



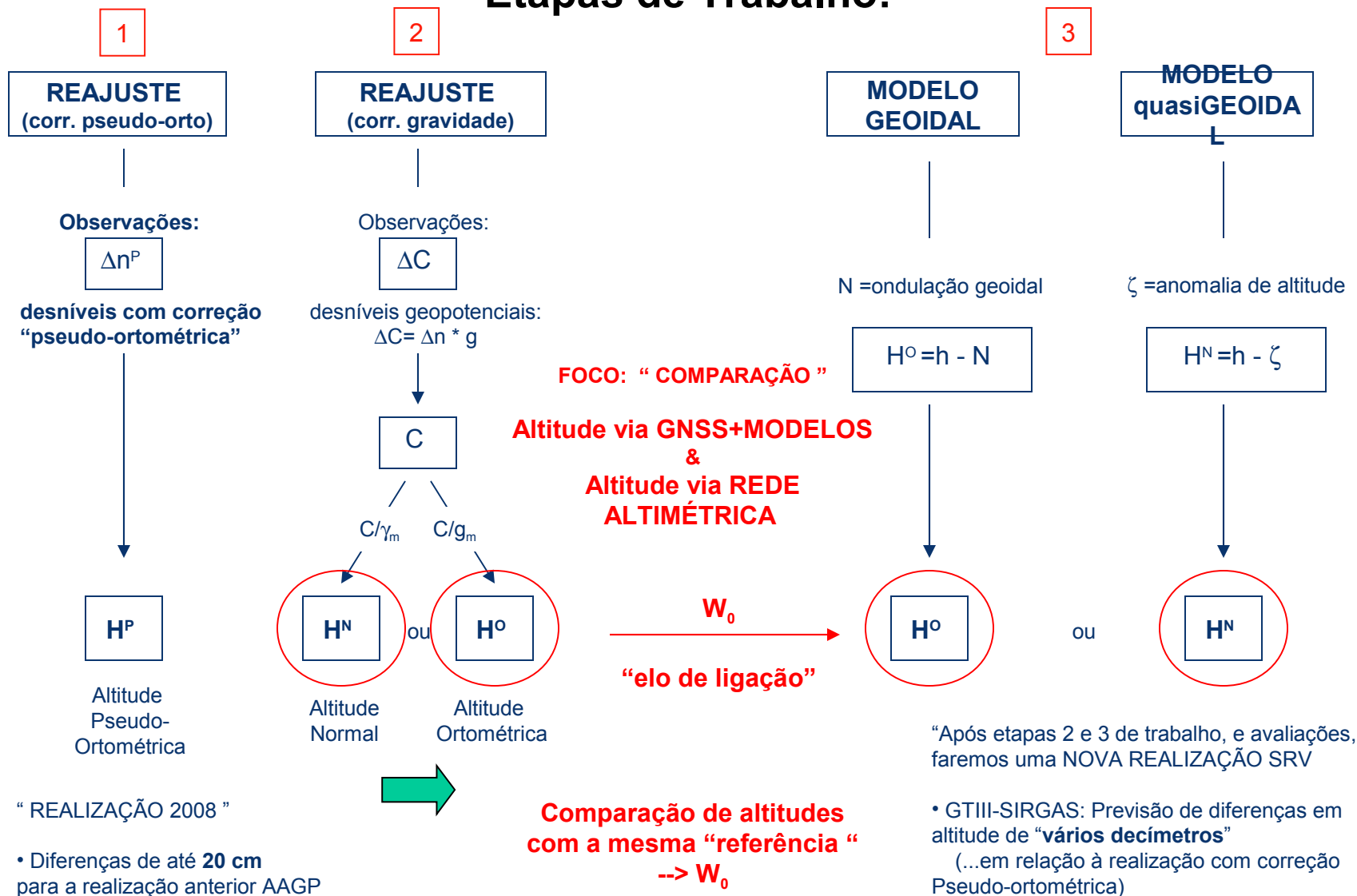
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

