DETERMINAÇÃO DE ALTITUDE ORTOMÉTRICA COM USO DA INTEGRAÇÃO DO GPS/NIVELAMENTO AO MAPGEO2010

José Milton Arana¹, Daniel Arana²

¹ Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT. Departamento de Cartografia – UNESP - Presidente Prudente – SP. ² Curso de Graduação Engenharia Cartográfica – FCT - UNESP - Presidente Prudente – SP. E-mail: arana@fct.unesp.br

RESUMO

O *Global Navigation Satellite System* – GNSS, este sistema proporciona altitudes geométricas. No entanto, pelo fato das altitudes geométricas possuírem apenas significado matemático, normalmente não são utilizadas nas obras de engenharias, estas utilizam-se das altitudes ortométricas que estão vinculadas ao campo da gravidade da Terra. Com objetivo de verificar a aplicabilidade e confiabilidade executou-se levantamentos GPS em pontos de Referências de Nível - RRNN, pertencentes à Rede de Nivelamento Fundamental do Brasil – RNFB, determinadas pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Realizou-se levantamentos GPS em duas áreas distintas, uma situada na região de Maringá PR e outra na região de Presidente Prudente SP. Nas RRNN foram determinadas as ondulações geoidais, denominadas de GPS/nivelamento, nestas RRNN também foram determinadas as ondulações pelo MapGeo2010. A partir destas ondulações fez-se integração das ondulações GPS/nivelamento com as ondulações MapGeo2010. Com as ondulações determinadas por esta associação e as altitudes geométricas determinadas pelo GPS, calculou-se as altitudes ortométricas.

Palavras chaves: GNSS; altitude; altura geoidal; GPS/nivelamento.

1 INTRODUÇÃO

O Global NAVigation System with Time And Ranging/Global Positioning System - NAVSTAR/GPS, este termo foi substituído por Global Navigation Satellite System – GNSS, mais abrangente, pois engloba os sistemas GPS, Global Orbiting Navigation Satellite System – GLONAS, Galileu entre outros (ALVES, et al., 2010). O GPS é um sistema de rádio-navegação, desenvolvido e realizado pelo United States Department of Defense da National Aeronautical Space Administration - NASA (SEEBER, 1993).

O método convencional, muito utilizado para a determinação da altitude ortométrica, é o nivelamento geométrico associado à gravimetria. Estes pontos são materializados no terreno e denominados de Referências de Nível (RN). Estas RRNN (plural de RN) são constituídas por peças de bronze chumbadas em blocos de concreto, na soleira de igrejas, monumentos, plataforma de estações ferroviárias, etc.

No entanto, o nivelamento com GPS, embora preciso, não fornece altitude ortométrica, e sim a altitude elipsoidal, que não possui significado físico, apenas matemático. As obras de

engenharia necessitam de altitudes relacionadas ao geóide, limitando assim o uso do levantamento GPS.

Na grande maioria de obras de engenharia, nos levantamentos geodésicos ou topográficos, utilizam a altitude ortométrica (altitude referenciada ao geóide, este definido como sendo a *superfície eqüipotencial do campo da gravidade que mais se aproxima do nível médio dos mares não perturbados*). As altitudes, ortométrica e a geométrica, estão relacionadas pela equação (01).

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

onde:

H - representa a altitude ortométrica, no ponto;

h - altitude geométrica; e

N – altura geoidal.

Este artigo tem como objetivo principal desenvolver apresentar uma metodologia de determinação da altitude ortométrica com uso do GPS, que poderá ser aplicada em qualquer região.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O GPS possibilita o posicionamento tridimensional e a determinação de posições horizontais precisas já é um processo rotineiro. Entretanto, a altitude geométrica, proporcionada pelo GPS, tem apenas um significado matemático e, geralmente, na cartografia e em obras de engenharia utiliza-se as altitudes ortométricas por possuírem um significado físico, diretamente relacionada com *Trabalho*.

2.1 Precisão na Altitude

A componente altitude é afetada pelo modo (técnica) de levantamento e pela observável utilizada no levantamento GPS. Utilizando-se de técnicas de levantamentos e de combinações de procedimentos de processamento, a precisão da altitude geométrica esperada é de 1,5 a 2 vezes menos acurada que as componentes horizontais (FEATHERSTONE, et al., 1998).

