

Avaliação da Influência da Densidade da Vegetação em Levantamentos Topográficos com LiDAR Embarcado

Ramon Danilo SOUZA ¹; Guilherme Passos RIBAS ²; Alexandre Assunção GONTIJO ³, Pedro Feldmann TONELLI ⁴, Felipe VILELA ⁵

Resumo – Este estudo se propõe a avaliar a utilização de sensores LiDAR embarcado em drones, para levantamentos topográficos de áreas vegetadas, com o objetivo de analisar a efetividade desta tecnologia em ambientes com diferentes características de vegetação. Para tal, foram utilizados dados de levantamentos realizados em taludes do Mineroduto do Sistema Minas-Rio, operado pela Anglo American. Os levantamentos topográficos foram conduzidos em áreas selecionadas, utilizando parâmetros de voo otimizados para cada cenário, visando obter a melhor amostragem possível em cada ambiente. As nuvens de pontos resultantes dos levantamentos, e tratadas para filtragem da vegetação, foram comparadas para avaliar a influência das características da vegetação e dos parâmetros de voo, na qualidade dos resultados. A análise comparativa revelou que a eficácia do sensor LiDAR em áreas vegetadas está condicionada às características da vegetação presente. O artigo mostra que a utilização desta técnica, com uma definição de parâmetros de voo adequados, considerando-se as características de vegetação, é eficiente no levantamento topográfico de áreas vegetadas.

Abstract – This study proposes to evaluate the use of LiDAR sensors onboard drones, for topographic surveys of vegetated areas, with the objective of analyzing the effectiveness of this technology in environments with different vegetation characteristics. To this end, data from surveys carried out on slopes of the Minas-Rio System's pipeline, operated by Anglo American, were used. The topographic surveys were conducted in selected areas, using flight parameters optimized for each scenario, aiming to obtain the best possible sampling in each environment. The point clouds resulting from the surveys, and treated for vegetation filtering, were compared to evaluate the influence of the characteristics of the vegetation and the flight parameters, on the quality of the results. The comparative analysis revealed that the effectiveness of the LiDAR sensor in vegetated areas is conditioned to the characteristics of the present vegetation. The article shows that the use of this technique, with a definition of adequate flight parameters, considering the vegetation characteristics, is efficient in the topographic surveying of vegetated areas.

Palavras-Chave – LiDAR; VANT; Topografia; Taludes; Geotecnologias.

¹ Eng. Geól., MecRoc Engenharia Ltda: Belo Horizonte – MG, (31) 99913-2484, ramon.souza@mecroc.com.br

² Eng. Geól., MecRoc Engenharia Ltda: Belo Horizonte – MG, (31) 98881-3312, guilherme.ribas@mecroc.com.br

³ Eng. Minas, MSc, MecRoc Engenharia Ltda: Belo Horizonte – MG, (31) 99451-4252, alexandre.gontijo@mecroc.com.br

⁴ Geól., MecRoc Engenharia Ltda: Belo Horizonte – MG, (31) 98523-2536, pedro.tonelli@mecroc.com.br

⁵ Geól., MSc., Anglo American – MG, (31) 99871-0434, felipe.vilela@angloamerican.com

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por levantamentos topográficos precisos e eficientes em áreas de difícil acesso tem impulsionado o uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) equipados com sensores LiDAR (Du et al., 2022). Essa abordagem oferece vantagens significativas em ambientes com vegetação densa, onde a obtenção de dados detalhados do terreno é tradicionalmente um desafio (Hofton et al. 2002). Nesse sentido, este estudo avalia a aplicação de sensores LiDAR embarcados em drones, para levantamentos topográficos de áreas vegetadas, analisando sua efetividade em diferentes cenários de cobertura vegetal.

A maioria dos sensores LiDAR disponíveis no mercado utilizam comprimentos de onda na faixa do infravermelho próximo (NIR) e funcionam com a emissão de pulsos simples ou multi pulsos (Ferreira, 2014). A densidade de pontos alcançada nos resultados, depende de parâmetros como a altura do voo, a sobreposição de linhas de levantamento, e a velocidade de deslocamento do drone. Além destes fatores, as características da vegetação têm papel fundamental na qualidade final dos levantamentos, uma vez que influencia na penetração dos pulsos de laser até atingirem o nível do solo (Lefsky et al., 2002). Esta influência é explorada neste artigo com a apresentação de estudos de caso de levantamentos em taludes vegetados.

