

ESTUDOS DAS ETAPAS E CRITÉRIOS PARA HOMOLOGAÇÃO DE MARCOS GEODÉSICOS SAT

JHONNES ALBERTO VAZ^{1 3}

ALBERTO LUIS DA SILVA²

GILBERTO PESSANHA RIBEIRO¹

¹ Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ
Faculdade de Engenharia - FEN
Departamento de Engenharia Cartográfica, Rio de Janeiro, RJ
gilberto@eng.uerj.br

² Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Diretoria de Geociências - DGC
Coordenação de Geodésia - CGED
alberto.luis@ibge.gov.br

³ Universidade de São Paulo - USP
Escola Politécnica da USP - EPUSP
Mestrando em Engenharia de Transportes
jhonnes.vaz@usp.br

RESUMO - Ano após ano as tecnologias GNSS (*Global Navigation Satellite System*) vem possibilitando a determinação de coordenadas cada vez mais precisas, com tempos de observações cada vez mais curtos. Isso é possível graças, principalmente, ao desenvolvimento de novas técnicas e equipamentos, assim como o aumento de observáveis tais como a L5 do GPS e a operacionalização do GLONASS. Devido a isso, algumas exigências e recomendações impostas por órgãos regulamentadores de levantamentos GNSS podem não ser mais necessárias ou devem então ser alteradas. As exigências do IBGE no que diz respeito ao tempo de duração das sessões para a homologação de marcos geodésicos SAT ao SGB (Sistema Geodésico Brasileiro) podem ser reavaliadas, podendo assim otimizar o tempo gasto no trabalho de campo para a homologação. O objetivo deste trabalho é começar a investigar a possibilidade da diminuição do tempo de duração das sessões exigidas para a homologação, além de mostrar que a RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), em sua atual configuração, atende praticamente todo o território nacional como marcos de referência para a homologação, considerando que cada estação abrange um raio de 400 km, e que o processamento dos dados é realizado com *software* científico específico para linhas-base de longa extensão.

ABSTRACT - Year after year the technologies GNSS (*Global Navigation Satellite System*) has enabled the determination of coordinates more accurate, with observation times shorter and shorter. This is possible thanks mainly to the development of new techniques and equipment, as well as the increase of observables such as GPS L5 and GLONASS operation. Because of this, some recommendations and requirements imposed by regulators GNSS surveys can no longer necessary or should be changed then. The IBGE requirements with respect to the duration of the sessions for the approval of the geodesic marks SAT SGB (Brazilian Geodetic System) can be re-evaluated, so you can optimize the time spent in field work for the approval. The objective of this work is to begin to investigate the possibility of shortening the duration of sessions required for certification, in addition to showing that the RBMC (Brazilian Network for Continuous Monitoring) in its current configuration, serves almost the entire national territory as landmarks reference for the approval, considering that each station covers a radius of 400 km, and that data processing is carried out with software specific scientific baselines for long extension.

1 INTRODUÇÃO

O avanço das tecnologias GNSS, com o sistema norte americano GPS (*Global Positioning System*) totalmente operacional, o sistema russo GLONASS (*Global Orbiting Navigation Satellite System*) que recentemente foi declarado totalmente operacional e o começo da implantação do sistema da União Européia o Galileo, vem aperfeiçoando o posicionamento global, sendo assim possível determinar coordenadas com mais precisão e em menos tempo, além de permitir realizar estudos atmosféricos, geodinâmicos, entre outros.

A combinação do avanço tecnológico, aumento no número de sistemas e conseqüentemente um maior número de satélites disponíveis e com isso mais informações são coletadas pelos receptores e a existência de sistemas computacionais científicos, que permitem processar linhas-base longas e um grande número de informações, permitem a determinação de coordenadas com alta precisão, desde que o trabalho de campo seja realizado de forma correta. Para isso o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) disponibiliza dois documentos (IBGE, 2011), que especificam as normas e diretrizes de levantamento para obtenção de coordenadas de alta precisão, sendo esses documentos Recomendações para levantamentos relativos estáticos – GPS e Instruções para homologação.

