



NOVA HIERARQUIA DA REDE PLANIMÉTRICA DO SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

Sonia Maria Alves Costa

Luiz Paulo Souto Fortes

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Av. Brasil 15671, Parada de Lucas, Rio de Janeiro, RJ. CEP: 21241-000

e-mail: soniamaria@ibge.gov.br

lpsforte@ucalgary.ca

INTRODUÇÃO

Nos 60 anos de estabelecimento e manutenção do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), o Departamento de Geodésia do IBGE vem implantando mudanças no desenvolvimento dos trabalhos, no sentido de acompanhar o estado da arte da tecnologia. Sendo assim, fazendo uma análise cronológica, a Rede Geodésica Brasileira possui hoje mais de 5000 estações, estabelecidas por cinco metodologias diferentes, dentre as quais destacam-se três: triangulação, poligonação e posicionamento por satélites. Além disso, foram adotados, oficialmente, dois sistemas de referência e realizados três ajustamentos que levaram a diferentes materializações destes sistemas.

Alguns conceitos precisaram ser modificados, como por exemplo a caracterização da estrutura geodésica passiva e ativa, bem como a necessidade de se quantificar apropriadamente a precisão das coordenadas em cada uma de suas componentes através da estimativa do desvio-padrão das mesmas.

O objetivo deste trabalho é fazer uma breve apresentação das estruturas que compõem a Rede Planimétrica Brasileira, a sua atual hierarquização devido às diferentes precisões existentes, os problemas de compatibilização entre as redes antigas e novas. Serão abordadas orientações quanto aos novos levantamentos realizados por GPS.

CONFIGURAÇÃO ATUAL DA REDE PLANIMÉTRICA BRASILEIRA

O IBGE, através do Departamento de Geodésia, possui a atribuição de estabelecer e manter as estruturas geodésicas no Brasil. Muitas mudanças ocorreram na componente planimétrica nas últimas décadas. A utilização de técnicas de posicionamento espaciais baseadas tanto no antigo sistema TRANSIT (Doppler) quanto no atual Sistema de Posicionamento Global (GPS) ampliou a sua concepção 'planimétrica', pois o uso destes sistemas passou a permitir o estabelecimento simultâneo das três componentes definidoras de um ponto no espaço. Esta alteração nos procedimentos de campo repercutiu no processamento das respectivas observações, acarretando a necessidade de se conduzir ajustamentos de redes em três dimensões, com vistas a aproveitar o aumento de rigidez geométrica trazida com o acréscimo da terceira componente. Isso foi

alcançado, no caso do reajustamento global da rede brasileira, com a utilização do sistema computacional GHOST, desenvolvido no Canadá para o Projeto *North American Datum of 1983* (NAD-83).

Além das determinações Doppler e GPS, as referentes à rede clássica também participaram do reajustamento, formando uma estrutura de 4759 estações contra 1285 ajustadas quando da definição do SAD69. A Tabela *a* apresenta uma comparação entre as observações utilizadas no ajustamento das duas realizações do SAD69 (a original e a atual, concluída em 1996) [IBGE,1996].

Observações	SAD69 realização original	SAD69 realização 1996
Estação fixa	1 (Chuá)	1 (Chuá)
n° de linhas de base	144	257 (triangulação) 1270 (poligonação)
n° de estações astronômicas	144	389
n° de direções horizontais	6865	16907
n° de linhas de base GPS	-	1182
n° de posições injuncionadas (DOPPLER)	-	179

Tabela *a*. Observações utilizadas no ajustamento da realização original do SAD69 e na realização de 1996.

O reajustamento concluído em 1996 combinou duas estruturas estabelecidas independentemente por diferentes técnicas. A ligação entre elas foi feita através de 49 estações da rede clássica observadas por GPS. A rede GPS (por ser uma estrutura de precisão superior), teve por função controlar a rede clássica. Algumas observações Doppler também foram incluídas no ajustamento com este objetivo.

Uma informação importante fornecida pelo reajustamento foi o o desvio padrão das coordenadas ajustadas, atualmente incluído nos formulários de informações e descrições das estações do Banco de Dados Geodésicos (BDG) do IBGE. Estas informações substituíram as denominações de “alta precisão” e “precisão” anteriormente utilizadas para qualificá-las. Na Tabela *b* são apresentados valores médios dos desvios padrão das coordenadas (segundo a estrutura à qual pertence a estação correspondente), obtidos após o reajustamento. Hoje em dia, todos os usuários que solicitam informações do BDG do IBGE recebem, além das coordenadas das estações, as informações sobre os seus respectivos desvios padrão.