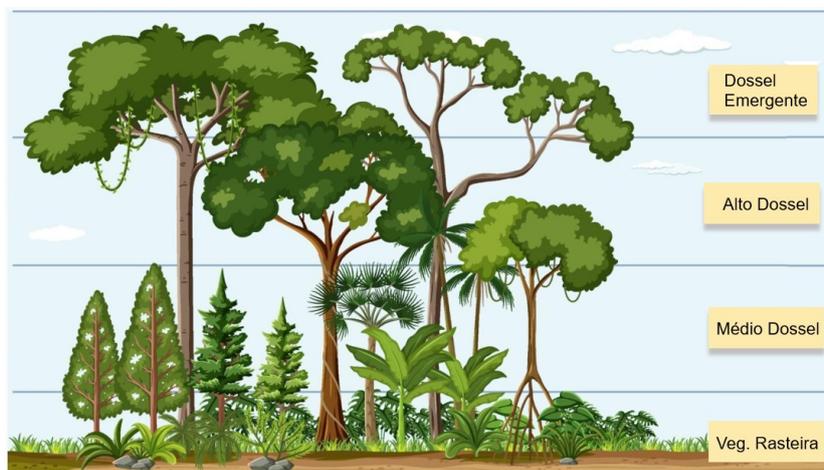


Figura 1- Classificação da vegetação segundo sua estratificação vertical. Imagem retirada da web (<https://pt.vecteezy.com/arte-veitorial/2046722-camadas-de-uma-floresta-tropical-com-nome>).

A análise da eficácia do sensor LiDAR Zenmuse L1 em áreas vegetadas é relevante para otimizar levantamentos topográficos em projetos de engenharia e ambientais. Este artigo apresenta um estudo de caso sobre a influência da densidade da vegetação na qualidade dos resultados do levantamento, com o objetivo de identificar as melhores práticas para a obtenção de dados precisos e confiáveis.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREAS DE ESTUDO

2.1. Áreas de estudo

As áreas de estudo estão localizadas ao longo do mineroduto do Sistema Minas-Rio, especificamente nos municípios de Dom Joaquim/MG, Conceição do Mato Dentro/MG, Santo Antônio do Gramma/MG e Tombos/MG. Apresentam características distintas de cobertura vegetal, e uma variação nos resultados que permitem uma discussão sobre aplicação dos sensores LiDAR nestes contextos. A Figura 2 e a Tabela 1, apresentam o mapa de localização das áreas de estudo, e uma breve descrição de cada ativo apresentado, respectivamente:

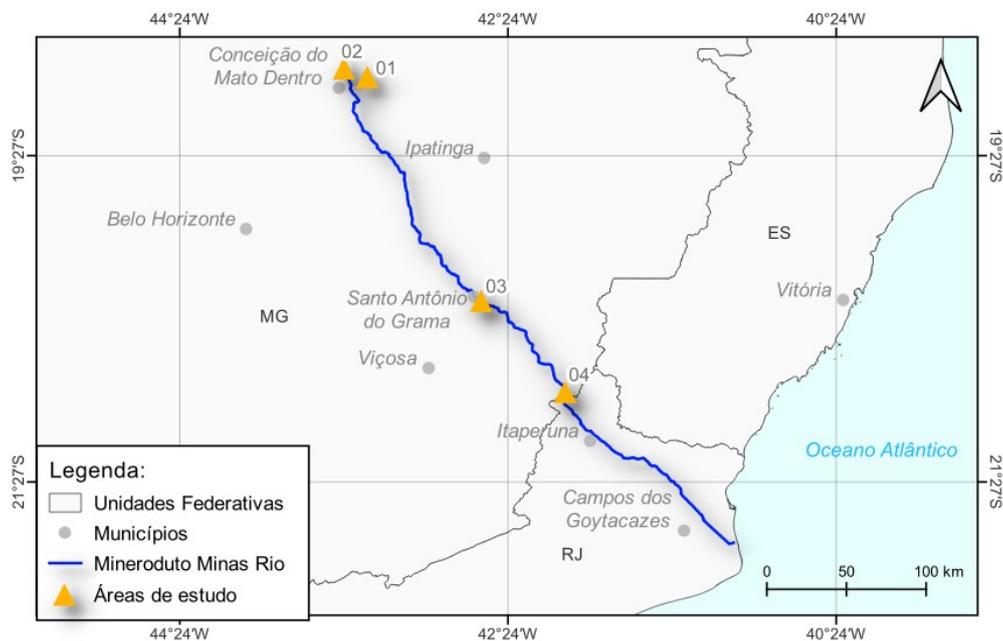


Figura 2 - Mapa de localização das áreas de estudo. Fonte: IGBE (2022)

Tabela 1 - Identificação das áreas de estudo.

Índice	Descrição da área de estudo	Área de Estudo
01	Localizada em Dom Joaquim/MG, a encosta alvo do estudo exibe uma vegetação predominantemente arbórea e densa, com pequenas áreas de solo exposto e vegetação rasteira.	
02	Conceição do Mato Dentro/MG abriga um talude com vegetação descontínua e um processo erosivo evidente. A vegetação é caracterizada por eucaliptos espaçados e vegetação rasteira.	
03	Localizado em Santo Antônio do Grama/MG, o talude alvo do estudo apresenta vegetação arbórea densa, com pouca área de solo exposto.	
04	Localizado em Tombos/MG, o talude natural apresenta uma divisão entre vegetação arbórea densa e áreas de vegetação rasteira (pasto).	

3. METODOLOGIA

Para a aquisição de dados, utilizou-se o VANT Matrice 300 RTK, equipado com o sensor Zenmuse L1, ambos da DJI. Os planos de voo automatizados foram criados no software DJI Pilot 2, com parâmetros ajustados às características de cada área de estudo. Os voos automatizados seguiram o modelo digital de elevação baixado no próprio software de planejamento de voo, com o intuito de manter constante a altura em relação ao solo, garantindo assim uma densidade consistente de pontos captados por área. A Tabela 2 apresenta os parâmetros de voo utilizados em cada levantamento.

Tabela 2 - Parâmetros de voo configurados no DJI Pilot 2.

Área	01	02	03	04
Altura em relação ao terreno (m)	50	45	50	60
Velocidade (m/s)	4.7	1.8	4	2.5
Sobreposição Lateral (LiDAR)(%)	62	62	62	62
Densidade da Nuvem de Pontos (pontos/m ²)	808	2343	949	1265

Posteriormente, foi realizada a reconstrução das nuvens de pontos no software DJI Terra, com exportação no formato *.las*. As nuvens de pontos geradas, foram tratadas e realizada a filtragem da vegetação, e a classificação dos pontos a nível de solo, utilizando o plugin *CSF-Filter* do software *CloudCompare* (mais detalhes sobre o método podem ser vistos em Zhang et. al. 2016). Com as nuvens de pontos filtradas, foram geradas superfícies topográficas tridimensionais para cada área de estudo por meio da triangulação dos pontos obtidos a nível de solo, realizada no software *PointStudio*.

A avaliação das nuvens de pontos tratadas foi realizada após a obtenção dos produtos topográficos desejados em cada levantamento. Inicialmente, as nuvens foram classificadas quanto à sua densidade superficial de pontos, utilizando a ferramenta *'Compute Geometric Features'* do software *CloudCompare*. O raio de pesquisa do algoritmo da ferramenta foi definido como $r = 1$, equivalente a uma área superficial de 3,14 m². Em seguida, para cada nuvem classificada, foi gerado um histograma com o objetivo de analisar a distribuição dos grupos de densidade. Posteriormente, ajustou-se uma curva gaussiana à distribuição observada, permitindo assim, a determinação do valor médio de densidade e do respectivo desvio padrão. A Figura 3 apresenta um fluxograma da metodologia adotada no estudo:

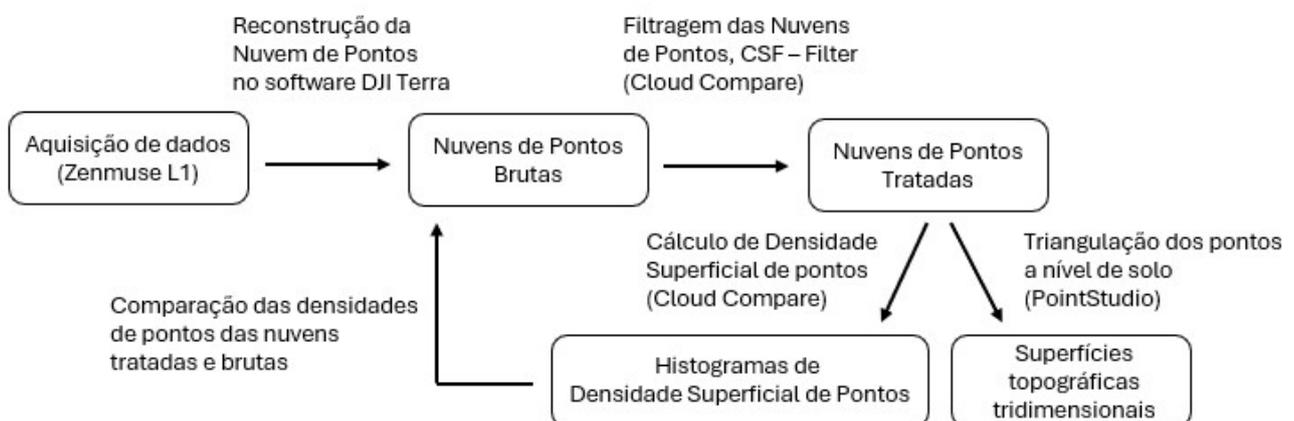


Figura 3- Fluxograma da metodologia de estudo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Modelos Tridimensionais

Nesta seção, são apresentadas as superfícies tridimensionais geradas no software *PointStudio*, a partir das nuvens de pontos obtidas nos levantamentos, e filtradas para obtenção da topografia ao nível do solo. As superfícies resultantes apresentaram uma boa resolução espacial, atendendo aos requisitos estabelecidos para cada levantamento, permitindo uma representação precisa e detalhada do relevo, mesmo com presença de vegetação de diferentes características nos taludes. A Tabela 3 apresenta as superfícies topográficas obtidas para cada área de estudo, proporcionando uma visualização clara das características do terreno.

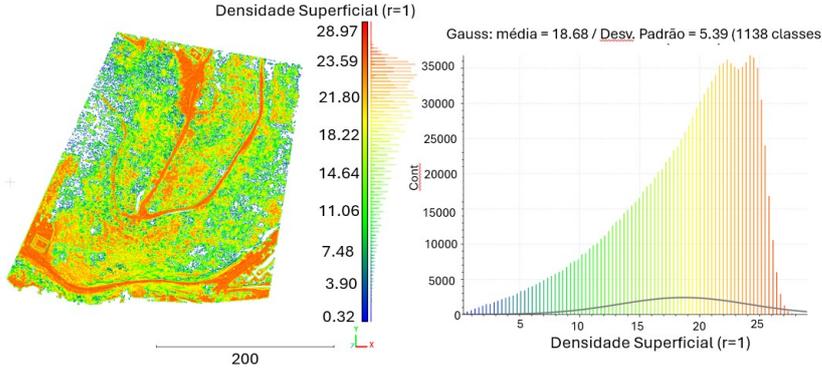
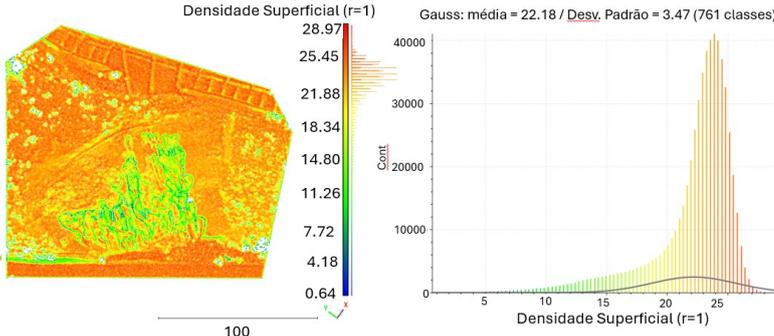
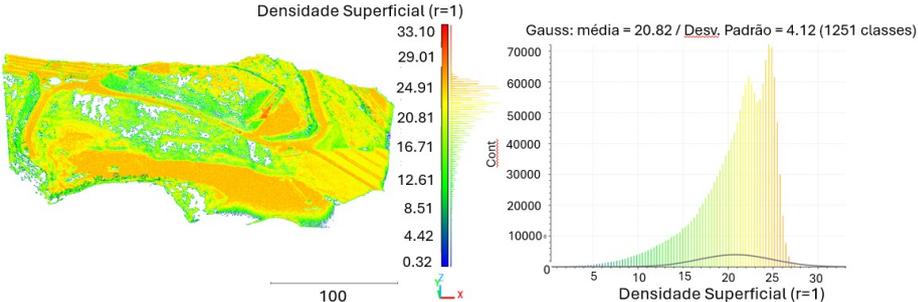
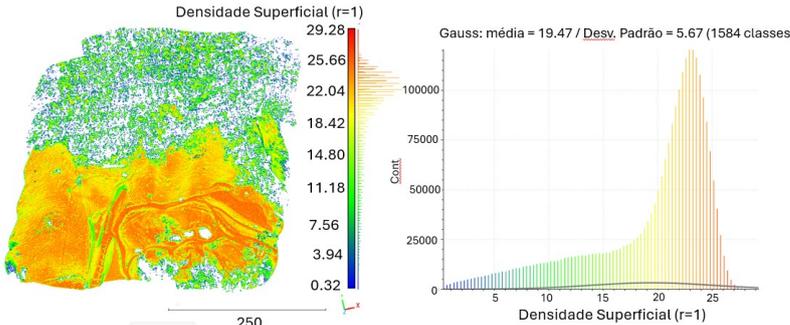
Tabela 3 - Superfícies tridimensionais geradas pela triangulação no software *PointStudio* (Visualização no software *Gem4D*)

