



SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROGRAFIA 2024



"A Hidrografia no contexto da Economia do Mar Brasileiro"

CONTROLE DIMENSIONAL NA HIDROGRAFIA: ESTUDO DE CASO NO NAVIO ESCOLA CIÊNCIAS DO MAR III

Santos, F.C.M.¹; Carvalho, V.A.²; Speroto, A.T.³; Marques, D.C.⁴

¹Oceaneering; ² Oceaneering; ³Oceaneering; ⁴Oceaneering

fsantos5@oceaneering.com ; vcarvalho1@oceaneering.com ; asperoto@oceaneering.com; dcmarques@oceaneering.com

A hidrografia é uma ciência essencial para a economia marítima brasileira, desempenhando um papel crucial na segurança da navegação, na exploração sustentável de recursos marinhos e na conservação ambiental. O controle dimensional é uma técnica utilizada para medir os deslocamentos entre sensores com referência a um ponto de origem no sistema de coordenadas da embarcação ou estrutura a ser mapeada (Batista, 2023; Ferreira et al., 2021). Este trabalho explora um estudo conduzido pela Oceaneering no Navio-Escola Ciências do Mar III, uma embarcação operada pela Universidade Federal Fluminense. Baseado em métodos topográficos para o registro de pontos estratégicos, é possível estabelecer um sistema de referência local na embarcação. O estabelecimento desse sistema e o cálculo de distâncias de referência são cruciais para a mobilização, controle de deslocamentos, processamento e integração de sensores de navegação, que são fundamentais para fornecer dados precisos de posição, orientação e atitude. A precisão obtida nesse levantamento está diretamente relacionada à acurácia dos dados adquiridos para a geração de produtos cartográficos, bem como para a segurança das operações. Este estudo destaca a importância do controle dimensional no contexto da hidrografia moderna, seja em operações costeiras ou offshore, ao refletir na acuidade de operações de aquisição de dados que são realizadas levando-se em conta a definição dos sistemas de coordenadas das embarcações nas atividades e confiabilidade no mapeamento das operações marítimas. O Navio-Escola Ciências do Mar III (Figura 1 - a) é uma plataforma de pesquisa das águas brasileiras, que viabiliza estudos detalhados em hidrografia costeira e oceânica. Durante o estudo, o navio estava atracado na Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), onde foi possível a realização das medições e mensurações de todos os pontos de interesse do barco.

A metodologia empregada neste estudo utilizou a técnica da estação livre, a partir de coleta de pontos homólogos, chamados "*control points*", e pontos de interesse (Nero et al., 2023). Para aplicar esse tipo de levantamento, deve-se utilizar uma estação total e alvos para a captura do laser ao medir os ângulos e distâncias. Com a estação total estacionada em um primeiro ponto, deve-se capturar os pontos homólogos entre as estações que serão utilizados para o ajustamento de observações, os pontos de interesse, ou seja, sensores de posição e movimentação da embarcação, para que seja feita a integração desses dados referentes a um único ponto do sistema de referência da embarcação, também chamado de *CRP* (*Common Reference Point*). Este ponto é definido de diversas maneiras, seja quando o barco é projetado, sendo por exemplo o centro de gravidade, o centro geométrico ou apenas um sensor específico, como por exemplo o transdutor do sistema hidroacústico da embarcação. Desta forma, com a coleta desses pontos, a embarcação é ocupada com a estação total, capturando todos os pontos de interesse para compor o sistema de referência.

Vale destacar que, ao realizar levantamentos de estruturas não fixas ou flutuantes, o plano formado pela estação total não será sempre perpendicular ao plano de referência da Terra. Assim, o levantamento também pode ser denominado de metodologia da "Estação Livre", em que se desconsidera o nivelamento, e a amarração das estações é feita a partir dos "*control points*". Para que todos os levantamentos em estação livre estejam vinculados ao sistema de referência local na embarcação, é realizado o para amarração em um único referencial. A amarração dos pontos é estabelecida a partir da transformação conforme onde os parâmetros de translação e rotação são definidos por uma modelagem matemática baseada na álgebra vetorial e minimização de resíduos. Esses parâmetros permitem uma correlação e calibração precisa entre os diferentes conjuntos de dados coletados. Uma vez que o ajustamento foi realizado, os pontos podem ser rotacionados em bloco para definir a orientação conveniente às operações, usualmente utilizando-se um plano notável de referência orientado em relação à linha no sentido proa-popa do barco com o deck principal da embarcação. Feito isso, todos os pontos são transladados para a origem definida como o CRP, assim é definido o sistema de coordenadas cartesianas local.

O processamento então gera um memorial descritivo contendo offsets e orientações, informações precisas que podem ser aplicadas em calibrações e implementadas em softwares de navegação para a certificação da precisão dos dados. Todo esse processamento foi realizado no software "*Survey 3D BestFit*" (Figura 1 - b), desenvolvido pela Oceaneering. Para o processamento este software permite a importação das coordenadas da primeira estação com os pontos levantados. A partir daí, todas as outras estações serão referenciadas a primeira estação, com a amarração feita a partir de pontos homólogos entre as estações. Para isso, é feita uma transformação conforme com parâmetros onde matrizes de rotação, translação e escala entre os pontos é aplicada. Automaticamente os pontos de amarração são ajustados, bem como os pontos de interesse que incluem sensores de atitude, antenas GNSS (*Global Navigation Satellite System*) e sistemas de posicionamento hidroacústico. Seguente à amarração e ajuste dos pontos é feita a planificação das estações, geralmente definido como plano de referência o convés principal da embarcação.



