

AJUSTAMENTO DA REDE PLANIMÉTRICA BRASILEIRA EM SIRGAS2000

Sonia Maria Alves Costa¹; Marco Aurelio de Almeida Lima¹

- 1- IBGE, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, www.ibge.gov.br
(soniamaria, marcolima) @ibge.gov.br

RESUMO - Como consequência das novas tecnologias, a mudança de um sistema local para um sistema geocêntrico produz grandes benefícios, principalmente quanto a compatibilidade das informações a nível internacional. Envolvido no Projeto Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas – SIRGAS, o qual tem como propósito o estabelecimento de um sistema geodésico único para as Américas, o Brasil, através do Projeto Mudança do Referencial Geodésico – PMRG está dando os primeiros passos para a concretização desta mudança.

A integração da Rede Geodésica Brasileira no SIRGAS2000 será realizada através de um ajustamento simultâneo, usando o software *Geodetic Adjustment using Helmert Blocking of Space and Terrestrial data* (GHOST). No ajustamento, será adotado o elipsóide GRS-80 e toda a rede Brasileira será injuncionada nas 21 estações SIRGAS em território nacional. Neste trabalho serão apresentados os resultados do ajustamento, bem como algumas conclusões sobre a reocupação de estações da rede clássica com GPS com o propósito de modelar as distorções da rede clássica visando procedimentos de conversão de coordenadas. Também será apresentado o estudo realizado para a estimativa dos parâmetros de transformação entre SAD69 e SIRGAS.

ABSTRACT - As a consequence of the new technologies, the change from local datum to geocentric reference systems is required, in order to make the information compatible on an international level. To this end Brazil has been involved in the definition of the Geocentric Reference System of the Americas (SIRGAS), whose purpose is to establish a geodetic system for the whole of South America. Brazil will complete the next step to accomplish this change.

The integration of Brazilian Geodetic Network to SIRGAS will be carried out through a simultaneous adjustment of the network using the software *Geodetic Adjustment using Helmert Blocking of Space and Terrestrial data* (GHOST). In the adjustment, the GRS80 ellipsoid will be adopted and all Brazilian Network will be constrained by 21 SIRGAS2000 stations within the national area. Terrestrial and spatial data will be combined to generate coordinates for about 6000 stations will be presented as well as some preliminary adjustment results and transformation parameters.

PALAVRAS CHAVE: Ajustamento, SIRGAS, SGB.

1 INTRODUÇÃO

Na responsabilidade de gestor do Sistema Geodésico Brasileiro – SGB e coordenador do Projeto Mudança do Referencial Geodésico – PMRG, o IBGE objetiva promover a adoção no país de um novo sistema de referência, mais moderno e de concepção geocêntrica, de modo a compatibilizá-lo com às mais modernas tecnologias de posicionamento.

Atualmente com a extensa aplicação das técnicas de posicionamento espacial, foi necessário adotar um sistema de referência geocêntrico. Com este objetivo, a adoção do referencial SIRGAS2000 foi oficializada em 25/02/2005, através da Resolução do Presidente do IBGE nº1/2005. A partir desta data foram disponibilizadas através do portal do IBGE na internet, as coordenadas de 2403 estações cujas coordenadas foram obtidas através de observações à satélites, sendo elas do sistema NAVSTAR/GPS (Global Positioning System) e

TRANSIT (identificadas neste trabalho como SAT-Doppler).

O presente trabalho apresenta informações sobre o ajustamento da Rede Geodésica Brasileira (RGB) ao Sistema SIRGAS2000, bem como os resultados. A combinação da rede clássica com a rede GPS em um ajustamento simultâneo utilizando a técnica de *Helmert Blocking*, foi possível porque as observações clássicas já haviam passado por um processo de validação e armazenamento em meio magnético no último ajustamento, realizado em 1996, além de ambas redes terem em comum 78 estações. Com este propósito os itens 2, 3 e 4 são dedicados à apresentação dos dados utilizados no ajustamento, sendo eles: observações, injunções e modelo geoidal. Os resultados do ajustamento são apresentados no item 5 e no item 6 estimativa dos parâmetros de transformação entre SAD69 e SIRGAS2000.