Área	Superfícies Tridimensionais
01	<p>Elevação 611 592 572 563 534</p> <p>Dip 34.0° Azimute 356.5°</p>
02	<p>Elevação 740 729 718 707 696</p> <p>Dip 39.6° Azimute 53.3°</p>
03	<p>Elevação 624 600 575 550 526</p> <p>Dip 29.2° Azimute 4.7°</p> <p>GasRock</p>
04	<p>Elevação 419 372 325 278 231</p> <p>Dip 29.3° Azimute 13.6°</p>

4.2. Análise de Densidade Superficial de Pontos

Nesta seção, são apresentados os resultados da análise de densidade superficial das nuvens de pontos tratadas, que visa avaliar a distribuição espacial dos pontos e a qualidade dos dados obtidos. A Tabela 4 apresenta as nuvens classificadas de acordo com a densidade superficial de pontos, junto com os histogramas de distribuição das densidades ao longo da superfície, incluindo a média de densidade e o desvio padrão.

Tabela 4 - Densidade das nuvens de pontos tratadas e histogramas de distribuição espacial das densidades.

Índice	Resultados da Classificação
01	 <p>Densidade Superficial (r=1)</p> <p>Gauss: média = 18.68 / Desv. Padrão = 5.39 (1138 classes)</p>
02	 <p>Densidade Superficial (r=1)</p> <p>Gauss: média = 22.18 / Desv. Padrão = 3.47 (761 classes)</p>
03	 <p>Densidade Superficial (r=1)</p> <p>Gauss: média = 20.82 / Desv. Padrão = 4.12 (1251 classes)</p>
04	 <p>Densidade Superficial (r=1)</p> <p>Gauss: média = 19.47 / Desv. Padrão = 5.67 (1584 classes)</p>

A análise dos resultados da densidade superficial das nuvens de pontos tratadas revelou informações importantes sobre a qualidade dos dados e a influência das características da vegetação. O primeiro ponto a ser discutido é a redução drástica da densidade superficial de pontos nas nuvens tratadas, em relação aos dados brutos adquiridos com o sensor Zenmuse L1 (estimados nos planos de voo para os levantamentos). Esse resultado ressalta a importância da escolha criteriosa dos parâmetros de voo para garantir uma amostragem adequada de pontos a nível de solo, que é crucial para a geração de superfícies topográficas com boa resolução espacial.