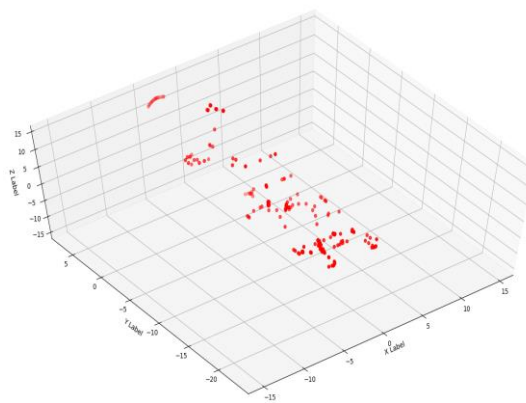
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROGRAFIA 2024



"A Hidrografia no contexto da Economia do Mar Brasileiro"

Com todos os pontos ajustados e planificados, operações como alinhamento com o norte e definição de ponto são executadas para definição do sistema de referência de coordenadas da embarcação. Para esse estudo, a implementação metodológica permitiu o estabelecimento de um sistema de referência unificado centrado no CRP do navio. Neste caso, foi utilizado um parafuso no centro da popa da embarcação Ciências do Mar III. Este ponto serviu como referência para todos os ajustes e medições subsequentes.

Figura 1 – a) Navio Escola Ciências do Mar III / b) Pontos coletados plotados no Survey BestFit 3D



Fonte: <https://www.cienciasdomar3.com.br/> / Autores (2024)

Os resultados do ajustamento das estações refletiram a alta precisão das técnicas aplicadas. Os resíduos de ajustamento variaram de 0.0018m a 0.0077m entre os pontos de controle, indicando um alinhamento preciso e acurado entre os pontos de controle com o modelo teórico. Essa variação nos resíduos, embora mínima, ilustra a capacidade do sistema em adaptar-se e corrigir distorções em um ambiente flutuante e dinâmico. A partir dos resultados, foi utilizando um conjunto de pontos representativos do deck principal para a modelagem da equação do plano 3D ($Ax + By + Cz + D = 0$) e definidos os parâmetros e orientação da nuvem de pontos. Esta equação representa a configuração espacial do plano ajustado que se alinha aos pontos coletados no deck principal do navio. A medida de orientação dos ângulos pitch e roll dos demais sensores em relação ao plano estabelecido pode ser compreendida como o desalinhamento desse sensor no sentido proa-popa (pitch) e bombordo-boreste (roll). Essas medidas são utilizadas para ajustar as rotações na matriz de transformação, permitindo que o plano de referência seja corretamente alinhado com a origem e orientação do navio.

A implementação dessa planificação exibe a efetividade do método de 'Estação Livre' empregado, que, ao desconsiderar o nivelamento tradicional, foca em uma amarração precisa e adaptativa das estações. Este método demonstrou ser eficiente no ambiente flutuante da embarcação, onde os movimentos constantes poderiam, de outra forma, comprometer a precisão das medições. Os resultados mostram a eficácia da metodologia empregada, mas também destacam a capacidade do *software* 'Survey 3D BestFit' de processar e ajustar os dados com alta precisão, o que é fundamental para a aplicação desses dados em operações de navegação e calibração de equipamentos.

Este estudo destaca a relevância crucial do controle dimensional em embarcações que operam com equipamentos de navegação tanto nas águas costeiras quanto nas offshore do Brasil. Por meio desta pesquisa, foi claramente evidenciada a dependência das medições hidrográficas desse tipo de controle para calibração, o que, por sua vez, repercute diretamente na segurança das operações marítimas. Os resultados obtidos demonstram não apenas a eficácia da metodologia do controle dimensional em estruturas flutuantes, mas também sublinham a importância dessa abordagem para garantir a qualidade e segurança das atividades que impulsionam a economia marítima brasileira. Ao combinar precisão técnica com aplicação prática, este estudo estabelece um padrão para pesquisas futuras e desenvolvimentos na área da hidrografia, promovendo uma economia marítima mais segura, eficiente e responsável. A colaboração entre a Universidade Federal Fluminense e a Oceaneering ilustra de forma exemplar a sinergia entre a academia e a indústria, criando uma ligação vital entre a inovação científica e sua aplicação prática, essencial para o progresso econômico e científico do Brasil.

Palavras-chave: Hidrografia; Ajustamento; Controle Dimensional; Topografia

REFERÊNCIAS:

- BAPTISTA, B.N. *Metodologia alternativa para medição de offset de embarcação com sistema multifeixe*. Anais Hidrográficos, v. 79, n. 1, p. 201-215, 2023.
- FERREIRA, I. O., ANDRADE, L. C., SANTOS, F. C. M., SOUZA, L. M. (2021). *Patch Test: Uma revisão teórica e prática*. Rev. Bras. Cartogr, 73(1), 2021.
- NERO, M. A., ALVES, J. L. F. G., SILVA, D. J. N., GONÇALVES, M. D. L. A. M., ELMIRO, M. A. T. . *Teaching Methodology for Topography: Didactic Proposal for the Free Station Survey Method*. Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture. 2023