
CONTROLE VERTICAL DE MARÉGRAFO EM TRAMANDAÍ (RS) - REDE ALTIMÉTRICA LOCAL PARA APOIO AO MONITORAMENTO DO NÍVEL DO MAR

MAURÍCIO KENJI YAMAWAKI

FELIPE GEREMIANIEVINSKI

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Instituto de Geociências - IGEO

Departamento de Geodésia

Porto Alegre, RS

kenji.yamawaki@gmail.com, felipe.nievinski@ufrgs.br

RESUMO - A determinação do nível médio dos mares é um dos maiores desafios para geociências. Medições maregráficas tradicionais são custosas e necessitam de infraestrutura específica para serem realizadas. Este trabalho tem o objetivo de determinar uma rede altimétrica local para apoio à medição maregráfica e realizar controle vertical do marégrafo que encontra-se na plataforma de pesca em Tramandaí – RS, onde estão sendo realizados estudos para desenvolvimento de levantamentos maregráficos por refletometria GNSS. Para execução da rede foram aplicadas técnicas de levantamentos, como nivelamento geométrico e rastreamento por GNSS. Além dos levantamentos geodésicos, foram adquiridos dados preliminares através de consulta a órgãos como IBGE, Forças Armadas e prefeituras, onde foram obtidas informações relevantes para conclusão do projeto. O processamento de dados do nivelamento geométrico foi realizado através de ajustamento de observações com uso de software de implementação matemática (Octave) e os dados de GNSS processados com software comercial (Topcon Tools), além de controle de qualidade através de comparação com levantamento independente. Concluindo todas as etapas, foi produzido banco de dados com informações geradas neste projeto, contendo dados necessários para utilização da rede em projetos e estudos futuros na região.

ABSTRACT – Mean sea level determination is one of the biggest challenges in geosciences. Traditional tide gauge measurement is expensive and need specific infrastructure to be performed. This project has as objective the determination of a local height network to support tide measuring and give vertical control of tide gauge located on Tramandaí's (RS), where studies are being carried out for development of tide gauge survey by GNSS reflectometry. Techniques as geometric leveling and GNSS surveying were used for the determination of the height network vertices. In addition to the geodetic surveys, preliminary data were acquired through consultation on public organizations as IBGE, Brazilian Army and town halls. Data processing of geometric leveling was accomplished by adjusting observations using mathematical implementation software (Octave) and GNSS data processed with commercial software (Topcon Tools), plus quality control by comparison with independent surveying. Completing all the steps, a database was produced with information generated in this project, containing needed data to use the network in projects and future studies in the region.

1 INTRODUÇÃO

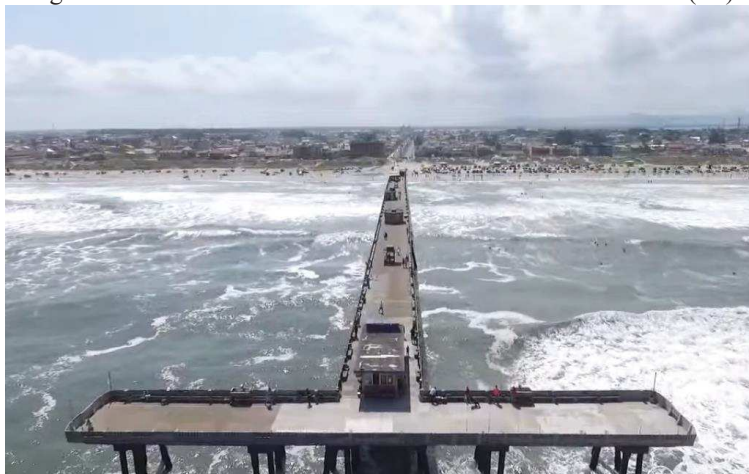
A determinação do nível médio dos mares é um dos maiores desafios para geociências. Na Geodésia, medições maregráficas servem como Datum vertical para todo território nacional. Na Oceanografia, dados de maré ajudam a compor as variáveis necessárias para produção de planejamento urbano e a delimitação de áreas de risco em regiões costeiras.