2 DADOS TERRESTRES

Todas as observações da rede clássica utilizadas no ajustamento global em SAD69 concluído em 1996 [IBGE, 1996], foram adotadas para a integração ao SIRGAS. Considerando que os processos de validação e armazenamento das observações foram anteriormente desenvolvidos, as mesmas informações, bem como seus pesos, foram mantidos inalterados neste ajustamento.

3 DADOS ESPACIAIS

No período 1973-1991, o IBGE fez uso do sistema de posicionamento geodésico por satélite TRANSIT, especialmente em áreas de difícil acesso, como por exemplo na região amazônica. O método observacional para a obtenção das coordenadas na grande maioria das estações SAT-DOPPLER foi o posicionamento isolado. A fim de se obter melhores resultados para as observações, estas foram pós-processadas com o programa GEODOP V adotando-se efemérides precisas [Godoy, 1991]. Neste ajustamento apenas 179 estações SAT-DOPPLER foram incluídas, as quais são coincidentes com estações clássicas. As coordenadas SIRGAS2000 das demais estações SAT-DOPPLER foram obtidas através dos parâmetros de transformação apresentados no item 6 deste trabalho.

A tecnologia GPS começou a ser usada no IBGE em 1991, sendo a primeira experiência a participação no projeto internacional GIG91. Hoje a Rede GPS é composta por campanhas realizadas até setembro de 2004, envolvendo um total de aproximadamente 1400 estações. O processamento destes dados teve um tratamento diferenciado. Até 1994, um total de 187 estações GPS foram processadas com o software TRIMVEC Plus, versão D utilizando efemérides operacionais. Os dados GPS posteriores à 1994 passaram a ser processados com o software Bernese versão 4.0 e 4.2, utilizando efemérides precisas IGS (International GPS Service). Nos dois casos as coordenadas das estações e a sua respectiva matriz variância-covariância (MVC) foram geradas na solução final do processamento das campanhas GPS, informações estas a serem utilizadas como entrada no ajustamento. As correlações matemáticas foram estimadas somente para campanhas processadas no software Bernese. Para elaboração do arquivo de entrada do ajuste, os dados de cada campanha individual foram transformados para o formato de entrada no software GHOST e foi efetuado um ajustamento fixando somente uma estação, ou seja, um ajustamento de injunção mínima e a variância à posteriori obtida foi usada para escalar a MVC da campanha GPS. Em cada campanha este procedimento foi repetido e em uma segunda etapa os dados foram incluídos no ajustamento final. Para a integração SIRGAS2000 participam um total de 2923 linhas de base GPS.

4 ONDULAÇÕES GEOIDAIS

As altitudes obtidas através do posicionamento à satélites possuem significado matemático, denominadas de altitudes geométricas, havendo portanto, a necessidade da sua redução a valores de significado físico, denominadas de altitudes ortométricas.

A popularização do GPS em atividades de georreferenciamento acarretou em uma crescente necessidade de se obter a separação entre as superfícies do geóide (superfície que representa o nível médio dos mares) e elipsóide (modelo matemático usado para representação da Terra), denominada de ondulação geoidal.

Foi com este propósito que o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, através da Coordenação de Geodésia - CGED, e a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP, geraram um Modelo de Ondulação Geoidal com uma resolução de 10' de arco e desenvolveram o Modelo de Ondulação Geoidal - MAPGEO2004. Para a elaboração deste modelo foram utilizadas as seguintes informações:

- anomalias médias de Helmert em quadrículas de 10'x10' em áreas continentais, obtidas a partir de informações gravimétricas do IBGE, e de diversas instituições no Brasil e em países vizinhos;
- anomalias ar-livre derivadas da altimetria por radar a bordo de satélite em áreas oceânicas, utilizando o modelo KMS99;
- Modelo Digital de Terreno (MDT) de 1'x1', desenvolvido pela EPUSP, obtido a partir da digitalização de cartas topográficas e, quando não disponíveis, utilizando o modelo GLOBE;
- modelo de geopotencial EGM96 até grau e ordem 180.

O Modelo de Ondulação Geoidal foi corrigido do termo de ordem zero, $N_0 = -0,5$ metro, para compatibilização com o elipsóide GRS80, usado pelo SIRGAS2000.

