



SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROGRAFIA 2025



"Desafios da Hidrografia na Transformação Digital"

AValiação DA ACURÁCIA POSICIONAL DE DADOS LIDAR EMBARCADO EM ASV: INOVAÇÃO E PRECISÃO PARA A HIDROGRAFIA MODERNA

Macedo, R. H. F.¹; Santos, A.P.²; Silva, A.E.¹; Medeiros, N.G.²; Nascimento, T. F.¹; Manente Filho, A.¹

¹ UMI SAN Engenharia e Hidrografia

² Universidade Federal de Viçosa

* ronam.macedo@umi.com.br; afonso.santos@ufv.br; alex.silva@umi.com.br; ngmedeiros@gmail.com;
thiago.nascimento@umi.com.br; aureo.manente@umi.com.br

Palavras-chave: Veículo Autônomo de Superfície (ASV); LIDAR (Light Detection and Ranging); Controle de qualidade cartográfico (CQC).

Nas últimas décadas, a geração de superfícies topográficas derivadas da tecnologia LIDAR (*Light Detection and Ranging*) tem sido cada vez mais exploradas (Vinci et al., 2024). A facilidade e rapidez de obtenção de uma nuvem com alta densidade de pontos planialtimétricos, quando comparado ao uso da topografia convencional, justifica a crescente demanda por essa metodologia de aquisição de dados no âmbito da engenharia. Existem diferentes sensores LIDAR e que podem ser transportados em diferentes plataformas. O uso mais comum é do sensor em plataformas terrestres (fixo) e aerotransportado: por aeronaves não tripuladas (UAV/Drones), aeronaves tripuladas, helicópteros e satélites (Balestra et al., 2024).

Porém, uma aplicação prática em que se torna inviável a utilização do LIDAR nas plataformas citadas acima é em pequenos corpos hídricos, onde se tem a necessidade de modelar tridimensionalmente margens, taludes, ilhas e estruturas emersas. Este tipo de modelagem da superfície se torna essencial em alguns trabalhos como: monitoramento de estruturas em água, obras de dragagem e em trabalhos que visam a previsão de desastres naturais. Como alternativa, surge o uso do sensor LIDAR em Veículos Autônomos de Superfície (ASVs), que são capazes de navegar sem tripulação em ambientes de difícil acesso ou com riscos à segurança. Sua aplicação vem crescendo, especialmente em monitoramentos ambientais e operações offshore devido sua alta adaptabilidade em diversos cenários.

Com o aumento de sensores e plataformas para mapeamento, o número de dados e produtos gerados consequentemente também tem aumentado (Cruz et al., 2012). Contudo, ainda é necessário validar a precisão e a confiabilidade desses dados, especialmente quando comparados com equipamentos topográficos convencionais, que ainda continuam sendo referência para levantamentos de alta precisão. Nessa linha, o controle de qualidade posicional surge como uma forma de garantir e especificar a qualidade e acurácia dos dados, explicitando suas discrepâncias e incertezas bem como suas finalidades.

Diante o exposto, o objetivo deste trabalho, portanto é aplicar o controle de qualidade posicional para verificar a proximidade da componente planimétrica e altimétrica dos dados LIDAR utilizando dados GNSS como referência. A área de estudo consiste em um reservatório de acúmulo de água e sólidos em forma de uma elipse limitada por taludes.

No levantamento LIDAR, foi mapeado os taludes da margem através da navegação da embarcação que manteve uma distância de aproximadamente 5 metros da margem. O veículo utilizado para o levantamento LIDAR foi o modelo SL40 da OceanAlpha (Figura 1), com 165 cm de comprimento, 70 cm de largura e 40 cm de altura. Ele foi operado tanto de forma autônoma quanto por controle remoto. Também, em um pequeno trecho desse talude (Figura 2), onde havia necessidade do acompanhamento topográfico, foi realizado um levantamento com GNSS utilizando a metodologia RTK (*Real-Time Kinematic*).



Figura 1: ASV e LIDAR (em vermelho).

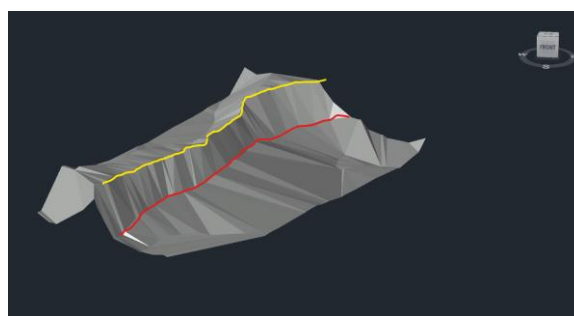


Figura 2: Área de estudo.

