

PROCESSAMENTO DA REDE GPS BRASILEIRA E AJUSTAMENTO COMBINADO COM A REDE CLÁSSICA

SONIA MARIA ALVES COSTA

KÁTIA DUARTE PEREIRA

Departamento de Geodésia - DGC - IBGE

Av. Brasil 15671 - Parada de Lucas

Rio de Janeiro - RJ CEP 21241

smcosta@omega.lncc.br

katiadu@omega.lncc.br

Brasil

DON BEATTIE

Geomatics of Canada - EMR

615 Booth Street, Ottawa,

Ontario, K1A0E9

beattie@geod.emr.ca

Canada

RESUMO

Desde 1991, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) vem utilizando o Sistema de Posicionamento Global (GPS) em diversos projetos de âmbito nacional e internacional. Até julho de 1994, foram ocupadas mais de 100 estações GPS em todo território brasileiro

O objetivo deste trabalho é descrever as metodologias desenvolvidas e os resultados obtidos no Projeto de Ajustamento da Rede Planimétrica Brasileira. Além disso, são descritos os procedimentos adotados para o ajustamento combinado entre as redes GPS e clássica (triangulação e poligonação) empregando-se o software *Geodetic adjustment using Helmert blocking Of Space and Terrestrial data* (GHOST), que tem como principal característica a decomposição de redes geodésicas em blocos através da técnica de Helmert Blocking, proporcionando assim, o ajuste simultâneo de redes de caráter continental.

ABSTRACT

Since 1991, the Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) has been used the Global Positioning System (GPS) in several national and international projects. As of July 1994, more than 100 GPS stations were established in all national territory.

The subject of this paper is present the methodologies carried out and results global adjustment of Brazilian Horizontal Network. Are described the procedures adopted for the combined adjustment between GPS and classical (triangulation and traverses) network

using the software Geodetic Adjustment using Helmert Blocking of Space and Terrestrial data (GHOST), that has as main characteristic the decomposition of geodetic networks in blocks by Helmert Blocking technique, obtaining the simultaneous adjustment of continental networks.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos 50 anos o IBGE vem aprimorando as técnicas de observação com o intuito de aumentar a precisão das coordenadas das estações que compõem as redes do Sistema Geodésico Brasileiro(SGB). A década de 70 foi marcada não somente pela utilização do posicionamento à satélites na expansão das redes geodésicas, mas também pelo emprego do primeiro sistema computacional utilizado no ajustamento das redes. A era da geodésia espacial (tridimensional) foi iniciada pelo sistema TRANSIT e substituída, hoje em dia pelo GPS. Em decorrência deste fato, a precisão relativa no posicionamento melhorou de 10ppm, oferecida pela rede clássica, para 2ppm com o sistema TRANSIT e atualmente para 1ppm com o GPS.

Considerando os avanços descritos anteriormente, não se justifica mais o uso de sistemas computacionais que adotem a modelagem da geodésia clássica e metodologias de processamento que acarretem distorções na rede. No caso do Brasil, foi necessário escolher um sistema computacional mais otimizado que adotasse a modelagem da geodésia tridimensional e capaz de desenvolver o ajuste global de redes de caráter continental. Em atendimento a estes requisitos, foi implantado o sistema GHOST e pela primeira vez na história da geodésia no Brasil, todas as observações que compõem a rede planimétrica, sejam elas obtidas através de métodos clássicos (bidimensional) ou espaciais (tridimensionais), foram ajustadas simultaneamente.

Neste trabalho é feito um breve relato sobre o estabelecimento das redes planimétricas de alta precisão no Brasil e os processos de ajustamento a que a rede foi submetida. São descritos também os processos de armazenamento e reavaliação de todas as observações, sejam elas de origem terrestre ou espacial. Apresenta-se o atual "status" da Rede GPS Brasileira [Pereira, 1993] e como as suas observações foram utilizadas no ajustamento global, com a finalidade de controlar escala e orientação da rede clássica através de parâmetros auxiliares.

