



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.rodriques@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)

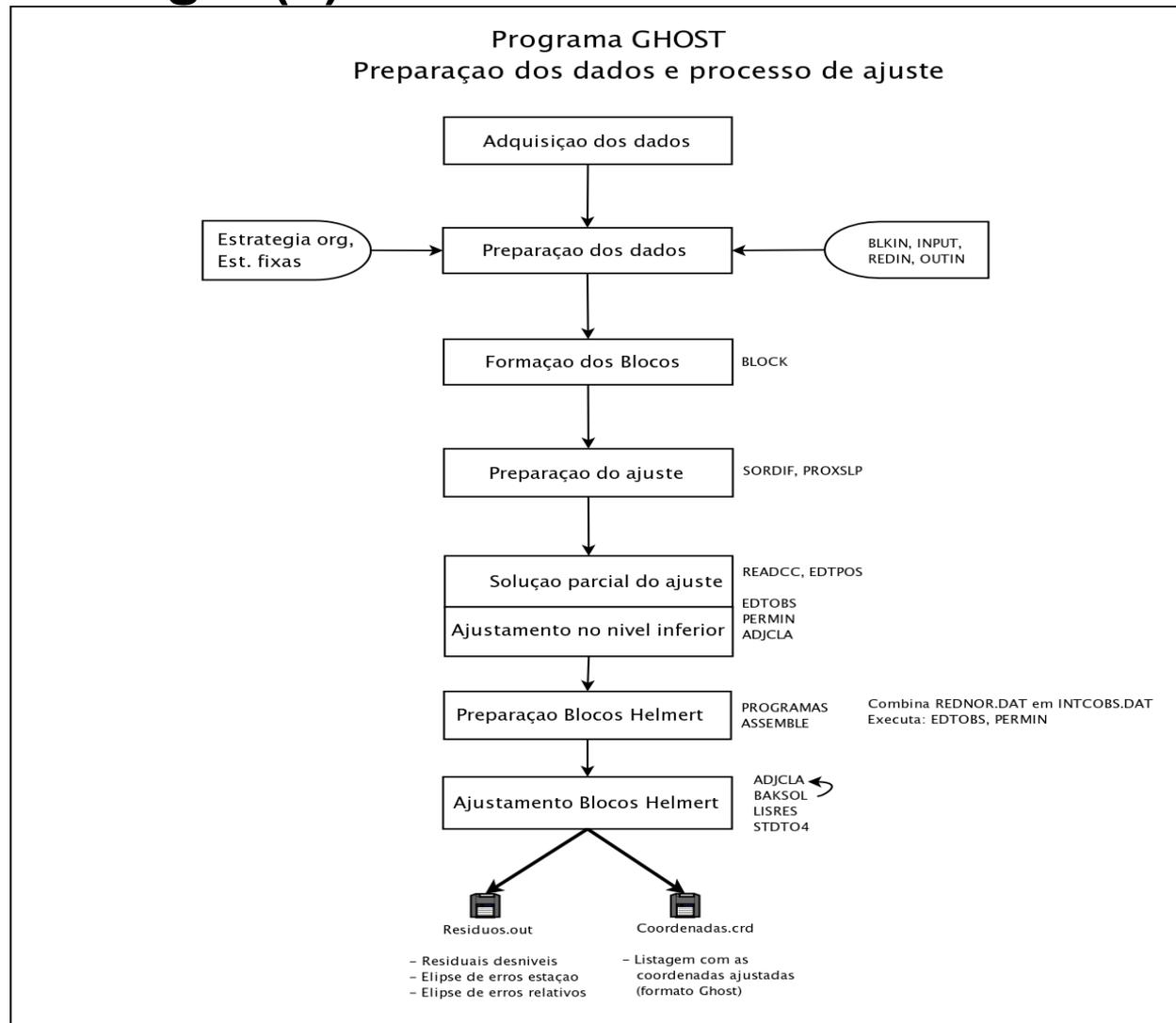


Figura 2

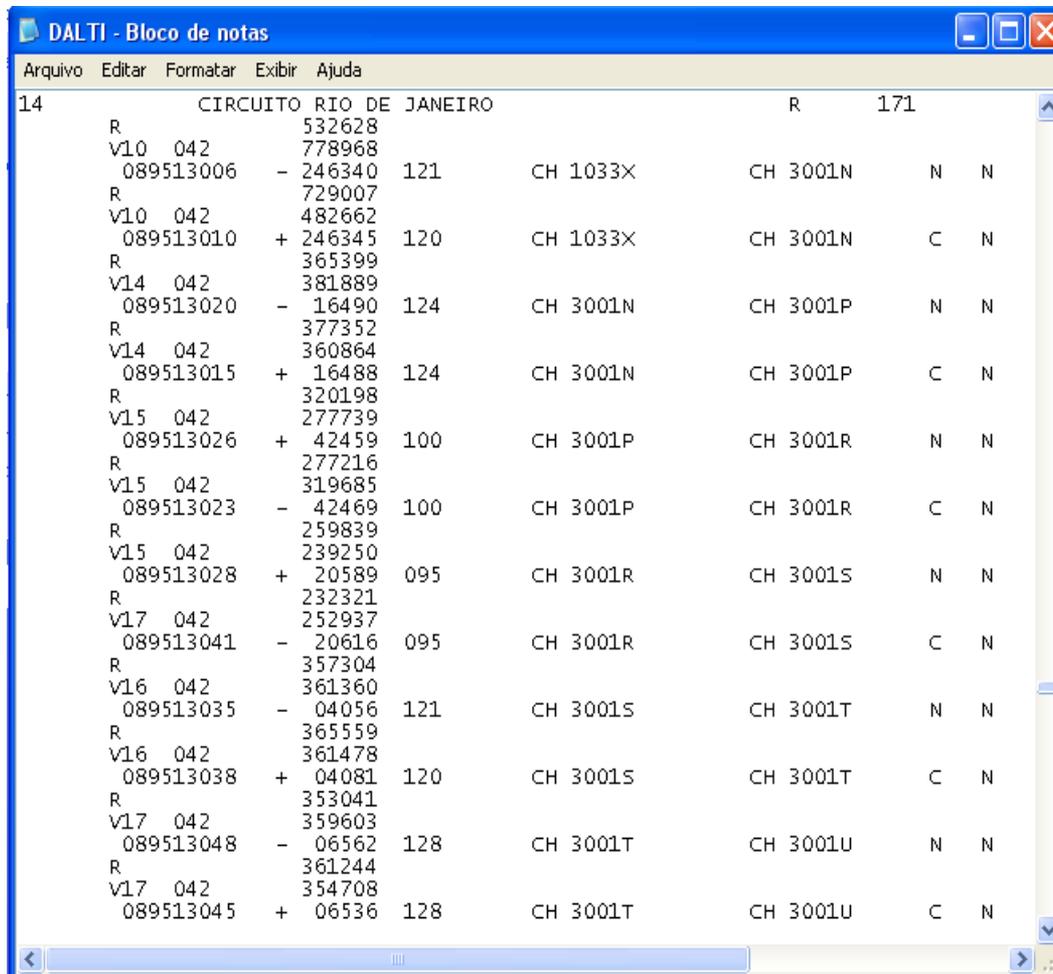
2.2 Preparação dos Dados (1)

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 (2)

Formato DAT (Dados Primários)

