



# **AJUSTAMENTO DA REDE PLANIMÉTRICA DO SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO**

**SONIA MARIA ALVES COSTA  
LUIZ PAULO SOUTO FORTES  
DEPARTAMENTO DE GEODÉSIA – DGC – IBGE  
Av. Brasil, 15.671 – PARADA DE LUCAS  
Rio de Janeiro – RJ – CEP 21.241  
Brasil**

## **RESUMO**

A implantação da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro pelo IBGE foi iniciada na década de 40 no estado de Santa Catarina, como subsídio na instalação das minas de carvão. Desde então, a rede planimétrica tem sido submetida a diversos ajustes. Na década de 70 foi realizado pelo Inter American Geodetic Survey (IAGS), um ajustamento utilizando-se a metodologia de sub-divisão da rede planimétrica em áreas. O ajustamento ora em pauta visa o refinamento e a eliminação de distorções das coordenadas planimétricas, referidas ao SAD-69, oriundas de outros ajustes. Desta forma, todas as observações terrestres convencionais (distâncias, direções e azimutes) estão sendo preparadas e reprocessadas, antes de serem submetidas ao ajuste. Esta etapa compreende o reprocessamento das bases e azimutes astronômicos, bem como a implantação e crítica, em meios magnéticos, das direções horizontais. Pretende-se, também, utilizar as observações de natureza espacial obtidas do sistema TRANSIT e GPS, estabelecendo portanto, um controle mais rigoroso no ajuste da rede. Este ajustamento da rede planimétrica prevê a utilização do Sistema GHOST (Geodetic adjustment using Helmert blocking Of Space and Terrestrial data), fornecido ao IBGE pelo Departamento de Minas, Energia e Recursos do Canadá. Este sistema é constituído por um conjunto de programas desenvolvidos para ajustar redes geodésicas (tridimensionais), através do método dos mínimos quadrados, tendo como característica principal a decomposição da rede em blocos (Helmert Blocking).

## **ABSTRACT**

The establishment of the Brazilian horizontal network as subsidy in the instalation of the coal mines started in the forties by IBGE, in the state of Santa Catarina. Ever since, the horizontal network has being ajusted for several times. In the seventies an adjustment was done using the method of the sub-division of the horizontal network in areas, by IAGS (Inter American Geodetic Survey). This adjustment we're talking about aims the refinement and the elimination of SAD-69 the horizontal coordinates distortions that we observed in another adjustments. All the terrestrials conventional observations (distances, directions, and azimuths) are being prepared and reprocessed before to be submitted to the adjust. This stage comprise astronomic azimuths and base lines reprocessing besides the establishment and critique, in magnetic ways, of



horizontal directions. We intended, also, to use observations of the spatial nature obtained from TRANSIT and GPS systems, establishing a more rigorous control on the network adjustment. This adjustment of the horizontal network foresees the use of the GHOST system (Geodetic adjustment using Helmert blocking Of space and Terrestrial data), given to IBGE by the Canadian Department of Energy, Mines and Resources. This system is composed by a set of programs developed to adjust geodetic networks (three-dimensional), by least squares method, being the network decomposition in blocks (Helmert Blocking) its principal characteristic.

## 1. INTRODUÇÃO

O estabelecimento da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro na década de 40 foi o passo inicial para o desenvolvimento da Geodésia no Brasil. Desde então, redes de triangulação têm se espalhado em larga escala em quase todo território brasileiro, dando lugar em seguida aos projetos de densificação da rede, e atualmente as técnicas de posicionamento através do rastreamento de satélites.

Atualmente a rede planimétrica é composta por: 3498 vértices de triangulação, 1158 vértices de poligonização, 26 vértices de trilateração (pontos Hiran), 384 pontos de Laplace, 1143 pontos SAT, o que soma seu total de 6209 pontos, cujas coordenadas geodésicas vem sendo determinados até hoje através de diferentes ajustes e em diferentes Sistemas Geodésicos.