Precisão	Estações GPS	Estações da rede clássica
Planimétrica (horizontal)	10 cm	40 a 70 cm
Altimétrica	10 a 30 cm	-

(vertical)		
------------	--	--

Tabela b. Valores médios dos desvios padrão das coordenadas após o reajustamento concluído em 1996.

Na face direita da figura c são apresentadas as diversas estruturas que compõem a Rede Planimétrica do SGB em função dos níveis de precisão, enquanto a face esquerda contém os serviços prestados pela RBMC à comunidade, através do fornecimento de observações GPS que, quando processadas com órbitas combinadas IGS produzem soluções ITRF. Particularidades sobre estas estruturas serão abordadas nos próximos itens [IBGE,1999].

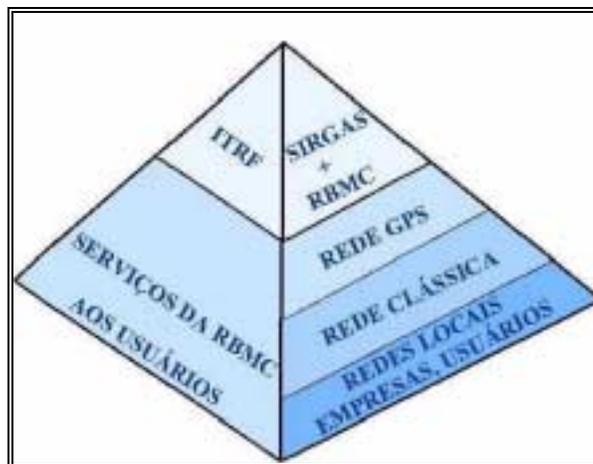


Figura c. Nova concepção de Rede Geodésica

REDE BRASILEIRA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO DO SISTEMA GPS – RBMC

A RBMC é uma rede formada por 13 estações GPS (Figura d), fixas e de operação contínua, sendo, portanto, uma estrutura de suporte para utilização da tecnologia GPS no Brasil. É também o principal elo de ligação com os sistemas de referência adotados globalmente. Em decorrência da permanente coleta de observações, ela permite o cálculo contínuo das coordenadas das estações constituintes, monitorando, deste modo, as deformações da crosta terrestre. Conseqüentemente, permite quantificar a variação temporal das coordenadas do SGB, proporcionando assim um referencial constantemente atualizado aos usuários, caracterizando-a como a estrutura ativa do SGB. Além disso, estudos sobre o teor do vapor d'água na atmosfera podem ser conduzidos, em suporte ao que se denomina hoje de meteorologia por GPS.

Diariamente todos os dados coletados (observações de código e fase – L1 e L2) nas estações da RBMC são transferidos automaticamente para a unidade de controle no Rio de Janeiro e colocados à disposição dos usuários em formato RINEX, a um intervalo de observação de 15 segundos. A RBMC é extremamente vantajosa para aqueles que fazem uso da técnica de posicionamento relativo e necessitam ocupar simultaneamente uma estação com coordenadas conhecidas para o desenvolvimento dos levantamentos, sejam eles geodésicos ou topográficos [Fortes, 1997]. Ela oferece o serviço de estação base (referência), garantindo aos usuários alto nível de precisão nas suas coordenadas, maior produtividade nos levantamentos, o que leva a custos menores, e um período mais curto de observação (dependendo da distância à estação RBMC mais próxima do usuário), considerando a possibilidade de se usar mais de uma estação da RBMC como base, aumentando a rigidez da determinação.

Atualmente (maio, 2000), as estações que compõem a RBMC são:

estação	código	latitude	longitude	início de operação
Fortaleza (IGS)	FORT	-03° 53'	-38° 26'	13-maio-1993
Brasília (IGS)	BRAZ	-15° 57'	-47° 53'	3-março-1995
Curitiba	PARA	-25° 27'	-49° 14'	13-dezembro-1996
Pres. Prudente	UEPP	-22° 07'	-51° 25'	18-dezembro-1996
Bom Jesus da Lapa	BOMJ	-13° 15'	-43° 25'	18-fevereiro-1997
Manaus	MANA	-03° 07'	-60° 03'	28-abril-1997
Viçosa	VICO	-20° 46'	-42° 52'	22-maio-1997
Cuiabá	CUIB	-15° 33'	-56° 04'	18-junho-1997
Imperatriz	IMPZ	-05° 30'	-47° 30'	16-fevereiro-1998
Porto Alegre	POAL	-30° 04'	-51° 07'	28-outubro-1998
Salvador	SALV	-13° 00'	-38° 30'	20-maio-1999
Recife	RECF	-08° 03'	-34° 57'	06-julho-1999
Crato	CRAT	-07° 23'	-39° 40'	09-maio-2000