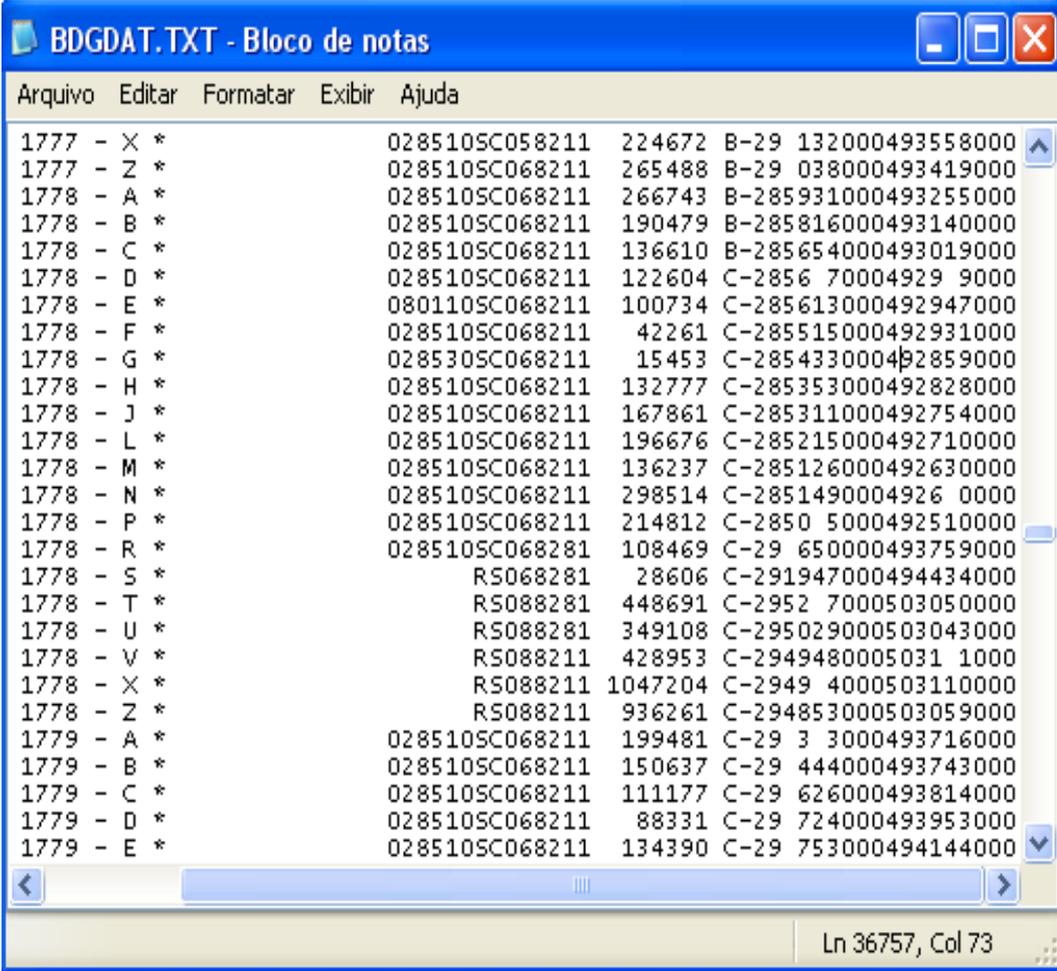


Line	Phase	Value	Circuit	Channel	Col 6	Col 7
14					R	171
	R	532628				
	V10 042	778968				
	089513006	- 246340	121	CH 1033X	CH 3001N	N N
	R	729007				
	V10 042	482662				
	089513010	+ 246345	120	CH 1033X	CH 3001N	C N
	R	365399				
	V14 042	381889				
	089513020	- 16490	124	CH 3001N	CH 3001P	N N
	R	377352				
	V14 042	360864				
	089513015	+ 16488	124	CH 3001N	CH 3001P	C N
	R	320198				
	V15 042	277739				
	089513026	+ 42459	100	CH 3001P	CH 3001R	N N
	R	277216				
	V15 042	319685				
	089513023	- 42469	100	CH 3001P	CH 3001R	C N
	R	259839				
	V15 042	239250				
	089513028	+ 20589	095	CH 3001R	CH 3001S	N N
	R	232321				
	V17 042	252937				
	089513041	- 20616	095	CH 3001R	CH 3001S	C N
	R	357304				
	V16 042	361360				
	089513035	- 04056	121	CH 3001S	CH 3001T	N N
	R	365559				
	V16 042	361478				
	089513038	+ 04081	120	CH 3001S	CH 3001T	C N
	R	353041				
	V17 042	359603				
	089513048	- 06562	128	CH 3001T	CH 3001U	N N
	R	361244				
	V17 042	354708				
	089513045	+ 06536	128	CH 3001T	CH 3001U	C N

Figura 3

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 seqüência 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):

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

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)

