

AJUSTAMENTO DA REDE PLANIMÉTRICA BRASILEIRA EM SIRGAS2000

Sonia Maria Alves Costa
Marco Aurélio de Almeida Lima
Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Diretoria de Geociências
Coordenação de Geodésia
soniamaria@ibge.gov.br, marcolima@ibge.gov.br
Av. Brasil, 15.671 – Bloco III A – 2º andar
CEP: 21241-051 – Parada de Lucas – Rio de Janeiro, RJ

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 - RGB 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 SIRGAS2000 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.

Palavras chaves: Ajustamento, SIRGAS, Sistema Geodésico Brasileiro - SGB

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.

Keywords: Adjustment, SIRGAS, Brazilian Geodetic Network

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. No item 6 é apresentado as novas observações realizadas com GPS em estações da rede clássica (conexões) e a sua influência nos resultados.

Este trabalho está inserido no Projeto Mudança do Referencial Geodésico-PMRG, no escopo do Grupo de Trabalho 2 – GT2.

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, desenvolveram um Modelo de Ondulação Geoidal – MAPGEO2004 com uma resolução de 10' de arco, utilizando 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.

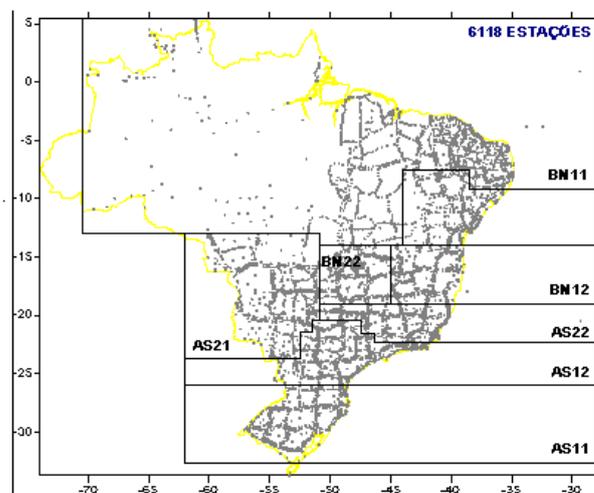


Figura 1 - Rede Geodésica Brasileira e a divisão em blocos

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. Analisando a rede GPS, conclui-se que cerca de 70% das componentes horizontais encontram-se com desvio-padrão no intervalo de 1 mm a 1 cm, enquanto 70% altitudes geométricas encontram-se com desvio-padrão no intervalo de 1 a 10 cm (Figura 2). Analisando toda a rede planimétrica (somente as componentes horizontais

- latitude e longitude), verifica-se que cerca de 50% dos desvios padrão encontram-se entre 20 a 50 cm (Figura 3).

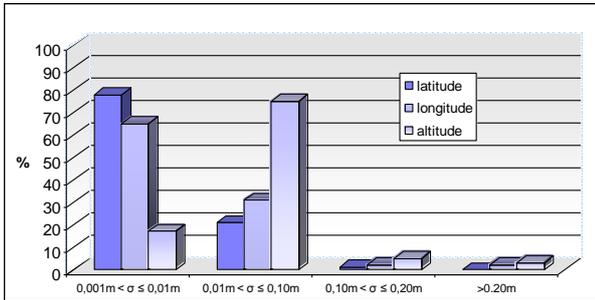


Figura 2 – Intervalo do desvio padrão para as estações GPS

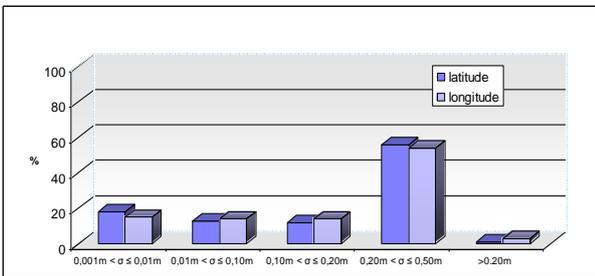


Figura 3 – Intervalo do desvio padrão para todas as estações da rede planimétrica do SGB.

6 CONEXÕES ENTRE AS REDES CLÁSSICA E GPS

Este estudo visa reocupar as estações da rede clássica com equipamentos GPS, cujo objetivo é fornecer um controle melhor entre as duas redes e colaborar na modelagem de distorções da rede clássica para um refinamento na transformação de coordenadas entre os referenciais antigos e o SIRGAS2000. Com este propósito, 9 campanhas GPS foram realizadas em diferentes partes do país no ano 2004. A escolha destas áreas foi baseada nos resultados de um estudo preliminar sobre raio de influência de uma conexão, ou seja, até que distância uma conexão GPS influencia na alteração das coordenadas das estações da rede clássica. Neste estudo verificou-se que o raio de influência é em média de 500 km. Até o final de 2004 foram realizadas 117 conexões, sendo que 35 somente no ano 2004. A distribuição geográfica destas conexões é apresentada na Figura 4.

