11ª Jornada Científica e Tecnológica do IFSULDEMINAS & 8º Simpósio de Pós-Graduação

TRANSIÇÃO DA ALTITUDE NORMAL-ORTOMÉTRICA PARA ALTITUDE NORMAL NO SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

Ana B. B. ALVEZ[1]; Sarah M. COSTA[1]; Monieli K. DOMINGUES[1]; Fabio L. ALBARICI[2] ; Paulo A. F. BORGES[3]

RESUMO

As altitudes ortométricas e normais são dois sistemas de atitudes mais utilizados na realização pratica dos *data* geodésicos verticais locais e nacionais. Dessa forma, o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) foi atualizado em julho de 2018, passando do sistema normal-ortométrico para o sistema normal atendendo assim a resolução numero 1 de 2015 da Associação Internacional de Geodesia.

O objetivo deste trabalho é calcular as altitudes normal e ortométrica e avaliar a separação geoide/quase geoide em uma linha de nivelamento entre os sistemas de altitude normal-ortométrica e ortométrica. Os testes numéricos indicam que os melhores valores estão relacionados com a altitude ortométrica, indicando que este sistema é mais acurado.

Palavras-chave:
Posicionamento GNSS; Maré Oceânica; Soerguimento da crosta.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas altimétricos requerem o estabelecimento de uma definição unívoca e com significado físico. Nesse âmbito os sistemas de altitudes físicas devem ser baseados em números geopotenciais. Este valor físico é calculado pela diferença de potencial entre a superfície de referência da Terra real, o geoide (W_0), e de um ponto de interesse (W_P), em função da gravidade (g) entre o geoide e a superfície topográfica (KINGDON et al., 2005; SÁNCHEZ, 2013).

Se em conjunto com o nivelamento são realizadas as medidas de gravidade, tem-se de forma aproximada (FREITAS; BLITZKOW, 1999; KINGDON et al., 2005):

$$W_0 - W_P = C \cong \sum_0^P g\,\delta_n \quad (1)$$

Onde C é denominado de número geopotencial, constituindo-se em uma grandeza física a qual independe do trajeto entre os pontos e que pode ser determinada a partir de medidas sobre qualquer

1 Alunas, IFSULDEMINAS – *Campus* Inconfidentes. E-mail: biabueno75@gmail.com; sarahmoreira1911@gmail.com; monidomingues98@gmail.com.

2 Orientador, IFSULDEMINAS – *Campus* Inconfidentes. E-mail: fabio.albarici@ifsuldeminas.edu.br.

3 Orientador, IFSULDEMINAS – *Campus* Inconfidentes. E-mail: paulo.borges@ifsuldeminas.edu.br.

trajeto seguido. Tal grandeza é unívoca e tem significado físico real na definição da altitude de um ponto relativamente à superfície de referência, o que não acontece com o desnível medido (FREITAS; BLITZKOW, 1999).

Portanto, a partir das diferenças de potencial, calcula-se o número do geopotencial, que possui significado físico, porém seus valores são de difícil interpretação e entendimento. Dessa forma, deve-se transformar os valores de potencial em medidas de altitudes. Isso requer que os números do geopotencial sejam divididos por valores de gravidade específicos, o que definirá o tipo de altitude a ser utilizada. Se o valor utilizado for a gravidade média (g_m) entre a superfície física e o geoide, tem-se a altitude ortométrica:

$$H^o = \frac{C}{g_m} \tag{2}$$

Outra alternativa é substituir o valor da gravidade média pela gravidade normal (γ_m) (ver equação em) HEISKANEN; MORITZ,1967 obtendo-se a altitude normal.

$$H^N = \frac{C}{\gamma_m} \tag{3}$$

O entendimento da separação entre o geoide e o quase-geoide é importante no contexto da atualização do sistema altimétrico brasileiro. Esta separação reflete a diferença entre as altitudes do tipo ortométricas das normais. No sistema clássico (devido à Stokes), utiliza-se das alturas geoidais e da altitude ortométrica (equação 4), enquanto que a concepção moderna (devido à Molodensky), utiliza-se da altura quase-geiodal e a altitude normal (equação 5) (HEISKANEN; MORITZ, 1967; FOROUGHI et al., 2017).

$$N = h - H^o \tag{4}$$

$$\zeta = h - H^N \tag{5}$$

Ao se manipular as equações 4 e 5, pode-se obter a diferença entre as altitudes normal e ortométrica (equação 6). A partir da diferença entre as altitudes pode-se avaliar a separação entre as alturas geoidais e quase-geoidais:

$$N - \zeta = H^o - H^N \tag{6}$$

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar a avaliação da separação entre geoide/quase-geoide através de dois sistemas de altitudes: Normal-Ortométrica e Ortométrica, necessita-se realizar o cálculo das altitudes normal e de Helmert. Para o cálculo das altitudes normal e ortométrica, utilizou-se os seguintes dados: latitude, longitude, altitude elipsoidal derivada de observações GNSS, desníveis observados sem a correção dos erros sistemáticos, que compõe as linhas de nivelamento da RAAP obtidos juntamente com o