Na área de levantamento 01, foram observadas maiores densidades de pontos nos locais mais expostos, principalmente nas vias de acesso presentes na área. O histograma da classificação revelou uma distribuição mais heterogênea dos grupos de densidade, com regiões de variadas densidades nas áreas mais vegetadas. A área de levantamento 02, por sua vez, apresentou uma maior homogeneidade na distribuição da densidade superficial, com menores perdas de densidade após o processo de filtragem. Este resultado pode ser atribuído a uma característica de vegetação mais esparsa, que facilita a amostragem de pontos a nível de solo.

A classificação da área de levantamento 03 revelou maiores diferenças de densidade entre as áreas expostas e vegetadas, além de áreas com nenhum ponto recuperado em zonas de vegetação densa, o que reflete a dificuldade do sensor LiDAR em penetrar algumas regiões. De maneira similar, o levantamento da área 04 mostra uma distinção clara entre as regiões de vegetação densa e rasteira (pastos), com duas áreas com densidades visualmente diferentes.

A análise integrada dos resultados permitiu concluir que a densidade e estratificação da vegetação é um fator determinante na qualidade da aquisição de dados com o sensor LiDAR. A comparação entre os resultados obtidos na área de estudo 01 com a área 04 demonstra que, mesmo com parâmetros de voo que teoricamente garantissem amostragens superiores para a área 04, a amostragem de pontos a nível de solo na área vegetada da área de estudo 01 foi superior. Esse resultado evidencia a influência da estrutura da vegetação e do seu grau de desenvolvimento. A vegetação da área 04 é mais estratificada do que a da área 01, mesmo ambas apresentando vegetação densa. Essa diferença pode ser atribuída ao maior grau de preservação da vegetação densa na área 04, que provavelmente se trata de vegetação primária e mais desenvolvida, enquanto a vegetação densa da área 01 pode ser uma vegetação secundária, com menor grau de desenvolvimento e estratificação.

5. CONCLUSÕES

O estudo demonstrou a importância de um planejamento cuidadoso na etapa de aquisição de dados topográficos com o sensor LiDAR. Uma leitura atenta das características da área de trabalho, incluindo a estrutura da vegetação, é fundamental para garantir a eficiência do processo de aquisição. A análise revelou que a estratificação de áreas de vegetação densa podem influenciar significativamente a qualidade dos dados obtidos, afetando a penetração do sinal LiDAR e a densidade de pontos a nível de solo. Apesar da drástica redução na densidade de pontos resultante do processo de filtragem, foi possível garantir a geração de superfícies topográficas precisas, o que demonstra a eficácia das técnicas de processamento utilizadas e a importância de uma amostragem adequada dos dados brutos. Em suma, este trabalho reforça a necessidade de considerar todos os fatores que podem influenciar a qualidade dos dados topográficos, desde o planejamento da aquisição até o processamento dos resultados.

REFERÊNCIAS

DU, M. et al. (2022) “*A Design and Experimental Study on an Innovative UAV-LiDAR Topographic Mapping System for Precision Land Levelling*”. *Drones*, 6, 403.

FERREIRA, F.R. (2014) “*Segmentação do espaço urbano por meio da tecnologia LiDAR aerotransportado*”, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 129p.

HOFTON, M.A et al. (2002) “*Validation Of Vegetation Canopy Lidar Sub-Canopy Topography Measurements For A Dense Tropical Forest*”. *Journal of Geodynamics*, vol. 34, Issues 3-4, pag. 491-502.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Malha Municipal Digital do Brasil: 2005* (escala 1:500.000). Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2005. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>>. Acesso em: 27 mar. 2025.

LEFSKY, M. A. et al. (2002) “*Lidar Remote Sensing Of Above-Ground Biomass In Three Biomes*”. *Global Ecology and Biogeography*, Vol. 11, Issue 5, p. 393-399.

Vecteezy. “*Camadas de uma floresta tropical*”. Disponível em: <<https://pt.vecteezy.com/artefetorial/2046722-camadas-de-uma-floresta-tropical-com-nome>>. Acesso em: 27 mar. 2025.

ZHANG, W. et al. (2016) “*An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation*”. *Remote Sensing*. 2016; 8(6):501.