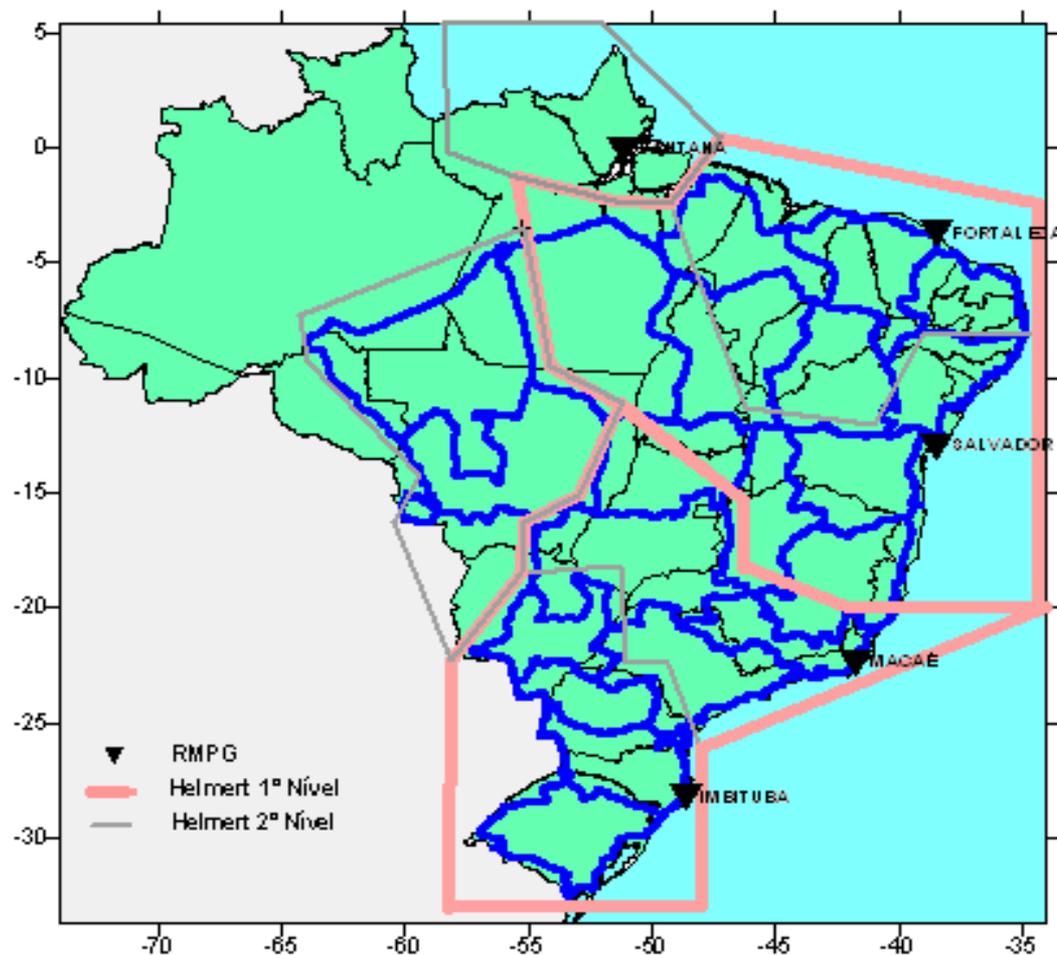


Figura 6

2.3 Preparação do ajustamento (2)

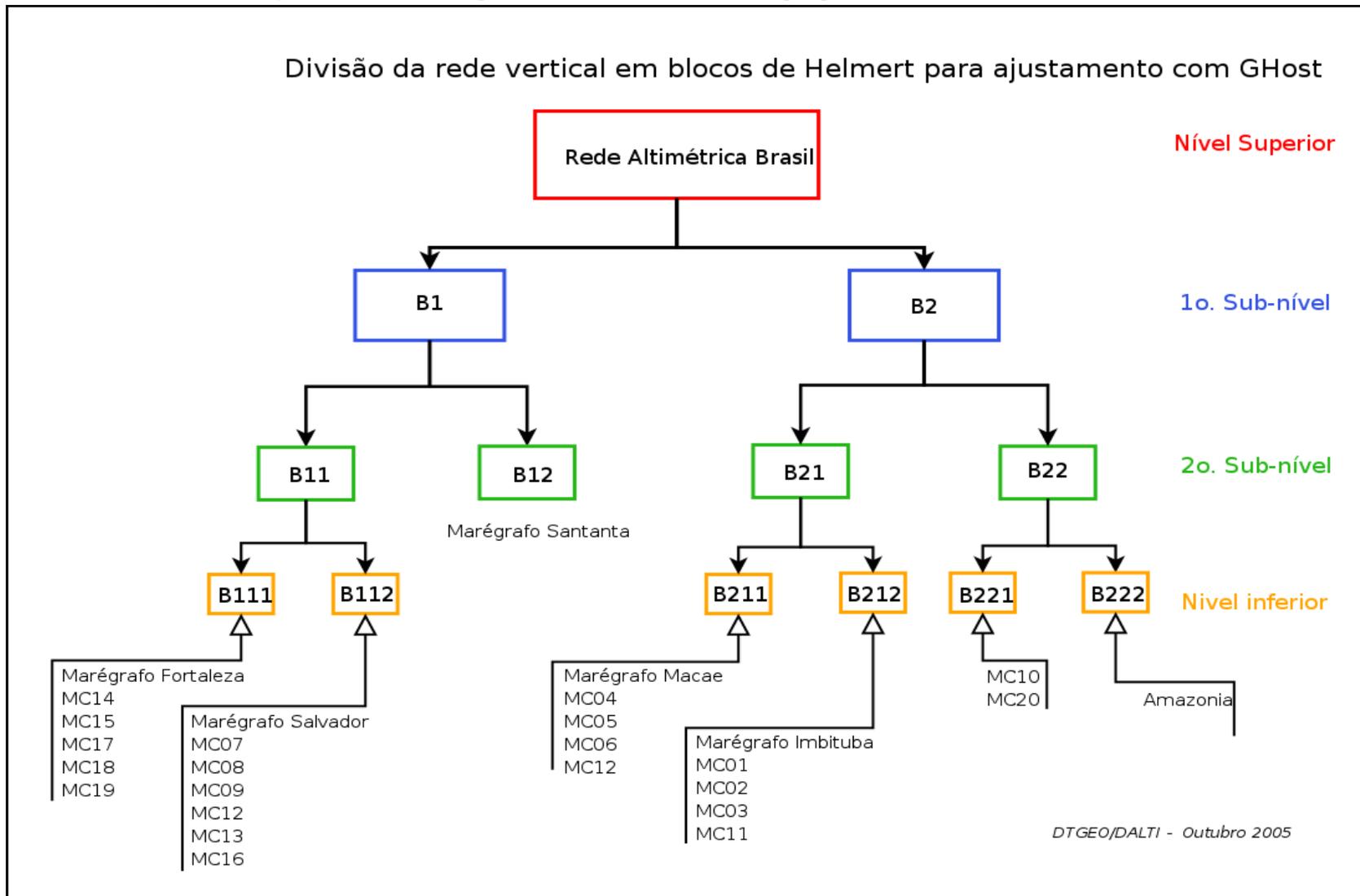


Figura 7

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)