As ondulações usadas no ajustamento foram obtidas pelo Sistema MAPGEO2004, disponibilizado no portal do IBGE.

5 INTEGRAÇÃO RGB AO SISTEMA SIRGAS2000

O software GHOST foi escolhido para o ajustamento da RGB devido às suas principais características:

- (1) Método de *Helmert Blocking* [Beattie, 1987] para a divisão de grandes redes geodésicas, possibilitando o ajustamento simultâneo.
- (2) Modelo matemático tridimensional para altitudes fixas, permitindo a combinação de redes clássicas e GPS.

O procedimento de divisão de blocos foi desenvolvido pelo programa utilitário BLOCK, que através das coordenadas dos vértices de um polígono faz a divisão de um bloco pertencente a um nível superior ("parent") em dois, no nível inferior ("sibling"). Este programa também faz a identificação das estações de ligação entre blocos, chamadas *estações de junção*, através das quais a integridade das ligações entre os blocos é garantida. Neste caso é feita a opção para a solução parcial das equações normais, ou seja, as estações de junção têm seus parâmetros resolvidos a priori em um nível superior ("parent") para posterior solução dos parâmetros internos de cada bloco em um nível inferior ("sibling") [IBGE,1996]. A definição da estratégia para a divisão em blocos foi baseada na escolha de um menor número possível de estações de ligação entre blocos, objetivando assim, minimizar o esforço computacional no ajustamento. A Figura 1, apresenta a rede geodésica dividida em 8 blocos. As observações utilizadas no ajustamento global são:

- N° de direções horizontais: 16913;
- N° de distâncias: 1534;
- N° de azimutes astronômicos: 389;
- N° de equações de posição (Dopler): 179;
- N° de equações de diferença de posição (linhas de base GPS): 2923;
- N° de equações normais reduzidas parciais: 21.

As incógnitas do ajustamento são as coordenadas das 6118 estações mais 15 parâmetros auxiliares, sendo eles:

- 1 orientação para os azimutes em FK5;
- 7 parâmetros de escala para as distâncias da rede clássica;
- 7 parâmetros de transformação entre o WGS84 e o ITRFyy (resultados GPS processados com efemérides operacionais e precisas).

As injunções no ajustamento foram as 20 estações pertencentes a rede continental SIRGAS2000 estabelecidas no Brasil, mais a estação da RBMC de Santa Maria (SMAR). A estação de Cananéia (CANA), não foi adotada como injunção, devido a sua destruição, antes que fossem realizadas observações para ligação com a RGB.

O peso adotado nas injunções foram os desvios padrão das coordenadas SIRGAS2000 divididos pelo fator 10, ou seja dando um peso mais forte às coordenadas SIRGAS2000. A aplicação deste fator 10 deve-se ao fato de que na maioria das vezes os resultados processados com o software Bernese foram muitos otimistas, gerando, assim, desvios para as coordenadas da ordem do milímetro. Isso fazia com que as coordenadas das campanhas GPS tivessem um peso mais alto do que as estações SIRGAS2000, conduzindo a sensíveis alterações nas coordenadas das estações SIRGAS2000, o

que seria indesejável. A convergência foi alcançada no ajustamento após a terceira iteração, obtendo-se uma variância *a posteriori* de 1,45.

