



SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROGRAFIA 2025



"Desafios da Hidrografia na Transformação Digital"

APLICAÇÃO DE VEÍCULOS REMOTOS NÃO TRIPULADOS NO MAPEAMENTO DE AMBIENTES COSTEIROS

Cruz, F.F.¹; Silva, A.E.¹; Souza, L.C.C.¹; Nascimento, T. F.¹; Filho, A.M.¹

¹ UMI SAN Hidrografia e Engenharia

*filipe.cruz@umi.com.br ; alex.silva@umi.com.br ; luiz.souza@umi.com.br; thiago.nascimento@umi.com.br;
aureo.manente@umi.com.br

Palavras-chave: Topobatimetria; Mapeamento autônomo; Integração geoespacial.

A geração de Modelos Digitais de Terreno (MDT) contínuos e de alta resolução em zonas de transição entre os domínios terrestre e aquático representa um desafio recorrente e estratégico para a cartografia costeira moderna. Nessas áreas, a variabilidade morfológica é intensa, com feições temporárias e dinâmicas moduladas por processos naturais como marés, ondas, correntes e sedimentação, além das alterações decorrentes da ação antrópica. Além disso, a dificuldade de acesso, a presença de vegetação densa e as limitações operacionais de mapeamento tradicionais comprometem a obtenção de dados precisos e espacialmente integrados. Ambientes como faixas entremarés (estirâncio), estuários e zonas rasas são particularmente desafiadores, pois trazem riscos à navegação e inviabilizam o uso de métodos de mapeamentos terrestres, gerando lacunas na modelagem e impactando diretamente a qualidade de produtos topobatimétricos.

Neste contexto, o presente estudo propõe uma abordagem metodológica baseada na utilização de sensores geoespaciais embarcados em plataformas não tripuladas — aéreas e aquáticas — para aquisição e integração de dados topobatimétricos acurados, compatíveis geometricamente e com ampla cobertura espacial. A estratégia visa atender às exigências de aplicações técnicas, como modelagem hidrodinâmica, análise de riscos costeiros, planejamento portuário, além da conservação de ecossistemas vulneráveis.

A área de estudo compreende o trecho litorâneo situado entre a Praia do Canto e a Curva da Jurema, em Vitória (ES). O levantamento topográfico da zona emersa e da faixa entremarés foi realizado com sistema LiDAR aerotransportado GeoCue TrueView 545, acoplado a um drone DJI Matrice 350 RTK, operado durante a maré baixa de sizígia. Já os dados batimétricos foram adquiridos na preamar máxima do mesmo ciclo da maré de sizígia, utilizando um veículo autônomo de superfície (ASV) SL-40 equipado com sonar multifeixe R2Sonic 2020. A escolha dessa janela temporal garantiu máxima sobreposição espacial entre os domínios emerso e submerso, favorecendo a continuidade do modelo integrado.

Para assegurar a qualidade posicional dos dados e sua consistência vertical, sete pontos de controle geodésico foram distribuídos ao longo da faixa costeira, utilizando receptores GNSS CHC i83 com correção em tempo real (RTK). Adicionalmente, perfis topográficos foram coletados ortogonalmente à linha de costa com espaçamento regular de 20 metros, proporcionando uma malha de controle essencial para a calibração e validação cruzada entre os dados LiDAR, batimétricos e integrados. Essa abordagem permitiu avaliar a performance geométrica dos sensores em condições reais de campo e conferir robustez ao processo de integração.

Cada base de dados foi processada de forma independente, com aplicação de correções orbitais, remoção de ruído e interpolação das superfícies. A compatibilização vertical foi obtida mediante transformação dos dados batimétricos — originalmente referenciados ao Nível de Redução (NR) náutico — para o mesmo sistema ortométrico adotado nos dados LiDAR e nos pontos RTK, conforme o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), utilizando altitudes normais referenciadas ao SIRGAS 2000. A integração topobatimétrica foi realizada em ambiente SIG, com análise morfológica detalhada, verificando a continuidade das feições naturais e a coerência entre superfícies adjacentes, além de aplicar sobreposição horizontal criteriosa para reduzir ao mínimo possíveis discontinuidades.

A validação do MDT (Figura 1) integrado foi conduzida a partir de comparações ponto a ponto, utilizando os perfis topográficos como referência. Foram extraídas as altitudes correspondentes nos modelos LiDAR, multibeam, em locais de coincidência planimétrica. Os resíduos verticais encontrados apresentaram Erro Quadrático Médio (RMSE) inferior a 10 cm em todos os trechos avaliados. Embora esse valor seja tecnicamente aceitável para diversas aplicações operacionais, trata-se de um limite relativamente alto para contextos que exigem precisão elevada. Ainda assim, os resultados demonstram boa fidelidade geométrica entre os sensores e confirmam a viabilidade da metodologia (Figura 2).

Esse desempenho reforça a efetividade da abordagem não apenas quanto à qualidade técnica dos dados, mas também em relação à logística operacional. O uso de plataformas não tripuladas demonstrou-se altamente vantajoso ao possibilitar o mapeamento em regiões de difícil acesso, com riscos mínimos à equipe de campo, menor custo por área levantada e redução significativa do impacto ambiental em relação a métodos convencionais. A sincronização dos levantamentos com os extremos do ciclo de maré foi decisiva para garantir continuidade nas áreas mais críticas, como a zona entremarés — frequentemente sujeita a lacunas em modelos topobatimétricos tradicionais.



SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROGRAFIA 2025



“Desafios da Hidrografia na Transformação Digital”

Apesar dos avanços demonstrados, a integração de dados oriundos de sensores distintos e sistemas de navegação variados continua sujeita à propagação de incertezas. Mesmo com a aplicação de correções RTK, transformações verticais consistentes e calibração inercial, pequenas discrepâncias milimétricas a centimétricas podem se acumular ao longo do processo, impactando o resultado final. A mitigação dessas incertezas depende do aperfeiçoamento dos métodos de calibração multissensorial, da padronização dos referenciais verticais utilizados e do avanço contínuo dos sistemas embarcados de navegação e posicionamento.

Conclui-se que a metodologia proposta é promissora para o avanço da hidrografia digital e da modelagem topobatimétrica contínua em ambientes costeiros complexos. A integração entre sensores remotos e plataformas autônomas representa um caminho viável, preciso e sustentável para o monitoramento de zonas costeiras, contribuindo para aplicações técnicas de alta sensibilidade e relevância ambiental.

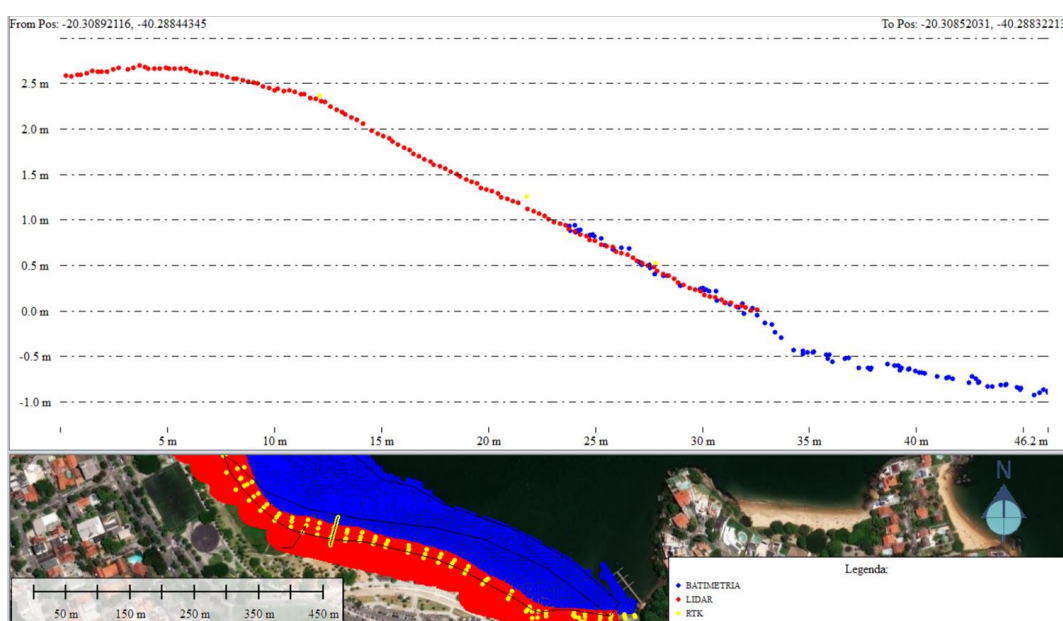


Figura 1: Exemplo de perfil topobatimétrico levantado.

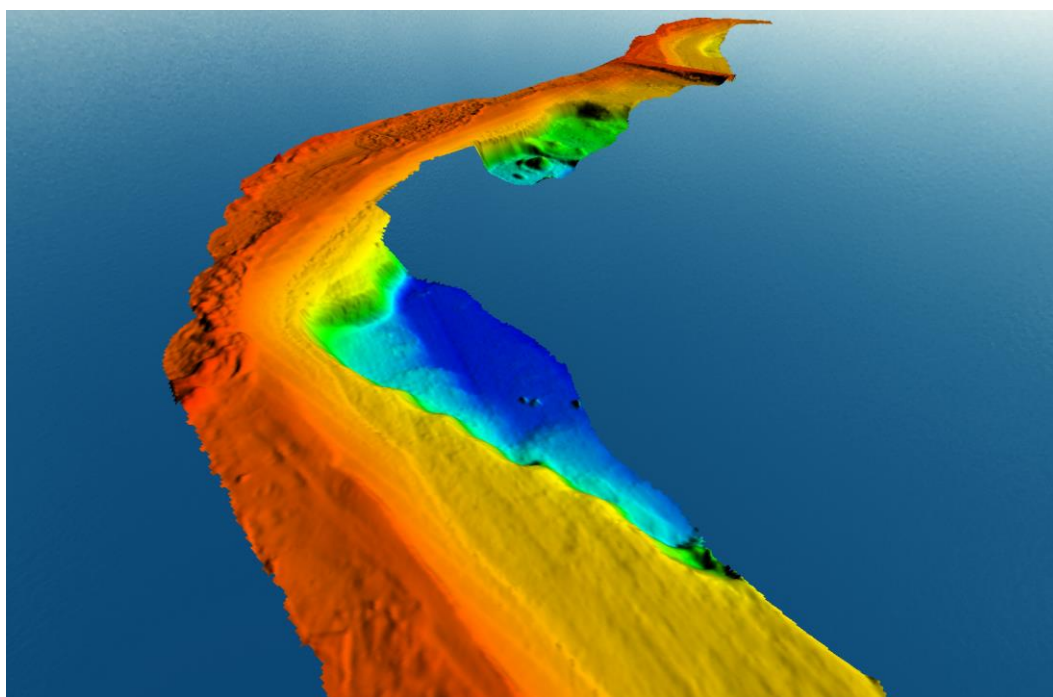


Figura 2: MDT topobatimétrico integrado (vista 3D).