2.2 Multicaminhamento

Os multicaminhamentos ocorrem quando os sinais GPS são refletidos de objetos próximos, ou mesmo da superfície, antes de atingir a antena do receptor. Os multicaminhamentos podem causar erros de poucos metros na altitude elipsoidal quando utilizadas as observações do código, e

de poucos centímetros quando utilizada a fase da portadora. Entretanto, o valor exato do erro provocado pelo multicaminhamento não pode ser determinado, pois este depende de fatores específicos do local. Para evitar os possíveis multicaminhamentos, adotou-se a estratégia de selecionar locais de rastreamentos em que não havia possibilidade das antenas receberem sinais refletidos de objetos (construções civis, árvores etc.) próximos.

2.3 Orientação e Centro de Fase da Antena

O centro de fase (eletrônico) da antena não coincide, necessariamente, com o seu centro geométrico. O centro de fase pode variar de acordo com a posição de cada satélite (elevação e azimute). As maiorias dos programas computacionais corrigem este efeito. Entretanto, com a finalidade de minimizar o efeito do centro de fase da antena em um levantamento, procedimentos especiais devem ser tomados, como utilizar preferencialmente antenas de um mesmo fabricante e mesmo modelo, e orientar todas as antenas na mesma direção nas coletas de dados GNSS.

2.4 Processamento dos dados GPS

Os dados pertencentes à região de Maringá foram processados com uso do “pacote” de programas denominado *GPS Analysis Software – GAS*, elaborado pela Universidade de Nottingham. Este programa foi desenvolvido, principalmente, para o processamento estático e ajustamento de multi-estações (STEWART et al. 1994). O GAS foi elaborado visando principalmente o processamento de redes GPS, utilizando-se de dupla diferença de fase da portadora, onde a rede GPS é formada com estações que coletam simultaneamente os dados dos mesmos satélites (STEWART et al. 1994).

No processamento dos dados GPS da Região de Presidente Prudente, foram utilizados os programas *Reliance* (da Ashtech) e *GPSurvey* (da Trimble), sendo que o primeiro (*Reliance*) foi utilizado para descarregar os dados do receptor ZXII e transforma-los para o formato RINEX; o segundo programa foi utilizado no processamento dos dados GPS, no modo estático relativo (observa-se que foram utilizados os dados, disponíveis, da estação UEPP, pertencente a RBMC).

2.5 Determinação da ondulação geoidal a partir do GPS/nivelamento associado ao MapGeo2010

A determinação da altura do geoidal a partir do rastreamento GPS em pontos pertencentes à rede fundamental de nivelamento do Brasil RN calcula a “real” ondulação do geoide. Os modelos do geopotencial fornecem a ondulação do geoide do modelo. A diferença entre as ondulações

geoidal do modelo com as ondulação determinada com GPS/nivelamento, permite o cálculo da “separação” entre o modelo e o efetivo geóide (δN); levado este conceito de diferenças de ondulações geoidais (modelo – GPS/nivelamento) às várias RRNN existentes na região, pode-se, com auxílio das Equações 02 e 03, do método dos mínimos quadrados (m.m.q.), determinar os parâmetros da Equação 05 (poli-superfície) que representa o “modelo matemático” da separação existente entre o geóide, naquela região, e o MapGeo2010.

Esquemáticamente, a Figura 01 nos mostra a situação da determinação da ondulação do geóide por GPS/nivelamento associado ao MapGeo2010.

Figura 01. Determinação da ondulação do geóide pela associação do GPS/nivelamento ao MapGeo2010

Onde:

- . H – Altitude ortométrica;
- . h – Altitude geométrica;
- . $N_{\text{MapGeo2010}}$ – Ondulação do geóide obtida pelo modelo MapGeo2010;
- . N_{GPS} – Ondulação do geóide obtida pelo GPS/nivelamento; e
- . δN – Separação da ondulação determinadas por MapGeo2010 e por GPS/nivelamento.