A Rede Planimétrica já passou por dois ajustamentos. O primeiro ajuste realizado, foi pelo método das equações de condições (método dos correlatos), adotando-se o Sistema Geodésico de Córrego Alegre como referência. O segundo ajustamento dividiu-se em duas etapas. A primeira etapa foi realizada pelo DMA/IAGS ( Inter American Geodetic Survey), utilizando o método das equações de observação (variação de coordenadas). Neste ajustamento foi adotado como Sistema de referência o SAD-69, e foi o primeiro a se utilizar um sistema computacional chamado HAVOC (Horizontal Adjustment by Variation Of Coordinates). Foi a partir deste ajustamento que se estabeleceu a metodologia de divisão da rede por áreas de ajustamento utilizadas até hoje. Nesta etapa foram ajustadas 10 áreas, divididas pelas regiões nordeste, sudeste e sul do país. A segunda etapa está sendo feita através do programa USHER (Users System for Horizontal Evaluation and Reduction), implantado no Brasil em 1984 pelo IAGS/DMA [Silva & Fortes 1986]. Considerando a carência de meios computacionais que nos permitam processar uma extensa massa de dados, o programa USHER tem sua capacidade de processamento limitada pela disponibilidade de memória do sistema operacional utilizado. Face aos problemas apresentados anteriormente é que estamos implantando um novo sistema computacional chamado GHOST, desenvolvidos para ajustar redes geodésicas tridimensionais fazendo uso do processo de subdivisão da rede conhecido por Helmert Blocking, reduzindo consideravelmente o tempo de processamento e o espaço de memória a ser alocado.

## 2. MODELAGEM MATEMÁTICA

Os métodos clássicos de ajustamento de redes geodésicas fornecem soluções de redes horizontais e verticais separadamente. Entretanto, a precisão dos resultados do ajustamento horizontal depende da precisão das altitudes geométricas. Além disso, o ajustamento de redes horizontais através destes métodos são desenvolvidos na superfície do elipsóide. Esta metodologia

requer o conhecimento das observações (distâncias e direções) reduzidas à superfície matemática antes de serem usadas no ajustamento, acarretando um esforço computacional muito grande, principalmente quando se trabalha com redes continentais como é o caso da brasileira. Face às inconveniências encontradas no método clássico, optou-se pela aplicação da geodésia tridimensional (espacial) na modelagem matemática do ajuste da rede brasileira ora em andamento.

## **2.1. GEODÉSIA TRIDIMENSIONAL**

O modelo tridimensional não pressupõe a redução das observações à superfície do elipsóide utilizando formulações mais simplificadas quando comparadas às dos métodos clássicos, reduz consideravelmente o tempo consumido nos cálculos de azimutes e distâncias geodésicas antes do ajuste. Quando aplicamos o método tridimensional em redes horizontais, as altitudes, latitudes e longitudes astronômicas são consideradas dados fixos e necessários para todos os pontos envolvidos no ajustamento. Na ausência de coordenadas astronômicas de alguns pontos, obtém-se estes valores através de interpolação em mapas de deflexões do desvio da vertical [VINCENTY 1978].

## **2.2. TÉCNICA HELMERT BLOCKING**

A técnica Helmert Blocking é uma ferramenta muito útil no ajustamento de grandes redes geodésicas, pois adota um algoritmo de divisão da rede em vários blocos. Existem muitas maneiras de se resolver a matriz do conjunto de observações, tais como o método de Gauss (iterativo) ou Cholesky (direto). Quando as matrizes tornam-se muito grandes e esparsas, faz-se uso de uma extensão da decomposição de Cholesky, chamada de Decomposição de Helmert Blocking, a qual subdivide grandes sistemas de equações em várias pequenas soluções [WOLF 1978].

Os blocos são separados em níveis, dentro dos quais é feita a identificação das estações comuns aos blocos adjacentes (chamadas de estações de junção) e das estações internas aos blocos. Os parâmetros das estações internas são eliminados no nível de cada bloco individual, através da solução parcial das equações normais. Os parâmetros das estações de junção, reunidas em um nível superior ao dos blocos individuais, são então resolvidos completamente, o que permite, posteriormente, a solução completa das estações internas de cada bloco individual, através do caminho inverso.