Porém esses documentos foram baseados na qualidade dos processamentos GNSS para uma determinada época passada, e acredita-se que devido a evolução tecnológica desses sistemas haja a necessidade desses documentos serem revistos, principalmente no que diz respeito ao tempo de duração das sessões para a homologação, podendo assim diminuir o tempo de rastreamento, otimizando o tempo do trabalho de campo.

Além desses aspectos, deve-se considerar que a existência da RBMC em sua atual configuração, equipada com receptores de dupla frequência, e uma boa distribuição pelo território nacional, atendem e facilitam o trabalho da homologação realizado pelo IBGE. Considerando que cada estação da RBMC abrange um raio de 400 km para o processamento com sistemas computacionais próprios para linhas-base longas, o território nacional é atendido em praticamente toda a sua totalidade pela RBMC para a homologação de marcos geodésicos SAT.

2 REDE BRASILEIRA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO (RBMC) E SUA ATUAL CONFIGURAÇÃO

A Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC), desde sua implantação em dezembro de 1996, tem sido de extrema importância para a manutenção e a atualização da estrutura geodésica no país, além de ser a primeira rede estabelecida na América do Sul (FORTES et al., 2007).

Nas aplicações geodésicas e topográficas do GPS está implícita a utilização do método relativo no posicionamento, isto é, pelo menos dois receptores rastreando dados simultaneamente, sendo que um será a referência para a determinação da outra posição. Antes da RBMC, o usuário interessado em obter, com GPS, as coordenadas geodésicas de um ponto qualquer em território nacional era obrigado a trabalhar com dois receptores, ocupando o ponto de seu interesse e um marco do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) próximo. As estações da RBMC desempenham justamente o papel do ponto de coordenadas conhecidas, eliminando a necessidade de que o usuário estacione um receptor em um ponto que, muitas vezes, oferece grandes dificuldades de acesso. Além disso, os receptores que equipam as estações da RBMC são de alto desempenho, proporcionando observações de grande qualidade e confiabilidade (IBGE, 2011).

Com essa função de desempenhar o ponto de coordenadas conhecidas, o serviço de homologação de marcos geodésicos do IBGE se apóia na estrutura da RBMC utilizando-a para o pós-processamento e ajustamento dos dados GNSS das estações a serem homologadas tomando as estações da RBMC como estações de coordenadas conhecidas.

De acordo com a distribuição geográfica, para cobrir todo o território brasileiro, as estações da RBMC deverá atender um raio de até 400 km. Isso implica em grandes linhas de base no processamento sendo necessário na maioria dos casos a utilização de sistemas computacionais científicos para o pós-processamento GNSS que processam bases longas, enquanto que sistemas computacionais de pós-processamento GNSS comerciais não atingem soluções satisfatórias para o pós-processamento de linhas de base muito longas. A figura 1 mostra a configuração e distribuição das estações da RBMC em outubro de 2011, enquanto a figura 2 mostra a esta configuração da RBMC e sua zona de abrangência para um raio de 100 km e a figura 3 para um raio de 400 km.

