



Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Situação atual do Ajustamento da Rede Altimétrica de Alta Precisão - RAAP do SGB, utilizando o Sistema GHOST

Workshop

Evolução Tecnológica na Determinação de Altitudes

Renato Rodrigues Pinheiro (renato.rodrigues@ibge.gov.br)

Claudia Cristina Cunha Santos (claudia.santos@ibge.gov.br)

Daniel Goldani (daniel.goldani@ibge.gov.br)

Nívia Régis di Maio Pereira (nivia.maio@ibge.gov.br)

Walter Humberto Subiza Pina (walter.pina@ibge.gov.br)

Rio de Janeiro – RJ, 08 de Novembro de 2007

Sumário

1 Introdução

1.1 Breve Histórico da rede altimétrica do SGB

2 Ajustamento da Rede Altimétrica

2.1 Metodologia

2.2 Preparação dos dados

2.3 Preparação do Ajustamento

2.4 Resultados

3 Conclusões

1 Introdução

O último AAGP da RAAP ocorreu no início da década de 90;

No AAGP, a rede foi dividida em Macro circuitos e ajustados individualmente, em virtude da capacidade limitada de cálculo do programa utilizado;

Em 2005, houve o primeiro ajustamento simultâneo, utilizando o aplicativo Ghost, das Linhas Principais que formam os Macro circuitos;

Em 2006, foram inseridas no ajustamento simultâneo, todas as linhas (Internas e Principais) dos macro circuitos. A divisão da rede para esse ajustamento utilizou o método de Blocos de *Helmert*:

Em 2007, houve a reformatação do arquivo de Entrada e inserção das linhas ajustadas posteriormente ao AAGP e dos Ramais.

1.1 Breve Histórico (1)

- Em 1945, a Seção de Nivelamento (SNI) da Divisão de Cartografia (DC) do IBGE, iniciava os trabalhos de Nivelamento Geométrico;
- EM 1946, foi efetuada a conexão com a Estação Maregráfica de Torres;
- Em 1958, quando a rede contava com mais de 30.000 km de linhas de nivelamento, o *datum* de Torres foi substituído pelo *Datum* de Imbituba, definido pela estação maregráfica instalada na cidade de mesmo nome no Estado de Santa Catarina.
- Em 1993, o IBGE começou a operar a estação maregráfica de Copacabana, transformando-se em uma estação experimental para finalidades geodésicas. Hoje o IBGE opera 5 estações maregráficas (Salvador - BA, Macaé - RJ, Imbituba – SC, Santana – AP e Fortaleza - CE), formando a Rede Maregráfica Permanente para Geodésica - RMPG (figura 1);
- Ajustamentos periódicos com o objetivo de homogeneizar as altitudes da RAAP.



Figura 1

2 Ajustamento da RAAP do SGB

2.1 Metodologia (1)

- ✓ **Ghost (Geodetic adjustment using Helmert blocking Of Space and Terrestrial data) – Método paramétrico de ajustamento por MMQ**
- ✓ *Método de blocos de Helmert: Usado em ajustamentos de grandes redes, foi desenvolvido por Helmert no final do século 19*
- ✓ *A técnica consiste em dividir o ajustamento por MMQ de grande escala, em vários blocos menores, evitando grandes esforços computacionais e de transferência e armazenamento de dados*
- ✓ *Exemplos de Ajustamentos Realizados em Ghost: Rede Geodésica Norte-Americana em 1983 (NAD83), Rede Planimétrica Brasileira (1996 e 2005), Canadá 2005 para todo tipo de rede.*

●2.1 Metodologia (2)

- ✓ *Vantagens: produzir um único jogo de coordenadas para toda a rede, incluindo uma matriz de covariância completa, o que permite recuperar não apenas o desvio-padrão de cada estação mas os erros relativos entre estações.*
- ✓ O processo começa com a divisão da rede numa série de sub-redes ou blocos.
- ✓ Cada bloco de nível superior é dividido em dois sub-blocos de nível inferior, de acordo com as coordenadas de um polígono definido previamente, e assim sucessivamente até chegar no último nível.
- ✓ Os critérios desta divisão podem ser variados, no caso da rede altimétrica do Brasil foi:
 - ✓ divisão hierárquica por macrocircuitos,
 - ✓ quantidade equilibrada de estações em cada bloco,
 - ✓ divisão das estações que compõem a RMPG,
 - ✓ considerações especiais para algumas sub-redes (*Datum Santana*).

