

A INFLUÊNCIA DO DESVIO DA VERTICAL E DA ONDULAÇÃO GEOIDAL NO PROCESSAMENTO DAS REDES GEODÉSICAS

Bianca Pedroni de Oliveira¹

Leonardo Castro de Oliveira²

¹ Instituto Militar de Engenharia – IME – Programa de Pós Graduação em Engenharia Cartográfica –
bia96@yahoo.com

² Instituto Militar de Engenharia – IME – Departamento de Engenharia Cartográfica –
leonardo@ime.eb.br

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar a influência do desvio da vertical e da ondulação geoidal no ajuste de redes geodésicas. Esta avaliação foi feita através da aplicação de 04 tipos de testes em 04 redes geodésicas, que foram simuladas com o propósito de se avaliar somente a influência das grandezas de interesse. Da análise dos resultados obtidos, a partir da comparação entre as coordenadas ajustadas e as coordenadas padrão, pode-se concluir que as coordenadas sofrem maior degradação quando faltam dados relativos as componentes do desvio da vertical. No entanto, se a rede for composta por todas as distâncias entre os vértices que estão ligados, a correlação entre os valores das componentes do desvio da vertical e da ondulação geoidal aumentam, ou seja, a falta de dados relativos a ondulação geoidal passa a exercer uma influência mais significativa que nos demais casos. Pode-se concluir também que as observações GPS minimizam significativamente o efeito da falta dos valores das componentes do desvio da vertical nas coordenadas.

Palavras-chave: Desvio da Vertical, Ondulação Geoidal, Geodésia 3D.

THE INFLUENCE OF THE DEFLECTION OF THE VERTICAL AND OF THE GEOIDAL UNDULATION IN THE PROCESSING OF THE GEODETIC NETWORKS

ABSTRACT

This paper has for objective to evaluate the influence of the deflection of the vertical and the geoidal undulation in the adjustment of geodetic networks. This evaluation was made through the application of 04 types of tests in 04 geodetic networks, that had been simulated with the intention of if only evaluating the influence of the interest variables. Of the analysis of the gotten results, from the comparison between the adjusted coordinates and the coordinates standard, it can be concluded that the coordinates suffer to

greater degradation when they lack given relative the components of the deflection of the vertical. However, if the net will be composed for all the distances between the vertices that are on, the correlation enters the values of the components of the deflection of the vertical and of the geoidal undulation they increase, or either, the lack of relative data the geoidal undulation starts to exert an influence more significant than in the too much cases. It can also be concluded that observation GPS significantly minimize the effect of the lack of the values of the components of the deflection of the vertical in the coordinates.

Keywords: Deflection of the Vertical, Geoidal Undulation, Geodesy 3D.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil está passando por um processo de mudança em relação ao referencial geodésico. O SGB – Sistema Geodésico Brasileiro – passará estar associado à um sistema geocêntrico, com o qual pretende-se atingir os padrões globais de posicionamento de forma a garantir a qualidade dos levantamentos GPS – *Global Positioning System* (IBGE, 2002).

Para a adoção deste novo referencial a RGB – Rede Geodésica Brasileira – será novamente ajustada e novas coordenadas serão estimadas. Para a estimativa dessas coordenadas será usado o sistema GHOST – *Geodetic adjustment using Helmert blocking Of Space and Terrestrial data* (CRAYMER, 2001). O GHOST utiliza a modelagem geodésica tridimensional para o ajuste por mínimos quadrados e a técnica de *Helmert Blocking* para a decomposição das redes geodésicas (IBGE, 1996), permitindo assim uma melhor qualidade no processamento das observações e, conseqüentemente, na estimativa das coordenadas.

A qualidade destas coordenadas afeta os trabalhos desenvolvidos por diversas instituições, órgãos governamentais e tudo o que diz respeito a sua utilização, pois elas são o suporte inicial para diversas atividades, como a demarcação de limites, obras de engenharia, mapeamentos, localização, etc., atividades essas que dão subsídio para que se tenha um conhecimento adequado do Território Nacional.

O objetivo desse trabalho é apresentar os resultados obtidos ao se quantificar e analisar, qualitativamente, a influência das componentes do desvio da vertical e da ondulação geoidal na obtenção das coordenadas geradas no processo de ajuste de uma rede geodésica.

