

## Ajustamento de uma rede de altitudes GNSS no campus Capão do Leão e verificação da sua adaptabilidade a um geóide global

LUÍSA FANCELLI COELHO<sup>1</sup>; DARLAN PAULO COSSUL<sup>2</sup>; ROGERS ADEMIR DRUNN PEREIRA<sup>3</sup>; SÉRGIO LEAL FERNANDES<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas - fancelli\_luisa@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas - darlancossul@hotmail.com

<sup>3</sup>Professor Adjunto no Departamento de Engenharia Rural – FAEM - r51505150@gmail.com

<sup>4</sup>Professor Adjunto no Departamento de Engenharia Rural – FAEM - slealfernandes@uol.com.br

### 1. INTRODUÇÃO

O advento dos sistemas de navegação por satélites artificiais (GNSS) permitiu a otimização de uma série de levantamentos, destacando-se na obtenção de desníveis. Os sistemas GNSS fornecem altitudes elipsoidais que, quando conjugadas com alturas geoidais ou anomalias de altitude, permitem a obtenção de altitudes com significado físico. Tal obtenção apresenta potencial, portanto, para substituir os desníveis oriundos do nivelamento geométrico por desníveis aqui chamados de desníveis GNSS. As alturas geoidais, todavia, são calculadas por modelos disponibilizados por diferentes agências, de tal modo que é possível uma solução para cada modelo geoidal disponível.

Este trabalho tem por objetivo principal investigar duas diferentes soluções geoidais para a rede altimétrica constituída no Campus Capão do Leão da UFPel. Em um segundo momento, esta investigação verifica se as diferenças entre desníveis derivados do nivelamento geométrico e do nivelamento GNSS podem ser explicadas por uma componente sistemática dos modelos geoidais.

#### 1.1. Conceitos Relevantes

##### 1.1.1. Altitudes GNSS e Altitudes Ortométricas

Para entender a transformação entre altitudes GNSS e altitudes derivadas do nivelamento geométrico é importante compreender a diferença entre as superfícies de referência a que cada uma delas está vinculada. As altitudes ortométricas ( $H$ ) têm como referência uma superfície conhecida como geóide. As altitudes GNSS ( $h$ ), também conhecidas como altitudes elipsoidais ou geométricas têm como referência o elipsóide. Estes conceitos são encontrados em HOFMANN-WELLENHOF & MORITZ (2005). As superfícies citadas estão descritas na Figura 1, a seguir.

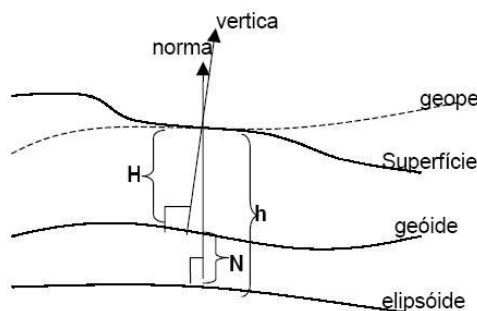


Figura 1 - Superfícies de Referência.

Das superfícies de referência e sua geometria, pode-se inferir que:

$$H \approx h - N \quad (01)$$

$N$  é a altura geoidal; A aproximação da (01) se deve ao fato de tais afastamentos entre superfícies não serem contados sobre as mesmas linhas de campo.

As altitudes elipsoidais são derivadas de observações GNSS, enquanto as alturas geoidais são derivadas da avaliação de modelos que são ajustados a partir de diferentes tipos observação. A altura geoidal é fornecida a partir da solução das equações apresentadas, por exemplo, em BARTHELMES (2013).

## 2. METODOLOGIA

Inicialmente, realizaram-se observações GNSS, dois a dois, dos pontos A, B, D, E, H, I, conforme apresentados na Figura 2. Estes pontos foram processados relativamente, ou seja, sempre um deles como referência. Por exemplo, no primeiro levantamento utilizou-se o ponto A como referência e realizou-se o processamento do ponto B; depois, com as coordenadas conhecidas do ponto B, utilizou-se este como referência obtendo o ponto C, e assim por diante.

Deste modo, foi possível obter dois circuitos (apresentados à direita – C1 e à esquerda – C2 na Figura 2), com os quais se realizou o ajustamento dos desníveis GNSS obtidos.  $L_i$  são os desníveis GNSS que compõe o vetor de observações  $I_b$ .



Figura 2 - Observações realizadas.

Para o ajustamento, adotou-se modelo dos correlatos do Método dos Mínimos Quadrados apresentado em GEMAEL (1994).