2.1 Metodologia (3)

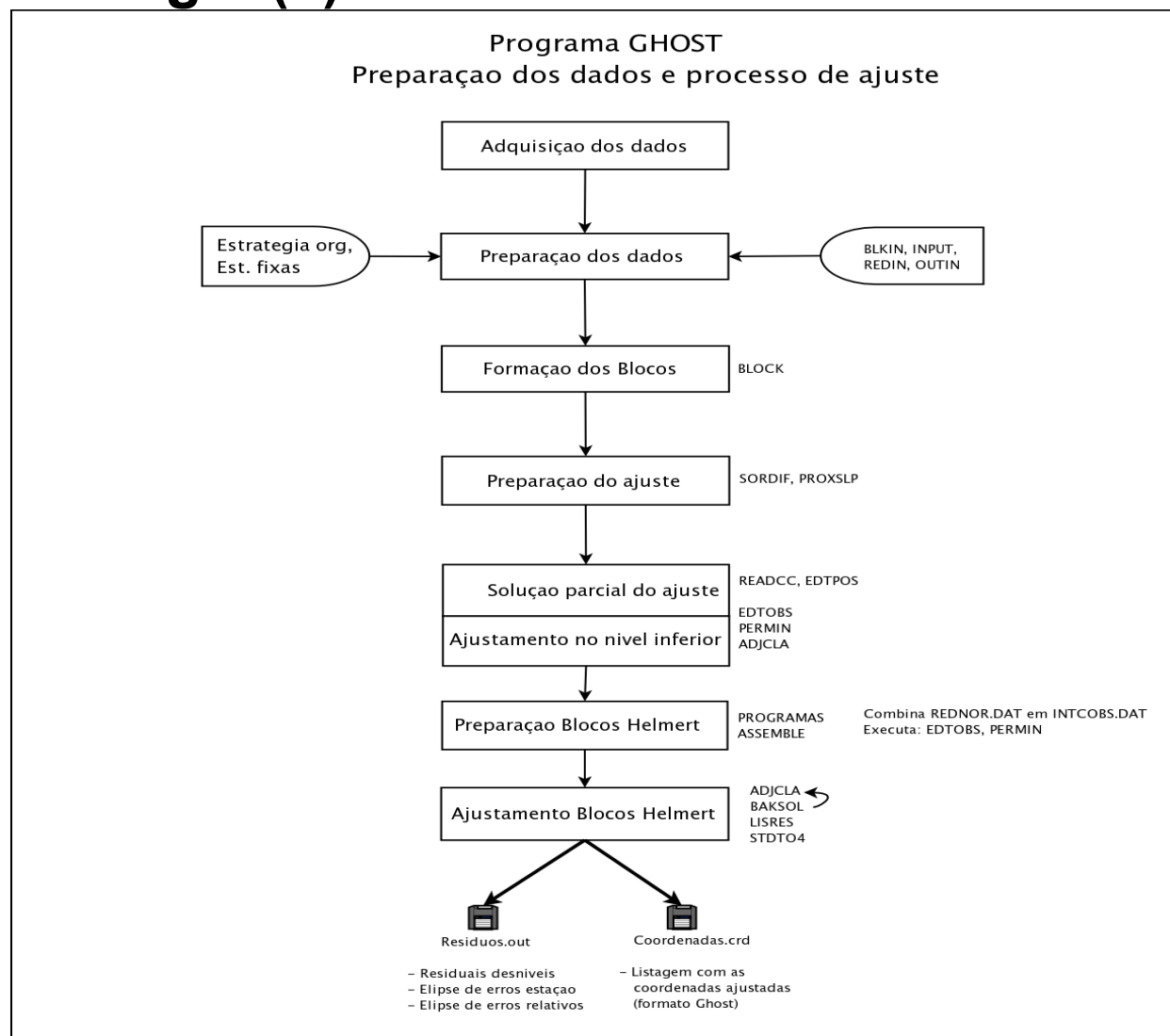


Figura 2

2.2 Preparação dos Dados (1)

Conversão de arquivos para formato de entrada no GHOST.

- O arquivo no formato DAT (Arquivo de Dados Primários de Nivelamento - figura 2) que é composto por: Desnível no Nivelamento e Contra-Nivelamento, Distância entre as estações, leitura a Ré e a Vante, data do levantamento, número da caderneta utilizada no levantamento de campo;
 - Arquivo no formato BDG (figura 3) que contém: a estação e suas respectivas coordenadas (latitude, longitude e altitude).
- Obs: Para os ajustamentos realizados até o ano de 2006, o arquivo utilizado era o AGP e não o DAT. Essa mudança ocorreu devido a necessidade de inserção da data do levantamento para posterior comparação dos desníveis em outras épocas (cálculo de abalo).

2.2 Preparação dos Dados (3)

Formato BDG

BDG DAT.TXT - Bloco de notas

Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
1777 - X *	028510SC058211	224672	B-29	132000493558000
1777 - Z *	028510SC068211	265488	B-29	038000493419000
1778 - A *	028510SC068211	266743	B-285931000493255000	
1778 - B *	028510SC068211	190479	B-285816000493140000	
1778 - C *	028510SC068211	136610	B-285654000493019000	
1778 - D *	028510SC068211	122604	C-2856	70004929 9000
1778 - E *	080110SC068211	100734	C-285613000492947000	
1778 - F *	028510SC068211	42261	C-285515000492931000	
1778 - G *	028530SC068211	15453	C-285433000492859000	
1778 - H *	028510SC068211	132777	C-285353000492828000	
1778 - J *	028510SC068211	167861	C-285311000492754000	
1778 - L *	028510SC068211	196676	C-285215000492710000	
1778 - M *	028510SC068211	136237	C-285126000492630000	
1778 - N *	028510SC068211	298514	C-2851490004926 0000	
1778 - P *	028510SC068211	214812	C-2850	5000492510000
1778 - R *	028510SC068281	108469	C-29	650000493759000
1778 - S *	RS068281	28606	C-291947000494434000	
1778 - T *	RS088281	448691	C-2952	7000503050000
1778 - U *	RS088281	349108	C-295029000503043000	
1778 - V *	RS088211	428953	C-2949480005031 1000	
1778 - X *	RS088211	1047204	C-2949	4000503110000
1778 - Z *	RS088211	936261	C-294853000503059000	
1779 - A *	028510SC068211	199481	C-29	3 3000493716000
1779 - B *	028510SC068211	150637	C-29	444000493743000
1779 - C *	028510SC068211	111177	C-29	626000493814000
1779 - D *	028510SC068211	88331	C-29	724000493953000
1779 - E *	028510SC068211	134390	C-29	753000494144000

Ln 36757, Col 73

Figura 4

2.2 Preparação dos Dados (4)

- Foi construído um programa de conversão dos arquivos (DAT e BDG) num arquivo no formato GHOST (figura 5);
- Este arquivo contém uma lista de estações e alguns códigos específicos para ajustamento de dados altimétricos.