2. HISTÓRICO

A implantação da rede planimétrica de alta precisão no Brasil teve início na década de 40 através de um projeto de triangulação na região sul do país. A disponibilidade e precisão das técnicas de posicionamento geodésico por satélites do sistema TRANSIT nos anos 70, levaram a rede planimétrica às regiões onde sua implantação através das técnicas convencionais eram de difícil operacionalização, como por exemplo, a Região Amazônica. Em 1991, a partir da aquisição de quatro georeceptores TRIMBLE GPS, modelo 4000 SST de dupla frequência, o IBGE passou a utilizar o GPS no processo de expansão da rede planimétrica, marcando desta forma, a era das redes geodésicas tridimensionais.

Juntamente com o aprimoramento das técnicas de observação, os métodos de ajustamento tinham como objetivo fornecer coordenadas mais refinadas às estações que compõem a rede. Foi assim que na década de 70, através do DMA/IAGS (Inter American

Geodetic Survey), realizou-se o primeiro ajustamento empregando-se um sistema computacional chamado HAVOC (Horizontal Adjustment by Variation Of Coordinates). Na ocasião deste ajustamento foi definido o datum local para América do Sul, SAD-69 (South American Datum), a modelagem matemática adotada foi a da geodésia clássica, permitindo soluções somente para redes planimétricas. Em consequência das limitações impostas pelos meios computacionais da época, a rede brasileira foi dividida em 10 áreas de ajuste que foram processadas separadamente. Nesta fase foram ajustados cerca de 1000 estações [Costa & al., 1991].

Com a finalidade de dar continuidade ao ajustamento descrito acima, é que nos anos 80 foi implantado no IBGE pelo DMA/IAGS o programa USHER (Users System for Horizontal Evaluation and Reduction). Deste modo, os projetos de densificação posteriores ao ajustamento do SAD-69 foram calculados tendo como fixas as coordenadas dos pontos já existentes. Esta metodologia de ajuste foi aplicada nos últimos 20 anos no processo de expansão da Rede Planimétrica Brasileira, sendo considerada uma das principais causas das distorções encontradas.

Buscava-se, então, um sistema computacional que não só permitisse o ajuste simultâneo de uma extensa massa de dados, mas que também utilizasse o modelo matemático tridimensional, possibilitando assim, a inclusão das observações DOPPLER e GPS no ajustamento. Foi então que, no final da década de 80, o sistema GHOST foi implantado no IBGE, sob os sistemas operacionais DOS e UNIX, correspondendo a todas as expectativas para a conclusão do primeiro ajustamento simultâneo global da Rede Planimétrica Brasileira.

3. SISTEMA GHOST

O sistema GHOST é composto por um conjunto de programas escritos em linguagem FORTRAN, desenvolvido por Don Beattie [Beattie, 1987], no Geodetic Survey of Canada (GSC), com o objetivo de desenvolver ajustamentos pelo método dos mínimos quadrados em redes de características continentais. Este sistema foi utilizado pelo GSC no projeto NAD83 (North American Datum 1983). No Brasil sua utilização deu-se no Projeto de Ajustamento da Rede Planimétrica Brasileira. Além da tarefa de desenvolver ajustamentos em grandes redes geodésicas, o GHOST possui módulos utilitários com a função de criticar e preparar observações, gerar relatórios de análise dos resíduos e elaborar histogramas e testes estatísticos. Para que todos estes processos sejam desempenhados de forma otimizada, o GHOST faz uso de técnicas sofisticadas, tais como:

- (1) Adoção do modelo matemático da geodésia tridimensional para altitudes fixas, definido por Vincenty e Steeves [NGS, 1983]. Ao invés de desenvolver tradicionalmente o ajustamento sobre o elipsóide, o modelo tridimensional permite desenvolvê-lo, sem precisar reduzir as observações a uma superfície matemática. Deste modo, a distância entre dois pontos é um segmento da linha de visada e a sua direção é medida no plano perpendicular à direção da gravidade no ponto estação

[NGS, 1983]. O modelo matemático padrão da geodésia tridimensional, considera que os ângulos verticais sejam incluídos juntamente com as observações para o posicionamento do ponto no espaço (direções horizontais, distâncias e azimutes). No modelo tridimensional adotado pelo GHOST as altitudes são consideradas fixas. Conceitualmente ele é mais simples e eficiente que o modelo clássico, pois evita o uso de numerosas funções trigonométricas e complicados cálculos sobre o elipsóide. Este modelo não impõe nenhuma restrição quanto ao comprimento das linhas de base e possibilita a integração de redes geodésicas compostas por observações clássicas e espaciais em um único ajustamento.