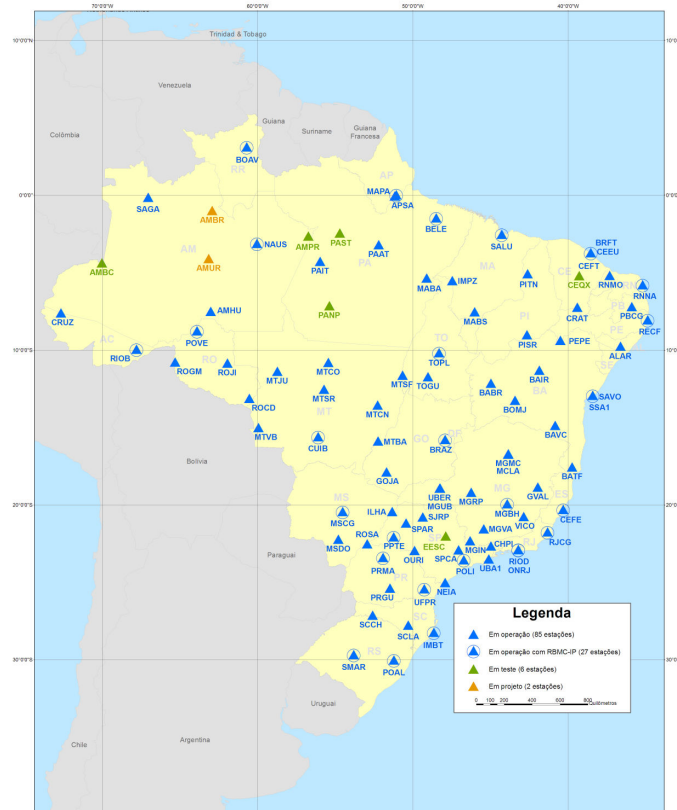


Figura 1 – Configuração da RBMC em 2010 (IBGE, 2011).



Figura 2 – Área de abrangência com buffer de 100 km a partir de cada estação da RBMC (IBGE, 2011).

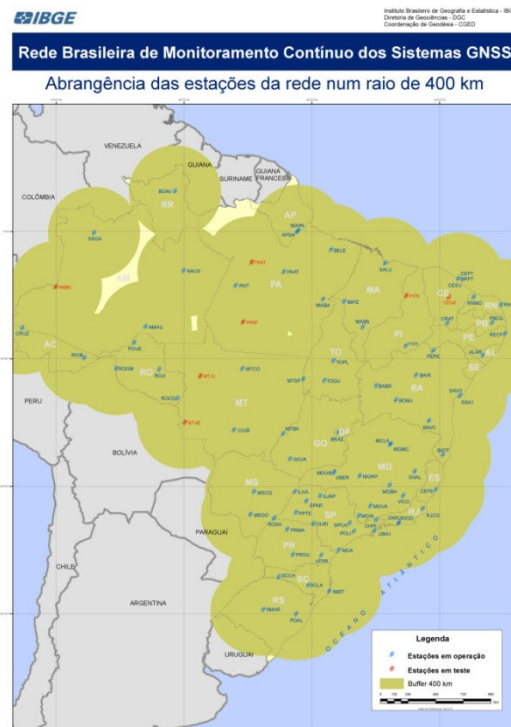


Figura 3– Área de abrangência com buffer de 400 km a partir de cada estação da RBMC (IBGE, 2011).

3 INSTRUÇÕES PARA HOMOLOGAÇÃO

Para homologação e integração de estações determinadas por outros órgãos e instituições ao Sistema Geodésico Brasileiro – SGB, faz-se necessário que sejam obedecidos critérios técnicos definidos pelo IBGE – Diretoria de Geociências – Coordenação de Geodésia, encontrados no documento “homologação_de_marcos.pdf”, disponibilizado pelo IBGE através do endereço eletrônico <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_sgb_homologa.shtm?c=3>, cujo uma parte é transcrita a seguir (IBGE, 2007):

- As novas estações serão integradas ao SGB, preferencialmente através da conexão com a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC. Caso não seja possível utilizar a RBMC, também poderão ser utilizadas como estação-base para esta integração as estações pertencentes às Redes Estaduais ou estações GPS que já pertençam ao SGB;

Neste caso o usuário deverá efetuar também a ocupação da estação-base. Nos dois casos as observações deverão ser coletadas com receptores geodésicos de dupla frequência (L1 e L2);