Na oceanografia há a necessidade de trabalhar com informações históricas para composição dos dados necessários para realização do estudo de comportamentos climáticos regionais. Considerando a vulnerabilidade das estações maregráficas a possível recalque da estrutura de concreto, bem como subsidência e soerguimento regionais, foi vislumbrada a necessidade de preservar o referencial altimétrico utilizado nas medições através do transporte deste referencial para um marco mais seguro.

Este trabalho visa auxiliar a manter a continuidade das observações maregráficas, oferecendo uma rede altimétrica local para controle vertical de medições presentes e futuras na Plataforma Marítima do município de Tramandaí (RS), exibida na Figura 1. A plataforma de Tramandaí foi escolhida por possuir estação maregráfica automatizada, equipada

com sensor do tipo radar, instalado pelo Instituto Oceanográfico da FURG como parte do Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira (SiMCosta). Há planos de instalação de outro mareógrafo como sensor ultrassônico pelo Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO) da UFRGS. Além disso, como parte de projetos em andamento no Departamento de Geodésia da UFRGS, pretende-se instalar receptor/antena GNSS geodésicos para controle vertical de movimentos do mareógrafo. Tudo isso necessita de interligação altimétrica de precisão, considerando a possível variação no nível do mar da ordem de mm/ano a cm/ano.

Figura 1 – Vista aérea da Plataforma Marítima de Tramandaí (RS).



Fonte: Fernando Pitol.

Figura 2 – Estação mareográfica do SiMCosta em Tramandaí (RS).



Fonte: Autores.

2 METODOLOGIA

2.1 Reconhecimento de Campo

Para o planejamento inicial, foram realizados estudos preliminares da região a ser estudada, observando elementos de logística e elementos pré-existentes na região que poderiam auxiliar trabalhos em campo. Portanto, foram verificadas diversas referências de nível (RN) próximos à região para escolha da melhor opção para o transporte de coordenada. Dentre as referências de nível disponibilizadas no banco de dados geográficos do IBGE, foram observados marcos de RN no município vizinho de Osório, há mais de 18 km da área de estudo, portanto inacessível na prática. Consultando demais fontes de dados, foram encontradas RN mais próxima à área de estudo, sendo uma delas situada no município de Imbé, localizada a aproximadamente 3 km da plataforma, situada nas dependências de terreno em litígio, sob domínio da antiga Superintendência de Portos e Hidrovias (SPH) (antiga DEPREC). Porém, esta RN não está homologada no IBGE, sendo resultado de análise maregráficas local por cerca de um mês há mais de 50 anos. Ademais, posteriormente foi descoberto que a RN nas dependências da SPH tinha sido destruída e a estação maregráfica desativada. Desta forma foi necessário realizar busca de outro referencial de nível para a rede. A Figura 3 apresenta fotografia da estação antes e depois de ser desativada.

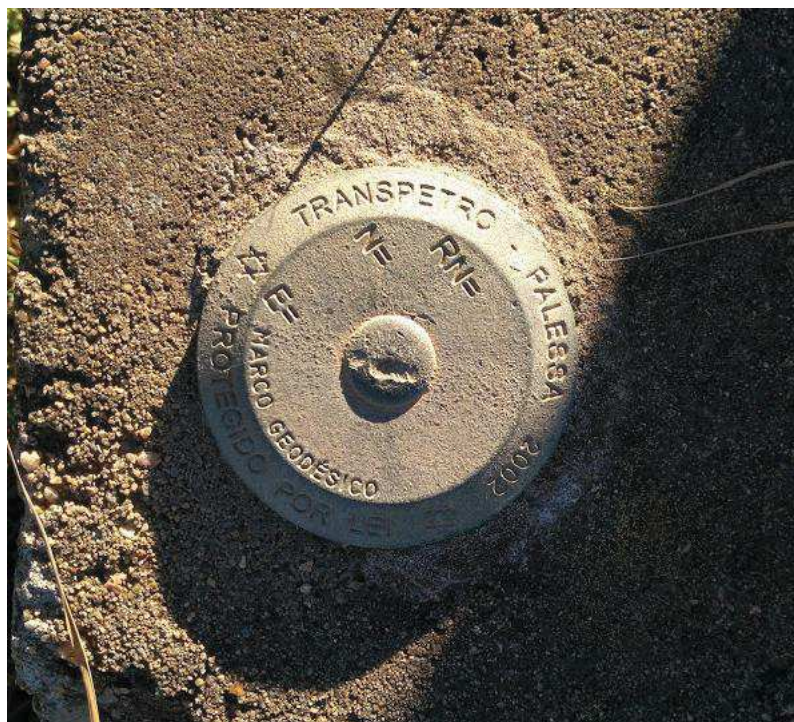
Figura 3 – Dependências da SPH que abrigavam RN e estação maregráfica; antes (acima) e depois (abaixo) de ser desativada