- (2) O GHOST adota como método de ajustamento, o método das equações de observação, mais conhecido por método paramétrico. Pressupõe que, em um ajustamento paramétrico, seja necessário adotar para todas as estações, um valor inicial de coordenadas nos sistemas astronômico (face ao uso do modelo tridimensional) e geodésico. As coordenadas geodésicas podem estar referidas a um sistema cartesiano geocêntrico, através de um terno cartesiano $[X \ Y \ Z]^T$ ou a um sistema elipsoidal, como latitude, longitude e altitude elipsoidal $[\varphi \ \lambda \ h]^T$. Os valores astronômicos podem ser expressos em latitude e longitude astronômicas, ou então através das componentes do desvio da vertical (meridiana ou primeiro vertical). A ondulação geoidal completa a terceira dimensão das coordenadas astronômicas.
- (3) Na resolução das equações normais é empregado o método de Cholesky (direto), associado ao Método de Helmert Blocking, o qual subdivide grandes sistemas de equações em vários sistemas e conseqüentemente, em pequenas soluções [Beattie, 1987]. O algoritmo proposto pelo método de Cholesky no processo de solução direta da matriz das equações normais, exclui a necessidade de inversão da matriz, diminuindo assim o tempo de processamento. Considerando também a característica de simetria da matriz, opera-se somente com a parte superior da mesma, reduzindo desta forma o espaço necessário para o armazenamento.
- (4) O GHOST possui duas opções para o processamento de redes geodésicas: a) ajustamento padrão b) ajustamento por Helmert Blocking. O ajustamento padrão é aplicado em redes de pequeno e médio porte, onde não se justifica a aplicação da decomposição de Helmert Blocking. Seu processamento consiste na execução seqüencial dos principais programas que compõem o sistema [Costa & al., 1993]. Um ajustamento através da técnica de Helmert Blocking é justificado em redes de caráter continental. Sendo assim, antes do processamento, a rede é dividida em pequenas redes ou blocos através de um esquema previamente planejado. Dentro de cada bloco são identificadas as estações "internas" e as estações de "junção". As estações de junção são determinadas no processo de solução direta, enquanto as estações internas aos blocos são determinadas no processo inverso, conhecido também por retro-substituição.
- (5) A utilização dos algoritmos de Cuthill McKee e Bankers no processo de minimização das equações normais, tem como objetivo elaborar uma nova ordenação nos elementos

da matriz de forma que sejam eliminados os elementos nulos das operações matemáticas e, conseqüentemente, reduzindo o tempo de processamento na obtenção da solução direta.

- (6) Outro artifício empregado pelo sistema GHOST objetivando a redução de tempo no processamento, é a elaboração de arquivos de trabalho no formato binário de acesso direto.

4. ARMAZENAMENTO E CRÍTICA DAS OBSERVAÇÕES DA REDE CLÁSSICA

As etapas de maior importância em um ajustamento são o armazenamento em meio magnético e a crítica das observações. Deste modo, foram desenvolvidos três sub-projetos referentes as observações da rede clássica:

- direções horizontais,
- bases geodésicas ,
- azimutes astronômicos.

Apesar da crítica das observações ter sido desenvolvida automaticamente através de programas, foram consumidos nessa etapa cerca de dois anos do Projeto de Ajustamento da Rede Planimétrica Brasileira. Outra tarefa desenvolvida paralelamente, foi a atribuição de um código identificador para cada estação. Este procedimento foi necessário em decorrência do ajuste simultâneo, no qual as identificações originais poderiam ser repetidas em cadeias distintas, ocasionando assim, problemas no processamento. Deste modo, a identificação utilizada nos bancos de dados dos vértices de triangulação e estações de poligonais foi adotada como índice para a identificação das estações nos bancos de dados de cada observação.

O projeto de armazenamento e crítica das direções horizontais consistiu no cadastro e arquivamento em meio magnético de aproximadamente 21000 direções horizontais, organizadas em 114 arquivos conforme os projetos de estabelecimento das cadeias. Esta metodologia de organização foi posteriormente de grande auxílio na estimativa dos desvios padrão das observações. Considerando a extensa massa de dados, a tarefa de crítica, consistiu basicamente na verificação do atendimento às especificações da metodologia adotada para o levantamento.