2. METODOLOGIA

Para atingir o objetivo deste trabalho foram simuladas 04 Redes Geodésicas de Ensaio e definidos 04 tipos de Testes que foram aplicados a cada Rede. A simulação das redes vem da necessidade de que estas sejam isentas de erro, permitindo assim que se avalie, na obtenção das coordenadas, somente a influência causada pelos elementos modificados propositadamente – valores relativos ao desvio da vertical e da ondulação geoidal.

Para a simulação das Redes partiu-se de um conjunto de 32 vértices pré selecionados, para os quais foi estabelecido um conjunto de dados composto pelas coordenadas geodésicas; pelas componentes do desvio da vertical; e pela ondulação geoidal. Com este conjunto de dados foi possível calcular as observações GPS; as coordenadas astronômicas – aplicação da equação de Laplace; as diferenças de nível e as observações de azimute, distância e direção.

As coordenadas geodésicas simuladas formam o conjunto de coordenadas Matemáticas. As Redes simuladas são denominadas de Rede Padrão 1 – Direções; Rede Padrão 2 – Distâncias; Rede Padrão 3 – GPS e Rede Padrão 4 – Distâncias / GPS.

As observações de azimute e distância foram obtidas através dos modelos matemáticos da Geodésia Tridimensional apresentados em HEISKANEN & MORITZ (1967). As equações utilizadas são apresentadas a seguir:

$$A = \operatorname{tg}^{-1} \frac{-\Delta X \operatorname{sen} \Lambda + \Delta Y \operatorname{cos} \Lambda}{-\Delta X \operatorname{sen} \Phi \operatorname{cos} \Lambda - \Lambda Y \operatorname{sen} \Phi \operatorname{sen} \Lambda + \Delta Z \operatorname{cos} \Phi} \quad (1)$$

$$s = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2} \quad (2)$$

onde:

$(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$: diferença entre as coordenadas cartesianas;

(Λ, Φ) : coordenadas astronômicas;

(A) : azimute astronômico;

(s) : distância espacial.

Na figura 1 é apresentado um fluxograma das etapas seguidas para a simulação dos dados inerentes as redes de ensaio:

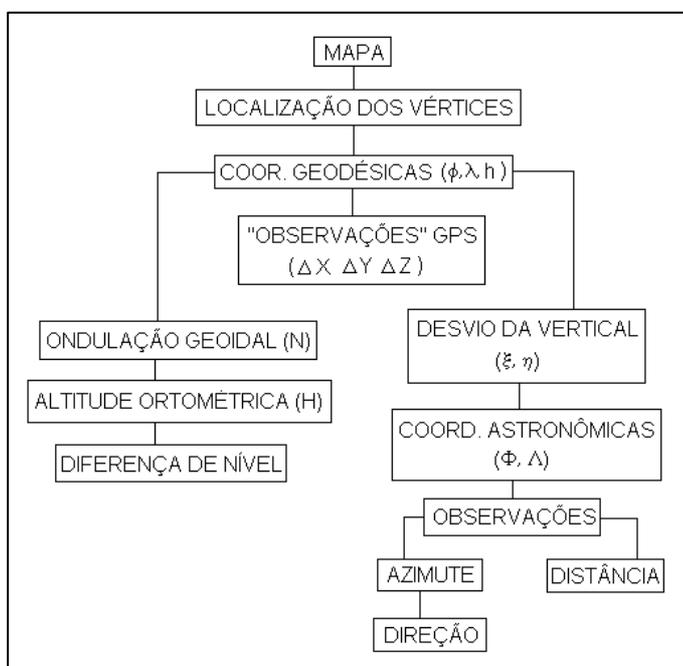


Figura 1 – Etapas para a Simulação dos Dados

As Redes são compostas por 31 vértices “simulados” e pelo vértice Chuá, considerado como ponto fixo da Rede, que foi inserido por ser o ponto origem do SGB vigente, SAD 69 – *South American Datum of 1969*. Os vértices foram classificados em: Fiduciais, num total de 06; Regionais, num total de 07, e Locais, num total de 18. De acordo com sua localização, a cada vértice foi atribuído uma identificação, que corresponde a uma sigla, e um nome. Como exemplo temos o vértice Fiducial situado no Estado do Amazonas, identificado pela sigla AM e nomeado de Amazonas. A cada vértice Fiducial estão associados 03 vértices Locais. Os vértices Regionais estão associados a vértices Fiduciais e a vértices Locais.