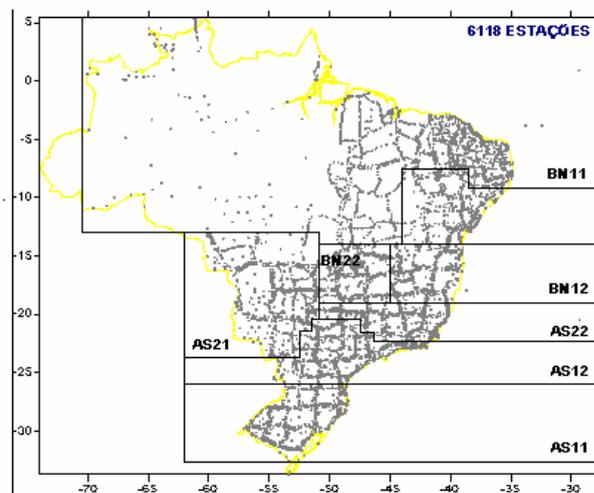


Figura 1 - Rede Geodésica Brasileira e a divisão em blocos

O critério utilizado para a análise da estimativa de precisão das coordenadas é baseado na precisão absoluta das coordenadas com relação ao sistema de referência, a entidade adotada para esta análise é o desvio padrão das coordenadas. A tabela 1 apresenta a precisão absoluta das três componentes (latitude, longitude e altitude) nas redes GPS e clássica, nas coordenadas SAD69. A tabela 2 apresenta a precisão absoluta das três componentes (latitude, longitude e altitude) nas redes GPS e clássica, nas coordenadas SIRGAS2000.

Desvio Padrão	Estações GPS	Estações da Rede Clássica
Horizontal	10 cm	40 a 70 cm
Vertical	10 a 30 cm	-

Tabela 1 – Desvio Padrão das coordenadas SAD69.

Desvio Padrão	Estações GPS	Estações da Rede Clássica
Horizontal	1 mm a 10 cm	10 a 50 cm
Vertical	10 cm	-

Tabela 2 - Desvio Padrão das coordenadas SIRGAS2000.

6 PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO ENTRE SAD69 E SIRGAS2000

Inicialmente realizou-se uma análise no sentido de verificar a rigidez da rede GPS quando esta é ajustada com a rede clássica. Com este propósito foi realizado um ajustamento contendo somente as estações GPS e outro contendo todas as estações da RGB (GPS+clássica). O valor médio das diferenças de coordenadas das estações GPS (planimétricas e altimétricas) obtidas nestes dois

ajustes foi de 1 mm, confirmando assim a boa rigidez da rede GPS. Nesta primeira fase do período de transição, no qual estão sendo divulgadas somente as coordenadas das estações GPS, a preocupação maior é estimar um conjunto de parâmetros que possa atender melhor as estações GPS. Sendo assim, para a estimativa destes parâmetros não foi considerada as distorções provenientes das estações da rede clássica.

Para estimativa dos parâmetros de transformação SAD69 e SIRGAS2000, optou-se pela utilização somente das estações GPS, de melhor representatividade na rede e de melhor distribuição geográfica. Com este objetivo utilizou-se 63 estações GPS, sendo elas:

- 21 estações da rede continental SIRGAS2000;
- 42 estações pertencentes as redes GPS estaduais.

Os valores obtidos são:

- Translação em X : 67.348 m;
- Translação em Y : -3.879 m;
- Translação em Z : 38.233 m.

Optou-se por não disponibilizar o erro dos parâmetros de transformação, pelo fato de que eles estão associados a localização geográfica da estação e pelo método de observação. Em contrapartida foram elaborados mapas de diferenças de coordenadas encontradas após a aplicação dos parâmetros em três realizações distintas da RGB, sendo elas:

- Rede GPS (Figura 2);
- Rede clássica, SAD69 realização 1996 (Figura 3);
- Rede clássica, SAD69 (Figura 4).

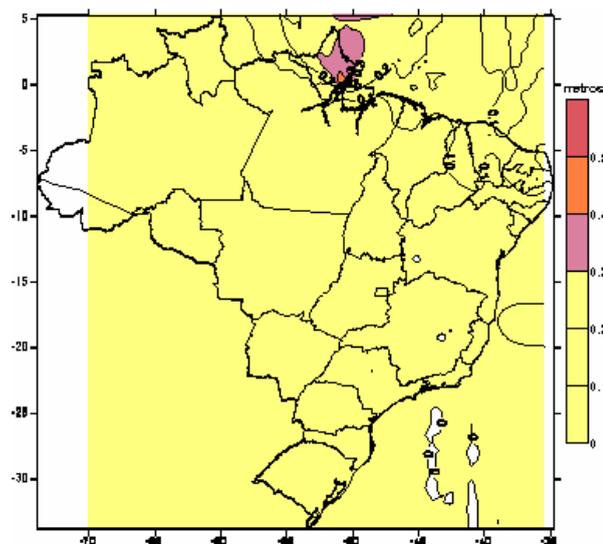


Figura 2 - Isolinhas representando as diferenças entre as coordenadas (componentes horizontais) transformadas SIRGAS2000 e ajustadas SIRGAS2000 na Rede GPS.