2.2 Preparação dos Dados (5)

Formato GHOST

Sem título - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

C COORDENADAS INICIAIS

C Estacao vinculada ao Datum Imbituba

4 4X S28 14 8.00 w 48 39 26.00 8.6362

C Estacao vinculada ao Datum Santana

4 9329T N 0 3 0.00 w 51 11 0.00 6.2780

C Estacoes nodais da rede principal, quando necessario um ajuste em AAGP, estas

C estacoes devem ser fixadas nos valores aqui incluidos

C 4 1900S S27 28 41.00 w 53 24 8.00 546.3979

C 4 1777X S29 1 32.00 w 49 35 58.00 22.5785

C 4 1719B S24 6 18.00 w 54 14 17.00 271.0700

C 4 2015S S25 4 54.00 w 50 11 26.00 945.9811

C 4 2050Z S26 1 42.00 w 48 51 37.00 43.3257

C 4 9049C S27 42 0.00 w 48 40 0.00 19.6584

C 4 1560B S23 15 58.00 w 55 31 8.00 521.6801

C 4 1578A S23 11 2.00 w 52 12 15.00 566.1636

C 4 1254Z S20 47 6.00 w 51 42 18.00 322.1475

C 4 43X S20 54 23.00 w 48 38 26.00 610.8523

C 4 1206F S19 0 42.00 w 54 49 38.00 468.5104

C 4 724C S16 28 12.00 w 54 39 17.00 221.2942

C 4 735M S15 52 40.00 w 52 18 50.00 349.5300

C 4 1362J S15 33 51.00 w 47 19 7.00 958.1236

10

C 14 20490260 BR-101 - NAZARE - VALENCA - BR-101 B 02

14 270N 3600A 28091994 3.47383 6.481

14 3600A 3600B 30091994 -18.09554 6.007

14 3600B 3600C 07101994 55.61011 4.948

14 3600C 3600D 05111994 29.31890 5.643

14 3600D 3600E 07111994 -0.39387 6.099

14 3600E 3600F 08111994 -61.18440 6.456

14 3600F 3603A 08111994 0.40935 3.464

14 3603A 3603B 09111994 1.55258 3.677

14 3603B 3600G 13111994 -2.83633 3.929

14 3600G 3603C 13111994 -0.63065 3.950

14 3603C 3603D 09111994 -1.53210 3.899

14 3603D 3600H 09111994 -1.80242 4.224

14 3600H 3600J 10111994 -6.93728 6.419

14 3600J 3600L 11111994 -4.79506 6.356

14 3600L 3600M 12111994 -4.30506 6.350

14 3600M 3600N 16111994 -8.51736 6.216

14 3600N 3600P 15111994 -48.91870 6.462

14 3600P 3600R 18111994 -33.60688 6.331

14 3600R 3600S 18111994 -24.65593 5.783

14 3600S 3600T 21111994 3.47430 6.318

14 3600T 3600U 28031995 -4.67959 6.267

Figura 5

2.2 Preparação dos dados (6)

- Cada linha de nivelamento foi submetida previamente ao programa CRITCOOR (Crítica de Coordenadas) para identificação e eliminação de erros em coordenadas e descontinuidade na sequência das estações geodésicas e, também, foi construído um aplicativo para análise do arquivo de dados primários;

Após as análises e correções, os arquivos foram convertidos para o formato de entrada no GHOST, onde o desvio-padrão à priori é de 2,5 mm, uma vez que a variância de peso é uma questão arbitrária e não influi no vetor das incógnitas (Gemael, 1994, 7.6);

2.2 Preparação dos dados (7)

- Após a verificação e análise da existência de erros em cada linha de nivelamento, foi montado um único arquivo contendo todos os dados da Rede;
- Foi realizada também, a correção do não paralelismo das equipotenciais, pela fórmula (Ribeiro, 1989):

$$C_o = - \frac{H_m (C_1 \sen 2\varphi_m + 2C_2 \sen 4\varphi_m) \Delta \varphi}{(1 + C_1 \sen^2 \varphi_m + C_2 \sen^2 2\varphi_m)}$$

H_m = altitude média da seção de nivelamento considerada

φ_m = latitude média da seção

$\Delta \varphi$ = diferença de latitudes entre os extremos da seção

C_1 e C_2 = coeficientes do campo de gravidade normal, sendo os valores:

$$C_1 = 0,0053023655 \text{ e } C_2 = -0,0000059.$$

2.3 Preparação do ajustamento (1)

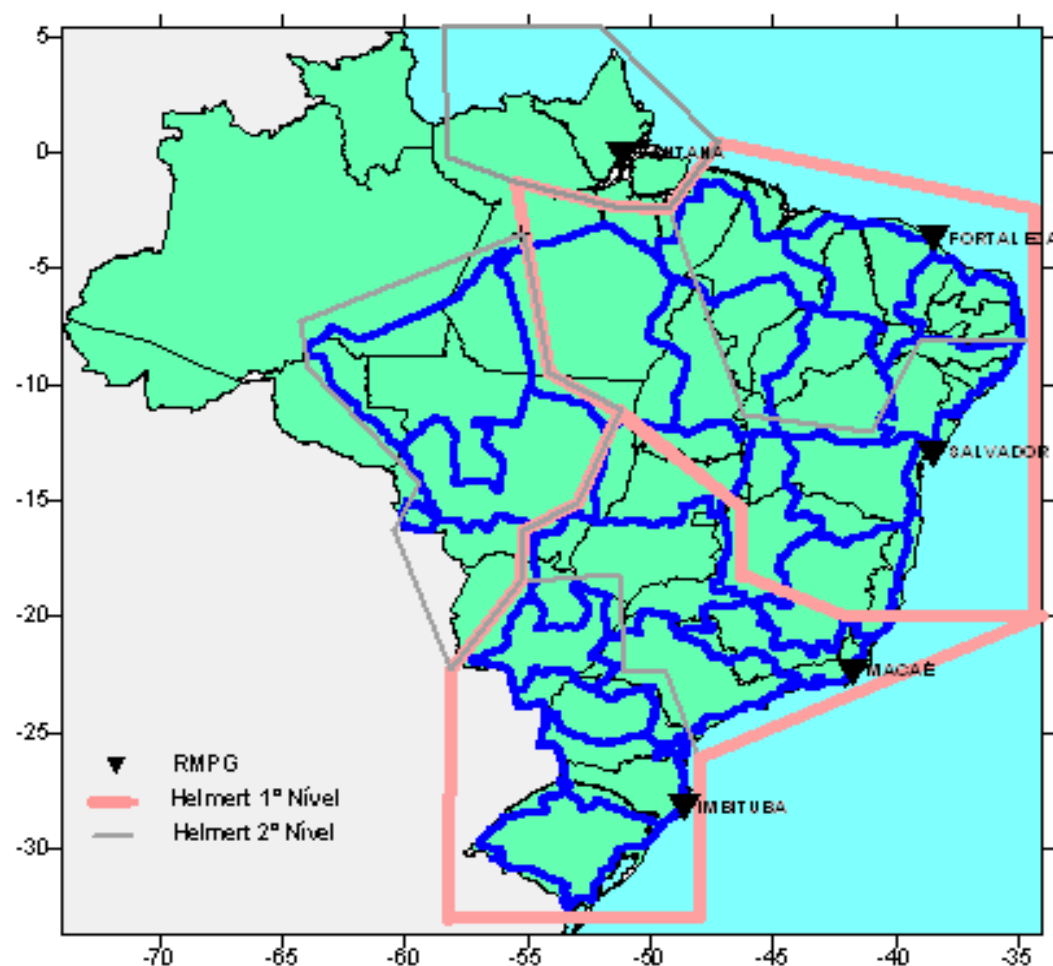


Figura 6

2.3 Preparação do ajustamento (2)

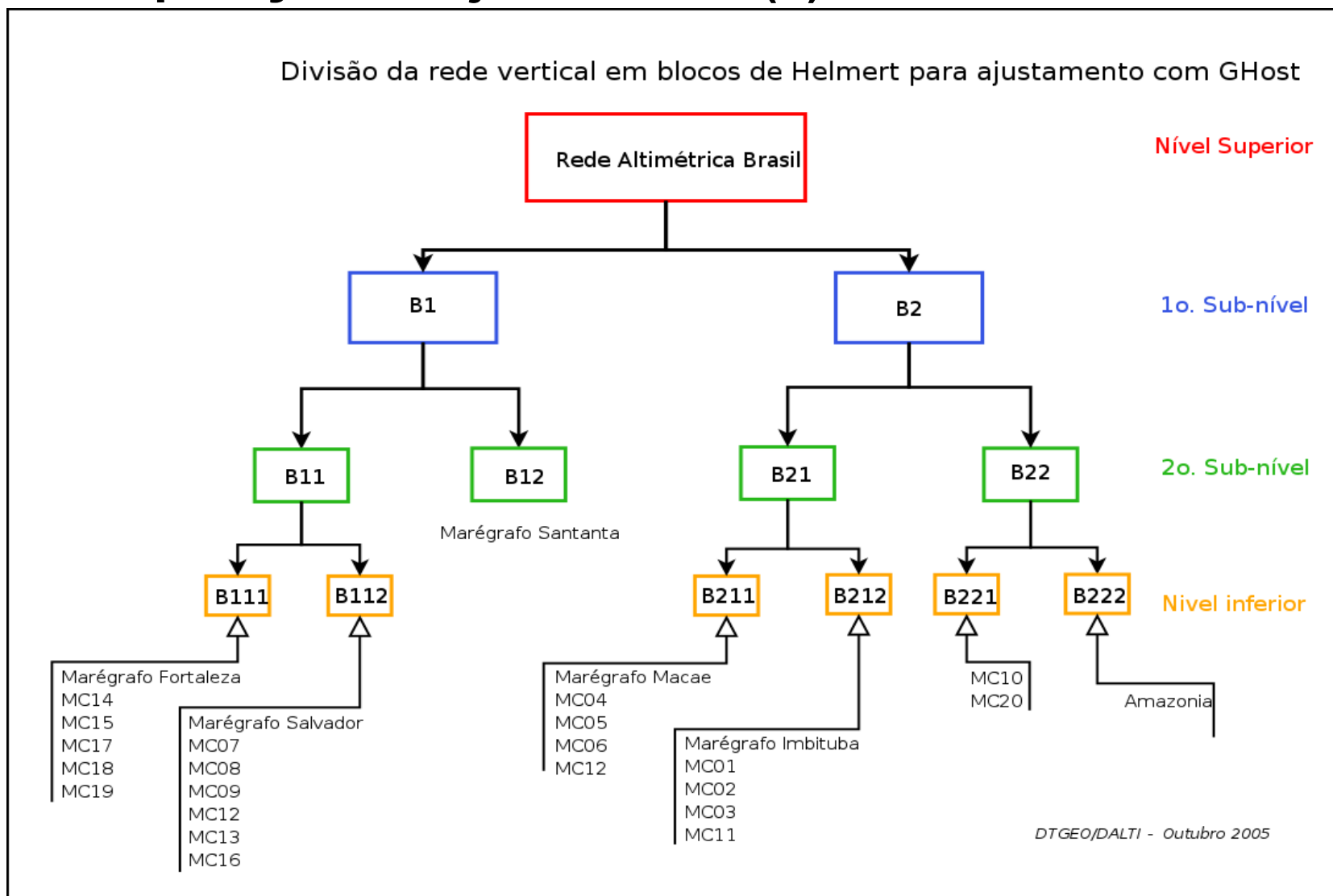


Figura 7

2.3 Preparação do ajustamento (3)

A estatística dos arquivos de entrada é a seguinte:

	Ajuste 2005	Ajuste 2006	Ajuste 2007
Estações ajustadas	14569	36584	42987
Estações fixas	38	1	1
Diferenças de nivelamento	14588	36915	43760
Graus de liberdade do ajuste	58	352	807

O peso das observações foi, em alguns casos, modificado para 3-8 mm \sqrt{k} (MC05)

2.4 Resultados (1)

- O fator de variância calculado no ajustamento foi de 1,407, indicando que a variância do peso inicial foi adequada;
- Também, foi realizada a análise da discrepância da variância *a priori* e *a posteriori* das observações, executando um teste de hipótese baseado na distribuição χ^2 num intervalo de confiança de 95%;
- Nas Figuras 11 a 13, observamos os respectivos desvios-padrão das estações geodésicas que compõem a rede altimétrica nos ajustamentos de 2005, 2006 e 2007.