- Deverão ser observadas 4 (quatro) sessões para a determinação da estação; a duração de cada sessão deverá ser de 6h (seis horas) no mínimo. O intervalo entre as sessões será no mínimo 1h (uma hora) e no máximo de 48h (quarenta e oito horas);
- A materialização deverá ser feita em solo firme e estável, em duas formas, conforme contido nas instruções de padronização de marcos geodésicos disponível no portal do IBGE (www.ibge.gov.br à Geociências à Geodésia):
 - Marco ou pilar de concreto com chapa identificadora incrustada no seu topo;
 - Pilar de concreto com dispositivo de centragem forçada incrustado no topo e chapa identificadora cravada na lateral;
- A área ao redor da estação deverá ser livre de obstruções que possam interferir na captação dos sinais dos satélites;
- Encaminhar documentação da construção do marco, com fotos de todas as etapas;
- O intervalo de coleta dos dados deverá ser de 15 segundos;
- Os dados deverão ser encaminhados em formato RINEX 2;
- Enviar fotos panorâmicas do marco;
- Preencher de forma obrigatória os formulários em anexo ao documento “homologação_de_marcos.pdf”.

4 ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO

A partir da atual configuração da RBMC (Figura 1), foi escolhida uma estação dessa rede que atendesse a duas condições: 1ª) distante aproximadamente 100 km de três estações da RBMC; 2ª) distante 400 km de outras três estações da RBMC. Foram utilizados nesses processamentos dados de pelo menos dois dias simultâneos para todas as estações.

Logo foi escolhida como estação de coordenadas a determinar, a estação SPAR (Unesp – Araçatuba - SP). As estações escolhidas dentro de um raio aproximado de 100 km são ILHA (Unesp – Ilha Solteira - SP), PPTE (Unesp – Presidente Prudente - SP) e SJRP (Unesp – São José do Rio Preto – SP). Já para a rede de estações dentro de um raio aproximado de 400 km foram escolhidas as estações MSCG (UNIDERP – Campo Grande – MS), GOJA (Universidade Federal de Goiás – Campus Jataí – GO) e MGIN (Escola Agrotécnica Federal – Inconfidentes – MG). A tabela 1 mostra as distâncias aproximadas entre a estação SPAR e as outras estações, assim como a figura 4 e 5 mostram a distribuição espacial das redes de 100 km e 400 km respectivamente.

Tabela 1 – Distâncias aproximadas das estações da RBMC em relação a estação SPAR.

Estação	Distância aproximada (km)
ILHA	125
PPTE	140
SJRP	120
GOJA	390
MGIN	440
MSCG	435



Figura 4 – Distribuição espacial da rede de 100 km (Google, junho de 2011).



Figura 5 – Distribuição espacial da rede de 400 km (Google, junho de 2011).

O pós-processamento foi realizado utilizando o Bernese, versão 5.0, desenvolvido pela Universidade de Berna na Suíça (HUGENTOBLER et al., 2006), que é um sistema computacional científico que processa bases longas. Foram utilizados no processamento as órbitas finais IGS (International GNSS Service) e correção dos movimentos de pólo, disponibilizados pelo IGS através do endereço eletrônico <ftp://igsb.jpl.nasa.gov/igsb/product/>, além das correções da variação do centro de fase absoluto das antenas, informações estas fornecidas pelo IGS através do arquivo ANTEX, disponibilizado no endereço eletrônico <http://igsb.jpl.nasa.gov/igsb/station/general/igs05.atx>.

O IBGE exige que sejam realizadas 4 sessões com duração de 6 horas, afim de testar essa exigência, foram realizados processamentos com 4 sessões com duração de 6, 5, 4 e 3 horas de duração, para a rede de 100 km e a rede de 400 km.

Todas as coordenadas resultantes do pós-processamento para a homologação são reduzidas para a época 2000.4 do SIRGAS, utilizando a velocidade das estações da rede SIRGAS-CON, para que todas as coordenadas do SGB sejam homogêneas.

Após a conclusão do processamento de todas as sessões, é iniciada a etapa de integração da estação ao SGB através do ajustamento das observações pelo método paramétrico. As observações ajustadas são as linhas-base processada em cada sessão e sua respectiva matriz variância-covariância (MVC). O programa GHOST - *Geodetic adjustment using Helmert blocking Of Space and Terrestrial data*, desenvolvido pelo *Geodetic Survey Division* (GSD) do *Natural Resources Canada* (NRCan) é utilizado no ajustamento (SILVA et al., 2008).