Na figura 2 estão apresentadas a localização aproximada do vértice Chuá, dos vértices Fiduciais e Regionais. Os vértices Locais não estão representados nesta figura devido a incompatibilidade de escala. Para cada vértice Fiducial com os seus respectivos vértices Locais foi feito um esquema, como o apresentado na figura 3, onde está representada a localização aproximada do vértice Fiducial (AM) e seus respectivos vértices Locais (M1, M2 e M3).

Os dados que compõe o arquivo da Rede Padrão 1 – Direções são:

- As coordenadas geodésicas do vértice fixo – Chuá;
- As coordenadas geodésicas preliminares dos 31 vértices;
- As coordenadas astronômicas de 03 vértices (Rio Grande do Sul, Manaus3 e Recife1);
- As informações geoidais;
- As observações de direção;
- 13 observações de azimute;
- 13 observações de distância; e
- As diferenças de nível.

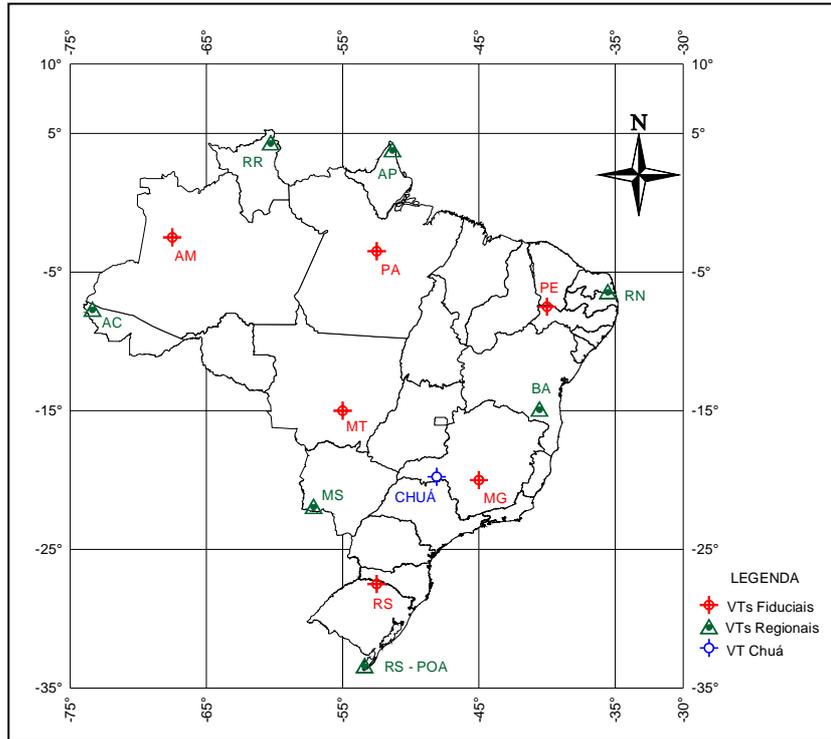


Figura 2 – Localização aproximada do vértice Chuá, dos vértices Fiduciais e dos Regionais

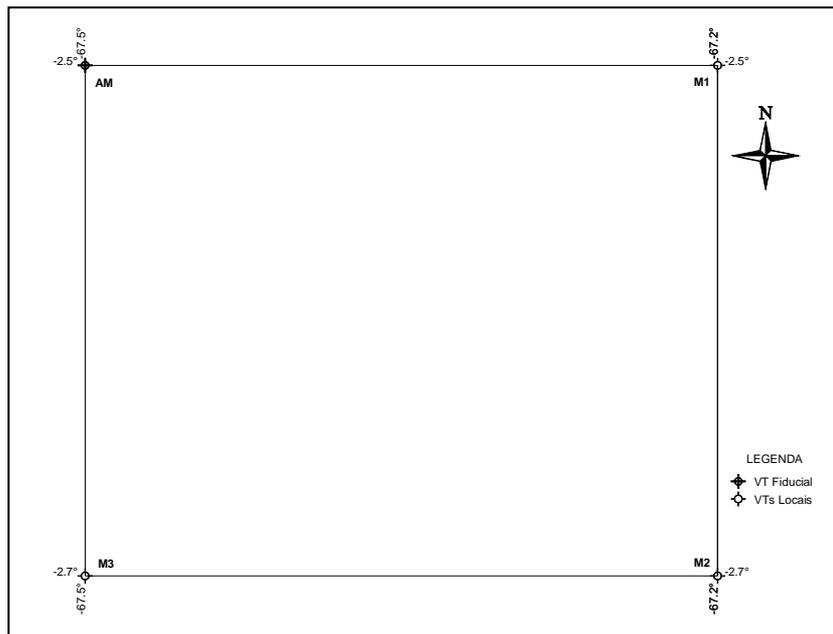


Figura 3 – Localização aproximada do vértice Fiducial AM e seus respectivos vértices Locais M1, M2 e M3