Através do Projeto Pró-Astro cerca de 400 pontos astronômicos foram reprocessados e reavaliados. As tarefas que anteriormente eram feitas através de consultas a catálogos estelares acompanhados por cálculos manuais foram substituídas por programas. Sendo assim, todos os dados primários relativos às observações de latitude, longitude e azimute astronômicos foram armazenados em meio magnético para processamento e análise. Com a mudança, em 1984, do sistema astronômico FK4 (Fundamental Katalog 4) para FK5 (Fundamental Katalog 5), definiu-se que todos os pontos deveriam ser reprocessados no novo sistema astronômico, considerado um refinamento do seu antecessor [Costa, 1989]. Ao término do projeto Pró-Astro, foi elaborado um banco de dados dos

pontos astronômicos, com o objetivo de armazenar os novos resultados de cada estação astronômica, para posterior utilização na montagem dos arquivos de ajustamento da rede clássica.

Com o mesmo objetivo dos projetos anteriores, o Projeto Rebase reprocessou 219 bases geodésicas medidas a geodímetros (modelos NASM-2A, AGA M-8 e AGA-600). As 56 bases medidas a trena, foram as únicas observações de toda a rede clássica que não passaram pelo processo de reavaliação. Este fato se deu em decorrência da dificuldade de encontrar seus dados primários. Seguindo a mesma metodologia do projeto das estações astronômicas, os dados primários das bases geodésicas foram armazenados em meio magnético, sendo posteriormente reprocessados e reavaliados através de um sistema computacional. Ao final deste projeto foi elaborado um banco de dados das bases geodésicas.

Após a fase de armazenamento e reavaliação, feita separadamente em cada tipo de observação, foi iniciado o processo de análise das observações quando combinadas em um ajustamento. O objetivo desta fase preliminar, foi a detecção e eliminação de erros grosseiros ainda existentes, verificação na integração das observações e avaliação dos valores estimados para os desvios padrão. Deste modo, a rede clássica foi inicialmente dividida em treze áreas, que foram ajustadas independentemente através do processamento padrão. Os arquivos de entrada GHOST, foram elaborados através de um sistema computacional que integra as informações dos bancos de dados das direções horizontais, estações astronômicas, bases geodésicas e coordenadas geodésicas (oriundas de ajustes anteriores). A maior incidência de problemas encontrados nesta fase, ocorreu devido ao erro de identificação das estações, pertencentes às cadeias que foram reimplantadas ou reocupadas, como é o caso de algumas cadeias da região centro-oeste e sul do país. Posteriormente a esta fase, foram incluídas as observações correspondentes às poligonais. Novamente a rede foi dividida em cinco áreas e ajustadas segundo os critérios anteriores.

5. PROCESSAMENTO E CRÍTICA DAS OBSERVAÇÕES DOPPLER E GPS

Da mesma forma que as observações da rede clássica foram reprocessadas e preparadas para o ajustamento, as observações espaciais oriundas do sistema TRANSIT foram reavaliadas através do reprocessamento das estações DOPPLER.

Durante o período de 1973 a 1991, o IBGE utilizou a técnica de posicionamento geodésico a satélites do sistema TRANSIT, com o objetivo de expansão da rede planimétrica, principalmente em áreas onde os trabalhos da rede clássica eram dificultados. No estabelecimento das estações DOPPLER foram utilizados vários modelos de georeceptores, tais como, MAGNAVOX AN-PRR/14-GEOCEIVER e JMR1 [Godoy et al., 1991]. O método observacional mais empregado na determinação dos pontos, foi o posicionamento isolado. Como os programas inicialmente empregados no processamento não apresentavam elementos necessários para a obtenção de resultados refinados, como por exemplo, modelo matemático adequado e emprego da relaxação orbital, optou-se pelo

reprocessamento das estações DOPPLER através do programa GEODOP V, com o uso de efemérides precisas. Das 1143 estações DOPPLER que compõe o banco de dados, somente 763 obtiveram condições de reprocessamento.

Com a substituição do sistema TRANSIT pelo GPS, foi aberta uma nova era na geodésia a satélites. No IBGE, a pesquisa de novas metodologias de posicionamento e processamento adequados para as estações GPS, se deu através do Projeto GPS.