2.4 Resultados (2)

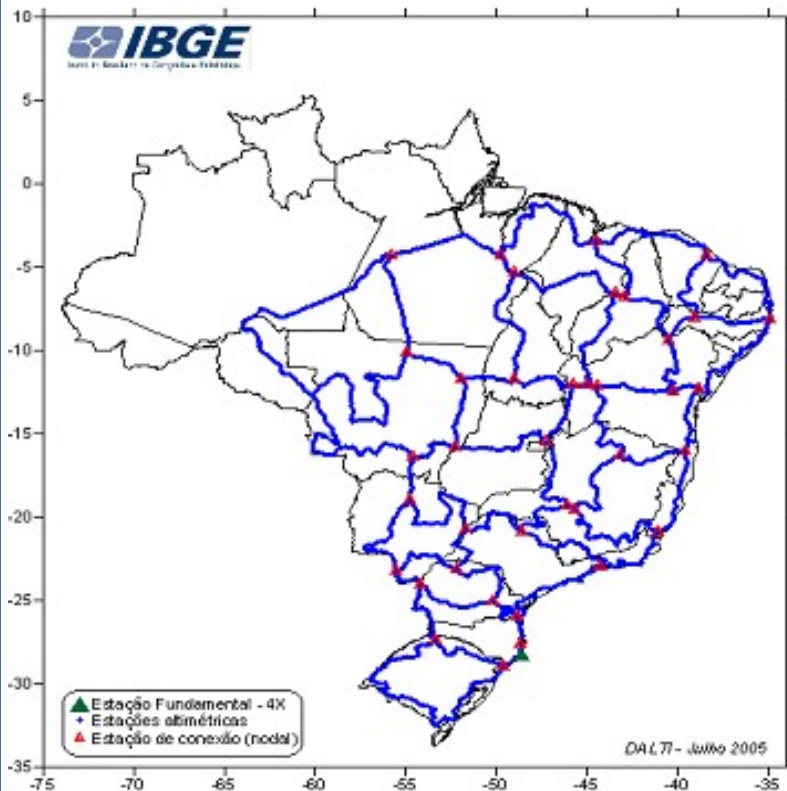


Figura 8 - Macrocircuitos da RAAP
Ajuste Ghost 2005

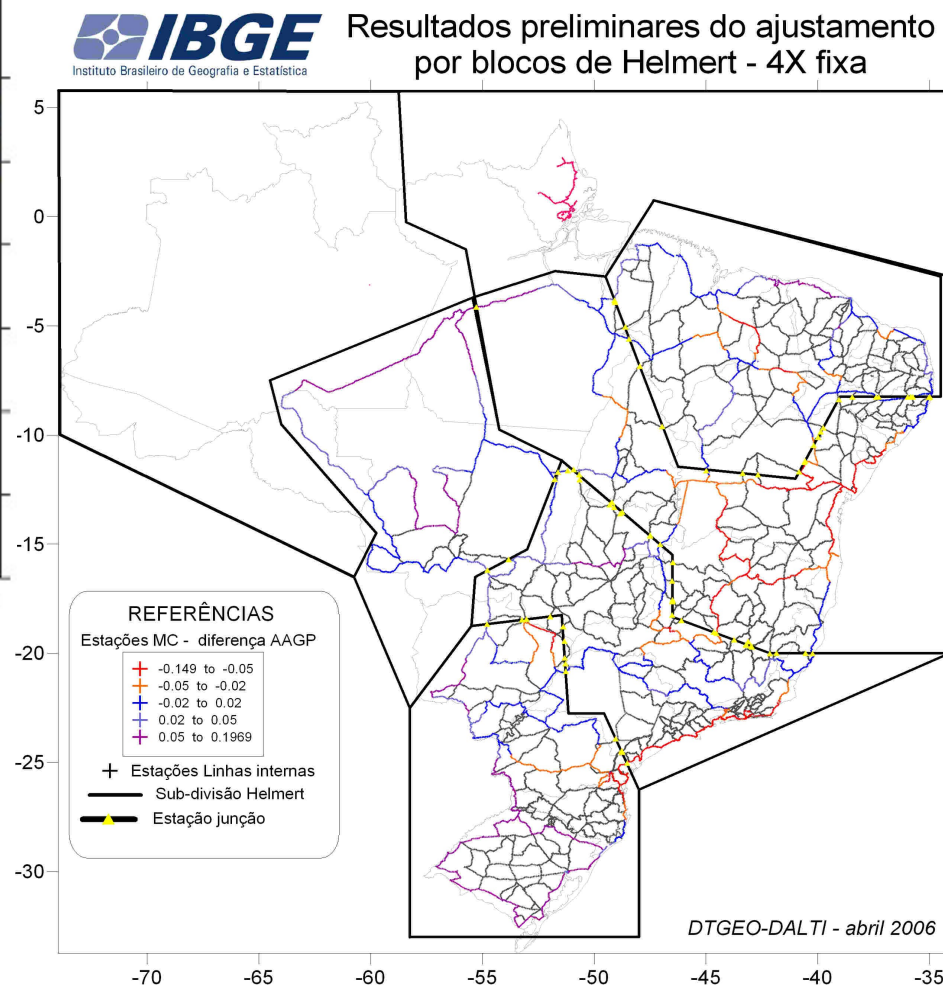


Figura 9 – Linhas do
Ajuste GHost 2006

2.4 Resultados (3)

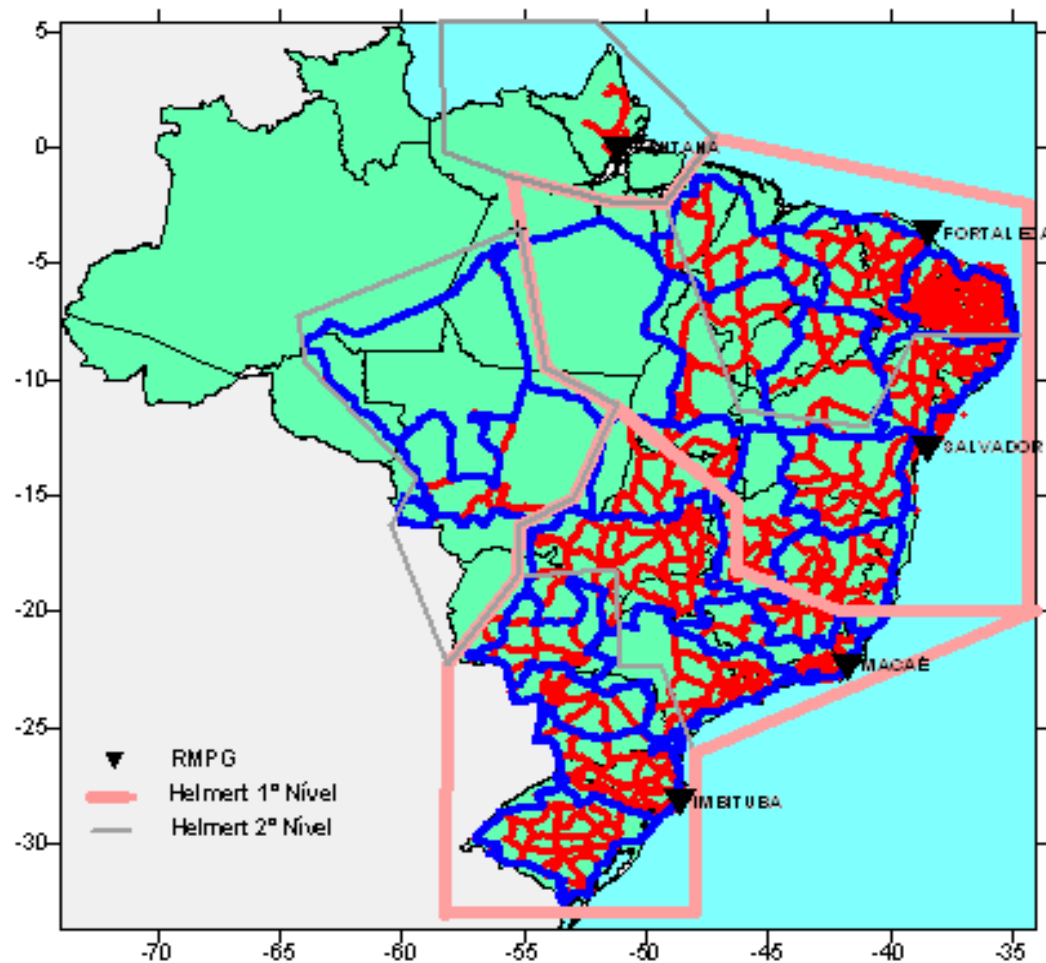


Figura 10 – Linhas do Ajuste GHost 2007

2.4 Resultados (4)

Rede Altimétrica do SGB
Ajustamento de MCs 2005 - GHOST software
Desvio Padrão das estações ajustadas (m)