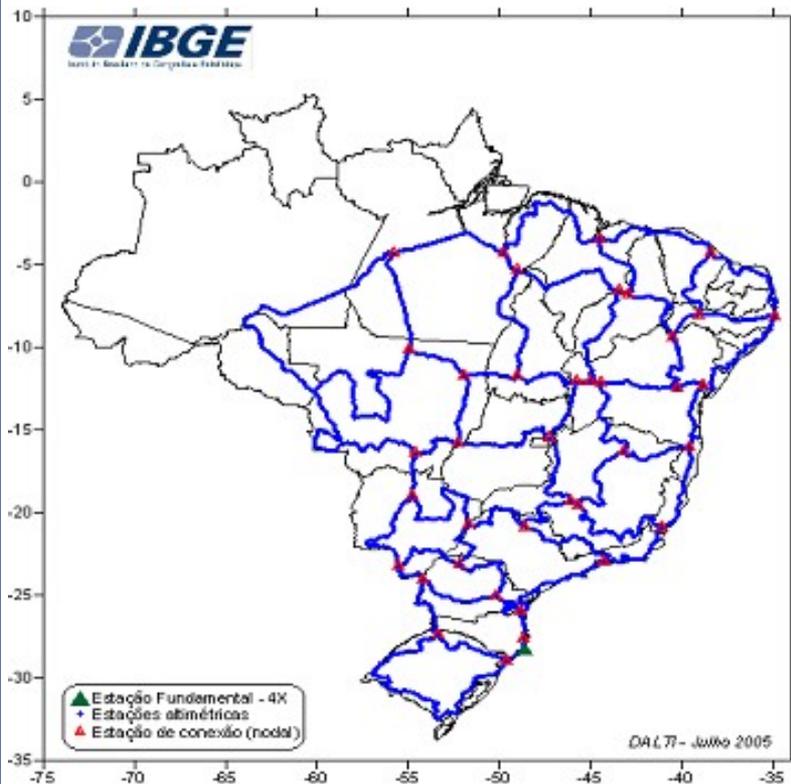


Figura 8 - Macrocircuitos da RAAP
Ajuste Ghost 2005

IBGE Resultados preliminares do ajustamento
por blocos de Helmert - 4X fixa
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