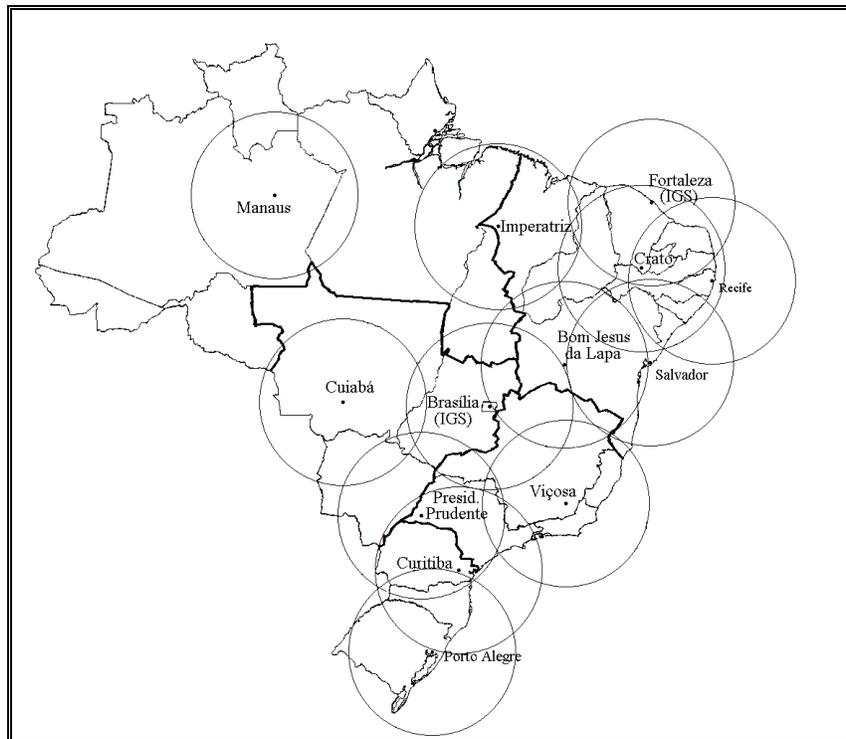


Figura d. Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS, situação em maio de 2000

REDE NACIONAL GPS

A rede nacional GPS (Figura e) começou a ser implantada em 1991, com a aplicação sistemática da tecnologia GPS nos levantamentos geodésicos. Devido à grande extensão territorial do Brasil, esta rede não está presente em regiões de difícil acesso, como, por exemplo, a Amazônia. Através de convênios realizados junto aos órgãos estaduais e concessionárias de serviços públicos, tem-se implantado redes GPS com o objetivo de densificação da infra-estrutura geodésica passiva. Até o momento foram estabelecidas as seguintes redes: São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Espírito Santo e Mato Grosso (em fase de observação e processamento).

No processamento e avaliação das observações GPS, emprega-se atualmente o software científico Bernese - versão 4.2, desenvolvido pelo Instituto Astronômico da Universidade de Berna, que possibilita um tratamento rigoroso das observações. Em todos os processamentos se adota a técnica diferencial, injuncionando-se as estações da RBMC. Posteriormente, os resultados dos processamentos GPS são integrados através de um ajustamento, realizado com o software GHOST. Esta integração vem a constituir a Rede Nacional GPS, considerada a estrutura geodésica passiva de melhor precisão do SGB[Costa, 1998].

A precisão das coordenadas geodésicas da Rede Nacional GPS possui um valor médio de 10 cm nas componentes horizontais e 25 cm na componente vertical.

