1,0026
Desvio Médio	0,0635	0,0192	0,0305
Desvio Padrão	0,1260	0,0230	0,0424
Curtose	25,0808	-0,1147	5,0705
Variância	0,0156	0,0005	0,0018

Fonte: Os autores (2021).

Conforme exposto, os valores mais distantes do número 1 indicam áreas com maior rugosidade nas amostras, ou seja, locais com maior irregularidade no MDS. A tabela nos mostra que o VANT Altura Relativa apresentou a melhor performance média para o cálculo da morfologia do MDS e os valores de Moda, Mediana, Desvio Médio, Desvio Padrão contribuem para entender que os resultados apresentam baixa variabilidade em todo o MDS, ou seja, os valores são bastante semelhantes em todo o modelo. Todos os dados apresentaram um valor de Moda mais baixo do que a Mediana e a Média, o que representa uma assimetria positiva na dispersão desses dados. Isso quer dizer que a maioria dos dados de todos os modelos está mais próxima de 1 do que a média encontrada.

Há um destaque para o Drone Altitude Fixa, pois apresentou a maior quantidade de valores mais próximos do 1, representado pelo menor valor de Moda. Entretanto, nesse MDS há uma maior variação dos resultados, o que pode ser observado pela média, variância e desvios maiores que pode ser explicado pela variação da distância das fotos em relação aos objetos. Foram realizadas análises baseadas em diagramas *boxplot* para verificação da presença de *outliers*, porém nenhum dos MDS apresentou tal característica.

O MDS LiDAR embora tenha apresentado melhor modelagem do terreno em locais com maior adensamento de edificações, gerou um MDS com bastante rugosidade. Nesse sentido, quando se analisam áreas no modelo e não somente perfis, percebe-se que, especialmente, esse dado apresenta erros mais grosseiros do que os demais dados analisados, tendo grande desvio em relação à forma real dos objetos imageados.

A análise da Curtose nos mostra que o resultado negativo observado para a Altura Relativa indica uma baixa repetição de valores, ou seja, não há grande repetição dos valores de erro. Isso nos dá uma noção da ausência de erros sistemáticos nos dados, pois os erros são dispersos e proporcionais nas três dimensões analisadas. Já os demais dados apresentam o oposto, um valor de Curtose superior a 5, o que indica repetição dos valores de erro encontrados, o que nos leva a entender que se relacionam a erros sistemáticos derivados do método de coleta dos dados.

## 5 CONCLUSÕES

O estudo constatou que o MDS do VANT Altura Relativa apresenta qualidade morfológica superior aos demais dados avaliados. Tal fato está associado à maior quantidade de imagens coletadas, à homogeneidade das imagens, possuindo todas a mesma área de abrangência, a mesma escala de visualização dos dados, com o mesmo distanciamento do objeto imageado e, conseqüentemente, o mesmo GSD para cada fotografia aérea. Dessa maneira, conclui-se que para geração de dados com VANT é importante corrigir altitude do voo para garantir melhores resultados, sobretudo em áreas com significativa variação topográfica.

A metodologia apresentada demonstrou-se relevante para a análise morfológica de MDS, pois quando analisados apenas os perfis topográficos sobre os dados, as irregularidades nos dados LiDAR podem não ser completamente detectadas por se tratar de uma avaliação somente linear. Nesse sentido, reforça-se a importância da utilização de áreas amostrais dispersas no MDS para avaliação dos erros existentes no mesmo.

É nítido que a qualidade morfológica do MDS influencia na ortorretificação das imagens, o que pode comprometer o mapeamento com o uso de VANT, pois há distorções nas formas e proporções reais dos objetos modelados. Nesse sentido, recomenda-se que futuros esforços para avaliação da acurácia posicional planimétrica e altimétrica de dados gerados por VANT se dediquem, também, a avaliar as distorções em termos de área, forma e proporção dos elementos modelados em comparação aos reais.