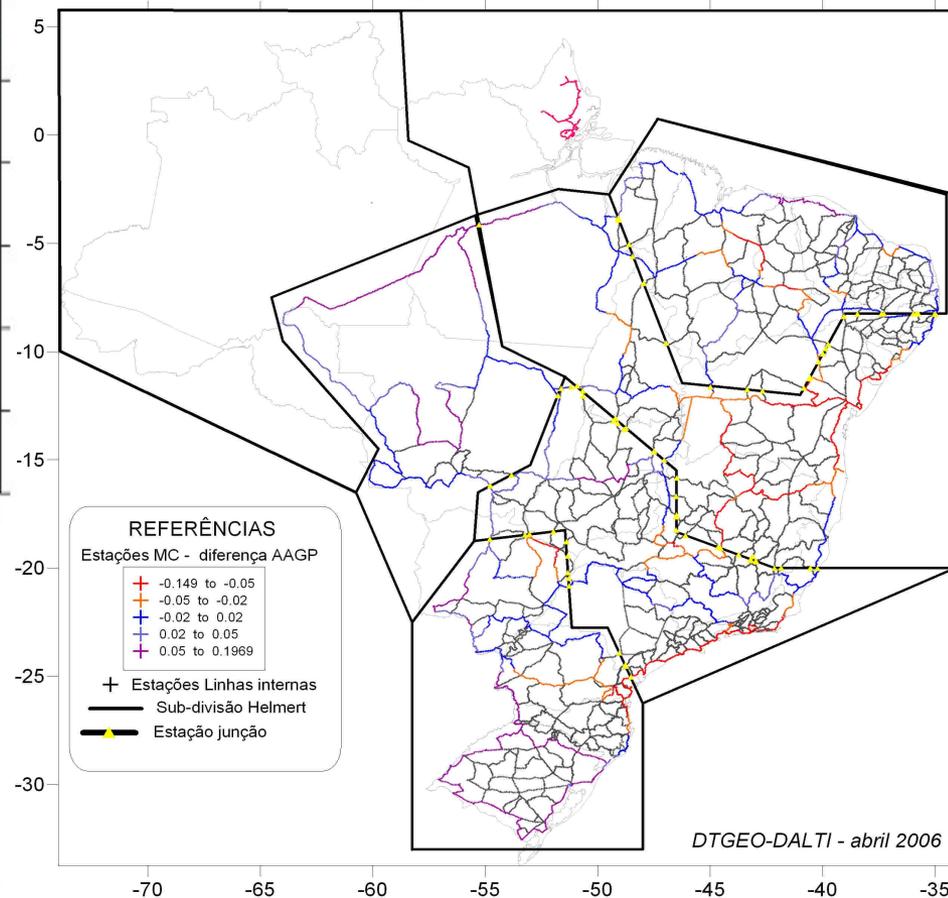


Figura 9 – Linhas do
Ajuste GHost 2006

2.4 Resultados (3)

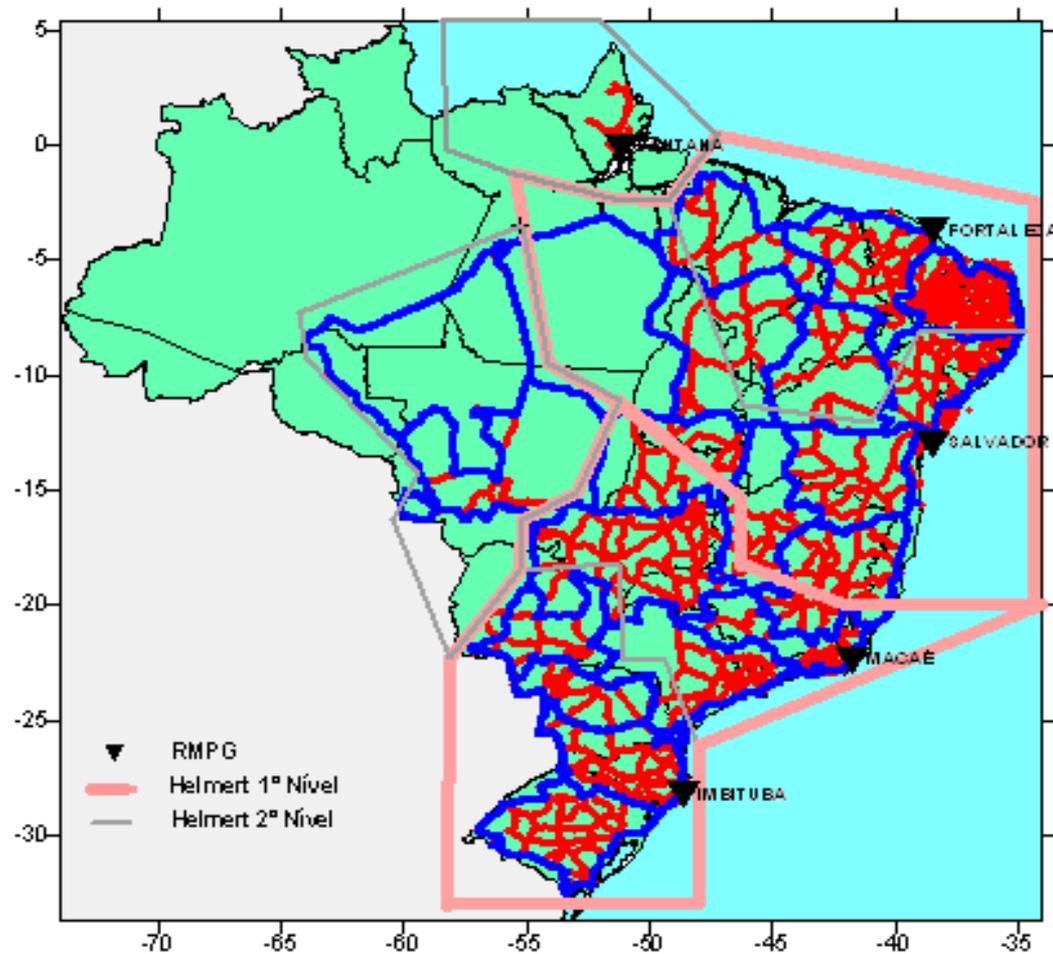


Figura 10 – Linhas do Ajuste GHost 2007