Com auxílio da Figura 01 tem-se:

$$\delta N = N_{\text{GPS}} - N_{\text{MapGeo2010}} \quad (02)$$

Ainda, utilizando a Figura 01 e imaginando uma situação onde determinar a altitude ortométrica, utilizando desta técnica – associação do GPS/nivelamento com o modelo geopotencial – onde, P representa o ponto no qual intenciona-se a determinação do N_P . Em uma situação ideal, tem-se:

$$N_P = N_{MapGeo2010} + \delta N_P \quad (03)$$

A determinação dos parâmetros da Equação 05 (a, b, c, d) dá-se pelo método dos mínimos quadrados, onde serão determinados os parâmetros da Equação acima, que representará a diferença de ondulação (δN_P), obtido pelo MapGeo2010 e GPS/nivelamento nas RRNN.

$$\delta N_i = N_{GPS} - N_{MapGeo2010} \quad (05)$$

$$\delta N_i = a\varphi_i + b\lambda_i + ch_i + d \quad (06)$$

Onde,

δN_i – é a diferença de ondulação determinadas por GPS/nivelamento e da determinada pelo MapGeo2010, na RN_i ;

a, b, c, d – parâmetros a serem determinados pelo m.m.q.;

φ_i – latitude da RN_i ;

λ_i – longitude da RN_i ; e

h_i – altitude geométrica da RN_i .

3 DESENVOLVIMENTO

Com a finalidade de atingir os objetivos deste projeto, foram selecionadas as regiões de Maringá PR e a de Presidente Prudente para as realizações dos experimentos de campo, onde as referências de nível (RRNN) pertencem à Rede de Nivelamento Fundamental do Brasil - RNFB (altitudes determinadas pelo IBGE). Foram aplicadas as recomendações sugeridas em (ARANA 2001).

3.1 Planejamento para o rastreamento na Região de Maringá PR

Com as RRNN reconhecidas (encontradas) elaborou-se um programa de rastreio, o qual contém o itinerário de rastreio das RRNN. Na elaboração deste programa foram selecionadas as RRNN a serem rastreadas, procurando-se escolher as RRNN de maneira que ficassem aproximadamente eqüidistantes uma das outras. Nesta etapa foram selecionadas 48 RRNN.

3.2 Planejamento para o rastreamento na Região de Presidente Prudente SP

Considerando que as distâncias das RRNN mais afastadas da Estação UEPP, estação pertencente a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC (considerada como estação conhecida no processamento GPS) estão à aproximadamente 50 km, e sugestões de (ARANA 2001), verificou-se que 50 minutos de rastreamento nestas RRNN seriam suficientes para obter resultados confiáveis. Os tempos de rastreamentos das RRNN foram, aproximadamente, proporcionais às distâncias da estação UEPP.

4 RESULTADO

A tabela 01, que segue, contém: na primeira coluna a denominação da RN; na segunda coluna a discrepância entre as altitudes determinadas pelo nivelamento geométrico e as determinadas pela integração do GPS/nivelamento com o MapGeo2010.

Tabela 01. Discrepâncias das altitudes IBGE e Integração Região de Maringá

RN	$H_{IBGE} - H_{Int}$	RN	$H_{IBGE} - H_{Int}$
1582SE	0,0361	1591D	0,0711
1582N	0,1551	1590X	0,0597
1582M	0,2323	1590TE	0,0516
1582H	0,2187	1590R	-0,0143
1578D	-0,0718	1590LE	0,1063
1578GE	-0,1389	2926U	0,0313
1578JE	-0,0546	2926X	0,0530
1578P	-0,0001	2927CE	0,0915
1578S	-0,0070	2927E	0,1662
1578TE	0,0920	2927GE	-0,1198
1579D	-0,0162	2928AE	-0,0055
1579A	-0,0266	2927LE	-0,0680
1778UE	-0,1598	2927RE	-0,0720
1594T	-0,0679	2927U	-0,1541
1594S	-0,1660	2928F	-0,0281
1594R	0,0451	2928H	0,1032
1594ME	0,0523	2928CE	0,1004
1579ZE	0,0762	2928M	-0,2551
1579TE	0,0964	2928PE	0,1102
1579PE	0,1873	2928SE	-0,0331
1579FE	-0,1732	2928UE	-0,0533
1579H	0,0133	2928VE	0,0805
1591JE	-0,0812	2928ZE	-0,0536
1591HE	0,1140	2929CE	-0,0490

Na tabela 01, constata-se que a maior discrepância entre as altitudes da Região de Maringá, determinadas pelo IBGE e as determinadas pela integração do GPS/nivelamento ao MapGeo2010 é de 18,7cm, RN 1579PE (excêntrica) e a menor discrepância encontrada foi -17,3cm, na RN 1579FE (excêntrica).