Não foi objetivo deste estudo avaliar a geração de MDT e, tampouco, a ortorretificação dos mosaicos a partir dos MDT. Entretanto, análises iniciais nos mostram que há significativa variação de forma e dimensões dos objetos vistos nos ortomosaicos quando ortorretificados por MDS ou MDT, portanto esforços futuros serão empreendidos para essas análises.

Entende-se, aqui, que os VANTs multirrotadores não são substitutos para a tecnologia LiDAR aerotransportado, pois são equipamentos para fins distintos, sobretudo no que tange à área de abrangência do mapeamento. A busca aqui é por avaliar as capacidades e limitações dos VANTs, pois são opções de baixo custo, de fácil operação e de alta agilidade para coleta e processamento de dados e, por esses motivos, devem ser considerados como uma poderosa ferramenta para coleta de dados espaciais que pode ser empregada em

fins diversos. Merece destaque o potencial dos VANTs para realização de cadastros expeditos em áreas urbanizadas e/ou de intensa dinâmica de transformação territorial, como em zonas de expansão urbana, áreas de ocupações recentes, assentamentos informais, dentre outras.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao fomento recebido através dos projetos CNPq 401066/2016-9 e FAPEMIG PPM-00368-18.

## Contribuição dos Autores

Os autores Danilo Magalhães e Ana Clara Moura declaram ser responsáveis pela elaboração do manuscrito intitulado “Análise da morfologia de Modelos Digitais de Superfície gerados por VANT”. Danilo, como autor principal, foi o responsável pela conceptualização, curadoria e análise formal dos dados, pelo desenvolvimento do processo investigativo e pelo desenho da metodologia do estudo. Ana Clara contribuiu mediante o fornecimento de recursos e atuou na supervisão, validação e revisão do trabalho como um todo.

## Conflitos de Interesse

Os autores declaram que não há conflitos de interesse.

## Referências

- ABER, J. S.; MARZOLF, I.; RIES, J. B.; **Small-Format aerial photography: principles, techniques and geoscience applications**. Amsterdam: Elsevier, 2010.
- BRASIL. Portaria nº 511, de 07 de dezembro de 2009. Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros. Brasília, **Diário Oficial da União**, 234 de 8 de dez. 2009.
- COLOMINA, I.; MOLINA, P. Unmanned aerial system for photogrammetry and remote sensing: a review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 92, n. 1, p. 79-97, 2014. DOI.: 10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013.
- CUNHA, E. M. P.; ERBA, D. A. (Orgs). **Manual de Apoio – CTM: Diretrizes para a criação, instituição e atualização do cadastro territorial multifinalitário nos municípios brasileiros**. Brasília: Ministério das Cidades, 2010. Disponível em: <<http://www.capacidades.gov.br/media/doc/acervo/c4924c559c0b1b95a8ad38c47fda4799.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2019.
- DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). Portaria DECEA nº 224/DGCEA, de 20 de novembro de 2018. Aprova a edição da ICA-400, Instrução sobre “Aeronaves não tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro”. **Boletim do Comando da Aeronáutica nº 002**, de 03 de janeiro de 2019.
- DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO (DSG). **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais**. Relatório Técnico. Ministério da Defesa, Brasília-DF, 2011. Disponível em <[https://bdgex.eb.mil.br/portal/media/adgv/ET\\_ADGV\\_Vs\\_2\\_1\\_3.pdf](https://bdgex.eb.mil.br/portal/media/adgv/ET_ADGV_Vs_2_1_3.pdf)>. Acesso em 18 abr. 2019.
- DRONESMADEEASY. Map Pilot. **Map Pilot Pro**. San Diego, 2019. Disponível em: <<https://www.dronesmadeeasy.com/Articles.asp?ID=254>>. Acesso em: 15 abr. 2019.
- EISENBEISS, H. A mini unmaned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON PROCESSING AND VISUALIZATION USING HIGH-RESOLUTION IMAGERY, 36, 2004. Pitsanulok. **Anais...** Pitsanulok: ISPRS, 2004, p. 1-7.
- Eisenbeiss, H. The autonomous mini helicopter: a powerful platform for mobile mapping. **The International**

**Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 37, n. 1, p. 977-984, 2008.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). Arc GIS Desktop. **ArcGIS Tutorials**. Redlands, 2019. Disponível em: <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/get-started/introduction/arcgis-tutorials.htm>>. Acesso em: 07 abr. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Recomendações para levantamentos relativos estáticos – GPS**. Relatório Técnico, IBGE, Brasília, 2008. 35 p. Disponível em <[https://geoftp.ibge.gov.br/metodos\\_e\\_outros\\_documentos\\_de\\_referencia/normas/recom\\_gps\\_internet.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/recom_gps_internet.pdf)>. Acesso em 20 abr. 2019.

MAGALHÃES, D. M.; MOURA, A. C. M. Avaliação da acurácia do modelo tridimensional de uma edificação gerado por um micro VANT. **Geografia y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)**, v. 10, n. especial, p. 62-86, 2018.

MAROTTA, G. S.; CICERELLI, A. M. R.; ROIG, H. L.; ABREU, M. A. Avaliação posicional de um modelo digital de superfície derivado de câmera de pequeno formato. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 7, p. 1467-1477, 2015.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. 1ª ed. São Paulo: Unesp, 2000.

NETO, F. D. F.; JUNIOR, J. G.; BOTELHO, M. F.; SANTOS, A. P.; NASCIMENTO, L. A.; FONSECA, A. L. B. F. Avaliação da qualidade posicional de dados espaciais gerados por VANT utilizando feições pontuais e lineares para aplicações de cadastro. **Boletim de Ciências Geodésicas**, vol. 23, n. 1. 2017. pp. 134 - 149.

NEX, F.; REMONDINO, F. UAV for 3D mapping applications: a review. **Applied Geomatics**. vol, 6, n. 1, 2014. pp. 1–15.

OPEN GEOSPATIAL CONSORTUIM (OGC). **OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard**. Version 2.0. OGC, 2012.

PAULA, P. L.; MOURA, A. C. M. O Uso de tecnologias de geoinformação web-based com os I-Generation na prática do planejamento urbano compartilhado. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL (PLURIS), 8, 2018, Coimbra. **Anais...** Coimbra: Universidade de Coimbra. Departamento de Engenharia Civil, 2018. p. 975-987.

SANTOS, A. P. **Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais com o uso de estatística espacial**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Pós-Graduação em Engenharia Civil, Viçosa, 2010. 110 p.

SANTOS, A. P.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, N. T.; GRIPP JUNIOR, J. Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais utilizando estatística espacial: proposta de método e exemplo utilizando a norma brasileira. **Boletim Ciências Geodésicas (online)**, v. 22, n. 4, p. 630-650, 2016.

WANG, J.; LI, C. Acquisition of UAV Images and the Application in 3D City Modeling. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHOTOELECTRONIC DETECTION AND IMAGING, 2007, Beijing, **Anais...** Beijing: SIPE, 2007. p. 66230Z-1- 66230Z-11

WAY CARBON. **Análise de vulnerabilidade às mudanças climáticas no município de Belo Horizonte**. Relatório Técnico. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, Belo Horizonte. 2016. 47 p.

ZANETTI, J.; GRIPP JUNIOR, J.; SANTOS, A. P. Influência do número de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento por VANT. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 2, p. 263-277, 2017.

## Biografia do autor principal



Danilo Magalhães, nascido em Belo Horizonte/MG no ano de 1983, é Doutor em Geografia pela UFMG, tendo realizado estágio sanduíche na Universidade de Bolonha (Itália). Foi coordenador do curso de Geografia do Centro Universitário de Belo Horizonte (UNIBH) entre os anos de 2014 e 2015 e atua, ainda, como Professor nessa instituição desde 2012 até o presente, lecionando disciplinas ligadas às geotecnologias. Atua, também, como consultor em trabalhos de levantamentos aerofotogramétricos com VANT, de Sensoriamento Remoto e de SIG.



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.