Com o objetivo de analisar a precisão interna da rede processada, é realizado um ajustamento preliminar fixando as coordenadas de somente uma estação da RBMC (ajustamento de injeção mínima). Na etapa seguinte a variância a posteriori é introduzida como fator multiplicador da MVC. Este procedimento tem como objetivo fornecer resultados mais realísticos para a estimativa de precisão das coordenadas ajustadas (desvios padrão) (SILVA et al., 2008).

5 RESULTADOS OBTIDOS

As coordenadas da estação SPAR disponibilizadas pelo IBGE no descritivo da estação SPAR da RBMC foram consideradas neste trabalho como as coordenadas corretas da estação estão apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 – Coordenadas Geodésicas em SIRGAS 2000 da estação SPAR.

Latitude	Longitude	Altitude Geométrica
21° 11' 04,7980" S	50° 26' 23,2373" W	410,35 m

As coordenadas determinadas para a estação SPAR através dos pós-processamentos realizados no sistema computacional Bernese 5.0, e ajustadas no GHOST. Essas coordenadas foram reduzidas para época 2000.4 do SIRGAS e são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 – Coordenadas determinadas pelo pós-processamento e ajustamento.

Dist. linha-base Duração da sessão	Latitude Desvio padrão	Longitude Desvio padrão	Alt. geométrica Desvio padrão
100 km 6 horas	21° 11' 4.7980" S 0,002 m	50° 26' 23.2375" W 0,002 m	410.34 m 0,015m
100 km 5 horas	21° 11' 4.7980" S 0,002 m	50° 26' 23.2375" W 0,002 m	410.33 m 0,016 m
100 km 4 horas	21° 11' 4.7980" S 0,003 m	50° 26' 23.2375" W 0,003 m	410.34 m 0,020 m
100 km 3 horas	21° 11' 4.7980" S 0,003 m	50° 26' 23.2374" W 0,003 m	410.34 m 0,019 m
400 km 6 horas	21° 11' 4.7980" S 0,003 m	50° 26' 23.2374" W 0,003 m	410.37 m 0,017 m
400 km 5 horas	21° 11' 4.7980" S 0,002 m	50° 26' 23.2373" W 0,003 m	410,38 m 0,017 m
400 km 4 horas	21° 11' 4.7979" S 0,002 m	50° 26' 23.2373" W 0,002 m	410,38 m 0,014 m
400 km 3 horas	21° 11' 4.7980" S 0,003 m	50° 26' 23.2372" W 0,003 m	410,39 m 0,020 m

Considerando que as coordenadas fornecidas pelo IBGE no descritivo da estação SPAR são corretas, e tendo as coordenadas determinadas pelo pós-processamento apresentadas na tabela 3, é possível realizar uma comparação planimétrica e altimétrica e estimar a exatidão das coordenadas obtidas. A exatidão obtida em todos os pós-processamentos é apresentada na tabela 4. A comparação é feita por um *script* computacional que gera como resultado a diferença altimétrica, à distância planimétrica e a direção que está à distância.

Tabela 4 – Comparação entre as coordenadas da estação SPAR no descritivo e das coordenadas calculadas.

Dist. linha-base Duração da sessão	Dist. planimétrica (cm)	Direção da dist. planimétrica (°)	Diferença altimétrica (cm)
100 km 6 horas	0,577	269,60	-1,00
100 km 5 horas	0,577	269,60	-2,00
100 km	0,577	269,60	-1,00

4 horas			
100 km	0,288	269,60	-1,00
3 horas			
400 km	0,288	269,60	2,00
6 horas			
400 km	0,000	0,00	3,00
5 horas			
400 km	0,308	0,00	3,00
4 horas			
400 km	0,288	90,00	4,00
3 horas			

A figura 6, mostra a distribuição planimétrica dos pontos determinados pelo pós-processamento em relação à estação SPAR.