Outra grande vantagem desta técnica consiste na possibilidade de classificação dos blocos por tipo de observação, facilitando a análise da influência de cada tipo de observação no processo de ajuste.

## **2.3. SISTEMAS COMPUTACIONAIS**

Devido aos problemas encontrados anteriormente nos programas de ajustamento que utilizam os métodos clássicos (o ajustamento simultâneo de dados relativos a 4000 estações foi interrompido por problemas de funcionamento do computador - um IBM 3081 - após cerca de 60 horas de execução), está sendo implantado um novo sistema computacional, chamado GHOST, fornecido pelo Departamento de Minas, Energia e Recursos do Canadá. Trata-se de um conjunto de programas desenvolvidos para ajustar redes geodésicas através de um modelo matemático de ajustamento baseado nos princípios da geodésia tridimensional descrito em [STEEVES 1983]. Um outro programa, ADJUST, desenvolvido pelo USNGS (United States National Geodetic Survey) segundo a modelagem tridimensional, está sendo adaptado, naquele órgão, para a aplicação da técnica de Helmert Blocking. Após esta adaptação, este software também poderá ser utilizado no projeto.

### **3. ETAPAS DO PROJETO**

As etapas do projeto de Ajustamento da Rede Planimétrica, são as seguintes:

- Implantação do sistema de ajustamento de redes tridimensionais (GHOST) em um microcomputador PC-386;
- Estruturação e montagem dos arquivos de observações em meio magnético;
- Restruturação da rede em blocos com vistas à utilização da técnica de Helmert Blocking;
- Ajustamento simultâneo da rede planimétrica, utilizando informação da rede TRANSIT/GPS;
- Análise dos resultados do ajustamento.

Para que os objetivos do projeto sejam alcançados com eficiência, se faz necessário o tratamento dos dados primários. Baseado nessa premissa é que estão sendo desenvolvidos três projetos de suporte: PROASTRO, CDH, REBASE. Além destes, já foram elaborados versões preliminares do Mapa de Deflexões da Vertical e do Mapa Geoidal, em vistas a fornecer, para cada estação participante do ajuste, coordenadas astronômicas e ondulação geoidal, em atendimento aos requisitos do modelo tridimensional. Estas versões serão refinadas ao longo do desenvolvimento do projeto, garantindo que a informação mais precisa seja utilizada em cada momento.

### **4. PROJETO DE SUPORTE**

A Rede Planimétrica Brasileira é composta basicamente de observações de direções horizontais, distâncias geodésicas e azimutes astronômicos. Deste modo foram montados três projetos de suporte distintos que têm como objetivo o armazenamento em meio magnético, crítica e refinamento de dados para que posteriormente possam ser submetidos ao ajuste.

#### **4.1. PROJETO PRO-ASTRO**

Os pontos de Laplace, determinados a partir da década de 40, são vértices de triangulação nos quais são feitas determinações astronômicas de latitude, longitude e azimute, usadas no controle azimutal da rede planimétrica.

Atualmente, existem cerca de 384 pontos distribuídos homogeneamente por toda a rede. Até poucos anos atrás, o processamento destes pontos era realizado através de cálculos manuais, intercalados por consultas às efemérides e aos catálogos estelares, tornando-se muito lento e passível de erros grosseiros.

O Projeto Pró-Astro foi desenvolvido com o objetivo da automação dos cálculos astronômicos através de um sistema computacional, reprocessando e analisando todos os pontos de Laplace determinados até o momento no controle da orientação da rede planimétrica. O Sistema Pró-Astro é constituído por oito programas, sendo duas versões para cada determinação (em azimute foram utilizados dois métodos): uma no sistema FK4 e outra versão no sistema FK5. No decorrer do Projeto foram questionadas também as influências que podem ocorrer nos resultados dos pontos astronômicos com a adoção do novo sistema astronômico FK5, adotado pela IAU (União Astronômica Internacional), a partir de 1984. Houve então a necessidade de se definir uma metodologia a ser aplicada no reprocessamento das estações Laplace. Através de um trabalho de comparação entre os resultados fornecidos pelos dois sistemas astronômicos, FK4 e FK5, concluímos que as diferenças de resultados eram desprezíveis quando comparados à tolerância especificada para o azimute astronômico (0.3"). Deste modo, todos os pontos estão sendo

calculados no sistema FK5, já que este é um refinamento do seu predecessor, o FK4 [COSTA 1989].