Empregando-se o software TRIMVEC PLUS, versão D, para o processamento das linhas de base, foram definidas as metodologias mais adequadas segundo os critérios de extensão e período de observação:

- Em longos períodos de observação (24 horas), sugere-se que o processamento seja dividido em 3 períodos de 8 horas, de modo que, as informações de todos satélites rastreados, sejam utilizados no processamento,
- Para linhas de base longas, ou seja, com extensão maior que 100 Km, sugere-se que seja adotada a opção de processamento da tripla diferença de fase, com L1 e L2. Para linhas menores que 100 Km sugere-se que seja adotada a opção de processamento da dupla diferença de fase com L1 e L2 [Pereira, 1993],
- Foram utilizadas somente efemérides operacionais, pois não foram verificadas diferenças consideráveis entre os resultados obtidos por efemérides operacionais e precisas.

6. A NECESSIDADE DE UM NOVO AJUSTAMENTO

Como consequência dos processos de estabelecimento e cálculo das antigas redes geodésicas, os erros sistemáticos foram propagados através de diversos ajustes, acarretando deste modo, distorções na rede como um todo [Caddess, 1991]. Estas distorções ocorreram devido a três principais causas:

- Fraca geometria das redes clássicas,
- Ausência de um modelo geoidal preciso,
- Métodos de ajustamento aplicados.

Com o surgimento de técnicas de levantamento mais precisas tais como DOPPLER e GPS, a comunidade geodésica passou a adota-las no processo de expansão das redes geodésicas. Apesar da sua alta precisão, as redes GPS são frequentemente distorcidas quando integradas a uma antiga rede estabelecida por técnicas convencionais. Vários questionamentos foram feitos no sentido de reavaliar a precisão das coordenadas obtidas pelo antigo ajuste e a metodologia aplicada no processo de densificação das redes. Esta metodologia introduzia distorções nos novos levantamentos, considerados mais precisos, pois os pontos já existentes eram fixados na integração da nova rede.

Verificou-se então, a necessidade de um novo ajustamento de caráter global e integrado às novas observações GPS, visando assim, reduzir ao máximo as inconsistências encontradas na rede.

7. PARÂMETROS AUXILIARES

Na atual configuração da Rede Planimétrica Brasileira, têm-se basicamente quatro tipos de observações referidas a sistemas distintos:

- Observações clássicas, referidas ao sistema astronômico (medidas na tangente do vetor gravidade de cada ponto estação),
- Azimutes astronômicos, referidos aos sistemas de coordenadas astronômicos FK4 e FK5,
- Observações das estações DOPPLER, referidas ao sistema NSWC-9Z2. Este sistema possui sete parâmetros incógnitos, três translações, três rotações e uma escala,
- Observações GPS, referidas ao sistema WGS-84. Para este tipo de observação têm-se quatro parâmetros incógnitos, três rotações e uma escala. As translações são eliminadas pelas observações de diferença de posição.

O emprego de parâmetros auxiliares em um ajustamento combinado, tem como objetivo, permitir que a orientação e a escala oriundas das observações GPS determinem estes mesmos parâmetros da rede clássica. Portanto, em um ajustamento combinado no qual têm-se vários tipos de observações originadas de diferentes sistemas, são determinados como incógnitas, além das correções aplicadas aos valores das coordenadas iniciais, os parâmetros auxiliares. Um exemplo simples de parâmetro auxiliar, é o fator de escala atribuído a um conjunto de distâncias que possuem o mesmo erro de escala. Outro exemplo é o parâmetro de orientação que tem como função, determinar o erro de orientação de um conjunto de azimutes astronômicos [NGS, 1989].

Face as considerações expostas anteriormente, no ajustamento proposto neste trabalho foram determinados três parâmetros de escala para a rede clássica, cada um correspondendo ao instrumento utilizado na determinação das distâncias e um de orientação para os azimutes astronômicos.

8. ETAPAS E RESULTADOS DOS AJUSTAMENTOS

Com a finalidade de se atingir os objetivos propostos, a Rede Planimétrica Brasileira foi submetida a três etapas de processamento: a) Ajustamento simultâneo da rede clássica, b) Ajustamento da Rede GPS Brasileira e c) Ajustamentos combinados da rede

clássica com a Rede GPS Brasileira, sendo a etapa final caracterizada pela determinação dos parâmetros auxiliares no processamento.