O arquivo da Rede Padrão 1 – Direções – foi considerado como sendo a base para a construção dos demais arquivos. O conteúdo dos demais arquivos são:

- Rede Padrão 2 – Distâncias: é composto pelos dados da Rede Padrão 1 – Direções e pelas demais observações de distância entre os vértices da Rede (total de 85), compondo assim tanto uma rede de Triangulação quanto uma rede de Trilateração;
- Rede Padrão 3 – GPS: é composto pelos dados da Rede Padrão 1 – Direções e pelas diferenças de coordenadas (ΔX , ΔY , ΔZ) entre o vértice Chuá e os vértices Fiduciais;
- Rede Padrão 4 – Distâncias / GPS: é composto pelos dados da Rede Padrão 2 – Distâncias e pelas diferenças de coordenadas (ΔX , ΔY , ΔZ) entre o vértice Chuá e os vértices Fiduciais.

Após a criação dos arquivos de dados das Redes Padrão foram definidos os 04 tipos de Testes a serem empregados, que são:

- Teste 1: nesse teste os valores das componentes do desvio da vertical – componente meridiana (ξ) e 1ª vertical (η) – e os valores da ondulação geoidal (N) são considerados iguais a zero;
- Teste 2: os valores das componentes do desvio da vertical (ξ , η) são considerados iguais a zero e para a ondulação geoidal (N) são mantidos os valores originais;
- Teste 3: para as componentes do desvio da vertical (ξ , η) são mantidos os valores originais e os valores da ondulação geoidal (N) são considerados iguais a zero;
- Teste 4: nesse teste os valores das componentes do desvio da vertical (ξ , η) e da ondulação geoidal (N) são considerados iguais a zero para os vértices Locais e Regionais.

Após a definição dos testes foram montados os arquivos com os dados de cada Rede Padrão e dos respectivos testes. A etapa seguinte foi o processamento dos dados, que foi realizado no sistema GHOST, sistema que foi utilizado pelo IBGE no reajustamento da Rede Geodésica Brasileira em 1996.

Detalhes a respeito do desenvolvimento da metodologia são encontrados em OLIVEIRA (2004).

3. PROCESSAMENTO DO DADOS E RESULTADOS

O processamento dos dados foi realizado em 02 etapas. Na primeira foram processadas as Redes Padrão e, na segunda, os Testes relativos a cada Rede. O resultado do processamento de cada etapa gerou um conjunto de coordenadas. O conjunto de coordenadas obtido na primeira etapa, ou seja, as coordenadas geodésicas ajustadas de cada Rede Padrão, foi comparado com as coordenadas Matemáticas. O conjunto de coordenadas do processamento de cada Teste foi comparado com o conjunto de coordenadas obtido no processamento da Rede Padrão ao qual estão relacionados. A comparação entre as coordenadas foi feita através do programa COMPOS, que é uma sub-rotina do sistema GHOST. No relatório de processamento do programa COMPOS constam informações a respeito das diferenças máximas e mínimas, da média e do desvio padrão para a latitude e para a longitude e, informações a respeito da deformação média, do desvio padrão e da deformação máxima.

A análise das comparações entre as coordenadas foi baseada nos resultados apresentados em função da deformação média, do desvio padrão e da deformação máxima.

Na tabela 1 são apresentados os resultados da comparação entre as coordenadas Matemáticas e as coordenadas ajustadas de cada Rede Padrão.

Tabela 1 – Deformações entre as Coordenadas Matemáticas e as Coordenadas Ajustadas das Redes Padrão

Redes Padrão	DEFORMAÇÕES (m)		
	Média	Máxima	DP
1 Direções	10,01	16,62	3,93
2 Distâncias	10,14	16,29	4,07
3 GPS	0,55	7,02	1,37
4 Distâncias/GPS	0,43	4,06	0,91

DP: Desvio Padrão

Na tabela 2 são apresentados os resultados da comparação entre as coordenadas ajustadas da Rede Padrão 1 – Direções e as coordenadas ajustadas em cada Teste.