Fonte: Google StreetView e Autores

Visando localizar elementos essenciais para determinação da rede altimétrica local, foi realizado levantamento de informações nos órgãos oficiais locais, como prefeituras e a Marinh. Durante o reconhecimento de campo, foram encontrados dois marcos geodésicos no terreno pertencente à Transpetro (Petrobras Transporte S.A.), onde também encontra-se o farol da Marinha. Foi decidido realizar o transporte de coordenada destes marcos até o marégrafo. Por se localizarem no interior de terreno protegido (cercado e vigiado), estes marcos fornecem maior segurança para a rede, visto que há a menor chance de ocorrerem obras e vandalismo no local. Em contato com a Transpetro, foram obtidas informações da planta do terreno, com informações planimétricas, sem informar valores de altitude dos elementos.

Figura 4: RN da Transpetro.



Crédito: Autores.

2.2 Materialização da Rede Altimétrica Local

Para materialização dos vértices da rede altimétrica local, foram instaladas diversas plaquetas (Figura 5). Duas foram fixadas nas vias de acesso à plataforma, no canteiro central da Rua Protásio Alves, no trecho entre a Avenida Beira mar e Rua Três de Outubro; mais duas foram fixadas ao longo da plataforma, sendo uma junto ao marégrafo e outra próximo ao portão de entrada da plataforma; uma quinta plaqueta foi fixada próximo ao terreno da Transpetro. Para identificação, foi gravado “UFRGS” e a codificação do vértice da rede em cada plaqueta.

Figura 5: RNs instaladas.



Fonte: Autores.

Para maior estabilidade dos vértices materializados, as chapas foram instaladas em elementos estáveis, como estruturas de concreto, e na falta desses, no meio-fio das calçadas. Para fixação das plaquetas, foi realizada perfuração da estrutura base com furadeira sem fio, suficientemente profunda para encaixe do pino, e para maior estabilidade foi aplicado adesivo de alvenaria no orifício da instalação. A localização dos vértices da rede está apresentada na Figura 6.

Figura 6 – Localização dos vértices da rede.



Fonte: Autores

2.3 Nivelamento Geométrico

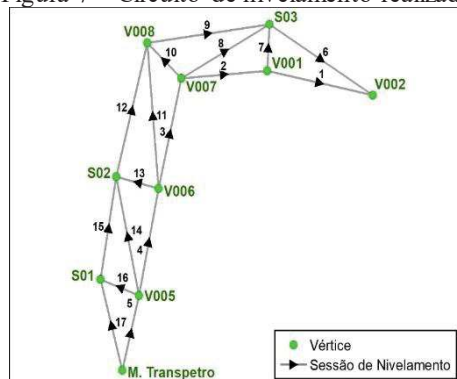
A determinação da coordenada vertical dos pontos da rede altimétrica local foi realizada por transporte de coordenada altimétrica a partir do marco que se encontra no terreno da Transpetro. O levantamento foi realizado com uso de nível digital de leitura via código de barras, que oferece grande vantagem em relação à leitura visual, por ser automatizada e também armazenar leituras na memória do equipamento. Tais características reduzem o tempo necessário para conclusão do transporte de nível, bem como aumentam a precisão e confiabilidade, ao diminuir os erros aleatórios e grosseiros, respectivamente.