2.4 Resultados (4)

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

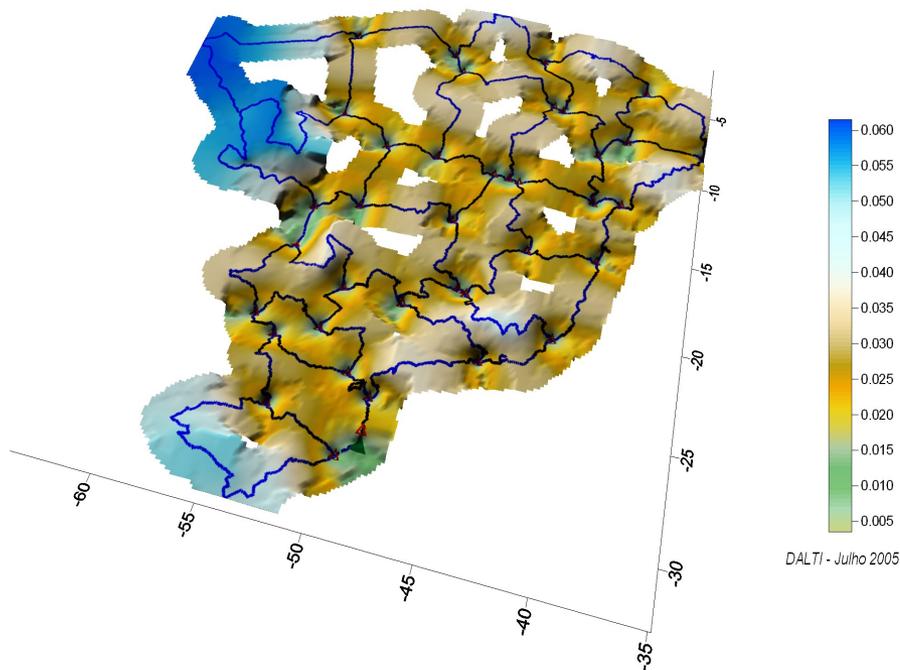


Figura 11 – Ghost 2005

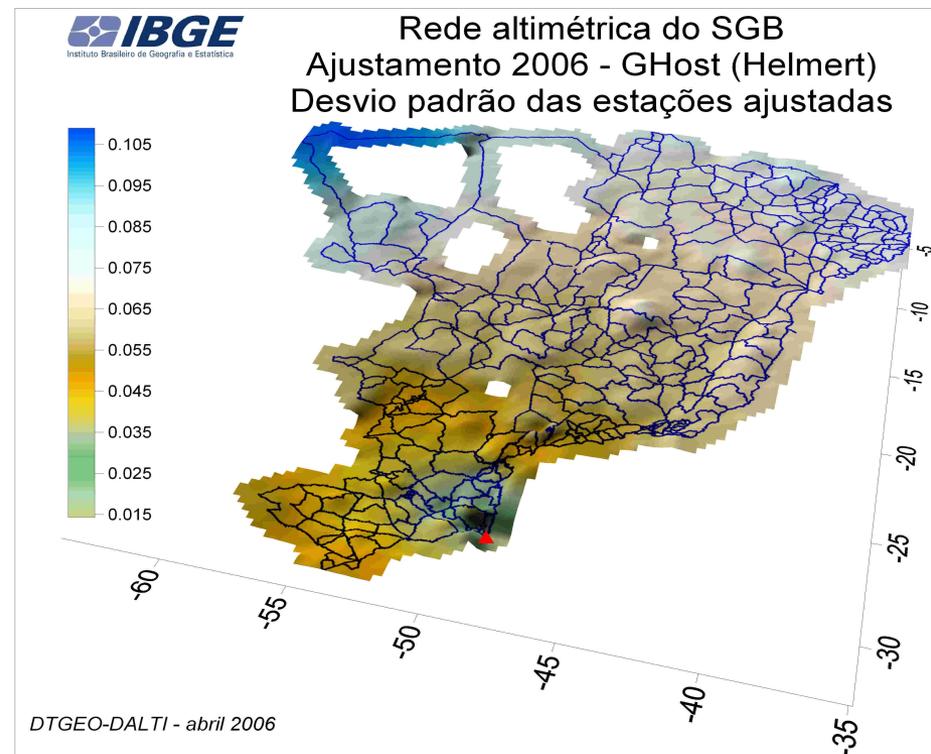