(1) Ajustamento Simultâneo da Rede Clássica

Após o cumprimento das etapas preliminares descritas no item 4, a rede foi submetida ao seu primeiro ajustamento simultâneo aplicando-se o método de Helmert Blocking. A estratégia aplicada para a divisão da rede em blocos visa a determinação de um número mínimo de estações de junção, com o objetivo de reduzir o tempo de processamento. Conforme o diagrama e mapa dos anexos 1 e 2, a rede foi dividida em 8 blocos através do programa BLOCK, mantendo-se desta forma a integridade da ligação entre blocos. Cada bloco abrange as seguintes regiões do Brasil:

BLOCOS	ESTADOS
NETAS11	Rio Grande do Sul e Santa Catarina
NETAS12	Paraná e São Paulo
NETAS21	Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás
NETAS22	Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo
NETBN11	Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí, Alagoas, Pernambuco e Paraíba
NETBN12	Bahia, Sergipe e Piauí
NETBN21	Minas Gerais e Bahia
NETBN22	Goiás e Minas Gerais

Neste ajustamento foram feitas as seguintes considerações:

- Elipsóide : UGGI 1967
- Ponto Fixo : Chuá
- Opção de processamento : Helmert Blocking

OBSERVAÇÕES:

- Ondulações geoidais : Mapa Geoidal do Brasil - versão 1992
- Número de direções horizontais : 16885
- Número de azimutes astronômicos : 382
- Número de estações astronômicas(componentes do desvio da vertical) : 370
- Número de bases geodésicas(triangulação) : 256
- Número de bases geodésicas(poligonação) : 1248

Foram ajustados 4759 estações que compõem a rede clássica. A convergência foi alcançada na terceira iteração obtendo-se uma variância à posteriori de 1,456.

(2) Ajustamento Simultâneo da Rede GPS Brasileira

Após a conclusão do processamento das linhas de base dos projetos GPS, os resultados obtidos através dos arquivos de saída TRIMVEC foram convertidos para o formato de entrada GHOST. Participaram deste ajustamento 23 projetos GPS (Anexos 3 e 4). Posteriormente, cada projeto foi então ajustado independentemente e as matrizes variância-covariância foram escaladas segundo a variância à posteriori obtida no ajuste de cada um. Como os elementos da MVC estimados pelos softwares GPS são muito otimistas, este procedimento tem por objetivo torna-la compatível com as outras observações no ajustamento. No término desta etapa, os projetos foram colocados em um único arquivo, formando assim, o arquivo de ajuste da Rede GPS Brasileira. Neste ajustamento foram feitas as seguintes considerações:

- Elipsóide : UGGI 1967
- Ponto fixo : Chuá
- Opção de processamento: padrão

OBSERVAÇÕES:

- Número de linhas de base : 1087

Foram ajustadas 163 estações GPS, sendo 43 coincidentes com estações da rede clássica. A convergência foi alcançada após a terceira iteração, obtendo-se uma variância à posteriori de 1,184.

(3) Ajustamento Combinado da Rede Clássica com a Rede GPS Brasileira.

Em uma fase inicial, foram levantadas as estações GPS coincidentes com as estações da rede clássica e adotada uma única identificação para as referidas estações. Posteriormente, os arquivos da rede clássica e da Rede GPS Brasileira foram integrados e submetidos ao ajuste simultâneo adotando-se as mesmas considerações feitas no processamento da primeira etapa. Este ajuste foi de caráter preliminar, com o objetivo de se verificar alguma inconsistência que ainda pudesse ocorrer na integração das redes. O

ajustamento final é diferenciado do anterior somente pela inclusão dos parâmetros auxiliares de orientação e escala como incógnitas.

OBSERVAÇÕES:

- Ondulações geoidais : Mapa Geoidal do Brasil - versão 1992
- Número de direções horizontais : 16898
- Número de azimutes astronômicos : 382
- Número de estações astronômicas (componentes do desvio da vertical) : 370
- Número de bases geodésicas (triangulação) : 256
- Número de bases geodésicas (poligonação) : 1274
- Número de linhas de base : 1089

Foram ajustadas 4888 estações da Rede Planimétrica Brasileira. A convergência foi alcançada após a terceira iteração, obtendo-se uma variância à posteriori de 1.406.