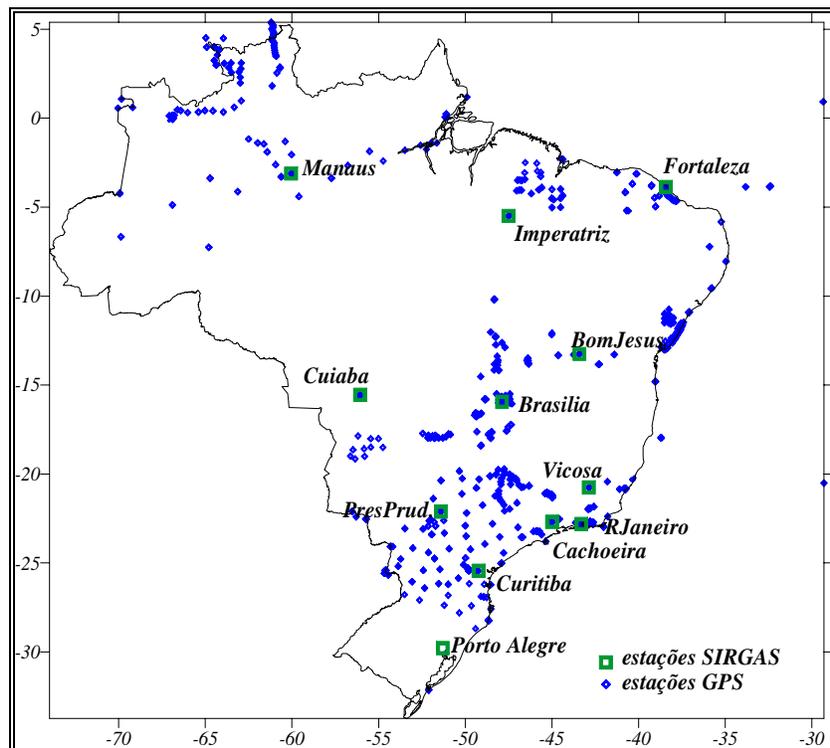


Figura e. Rede Nacional GPS

REDE CLÁSSICA

A rede clássica (Figura f) foi basicamente estabelecida pelos métodos de triangulação e poligonação, que, aplicados durante 45 anos, atendiam às necessidades de georeferenciamento da ocasião.

Ao contrário de outros países da América do Sul, que optaram pela implantação de uma nova rede geodésica baseada na técnica GPS, as dimensões continentais do Brasil conduziram à alternativa de se reajustar todas as observações da rede clássica, combinadas às observações GPS, tendo em vista o enorme acervo de informações que a estrutura clássica contém.

A precisão das coordenadas geodésicas da rede clássica é da ordem de 40 a 70 cm nas componentes horizontais. As suas altitudes são aquelas obtidas por nivelamento trigonométrico e não sofreram novo ajuste.

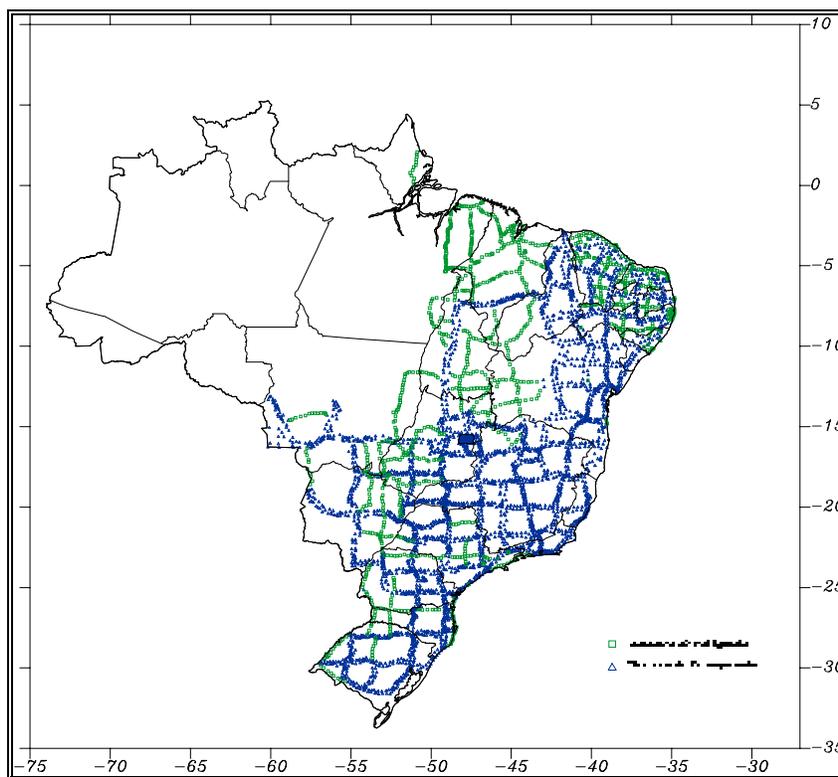


Figura f. Rede Clássica - Triangulação e Poligonação

COMO COMPATIBILIZAR A TECNOLOGIA GPS COM O SAD69 ?

Este é um dilema que a maioria dos usuários de GPS enfrentam quando precisam manter a qualidade dos levantamentos GPS e compatibilizá-los com o SAD69. Na verdade, não existe um procedimento que satisfaça as duas situações. Neste caso, tem-se que optar entre manter a

qualidade dos levantamentos realizados por GPS ou deteriorar a qualidade dos levantamentos em benefício da sua adequação com a cartografia existente [Craymer, 1998].