Figura 12 – GHost 2006

2.4 Resultados (5)

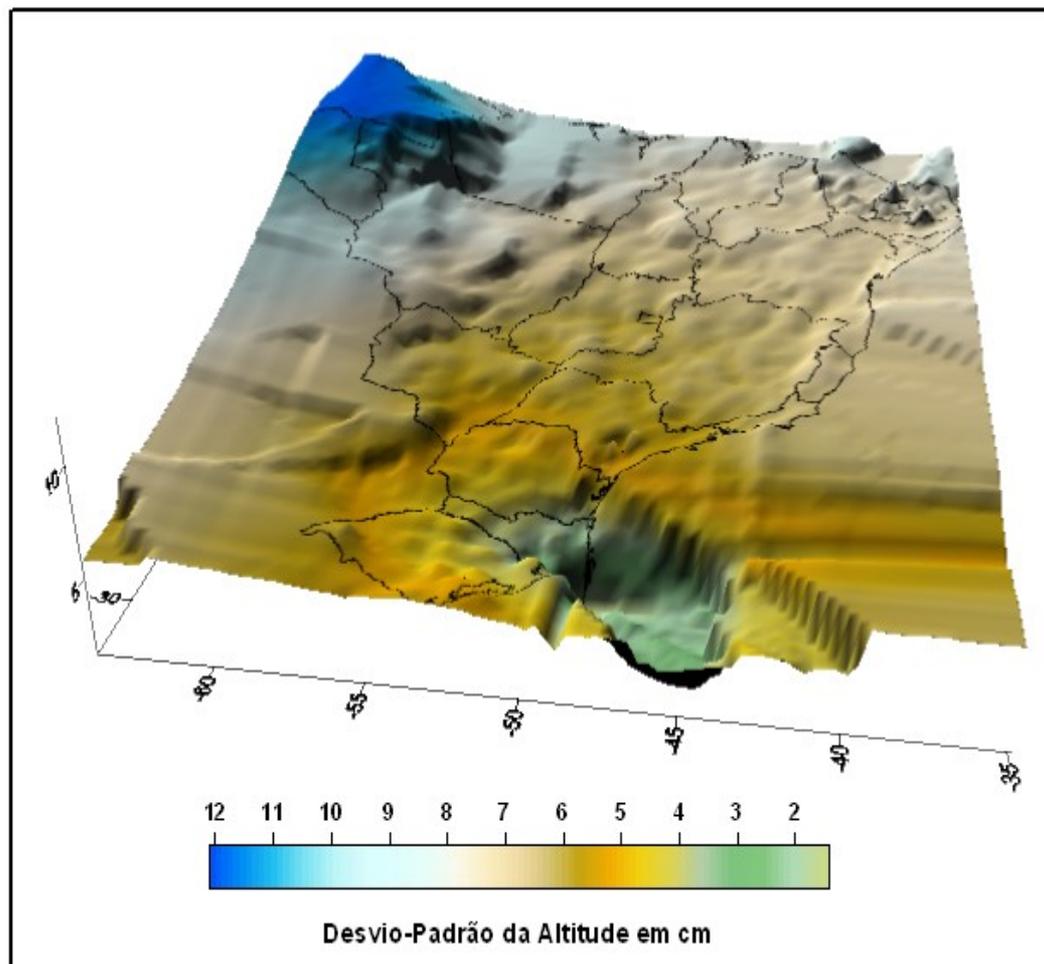


Figura 13 – GHost 2007

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.