Os resultados obtidos através do reprocessamento de azimutes astronômicos em FK5, até o momento, são: 347 azimutes de alta precisão e 12 de precisão. O Projeto Pró-Astro encontra-se em fase de conclusão, encerrando uma fase importante do Projeto de Ajustamento da Rede Planimétrica.

## **4.2. PROJETO REBASE**

Tendo como principal função o controle de escala nas redes de triangulação, as bases geodésicas sofreram tratamento idêntico ao dispensado às determinações astronômicas, através do projeto REBASE (Reprocessamento de Bases). Este projeto busca reprocessar todos os cálculos manuais através de sistemas automatizados, criticando e analisando seus novos resultados. Na conclusão do Pró-Astro e REBASE, os bancos de dados de bases e astronomia serão atualizados para posterior utilização na formação dos arquivos de entrada do ajustamento.

## **4.3. CDH (Crítica das Direções Horizontais).**

Como a metodologia mais utilizada no estabelecimento da rede planimétrica foi basicamente a triangulação, comprovou-se a necessidade do tratamento automatizado das direções horizontais através do armazenamento destas em meio magnético, crítica e verificação do atendimento às especificações.

## **5. CONCLUSÃO**

Um dos problemas encontrados na rede planimétrica do SGB tem sua origem no processo de ajustamento utilizado ao longo dos anos. Este processo (Piece Meal Adjustment) baseou-se no ajuste por áreas, considerando-se sempre fixas as coordenadas das estações de junção, oriundas de um ajuste anterior, no ajuste de uma nova área. Este procedimento originou a existência de distorções sistemáticas entre resultados de áreas. Face aos problemas encontrados por este processo, aliados ao advento de novas técnicas de posicionamento (GPS), o IBGE está desenvolvendo o projeto de ajuste global simultâneo da rede planimétrica.

No refinamento dos resultados, serão utilizados no processo do ajuste além das observações terrestres convencionais, as de natureza espacial, oriundas do rastreamento de satélites artificiais dos sistemas TRANSIT e GPS. Um dos exemplos da aplicação desta metodologia é o Projeto de Translocação na Amazônia.

Busca-se, também, realizar paralelamente ao ajustamento principal e, a título de pesquisa, um outro ajuste referenciado ao WGS-84.

O prazo estimado para o desenvolvimento do Projeto pressupõe a sua conclusão em julho de 1993.

## **6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

- **Wolf, Helmut** – The Helmert Block Method – Its Origin and Development. Proceedings of the Second International Symposium on Problems Related to the Redefinition of North American Geodetic Network, Arlington, Virginia, USA, April 24 to 28, 1978.

- **Vincenty, T. & Bowring, B.R.** – Application of three – Dimensional Geodesy to Adjustments of Horizontal Networks. Proceedings of the Second International Symposium on Problems Related to the Redefinition of North American Geodetic Network, Arlington, Virginia, USA, April 24 to 28, 1978.
- **Silva, M.V.D.** – O Projeto de Reajustamento da Rede Geodésica Planimétrica Nacional. Trabalho apresentado no XII Congresso Brasileiro de Cartografia, Brasília, 1985.
- **Silva, M.V.D. & Fortes, L.P.S.** – Experiência no Brasil em Ajustamentos de Redes Geodésicas Planimétricas de Grande Dimensões. Trabalho apresentado no Simpósio de Atualização Geodésica, Instituto Panamericano de Geografia e História – IPGH, Mendoza, Argentina, outubro de 1986.
- **Costa, S.M.C.**- Projeto Pro-Astro. Dissertação de Mestrado UFPR – Curitiba, Paraná, 1989.
- **Steeves, R.R. & Junkins** – Accumulation of the Cholesky Square Root in Helmert Blocking. Geodetic Survey Division, Survey and Mapping Branch, Ottawa, 1983.