Na Figura 3 é apresentado o fluxograma da metodologia proposta para o trabalho. Os dados de entrada consistiram em nuvens de pontos que foram transformadas em modelos de digitais de elevação (MDE). De posse dos modelos, foram identificadas as feições de teste e referência que consistiram em uma linha de “pé” (linha vermelha) e “crista” (linha amarela)



SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROGRAFIA 2025



"Desafios da Hidrografia na Transformação Digital"

no talude de interesse (Figura 2). Dessa forma, obteve-se dois pares de linhas para avaliação: uma linha de pé e crista nos dados de referência (RTK) e uma linha de pé e crista nos dados de teste (LIDAR). Toda essa etapa foi realizada no software Civil 3D da Autodesk. O sensor LIDAR utilizado foi o modelo Velodyne 16 (VLP-16) integrado ao software Hypack. O sensor possui um alcance máximo de 100 m, capacidade de 300 mil pontos/segundo, apenas dois retornos e acurácia de 30 mm. Dessa forma, é importante ressaltar que a acurácia final do levantamento é a do sistema todo, levando em conta o sistema de navegação da embarcação e a unidade de medição inercial (IMU). O receptor GNSS utilizado como RTK foi o i83 da CHC, com precisão horizontal em torno de 8 mm e vertical em torno de 15 mm.

Para avaliação da acurácia planimétrica utilizou-se o método de feições lineares *Buffer Duplo* (Santos et al., 2015) que consiste em criar *buffers* ao redor das linhas de teste e de referência, permitindo identificar sobreposições e discrepâncias espaciais entre as feições comparadas. Já para a avaliação da acurácia altimétrica utilizou-se feições pontuais, que consiste na utilização de pontos de referência mais acurados utilizados na comparação com os pontos homólogos de teste. Esses pontos foram extraídos das linhas de pé e crista (Figura 2). Após o cálculo das discrepâncias e da medida de acurácia, o produto de teste (nuvem de pontos LIDAR) foi classificado de acordo com o padrão de acurácia nacional utilizando a metodologia de Santos et al. (2016). De acordo com os autores, utilizando o padrão do Decreto 89.817/ ET-CQDG, pode-se definir a escala e as classes para a avaliação planimétrica e altimétrica do produto testado, consequentemente sua finalidade de uso. Toda essa etapa de avaliação da acurácia posicional foi realizada no software GeoPEC com auxílio do QGIS.

Como resultado para a planimetria, foi obtido um RMS (*Root Mean Square*) de 18 cm, com discrepância média de 17 cm para a linha de crista e 6 cm para o pé do talude. A largura do buffer foi de 28 cm, atendendo aos requisitos da Classe A do Decreto 89.817/ET-CQDG para uso em escala de 1:1000. Para a altimetria, conforme a metodologia de Santos et al. (2016), o produto demonstrou acurácia compatível com uma equidistância vertical (EV) de 1 metro, com os dados seguindo distribuição normal e sem tendência, enquadrando-se na Classe D. As discrepâncias altimétricas apresentaram valor médio de 5 cm, desvio-padrão de 44 cm e RMS de 42 cm.

É importante destacar que a identificação de feições lineares homólogas nos dados de teste exerce forte influência na avaliação da acurácia planimétrica (2D) e, por consequência, na análise altimétrica (3D). As linhas de referência utilizadas foram obtidas por meio de levantamento planialtimétrico in loco com RTK, que permite controle preciso na aquisição, ajustando-se às feições do terreno de forma detalhada. Em contraste, a nuvem de pontos gerada pelo LIDAR apresenta alta densidade e cobertura contínua da área, oferecendo uma visão abrangente do relevo. Essa característica favorece o mapeamento completo da superfície, diferentemente da aquisição linear do RTK, que, embora mais precisa para extração de feições pontuais, é limitada em extensão espacial.

Apesar da maior dificuldade na extração automatizada de feições específicas, como pé e crista do talude, em função da modelagem mais difusa da superfície, o uso do sistema LIDAR acoplado a embarcação autônoma (ASV) mostrou-se eficiente para o mapeamento de áreas amplas e a modelagem geral do terreno. Assim, conclui-se que a aplicação deste sistema é especialmente vantajosa para levantamentos em escalas de 1:1000 ou menores, com equidistância vertical superior a 1 m, sendo uma alternativa promissora para mapeamento expedito e digitalização de superfícies com alta densidade de dados.

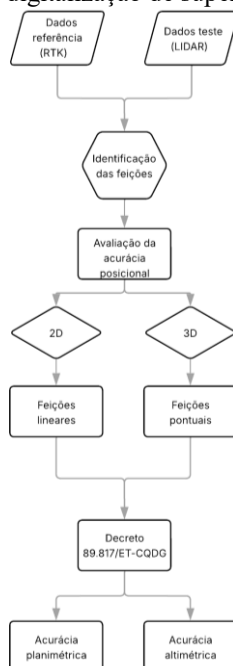


Figura 2: Metodologia proposta.