A tabela 02 contém, na primeira coluna as denominações das RRNN e na segunda coluna as discrepâncias entre as altitudes determinadas pelo IBGE e IGG e as determinadas pela integração GPS/nivelamento e MapGeo2010.

Tabela 02. Discrepâncias das altitudes IBGE/IGG e Integração Região de Presidente Prudente

RN	$H_{IBGE} - H_{Int}$
1525t	0,4998
1525xe	-0,1160
1526 ^{de}	0,2290
1526n	0,1067
1526xe	0,1690
1584d	0,0565
1584h	0,1059
1584r	-0,0640
1584u	0,0339
1585ee	0,0439
1525g	0,0242
1585he	-0,2087
32421e	-0,2086
igg3285e	0,2844

Analisando a tabela 02, verifica-se que a maior discrepância entre as altitudes determinadas pelo IBGE e as determinadas pela integração é na RN 1525T, valor de 50,0cm e a menor discrepância determinada foi na RN 1585HE (excêntrica), com valor de 20,9cm.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As discrepâncias das altitudes determinadas pela integração do GPS/nivelamento ao MapGeo2010 e as determinadas pela Fundação Instituto Brasileiro de geografia e Estatística IBGE, na região de Maringá PR proporcionaram dispersão de 11,4cm. Na região de Presidente Prudente, a dispersão apresentada foi de 24,6cm. Acredita-se que esta notável diferença de dispersão seja devido às características geofísicas próprias da região e ao do número (quantidade) das RRNN. Na Região de Maringá foram utilizadas 48 e na Região de Presidente Prudente foram utilizadas 14 RRNN, ainda deve-se considerar a distribuição destas RRNN.

A utilização de um modelo matemático, para representar as discrepâncias das ondulações geoidais proporcionadas pelo GPS/nivelamento e as disponibilizadas pelo IBGE, determinado pelo método dos mínimos quadrados, deverá apresentar melhor resultados para as regiões que possuírem o maior número de observações. Assim, estas discrepâncias de maior amplitude nos extremos da região já eram esperadas.

Os resultados apresentados neste artigo estão compatíveis aos resultados apresentados em trabalhos de natureza similar a este (GREBNITCHARSKY, 2005) e que esta metodologia pode ser utilizada em várias aplicações da engenharia.

REFERÊNCIAS

ARANA, J. M. O uso do GPS na elaboração de Carta Geoidal. **Geociências**. Editora Unesp. São Paulo. 2001. v 20. n 1/2.

BIRARD, G., SANTARSIERO, D., TUFILLARO, D., SURACE, L. Setting-up local “mapping geoids” with the aid of GPS/LEV Traverses Application to the geoids of Sardinia and Calabria. **Journal of Geodesy**. Springer-Verlag. Berlin.1995. v 70. n. 1-2.

GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Física**. Editora da Universidade Federal do Paraná Curitiba: Editora da UFPR, 1999.

GEMAEL, C e ANDRADE, J. B. **Geodesia Celeste**. Editora da Universidade Federal do Paraná. Curitiba. Curitiba. Editora da UFPR, 2004.

GREBNITCHARSKY, R.S.; RANGELOVA, E.V.; SIDERIS, M.G. Transformation between gravimetric and GPS/levelling-derived geoids using additional gravity information. **Journal of Geodynamics**. 2005. V 5.

KUANG, S., FIDIS, C., THOMAS, F. Modeling of the local geoid with GPS and leveling: A case study. **Journal of Surveying and Engineering**. American Society of Civil Engineers. 1999. v 125, n 3.

LEICK, A. **GPS - Satellite Surveying**. John Wiley & Sons. New York. 1995. 2^a ed.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. Editora Unesp. São Paulo SP. 2008.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. Walter de Gruyter, New York.1993.

ZONG, D. Robust estimation and optimal selection of polynomial parameters for the interpolation of GPS geoid heights. **Journal of Geodesy**. Springer-Verlag. 1997. V 71.