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), e os valores de gravidade sobre as RRNN (Rede de Referências de Nível) no IAG/USP (Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo), além de um modelo de densidade de massas topográficas. Calculou-se primeiramente o número do geopotencial (equação 1) para todas as RRNN, e a partir destes obteve-se as altitudes normal e ortométrica (equações 2 e 3). Dessa forma, tem-se as altitudes: Normal, Ortométrica e a Normal-Ortométrica, esta última, compõem a rede de nivelamento ajustada e corrigida de termo aplicado aos desníveis observados, o qual atenua o erro causado pelo não paralelismo das superfícies equipotenciais, manifestado pela falta de dados gravimétricos disponíveis. Os conjuntos de dados descritos acima foram utilizados para calcular a separação geoide e quase-geoide na área de estudo, através do método clássico (equação 6).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para verificar as diferenças entre os sistemas de altitudes, compara-se os valores das altitudes normal-ortométrica (altitudes componentes do Sistema Geodésico Brasileiro até julho de 2018) e ortométrica com a altitude normal. A Figura 1 mostra os valores estatísticos da separação geoide/quase-geoide obtido ao logo da linha de nivelamento, onde nota-se que a separação obtida através da altitude normal-ortométrica possui valores maiores do que a calculada através da altitude ortométrica, tendo valores, respectivamente, entre -0,532 a 0,515 m e -0,070 a 0,244 m. A Tabela 1 mostra a estatística aplicada:

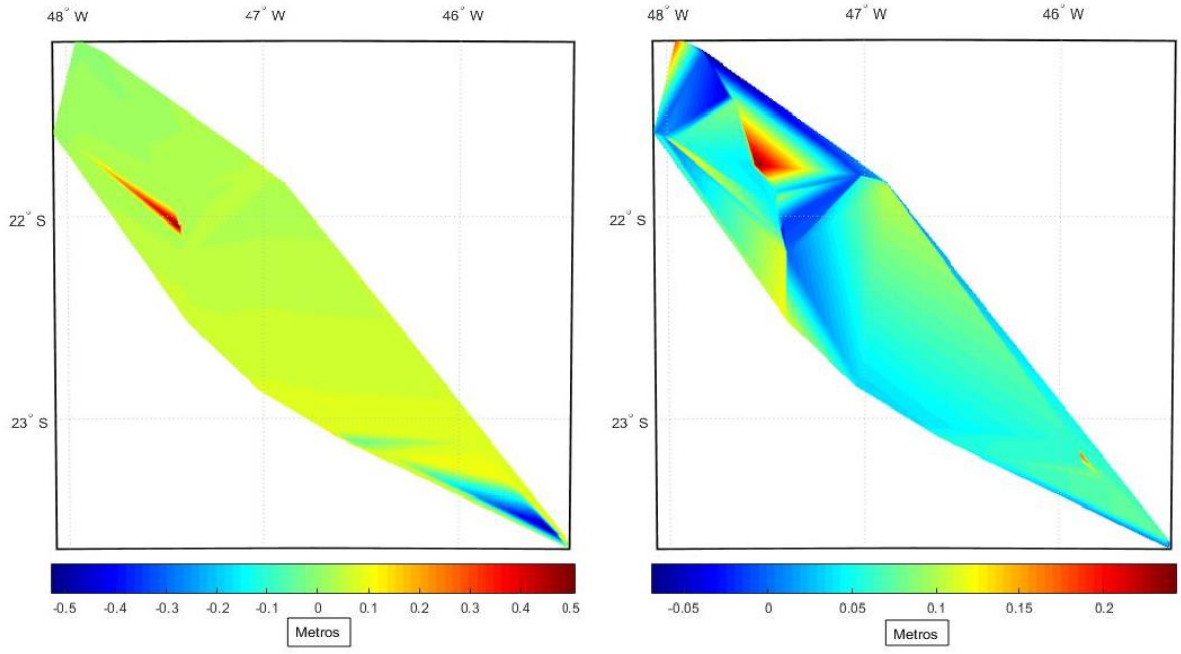

Figura 1 – Separação geoide/quase-geoide ao longo da linha de nivelamento

Tabela 1 - Resultado estatístico da separação geoide/quase-geoide

Estatísticas	Min (m)	Max (m)	Média (m)	Desv (±) (m)
Normal-Ortométrica	-0,532	0,515	0,043	0,120
Ortométrica Rigorosa	-0,070	0,244	0,056	0,051

4. CONCLUSÕES

O experimento aqui realizado sobre uma linha de nivelamento tem como objetivo avaliar a separação entre geoide e quase geoide, através do cálculo das altitudes normais.

De acordo com os resultados alcançados, é possível concluir que as RRNN, quando analisadas dentro de um cenário regional, possuem a menor separação geoide/quase-geoide quando se calcula pelo sistema de altitude ortométrica de Helmert. Verifica-se também que a separação quando calculada pela normal-ortométrica possui valores mais altos. Já quando se compara com a separação obtida com a altitude ortométrica de Helmert, esta possui valores mais suaves. Assim, como a separação entre geoide e quase-geoide é menor no sistema de altitude ortométrica, pode-se concluir que este sistema é mais acurado.

REFERÊNCIAS

FOROUGHI, I.; TENZER, R. Comparison of different methods for estimating the geoid-to-quasi-geoid separation, **Geophysical Journal International**, Volume 210, Issue 2, 1 August 2017, Pages 1001–1020, https://doi.org/10.1093/gji/ggx221.

FREITAS, S.R.C de.; BLITZKOW, D. Altitudes e geopotencial. Iges Bulletin, Milão, n. 9, p. 47-61, 1999.

HEISKANEN, W.A.; MORITZ, H. **Physical Geodesy**, W. H. Freeman, CA, San Francisco, 364 p 1967.

KINGDON, R. et al. 2005. Toward an improved orthometric height system for Canada. **Geomatica**, 59(3)., pp 241–250 (Errata: Figure 4 on Geomatica,Vol 60 (1):101).

SÁNCHEZ, L. 2013. Towards a vertical datum standardisation under the umbrella of Global Geodetic Observing System. **Journal of Geodetic Science**, *2* (4): 325-342.