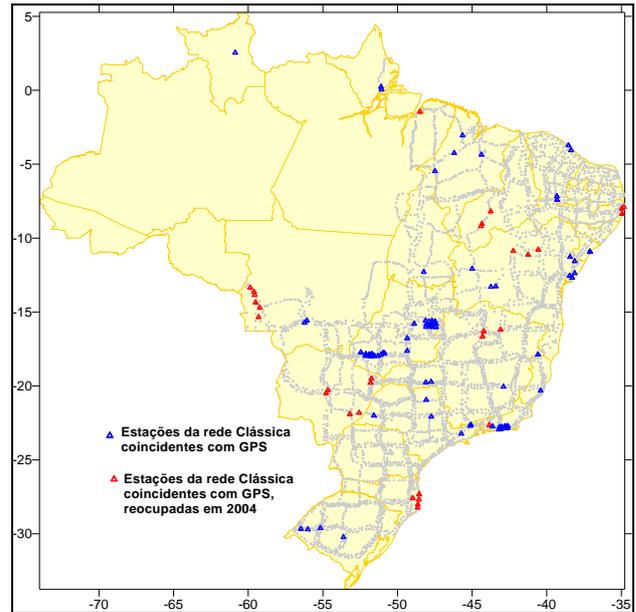


Figura 4 – Distribuição geográfica das conexões entre as redes clássica e GPS.

Nas Figuras 5, 6, 7, 8 e 9 são apresentados os resultados obtidos em algumas áreas da rede clássica onde as conexões foram realizadas. Nestes gráficos verifica-se que as diferenças máximas encontradas entre as coordenadas antes e depois da conexão poderá chegar a 4 ou 3 metros, no centro-oeste e norte do país.



Figura 5 - Influência da conexão com a localização da conexão na rede clássica – região Sul.

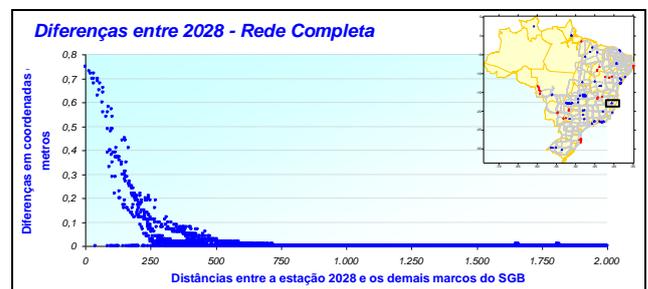


Figura 6 - Influência da conexão com a localização da conexão na rede clássica – região Sudeste.

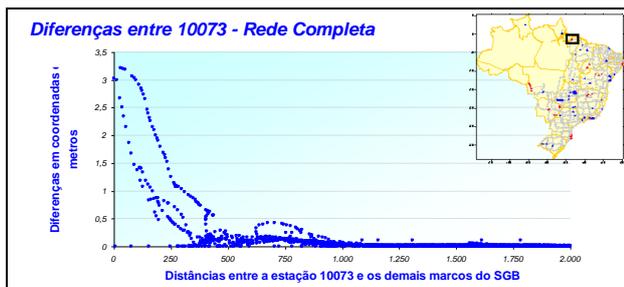


Figura 7 - Influência da conexão com a localização da conexão na rede clássica – região Norte.

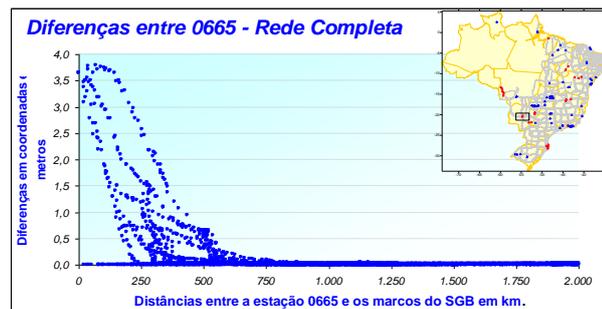


Figura 8 - Influência da conexão com a localização da conexão na rede clássica – região Centro - Oeste.

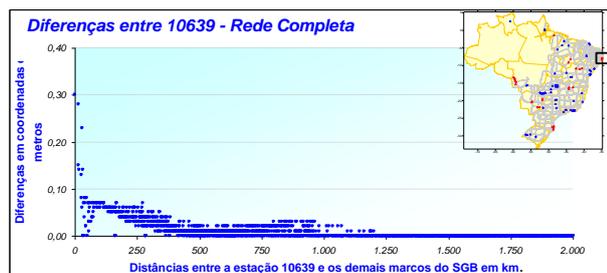


Figura 9 - Influência da conexão com a localização da conexão na rede clássica – região Nordeste.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As considerações finais deste trabalho são:

- Foram disponibilizadas em fevereiro de 2005 as coordenadas de 1379 estações GPS e 1024 das estações SAT-Doppler em SIRGAS2000.
- Novas conexões entre as Redes GPS e clássica foram 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).

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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