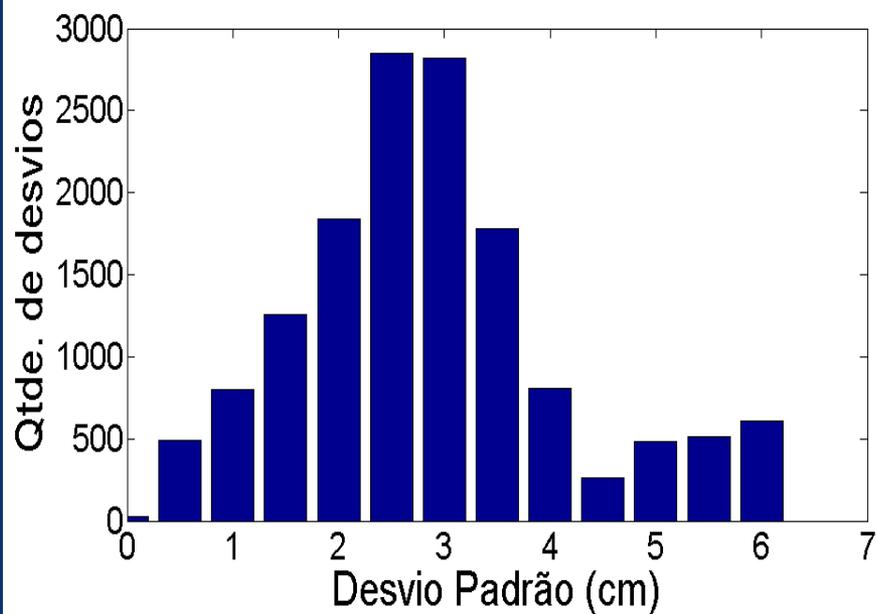


Gráfico 1 – Ghost 2005

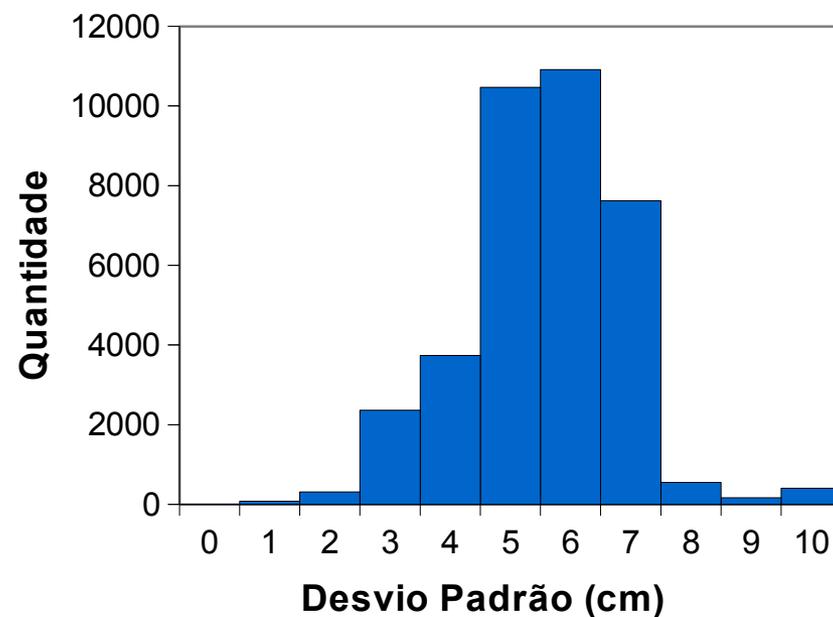


Gráfico 2 – GHost 2006

2.4 Resultados (8)

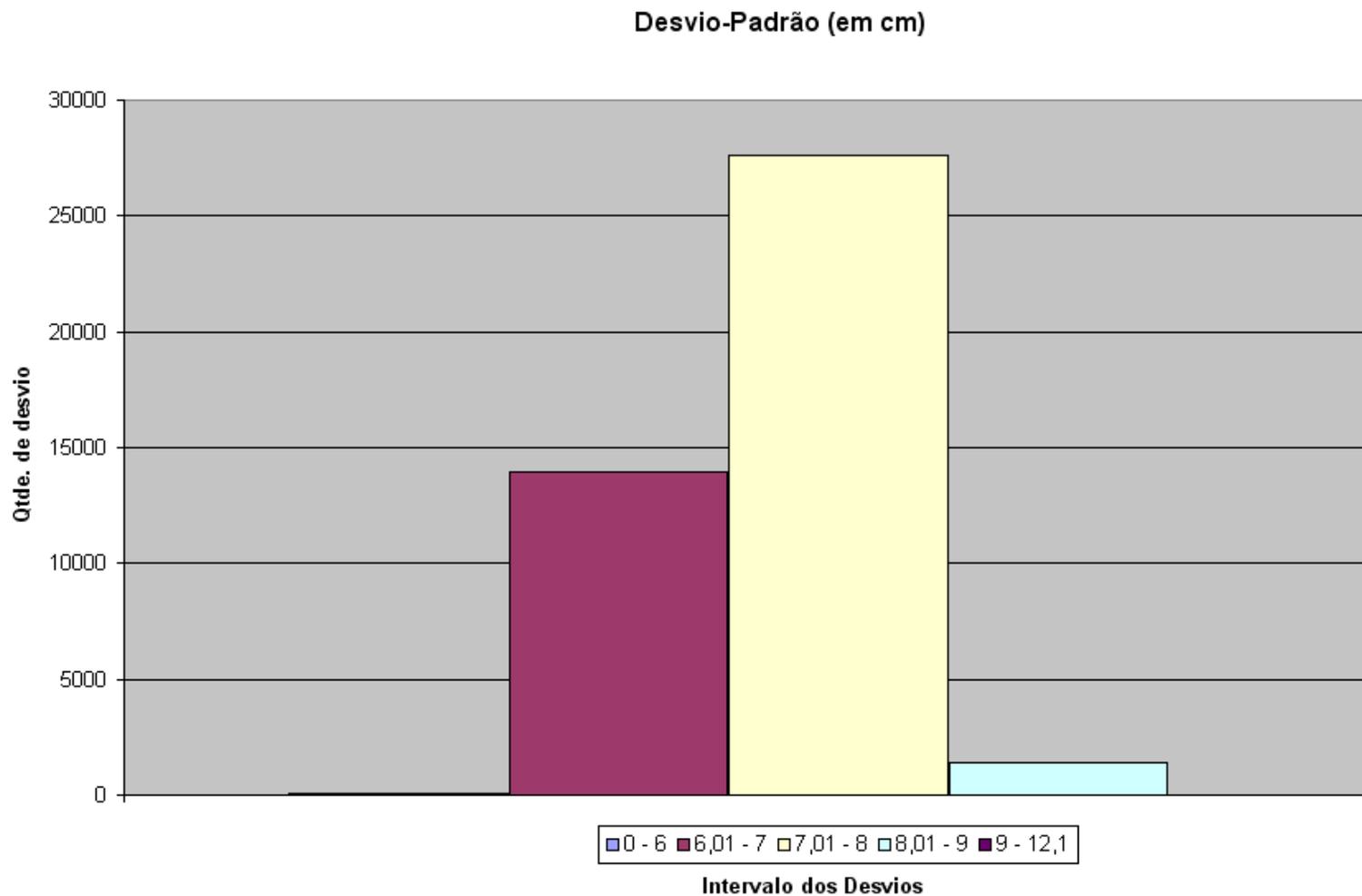


Gráfico 3 – GHost 2007

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