O nivelamento foi realizado partindo do vértice do marégrafo, que representa a plaqueta instalada próxima à estação maregráfica existente na plataforma, passando por todos os vértices materializados, até o marco da Transpetro. A cada seção de nivelamento, foi realizado o contranivelamento equivalente de forma simultânea a fim de facilitar a logística da atividade; porém, devido à problemas de logística e planejamento, nesta primeira ocasião foi possível apenas a realização de nivelamento e contranivelamento do transporte de nível.

Com o objetivo de produzir coordenadas altimétricas de melhor confiabilidade, robusta contra erros grosseiros, foi realizado um segundo nivelamento geométrico. Desta vez, partiu-se do marco da Transpetro até o vértice do marégrafo. Além disso, o circuito de nivelamento neste caso foi baseado na Figura 7, que envolve múltiplas visadas a cada vértices da rede principal.

Para determinação da altitude do marégrafo presente na plataforma, foi realizada medição do desnível entre a plaqueta mais próxima (V002) ao topo do dispositivo.

Figura 7 – Circuito de nivelamento realizado



Fonte: O Autores

Figura 8 – Parte do nivelamento realizado para travessia da praia.



Fonte: Autores.

2.4 Processamento dos Dados

Para processamento dos dados obtidos a partir do nivelamento geométrico, foi aplicado ajustamento de observações utilizando método dos mínimos quadrados, com o software Octave. Primeiramente, as informações obtidas foram organizadas em planilha eletrônica, separando as observações por estação e discriminando observações de ré e vante. Com as leituras tabeladas, foi realizado o cálculo dos desníveis de cada lance de nivelamento; posteriormente, a partir destas observações foi calculado o desnível de cada seção de nivelamento do circuito. Com todas observações e distâncias horizontais, foi possível realizar o ajustamento de observações, resultando nas altitudes dos vértices da rede bem como nas suas precisões e confiabilidades externas, além de demais subprodutos do ajustamento, que possibilitam realizar o controle de qualidade dos dados obtidos. Para detalhes, ver em Yamawaki (2018).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aqui focaremos nas coordenadas altimétricas, determinadas por nivelamento. Coordenadas planimétricas, determinadas por GNSS, estão detalhadas em Yamawaki (2018).

3.1 Coordenadas Altimétricas

Processando os dados obtidos por nivelamento geométrico, foram obtidas as seguintes altitudes dos vértices da rede, sendo o valor de altitude do marco Transpetro e os únicos determinados por levantamento por GNSS.

Tabela 3 – Coordenadas altimétricas da rede

ELEMENTO	ALTITUDE (m)
Marco Transpetro	7,751
V001	6,198
V002	9,210
V005	7,420
V006	7,132
V007	7,940
V008	7,968
Marégrafo Plataforma	10,609

A partir da MVC dos parâmetros, obtida no ajustamento de observações, foram obtidas as precisões das altitudes calculadas. Neste caso, deve-se atentar ao fato desta precisão ser considerada apenas para coordenada altimétrica relativa entre os elementos da rede e o marco de referência, isto é, esta precisão está associada apenas ao nivelamento geométrico.

Tabela 4 – Precisão altimétrica dos vértices de rede

ELEMENTO	PRECISÃO (mm)
V001	1,4
V002	1,6
V005	0,5
V006	1,0
V007	1,2
V008	1,2

3.2 Controle de Qualidade

O controle de qualidade posicional da rede altimétrica local foi obtido através de testes estatísticos a partir de dados obtidos no ajustamento de observações para determinação dos valores de altitude dos vértices. Para realização do teste individual e alguns outros testes aplicados neste trabalho, primeiramente foi determinado o resíduo de cada observação; em seguida, foi calculado o valor médio quadrático dos resíduos (RMQ), que apresentou o seguinte valor (sem considerar o peso das observações):

$$RMQ = 0,4853 \text{ mm}$$

Considerando a ponderação das observações aplicadas no ajustamento, tem-se o seguinte valor do fator de variância a posteriori:

$$\hat{\sigma}_0^2 = 0,79177$$

Que ao extrair a raiz quadrada deste valor, foi obtido o fator de precisão a posteriori para amostra:

$$\hat{\sigma}_0 = 0,6269$$

Tal valor foi empregado para escalonar as precisões dos parâmetros, após realização do teste global abaixo.