# **MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE REFERÊNCIA VERTICAL BRASILEIRO**

**DALTI & DTGEO  
COORDENAÇÃO DE GEODÉSIA**

# Modernização do Sistema de Referência Vertical Brasileiro

## Etapas de Trabalho:



# Sistemas de Altitude - Panorama Europeu:



July 01, 1968

Kind of Heights of National Height Systems in Europe



Fonte: [www.euref-iag.net](http://www.euref-iag.net)

\* Canadá, EUA : ortométrica

## Etapa 2 - Ajuste N° Geopotencial:

- Situação atual - Brasil:
  - 70 mil Referências de Nível (IBGE)
  - 24 mil Estações Gravimétricas (IBGE)

Necessidades, segundo o GTIII - SIRGAS

- Densidade de estações: **1/3** (1 EG / 3 RRNN)
  - Interpolação para outros **2/3** de RRNN
  - Indicativo ! (Por quê um indicativo )?)
- Geopotencial do Geóide (  $W_0$  ) - GTIII (Sánchez 2007) :
    - $W_0 = 62636853,15 \text{ m}^2 / \text{s}^2$  (2007)
    - $853,4$  (2005) ( $\neq 2,5 \text{ cm}$ )
    - $*W_0 = 62636854,7 \text{ m}^2 / \text{s}^2$  (Bursa 2006 - Europa)
    - ( $\neq 15,5 \text{ cm}$ )

# Associação - Rede Altimétrica e Modelo Geoidal:

Comparativos de alguns países:

Parâmetros analisados:

- Resolução do modelo geoidal:

”resolução esta, que deve ser compatível com a distribuição espacial dos dados de gravidade disponíveis para a geração do modelo”



- ERRO =  $H_{\text{REDE}} - H_{\text{GNSS+MODELO}}$

”diferença em altitudes”

## # AUSTRÁLIA (AUSGeoid98) - Featherstone (2001)

- Gravidade: 696 916 (terrestre)
- Resolução: 3,6 x 3,6 (km)
- Avaliação: 1013 pontos GPS/RN
  - Rede Altimétrica (AHD) com “correção pseudo-ortométrica”
  - erro =  $\pm 36$  cm

## # CANADÁ (CGG2000) - Véronneau (2001)

- Gravidade terrestre:
  - 690.742 (Canadá)
  - 1.477.300 (EUA)
- Resolução: 3,6 x 3,6 (km)
- Avaliação: 1090 pontos GPS/RN
  - Rede Altimétrica com “correção ortométrica”
  - erro =  $\pm 18$  cm
- $W_0 = 62636855.8 \text{ m}^2 / \text{s}^2$

## # EUA (GEOID03) - Roman (2004)

- Gravidade: 2,6 milhões (terrestre, oceânica e de satélite)
- Resolução: 1,8 x 1,8 (km)
- Avaliação: 14185 pontos GPS/RN
  - Rede Altimétrica (NAVD88) com “correção ortométrica”
  - erro =  $\pm 14$  cm
- $W_0 = 62636856.88 \text{ m}^2 / \text{s}^2$