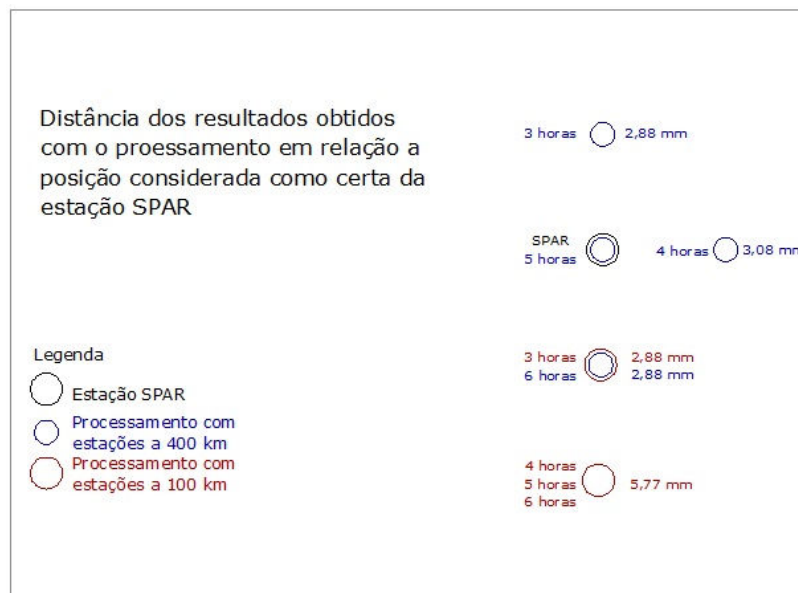


Figura 6 – Distribuição planimétrica dos pontos determinados pelo pós-processamento em relação à estação SPAR.

6 CONCLUSÕES

Analisando a precisão obtida em cada processamento apresentada na tabela 3, e a exatidão obtida em cada processamento apresentada na tabela 4 e na figura 6, para essas redes é possível afirmar que o processamento e ajustamento com sessões de duração de três horas, tanto da rede de 100 km, como da rede de 400 km obtiveram excelentes resultados, com a precisão e a exatidão de unidades de milímetro.

De acordo com as análises da precisão e exatidão obtidas para os processamentos, e observando a figura 3 é possível concluir que a RBMC atende a homologação de marcos geodésicos em praticamente todo o território nacional, quando se utiliza programas de processamento GNSS científicos, como por exemplo o Bernese 5.0.

Porém apenas um teste realizado com duas redes, determinando coordenadas pra apenas uma estação não é suficiente para se afirmar que em todos os casos a sessão de três horas apresentará resultados como este. Por isso recomenda-se que seja dada continuidade aos estudos das exigências para a homologação de marcos geodésicos, realizando mais testes com a finalidade de obter maior confiabilidade para os resultados obtidos neste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem aos professores da Faculdade de Engenharia da UERJ Mauro Pereira de Mello e Luiz Henrique Castiglione pelas longas conversas, ideias e dicas para a realização deste trabalho. A toda a Coordenação de Geodésia do IBGE, representada pela sua coordenadora Maria Cristina Barboza Lobianco pela cessão para uso do *software* Bernese 5.0.

REFERÊNCIAS

FORTES, L. P. S. et al. **Plano de expansão e modernização das Redes Ativas RBMC/RIBaC**. IBGE. Rio de Janeiro, RJ, 2007.

HUGENTOBLE, U. et al. **Bernese GPS Software Version 5.0**. Astronomical Institute University of Berne. Berne, 2006.

IBGE. **Instruções para homologação de estações estabelecidas por outras instituições**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_sgb_homologa.shtm?c=3>. Acesso: 5 junho 2011. IBGE. Rio de Janeiro, RJ, 2007.

IBGE. **Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS - 15 anos - Relatório Técnico**. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/RBMC/relatorio/RBMC_15anos_1996-2011.pdf>. Acesso: 15 fevereiro 2012.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso: 22 maio 2011.

SILVA, A. L. et al. **Redes Estaduais GPS: Situação atual e perspectiva futura**. II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, PE, 8-11 de setembro de 2008.