3.2.1 Teste Global

Neste teste estatístico do ajustamento de observações é realizada a análise de relação entre variância priori (σ_0^2) e variância posteriori ($\hat{\sigma}_0^2$). A comparação entre os valores de σ_0^2 e $\hat{\sigma}_0^2$ pode ser um indicador da qualidade do ajustamento (MATSUOKA, 2008). Para análise da discrepância entre as variâncias, é aplicado teste de hipótese baseado na distribuição qui-quadrado para verificar a significância a um certo nível de confiança. Portanto, deve-se trabalhar com duas hipóteses:

- 1) Variância posteriori e variância priori estatisticamente iguais;

$$H_0: \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2 \quad (1)$$

2) Variância posteriori e variância priori diferentes;

$$H_a: \sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_0^2 \quad (2)$$

Para testar-se a hipótese nula é rejeitada ou não, a um nível de significância α , compara-se o valor calculado por:

$$T = \left(\frac{\sigma_0^2}{\hat{\sigma}_0^2} \right) (n - u) = \frac{V^T P V}{\sigma_0^2} \quad (3)$$

Com o valor teórico da distribuição $\chi_{n-u,\alpha}^2$ (MATSUOKA, 2008), sendo:

n : número de observações;

u : número de parâmetros;

V : vetor dos resíduos das observações;

P : matriz peso das observações;

A hipótese nula é rejeitada se:

$$\chi_{n-u,1-\alpha/2}^2 < T < \chi_{n-u,\alpha/2}^2 \quad (4)$$

A relação entre variância a posteriori ($\hat{\sigma}_0^2$) e variância a priori (σ_0^2) obtida, assumindo que foi adotado um valor de ($\sigma_0^2 = 1$), aplicando um nível de confiança de 99%, resultou em:

$$T = 0,79177$$

Sendo que os valores de limite bicaudal para este grau de liberdade são:

$$LI = 0,16805$$

$$LS = 2,7444$$

Como pode ser observado, tem-se o valor da relação entre variâncias entre os dois valores de significância bicaudal para distribuição qui-quadrado, assim não excluindo a hipótese nula.

3.3.2 Teste Individual

Com resíduo determinados, foi possível calcular os valores do teste individual (*data snooping*), que possibilitou detectar erro grosseiro na amostra, causado por erro de digitação dos dados obtidos em campo. Neste caso, o erro pôde ser corrigido com facilidade, ao buscar o valor correto nos arquivos digitais gerados pelo equipamento (nível digital), sem necessidade de excluir a observação do ajustamento.

4 CONCLUSÕES

Embora técnicas de levantamentos aplicados na topografia, como o nivelamento geométrico, sejam ciências consolidadas há muito, deve-se lembrar que sua aplicação não pode ser subestimada, visto que, técnicas de levantamento mais simples, como os métodos diretos, tendem a ser mais precisos e mais baratos dependendo do escopo do projeto.

O objetivo principal deste trabalho foi realizado, auxiliando no avanço dos estudos em maregrafia na área de estudo. Através de determinação da rede altimétrica local, fornecendo referencial altimétrico único para medições na área de estudo, possibilitando a manutenção de coordenada altimétrica dos equipamentos lá instalados, visto que, a movimentação da plataforma pode afetar as medições a longo prazo. Para trabalhos futuros, deve-se levar em consideração que, a rede produzida não está referenciada ao datum oficial brasileiro, impossibilitando a correlação das medições maregráficas apoiada à rede determinada neste trabalho. Deve-se levar em conta que o uso do MAPGEO para determinação da ondulação geoidal para região estudada é desaconselhada pelo IBGE, pois em regiões costeiras não há pontos de checagem o suficiente para garantir sua confiabilidade, portanto deve-se estudar métodos para transporte de coordenada altimétrica para região estudada.