Fazendo uma breve reflexão, as facilidades e qualidade nos resultados obtidos na utilização da tecnologia GPS tornam esta uma das ferramentas mais populares e avançadas de posicionamento. As coordenadas podem ser determinadas de uma forma muito precisa (ao nível de centímetro ou até mesmo milímetro), a baixos custos e em um pequeno intervalo de tempo, garantindo, assim, a continuidade e expansão da sua utilização.

Será que a precisão do levantamento está sendo mantida quando seus resultados são referidos ao SAD69? A resposta é negativa. Primeiro porque, para se obter resultados em SAD69, faz-se necessária a aplicação de parâmetros de transformação WGS84 / SAD69, os quais possuem um erro intrínseco que podem ocasionar erros de segunda ordem na determinação da linha de base de até 0,3 partes por milhão (ppm). Além disso, estes parâmetros foram determinados ainda na versão original do WGS84, antes do sistema sofrer duas atualizações. Segundo porque a estrutura que materializava o SAD69 foi estabelecida por metodologias de precisão inferior àquela proporcionada pelo GPS, ocasionando o estabelecimento de uma rede distorcida do ponto de vista geométrico. A figura g exemplifica este problema, representando, em vermelho, o trecho de uma cadeia de triangulação referida ao SAD69 (original) e, em azul, um novo levantamento realizado com GPS.

Pelo exposto, torna-se necessário que os usuários interessados em realizar levantamentos GPS de precisão (melhores que 10 ppm, considerando ser esta a precisão relativa nominal da rede clássica) refiram estes levantamentos às estações da RBMC. Em um segundo estágio do cálculo, as coordenadas em SAD69 deverão ser determinadas através de ajustamento, injuncionando-se as coordenadas das estações da RBMC em SAD69 – realização 1996.

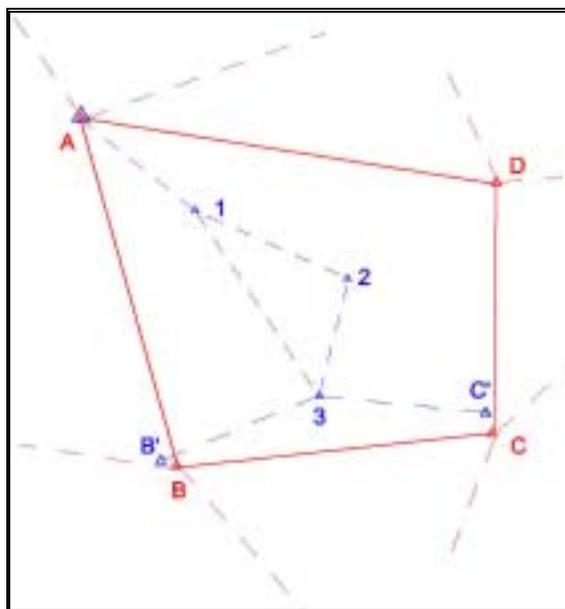


Figura g . Representação do antigo e novo levantamento e o problema da sua compatibilização.

As estações da rede clássica podem ser utilizadas quando se requer resultados com precisão métrica.

Por outro lado, se a prioridade for a manutenção do relacionamento entre o novo (GPS) e o existente (documentação cartográfica), ao processo de transformação deverá ser incorporada a modelagem de distorções. Neste caso, o levantamento realizado por GPS terá a sua geometria e precisão degradadas. Destaca-se que a modelagem de distorções, como procedimento de integração, preserva apenas o relacionamento com a materialização do referencial utilizado.

CONCLUSÕES

O problema de compatibilização entre os novos levantamentos de precisão realizados com o uso do GPS e o sistema adotado como referência só poderá ser contornado na medida que se adote oficialmente, no Brasil, um referencial de característica geocêntrica, tal como o SIRGAS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COSTA, S.M.; BEATTIE, D.; PEREIRA, K.D.P.. **The integration of brazilian geodetic network into SIRGAS- preliminary results**. IGGOS, Munique, 1998.
- CRAYMER M.R.. **Integration of Local Surveys into the Canadian Spatial Reference System**. Geodetic Survey Division, Geomatics Canada, fevereiro, 1998.
- FORTES, L.P.S.. **Operacionalização da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC)**. dissertação de mestrado, IME, Rio de Janeiro, 1997.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Ajustamento da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro - Relatório**, Rio de Janeiro, 1996.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Referenciais Geodésicos Brasileiros: Passado, Presente e Futuro**, XIX Congresso de Cartografia, Recife, 1999.