As três etapas foram processadas em uma workstation HP-720. O tempo de processamento utilizado para processar as três iterações pelo método de Helmert Blocking foi de 2 horas.

As observações DOPPLER não foram utilizadas nos ajustamentos propostos, devido à problemas encontrados na sua integração com a rede clássica.

9. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste item são feitas algumas comparações entre os resultados fornecidos pelo ajustamento da Rede GPS Brasileira e pelo ajustamento combinado. Deste modo, foram escolhidas 5 estações GPS coincidentes com estações da rede clássica.

Verifica-se, através da tabela abaixo, que as diferenças dos resultados obtidos entre o ajustamento da Rede GPS e o ajustamento combinado (com parâmetros auxiliares), são menores quando comparadas com as diferenças dos resultados que não consideram os parâmetros auxiliares. Conclui-se, portanto, que a determinação dos parâmetros auxiliares em um ajustamento combinado permite que as observações GPS forneçam a orientação e escala no ajustamento.

IDENTIFICAÇÃO das ESTAÇÕES	GPS x COMBINADO (sem par. aux.) (metros)	GPS x COMBINADO (com par. aux) (metros)
1500	0.330	0.026
4065	0.259	0.007
9802	0.289	0.011
4053	0.262	0.010
1497	0.294	0.016

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o advento do GPS, surge a era das novas rede geodésicas, estabelecidas com uma rapidez e precisão que supera qualquer técnica utilizada anteriormente nos processos de densificação e conexão de redes a um sistema geocêntrico único.

A diretriz adotada pelo Departamento de Geodésia do IBGE é fornecer um refinamento às coordenadas das estações da rede clássica através da densificação feita por observações GPS e pelo ajustamento global simultâneo da Rede Planimétrica Brasileira. Com os resultados obtidos nos ajustamentos desenvolvidos neste trabalho, foram detectadas as áreas na rede consideradas de fraca rigidez geométrica, que deverão ser melhoradas. Deste modo, já estão sendo planejados vários projetos GPS com este fim.

Prevê-se para meados de 1997, juntamente com a definição do novo datum para América do Sul, através do Projeto (SIRGAS), um novo ajustamento da Rede Planimétrica Brasileira nos mesmos moldes dos ajustamentos realizados na definição do NAD83 e EUREF89. Sendo assim, deverão ser feitas as seguintes considerações :

- Adoção de um modelo geoidal para a América do Sul mais refinado e referido a um sistema geocêntrico,
- Conexão e densificação das redes geodésicas através das metodologias oferecidas pelo GPS,
- Fortalecimento das áreas da rede clássica de fraca geometria,
- Ajustamento combinado referido a um sistema geocêntrico e baseado em todos os tipos de observações referidas à sistema espaciais geocêntricos, como por exemplo: VLBI, GPS, DOPPLER e DORIS.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

- **Blitzkow, D et al** - *Mapa Geoidal do Brasil*, IBGE/EPUSP-PTR, Rio de Janeiro, 1992.
- **Cadess, H. et all** - *Inter Americam Geodetic Integration* - PAIGH, 1991.
- **Costa, S.M.** - *Projeto Pró-Astro*. Dissertação de Mestrado UFPR - Curitiba, Paraná, 1989.
- **Costa, S.M. & Fortes, L.P.S.** - *Ajustamento da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro*, apresentado no XV Congresso Brasileiro de Cartografia, São Paulo, 1991.
- **Costa, S.M. & Fortes L.P.S.** - *Resultados Preliminares do Ajustamento da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro*, Rio de Janeiro, 1993.
- **Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística** - *Especificações e Normas Gerais para levantamentos GPS*, Rio de Janeiro, 1992.
- **Godoy, R.D. et al** - *Reprocessamento de estações DOPPLER*, trabalho apresentado no XV Congresso Brasileiro de Cartografia, São Paulo, 1991.
- **NGS, The North Americam Datum of 1983- A Collection of Papers Describing the Planning and Implementation of Readjustment of North Americam Association for Geodetic Surveying** - monography nº 2.
- **NGS, North American Datum of 1983**, NOAA Professional Paper NOS2, National Geodetic Information Center, NOAA, 1983.
- **Pereira, K.D.** - *Rede GPS Brasileira*, trabalho apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro, 1993.