Afim de verificar a qualidade estrutural da plataforma, em trabalhos futuros, deverá ser feito o nivelamento geométrico realizado neste trabalho, com o objetivo de averiguar a existência de desnível na estrutura em um período longo entre observações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Eng^a Manuella Anaís Rodrigues Fagundes e ao acadêmico Douglas Bueno Leipelt pelo auxílio no levantamento. Esse trabalho foi financiado em parte pelo CNPq (projeto 457530/2014-6 e) e Fapergs (26228.414.42497.26062017).

REFERÊNCIAS

MONICO, João Francisco Galera. *Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações*. São Paulo: Editora UNESP, 2007.

GEMAEL, Camil. *Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas*. Curitiba: Ed. UFPR, 1994.

ANA. *Orientações para Elaboração do Relatório de Instalação de Estações Hidrométricas*. . Distrito Federal: Agência Nacional de Águas, dez. 2014.

MATSUOKA, MARCELO TOMIO; MONICO, JOÃO FRANCISCO GALERA. Confiabilidade Interna e Externa Durante a Etapa de Planejamento do Levantamento: Exemplo em uma Rede de Nivelamento. II SIMGEO p. 10, 2008, disponível em: https://www3.ufpe.br/cgtg/SIMGEOII_CD/Organizado/geo/145.pdf

IBGE. *Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos - GPS*. . Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, abr. 2008.

IBGE :: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

IBGE. *Resolução da Presidência do IBGE nº 22 (21/07/1983) - Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em Território Brasileiro*. . Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 21 jul. 1983.

Accuracy Analysis and Evaluation of Elevation and Coordinate Difference Measurement Systems. In: OGUNDARE, J. O. (Ed.). **Precision Surveying**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc, 2015. p. 189–208.

PBMC, 2016: Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p. ISBN: 978-85-285-0345-6.

ROFATTO, Vinicius Francisco; MATSUOKA, Marcelo Tomio; KLEIN, Ivandro. DESIGN OF GEODETIC NETWORKS BASED ON OUTLIER IDENTIFICATION CRITERIA: AN EXAMPLE APPLIED TO THE LEVELING NETWORK. Boletim de Ciências Geodésicas p. 19, 2018.

Standards and Specifications for Precision Surveys. In: OGUNDARE, J. O. (Ed.). **Precision Surveying**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc, 2015. p. 47–86.

GHILANI, Charles D. *Adjustment Computations: Spatial Data Analysis*. Edição: 5 ed. Hoboken, N.J: John Wiley & Sons, 2010.

US DEPARTMENT OF COMMERCE, NOAA. *National Geodetic Survey - Operations Publications*. Disponível em: <https://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/pub_ops.shtml>. Acesso em: 19 abr. 2018.

ISO 17123-2 *Optics and optical instruments — Field procedures for testing geodetic and surveying instruments — Part 2: Levels*. . [S.l: s.n.], 1 dez. 2001

MIGUEZ, Belen Martin; TESTUT, Laurent; WÖPPELMANN, Guy. The Van de Castele Test Revisited: An Efficient Approach to Tide Gauge Error Characterization. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 25, n. 7, p. 1238–1244, jul. 2008.

Correio do Povo | Notícias | *Ressaca do mar surpreende frequentadores de Tramandaí*. Disponível em: <<http://www.correiodopovo.com.br/Noticias/Geral/2016/10/601564/Ressaca-do-mar-surpreende-frequentadores-de-Tramandai>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

YAMAWAKI, M. K. Controle vertical de marégrafo em Tramandaí (RS) - rede altimétrica local para apoio ao monitoramento do nível do mar. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Cartográfica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018. [Orientador: Prof. Dr. Nievinski, Felipe Geremia]