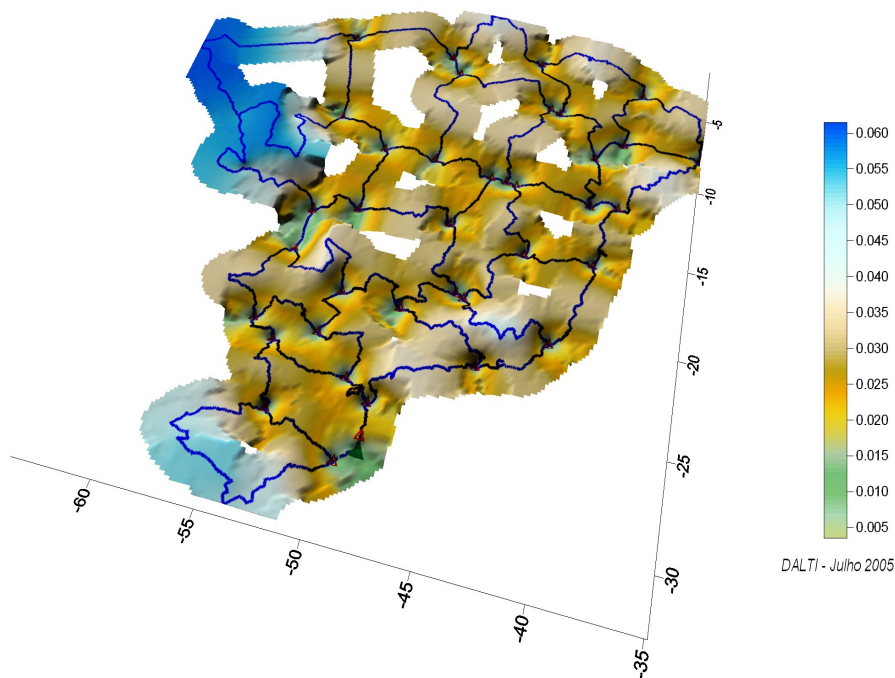


Figura 11 – Ghost 2005

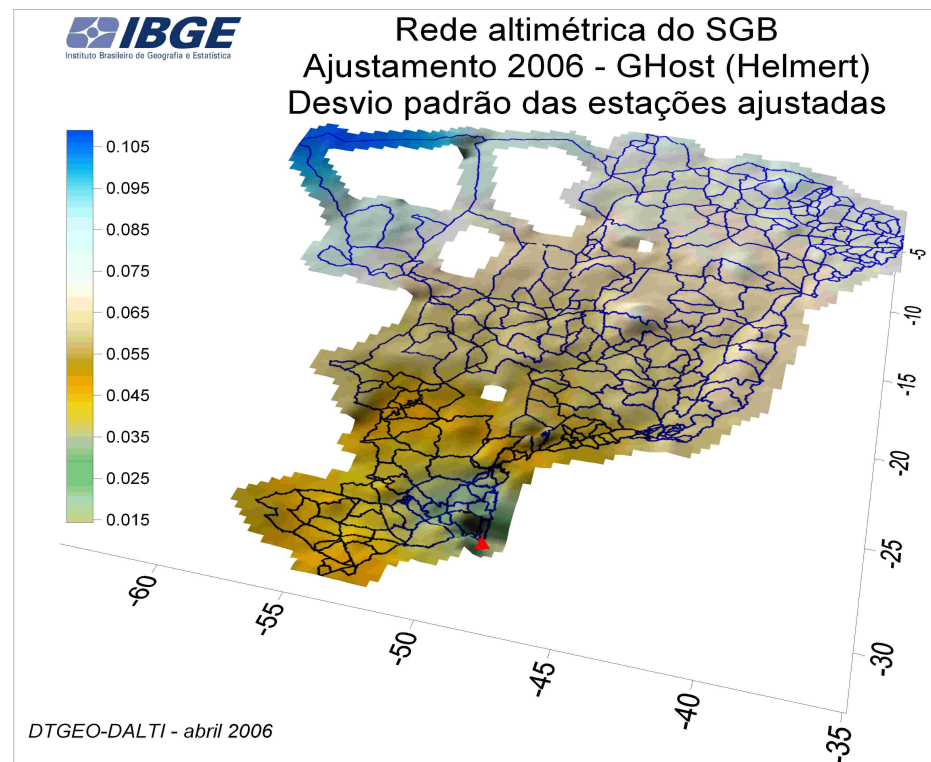


Figura 12 – GHost 2006

2.4 Resultados (5)

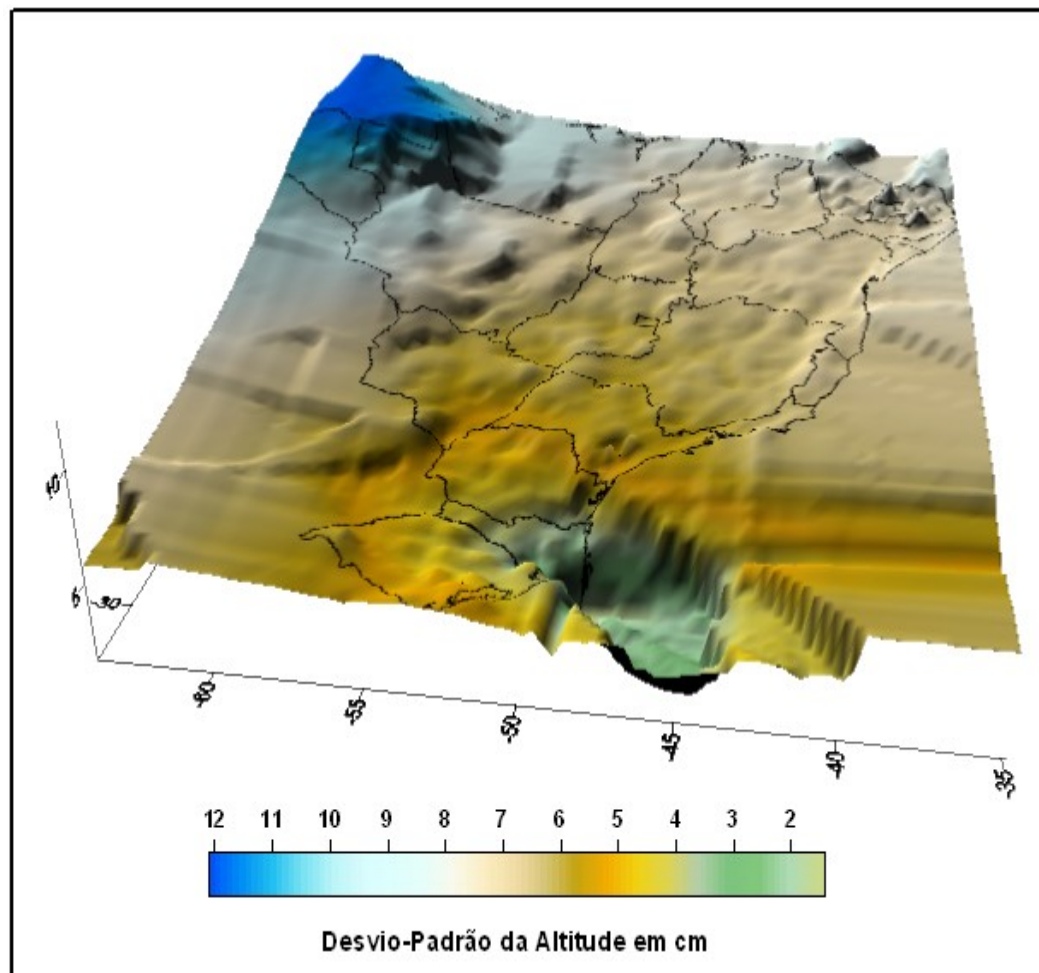


Figura 13 – GHost 2007

2.4 Resultados (6)

- O Ajustamento gerou os dados estatísticos contidos na tabela 1 (desvio-padrão das altitudes ajustadas em cm) e na tabela 2 (resíduos das observações em mm). É feita, nos dois casos, a comparação com o ajustamento 2005 (LP) e 2006 (LP e LI) dos MC.

Estatísticas do DP (cm)	2005	2006	2007
Número de estações	14532	36616	42987
Mínimo	0,025	0,282	0
Máximo	6,994	10,900	12,1
Intervalo	7,019	11,182	12,1
Média	3,150	6,063	6,5
Desvio Padrão média	1,45	1,27	0,8

Tabela 1

Estatísticas residuais (mm)	2005	2006	2007
Número de desníveis	14589	36897	43760
Mínimo	-2,723	-5,860	0,297
Máximo	10,032	6,960	12,985
Intervalo	12,755	12,820	12,688
Média	-0,023	0,014	5,065
Desvio Padrão média	0,272732	0,55	0,307

Tabela 2

2.4 Resultados (7)

A Tabela 1 é representada nos Gráficos 1, 2 e 3.