Tabela 2 – Deformações entre as Coordenadas Ajustadas da Rede Padrão 1 – Direções e as Coordenadas Ajustadas dos Testes 1, 2, 3 e 4

Testes	DEFORMAÇÕES (m)		
	Média	Máxima	DP
Teste 1	6,08	11,29	2,41
Teste 2	4,78	8,62	1,98
Teste 3	0,65	1,41	0,37
Teste 4	3,34	6,24	1,42

Na tabela 3 são apresentados os resultados da comparação entre as coordenadas ajustadas da Rede Padrão 2 – Distâncias e as coordenadas ajustadas em cada Teste.

Tabela 3 – Deformações entre as Coordenadas Ajustadas da Rede Padrão 2 – Distâncias e as Coordenadas Ajustadas dos Testes 1, 2, 3 e 4

Testes	DEFORMAÇÕES (m)		
	Média	Máxima	DP
Teste 1	6,48	11,55	2,61
Teste 2	4,74	9,01	1,89
Teste 3	1,56	3,33	1,07
Teste 4	3,50	6,96	1,52

Na tabela 4 são apresentados os resultados da comparação entre as coordenadas ajustadas da Rede Padrão 3 – GPS e as coordenadas ajustadas em cada Teste.

Tabela 4 – Deformações entre as Coordenadas Ajustadas da Rede Padrão 3 – GPS e as Coordenadas Ajustadas dos Testes 1, 2, 3 e 4

Testes	DEFORMAÇÕES (m)		
	Média	Máxima	DP
Teste 1	0,58	6,43	1,36
Teste 2	0,56	6,43	1,39
Teste 3	0,10	0,86	0,21
Teste 4	0,39	6,53	1,18

Na tabela 5 são apresentados os resultados da comparação entre as coordenadas ajustadas da Rede Padrão 4 – Distâncias / GPS e as coordenadas ajustadas em cada Teste.

Tabela 5 – Deformações entre as Coordenadas Ajustadas da Rede Padrão 4 – Distâncias / GPS e as Coordenadas Ajustadas dos Testes 1, 2, 3 e 4

Testes	DEFORMAÇÕES (m)		
	Média	Máxima	DP
Teste 1	0,40	3,50	0,81
Teste 2	0,32	3,69	0,76
Teste 3	0,19	1,84	0,41
Teste 4	0,21	1,50	0,40

4. CONCLUSÃO

Da análise dos resultados apresentados na tabela 1 pode-se concluir que a Rede Padrão 4 – Distâncias / GPS apresenta os melhores resultados. No entanto, esta rede não retrata de modo adequado a realidade de configuração de uma rede, pois é praticamente inviável obter-se as distâncias entre todos os vértices da Rede que estão interligados. A Rede Padrão 3 – GPS apresenta resultados que não diferem significativamente da Rede 4, a exceção do valor máximo. Entretanto, é a que melhor representa, atualmente, a realidade de uma rede geodésica. Vale ressaltar que as "observações" GPS, num total de 06, não formam uma rede e sim irradiações partindo do vértice Chuá para os vértices Fiduciais.

Analisando as tabelas 2, 3, 4 e 5 pode-se concluir que as componentes do desvio da vertical exercem uma influência maior que a ondulação geoidal na obtenção das coordenadas. Conclui-se também que a deformação máxima ocorre sempre para o mesmo conjunto de pontos, os vértices Regionais, por estarem mais afastados do vértice origem (Chuá) e por não possuírem nenhuma observação GPS associada. Pode-se concluir também que as observações GPS minimizam significativamente o efeito da falta dos valores das componentes do desvio da vertical nas coordenadas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRAYMER, Mike. **GHOST Hypertext Help**. Versão 1.0d. Canada: GHOST software, 2001.

HEISKANEN, Weikko A.; MORITZ, Helmut. **Physical Geodesy**. United States of America: W. H. Freeman and Company, 1967.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeto de Mudança do Referencial Geodésico**. Informativo Geocêntrico. Ano 1 – nº1. Abril 2002.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Ajustamento da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro**: Relatório. Julho, 1996. [online] 2002. Disponível: http://www.ibge.net/home/geografia/geodesico/REL_sad69.pdf [capturado em 27 nov. 2002].

OLIVEIRA, Bianca P. de. **A Influência do Desvio da Vertical e da Ondulação Geoidal no Processamento das Redes Geodésicas**. 2004. 90p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Cartográfica) – Instituto Militar de Engenharia, 2004.