



SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROGRAFIA 2025



"Desafios da Hidrografia na Transformação Digital"

POSICIONAMENTO GNSS EM BOIAS ESTÁTICAS PARA DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DO NÍVEL INSTANTÂNEO DA ÁGUA

*Krueger, C.P.¹; Baluta, E. S. M.²; Garnés, S. J. A.³ **

¹ Universidade Federal do Paraná; ² Universidade Federal do Paraná; ³ Universidade Federal de Pernambuco

*ckrueger@ufpr.br¹; *ericamatos@ufpr.br²; *silvio.jacks@ufpe.br³

As mensurações e o monitoramento dos níveis instantâneos das massas de água podem ser determinados por diferentes técnicas como, por exemplo, observações em estações maregráficas e a altimetria por satélites. No primeiro caso tem-se observações pontuais, efetuadas de maneira relativa ao nível zero do instrumento de medida e cujas observações sofrem influência da dinâmica costeira. Também se verifica que a distribuição espacial destes marégrafos em algumas regiões é insuficiente. Segundo alguns autores em regiões próximas à costa, em estuários ou baías, bem como em águas interiores o monitoramento deste nível pode ser efetuado com o uso de boias ou navios equipados com receptores GNSS (Viski et al., 2011; Pineau-Guillou e Dorst, 2012; Santana et al., 2024).

O Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia (LAGEH) tem desenvolvido boias estáticas de baixo custo (Figura 1) e realizado pesquisas empregando estas plataformas com GNSS. Essa tecnologia proporciona a obtenção de coordenadas geodésicas ao longo do tempo, associadas a um elipsoide de revolução. Neste contexto, se boias estáticas acopladas com receptores GNSS, instaladas nas massas de água, estão sujeitas à alteração destas massas, então a variação do nível instantâneo da água pode ser determinada indiretamente por meio das variações das altitudes elipsoidais calculadas.



Figura 1. Boia estática desenvolvida no LAGEH.

Neste trabalho foi utilizada uma boia estática, cuja fixação foi efetuada por meio de um cabo de amarração, ficando ancorada em uma região geográfica de interesse para a coleta dos dados e posterior determinação da variação do nível da água ao longo do tempo de observação. O experimento foi realizado no ano de 2018, no trapiche municipal de Antonina, Paraná, onde nas imediações estava sendo efetuado um levantamento batimétrico monofeixe. O receptor GNSS acoplado à boia coletou dados com intervalo de 1 segundo e, concomitantemente, havia uma régua fixa no trapiche, na qual foram observadas variações do nível instantâneo da água a cada 15 minutos. O período de observação GNSS teve duração de 7,5 horas, das 13h00 UTC até 20h30 UTC.

Os dados coletados pelo GNSS foram pós-processados com o programa RTKLIB v.2.4.3 no modo relativo cinemático, estando a estação base instalada no próprio trapiche e nas imediações da boia. Nestes processamentos, avaliou-se a resolução das ambiguidades pelo modo instantâneo e pelo modo contínuo. A diferença das resoluções é que no modo instantâneo a ambiguidade é estimada época por época, enquanto no modo contínuo a solução faz uso das resoluções anteriores. Cabe ressaltar que a resolução das ambiguidades, no posicionamento por GNSS, é um dos fatores condicionantes para a determinação de altitudes com precisão (Kruger et al., 2020).

Durante o processamento, verificou-se que, no que tange a resolução das ambiguidades, pelo modo instantâneo, 95,4% das ambiguidades determinadas foram inteiras e a precisão interna das altitudes foi de 0,0084 m a 0,0272 m, com uma média igual a 0,0141 m. Pelo modo contínuo, 94,6% das ambiguidades determinadas foram inteiras e a precisão interna das altitudes calculadas de 0,0083 m a 0,0228 m, com uma média igual a 0,0144 m. De modo que neste quesito ambos os modos de resolução das ambiguidades alcançaram comportamentos análogos. Todavia, foi ainda analisado o parâmetro *ratio*, que é um fator que indica a confiabilidade das soluções – maiores valores de *ratio*, correspondem a resultados mais robustos (Takasu, 2013). Neste quesito, obteve-se para a solução com modo instantâneo valor médio de 10,5 e para o modo contínuo valor médio de 49,0, com picos acima de 170. Sendo assim, após uma análise destes parâmetros foi escolhida a solução pelo modo contínuo.



SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROGRAFIA 2025



“Desafios da Hidrografia na Transformação Digital”

A partir da solução escolhida, realizou-se um processo de filtragem, aplicando o modelo de média móvel, para redução de ruídos, em função da superabundância de observações GNSS, a cada 1 segundo. Na sequência, realizou-se redução dos dados para observações a cada 1 minuto, simulando observações que se teria caso fosse utilizado um marégrafo digital. Cabe ressaltar que para fins de levantamentos batimétricos, a indicação atual da NORMAM 501 é pela necessidade de registro de maré em um intervalo máximo de 10 minutos, durante o período de sondagem (DHN, 2023).