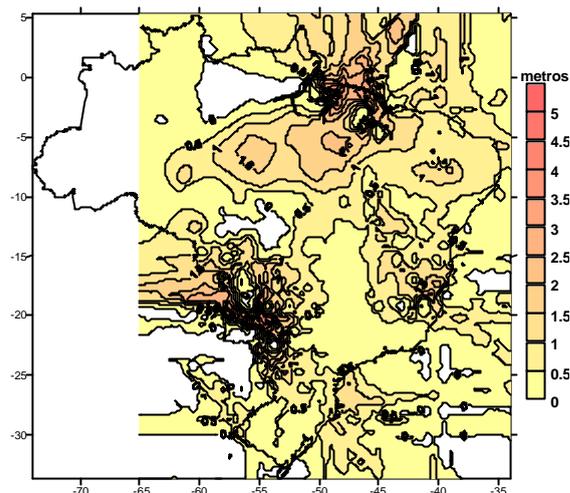


Figura 3 - Isolinhas representando as diferenças entre as coordenadas (componentes horizontais) transformadas de SAD69/1996 para SIRGAS2000 e ajustadas SIRGAS2000 na rede clássica.

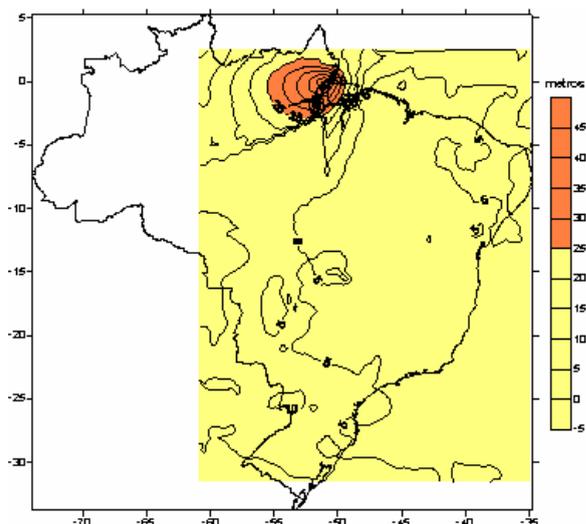


Figura 4 - Isolinhas representando as diferenças entre as coordenadas (componentes horizontais) transformadas de SAD69 para SIRGAS2000 e ajustadas SIRGAS2000 na rede clássica.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As considerações finais deste trabalho são:

- Foram disponibilizadas as coordenadas de 1379 estações GPS e 1024 das estações SAT-Doppler em SIRGAS2000.
- Novas conexões entre as Redes GPS e clássica serão realizadas em 2005, com o objetivo de colaborar na modelagem das deformações residuais.

- No final de 2005 serão disponibilizadas as coordenadas das estações pertencentes a rede clássica (VT e EP).
- Os erros médios associados aos parâmetros de transformação SAD69, realização 1996 para SIRGAS2000 são:
 - (1) Estações GPS: 4 cm (planimetria e altimetria);
 - (2) Estações da Rede Clássica: 70 cm (planimetria)
- A variação das diferenças encontradas nas materializações SAD69, considerando somente as estações da rede clássica:
 - (1) SAD69, realização 1996: 0 a 5 metros;
 - (2) SAD69: 0 a 50 metros.

8 BIBLIOGRAFIA

Beattie D.S., 1987, Program GHOST User Documentation, Geodetic Survey of Canada, Ottawa.

Fortes L.P.S., 1997, Operacionalização da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC), Tese de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia.

Godoy, R.D. et al, 1991, Reprocessamento de estações DOPPLER, XV Congresso Brasileiro de Cartografia, São Paulo.

IBGE, 1996, Ajustamento da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro – Relatório, Rio de Janeiro, Brasil.

NGS, North American Datum of 1983 (1983), NOAA Professional Paper NOS2, National Geodetic Information Center, NOAA.

Rothacher M., Mervart L., 1996, Bernese GPS Software Version 4.0, Astronomical Institute University of Berne, Berne.