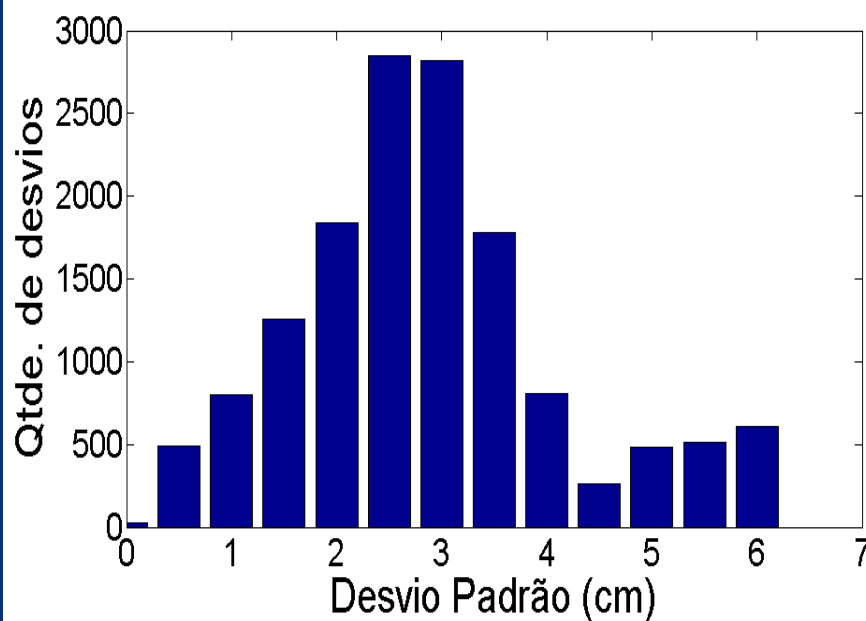


Gráfico 1 – Ghost 2005

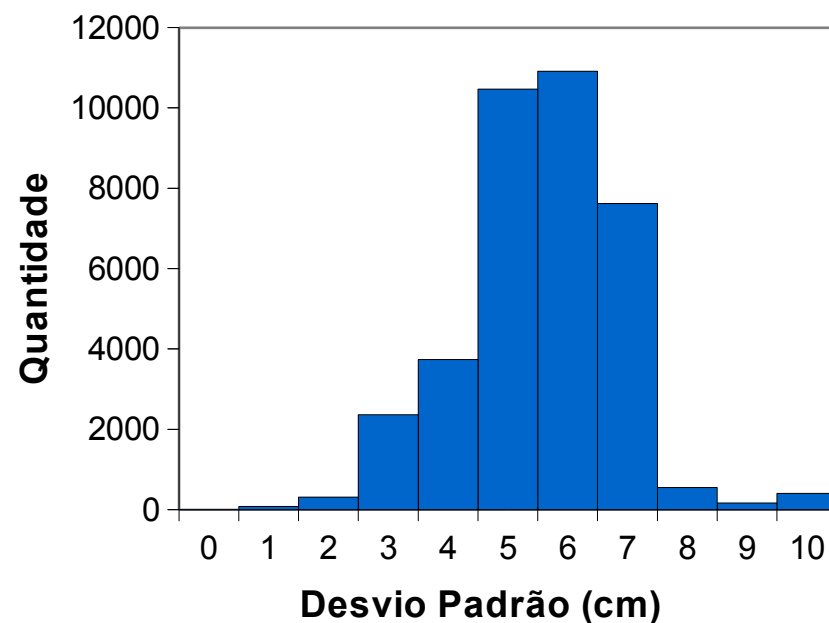


Gráfico 2 – GHost 2006

2.4 Resultados (8)

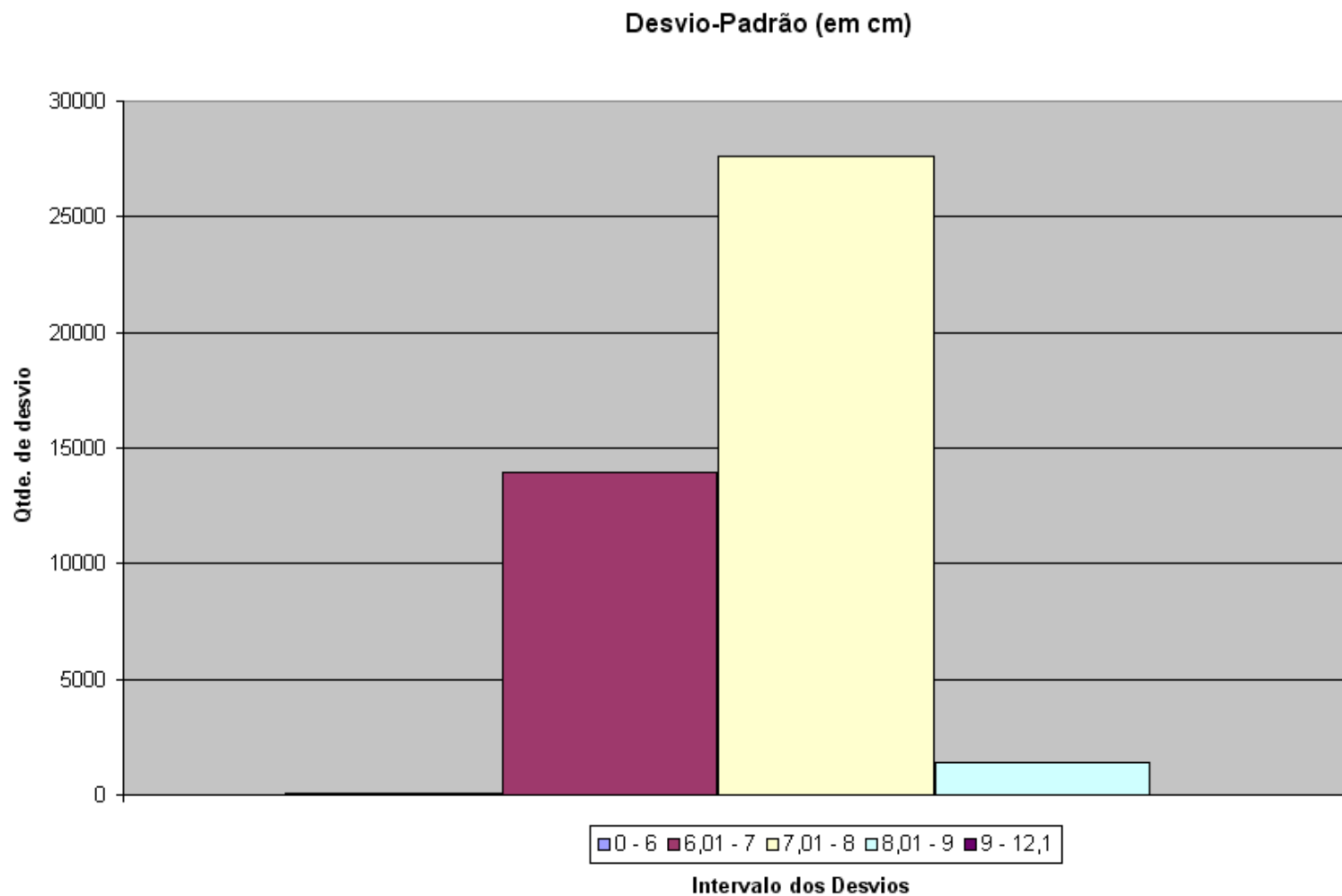


Gráfico 3 – GHost 2007

3 Conclusões

- Pela primeira vez, realizou-se no IBGE um ajustamento simultâneo de toda a Rede Altimétrica de Alta Precisão - RAAP a nível de linhas principais e linhas internas dos macrocircuitos;
- Os resultados finais concordam com os desvios padrão estimados *a priori* de 2,5 mm nos desníveis ajustados e desvios padrão máximo de 12 cm nas altitudes obtidas;
- Utilização futura das estações pertencentes a RMPG para controle e detecção de erros na rede;
- Facilidade em futuros trabalhos que visem o cálculo e ajustamento de números geopotenciais.

**Missão do IBGE : Retratar o Brasil, com informações
necessárias ao conhecimento da sua realidade e ao
exercício da cidadania**

Coordenação de Geodésia - CGED

- informações do BDG
- consultas técnicas
- publicações
- cooperação técnico-científica

Banco de Dados Geodésicos:

**<http://www.ibge.gov.br/> GEOCIÊNCIAS -> GEODÉSIA
BANCO DE DADOS do item SGB**

geodesia@ibge.gov.br

tel 21-2142-4986

fax 21-2142-4859