A Figura 2 ilustra a variação do nível instantâneo da água por observações GNSS oriundas da boia estática (em azul) e por leitura em régua (em vermelho), em relação à hora universal (UTC) da data do experimento. Nota-se que o comportamento de ambas as curvas é similar, o que mostra o potencial do uso desta técnica, que minimiza a interferência humana nas observações. Para este período de observação obteve-se apenas informações quanto a maré predita cuja variação do nível de água, para o intervalo de análise, foi igual a 2,3 metros de amplitude; que corrobora com os dados coletados. Foi realizada uma análise pontual de cada leitura realizada na régua com a respectiva variação determinada pelo posicionamento GNSS com a boia estática. A diferença média encontrada foi de -1,8 cm com desvio padrão de 3,5 cm. As maiores diferenças ocorreram no início do posicionamento da boia estática, todavia a diferença máxima encontrada não ultrapassou 10 cm.

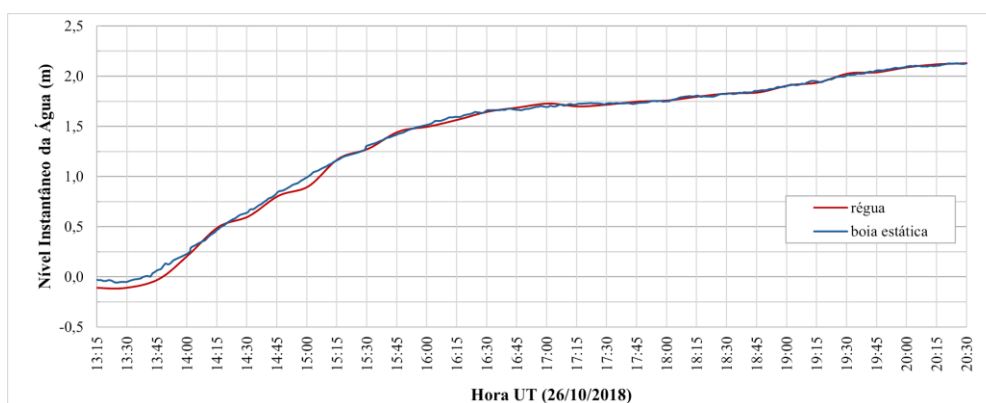


Figura 2. Variação do Nível Instantâneo da Água – boia estática x régua.

Por fim, com os resultados obtidos verifica-se que o emprego de boias estáticas acopladas com GNSS tem um grande potencial para a determinação das variações das massas de água, já que seus resultados são similares às leituras tradicionais em régua graduada, com a vantagem de ter uma maior cobertura de observações e ser isento a erros de leitura, por exemplo. Entretanto, seu uso é viável em locais cuja variação do nível instantâneo ocorra de forma suave, sem mudanças abruptas. A instabilidade proveniente de grandes perturbações no nível da água como o caso de ondas, ou intenso tráfego de embarcações poderá acarretar na degradação do posicionamento por GNSS, e, conseqüentemente, na determinação do nível instantâneo da água. Para trabalhos futuros recomenda-se avaliar os resultados da boia estática com observações de marégrafo, o desenvolvimento de modelos matemáticos para filtragem e estimação dos dados de maré, bem como avaliar a aplicabilidade da solução em áreas com maior dinâmica.

Palavras-chave: GNSS; boia estática; nível instantâneo da água; maré; batimetria.

DHN. Normas da autoridade marítima para levantamentos hidrográficos (NORMAM-501). Diretoria de Hidrografia e Navegação, Niterói. 2023.

KRUEGER, C. P.; OLIVEIRA JUNIOR, P. S.; GARNÉS, S. J. A.; ALVES, D. B. M.; EURIQUES, J. F. Posicionamento GNSS em Tempo Real: Evolução, Aplicações Práticas e Perspectivas para o Futuro. Revista Brasileira de Cartografia, [S. l.], v. 72, p. 1359–1379, 2020.

PINEAU-GUILLOU, L.; DORST, L. Creation of Vertical Reference Surfaces at Sea Using Altimetry and GPS. In: ALTAMIMI, Z.; COLLILIEUX, X. Reference Frames for Applications in Geosciences. v. 138, 2012. p.229-235. DOI. 10.1007/978-3-642-32998-2.

SANTANA, F. R.; KRUEGER, C. P.; BALUTA, E. S. M.; SANTANA, T. A.; VESTENA, K. M.. Evaluation of precise point positioning and post-processing kinematic methods for tide measurement in hydrographic surveys. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 30, p. 9-9, 2024.

TAKASU, T. RTKLIB ver. 2.4.2 Manual. 2013. Disponível em: https://www.rtklib.com/rtklib_document.htm Acesso: 24/05/25.

VISKI, A. R.; WERLICH, R. M. C.; KRUEGER, C. P.; HUINCA, S. C. M.; LEANDRO, D.; BLENINGER, T.; e FERNANDES, C. V. S. Prototypes of Monitoring Devices for Water Levels and Currents in Coastal Waters. Journal of Coastal Research SI 64, 618-621, Poland, ISSN 0749-0208, 2011.