Após o ajustamento, os desníveis elipsoidais foram transformados em desníveis ortométricos mediante a aplicação da fórmula (01). Após isso, o erro de fechamento dos desníveis GNSS foi comparado com os desníveis ortométricos.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As equações (02) à (05) se referem aos desníveis obtidos por nivelamento GNSS. Conforme GEMAEL (1994), a jacobiana **B** e o erro de fechamento dos circuitos **W** resultaram em

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (02)$$

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} -114 \\ -204 \end{bmatrix} mm \quad (03)$$

Os desníveis GNSS observados foram:

$$\mathbf{l}_b = [603.5 \quad 477 \quad 253 \quad 941 \quad 290 \quad 324 \quad 1013] mm \quad (04)$$

Cuja solução de ajustamento pelo método dos mínimos quadrados resulta no seguinte vetor de resíduos **V**:

$$\mathbf{V} = [-18 \quad 44 \quad -44 \quad -44 \quad -62 \quad -62 \quad 62] mm \quad (05)$$

Que aponta para uma unidade de variância de peso à posteriori  $\hat{\sigma}^2$  igual a 3532 mm<sup>2</sup>.

As alturas geoidais foram obtidas do Centro Internacional para modelos globais da Terra (ICGEM – *International Centre for Global Earth Models*) adotando-se os sistemas de equações apresentados no já referido BARTHELMES (2013). O ICGEM é um dos seis centros do Serviço Internacional para o Campo da gravidade (IGFS) disponibilizado pela Associação Internacional de Geodésia (IAG). As alturas geoidais obtidas para cada um dos pontos e as suas conversões em altitudes ortométricas estão apresentadas na Tabela 1. abaixo. Para comparação, adotaram-se os modelos geoidais EGM2008 e GGM05G.

Tabela 1 - Alturas geoidais e suas conversões para altitudes ortométricas conforme os modelos geoidais adotados.

PONTO	<i>h</i>	latitude (Grau, Min., Seg.)			longitude (Grau, Min., Seg.)			<i>N</i> (EGM2008)	<i>H</i> (EGM2008)	<i>N</i> (GGM05G)	<i>H</i> (GGM05G)
A	19.938	31	48	5.265	52	24	58.232	9.7285	10.2095	9.9410	9.9970
B	20.542	31	48	12.053	52	24	57.951	9.7277	10.8143	9.9393	10.6027
D	21.019	31	48	8.405	52	25	4.309	9.7326	11.2864	9.9459	11.0731
E	20.766	31	48	5.855	52	25	3.061	9.7319	11.0341	9.9453	10.8207
H	21.987	31	48	5.432	52	24	53.579	9.7252	12.2618	9.9367	12.0503
I	21.663	31	48	7.748	52	24	47.332	9.7205	11.9425	9.9304	11.7326

Os desníveis estão representados na Tabela 2.

Desníveis para o Circuito C1				Desníveis para o Circuito C2			
Alinham.	Desn. GNSS	EGM2008	GGM05G	Alinham.	Desn. GNSS	EGM2008	GGM05G
AB	585.5	-0.0008	-0.0016	AH	-339	-0.0034	-0.0043
BD	521	0.0049	0.0066	HI	-262	-0.0047	-0.0062
DE	-209	-0.0007	-0.0006	IB	1075	0.0072	0.0089
EA	-897	-0.0034	-0.0043	BA	-585.5	0.0008	0.0016

## 4. CONCLUSÕES

No circuito um (1), há uma correlação de 72,08% dos desníveis GNSS com os desníveis entre alturas geoidais derivadas do EGM2008. Aplicando-se o mesmo raciocínio para o modelo GGM05G, chega-se a uma correlação de 66,52%. No circuito dois (2), os desníveis GNSS comparados aos desníveis geoidais do EGM2008 apresentam correlação de 80,27%; quando o modelo é o GGM05G, chega-se a 76,76%. Estes fatos indicam uma melhor aderência do EGM2008 à região.

Deve ser destacado, no entanto, que a rede é constituída por um número muito pequeno de pontos, o que prejudica resultados mais conclusivos. Neste sentido, sugere-se para os próximos experimentos um aumento do número de pontos utilizados.

Outro aspecto está relacionado com as resoluções dos modelos geoidais. O EGM2008, desenvolvido até grau e ordem 2190 apresenta resolução máxima de 9 km, o que também prejudica as análises. O GGM05G é desenvolvido até o grau 280, o que aponta para uma resolução da ordem dos 200 km. Neste sentido, a única solução é a ampliação dos limites da rede, impraticável segundo os recursos disponíveis.

Assim, este trabalho apresentou um ensaio para a análise de modelos geoidais dentro de uma rede altimétrica GNSS e desníveis GNSS ajustados que podem ser utilizados para aplicações dentro do Campus Capão do Leão. Os resultados equivalentes tendo como técnica base o nivelamento geométrico também estão sendo testados.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARTHELMES, **Definition of functionals of the Geopotential and their calculation from spherical harmonic models**. Potzdan: GFZ Helmholtz-Zentrum, 2013.

GEMAEL, C. **Ajustamento de Observações. Aplicações em Geodésia**. Curitiba: Editora da UFPR, 1994.

HOFMANN-WELLENHOF, B. MORITZ, H. **Physical Geodesy**. Bad Voslau: SpringerWienNewYork, 2005.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy**. Berlim: W. de Gruyter, 2003.

UFRGS. **Conceitos Importantes – Superfícies de Referência**. Disponível em < <http://www.ufrgs.br/engcart/Teste/conceitos.html> >. Acesso em 11/07/2015.