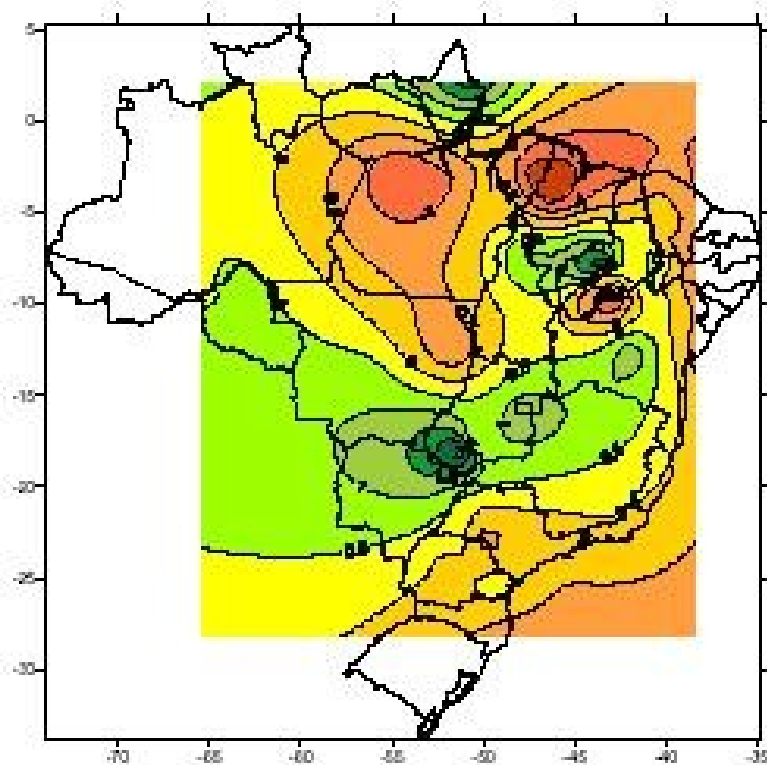


## # BRASIL (MAPGEO2004) - Lobianco (2005):

- Gravidade terrestre: ~500 mil
- Resolução: 18 x 18 (km)
- Rede Altimétrica (RAAP) com correção “pseudo-ortométrica”
- Avaliação: 544 pontos GPS/RN
  - erro=  $\pm 50$  cm

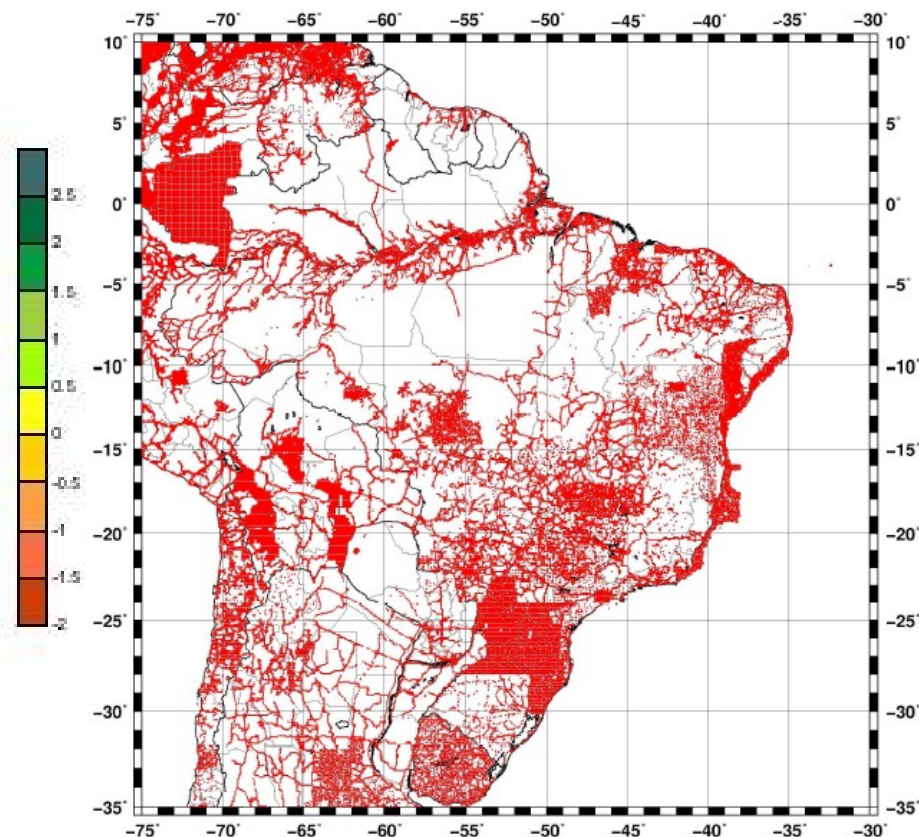
## DISTRIBUIÇÃO DO ERRO MÉDIO PADRÃO DO MODELO DE ONDULAÇÃO GEOIDAL (m)

(comparação com estações GPS/IRN)



Fonte: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

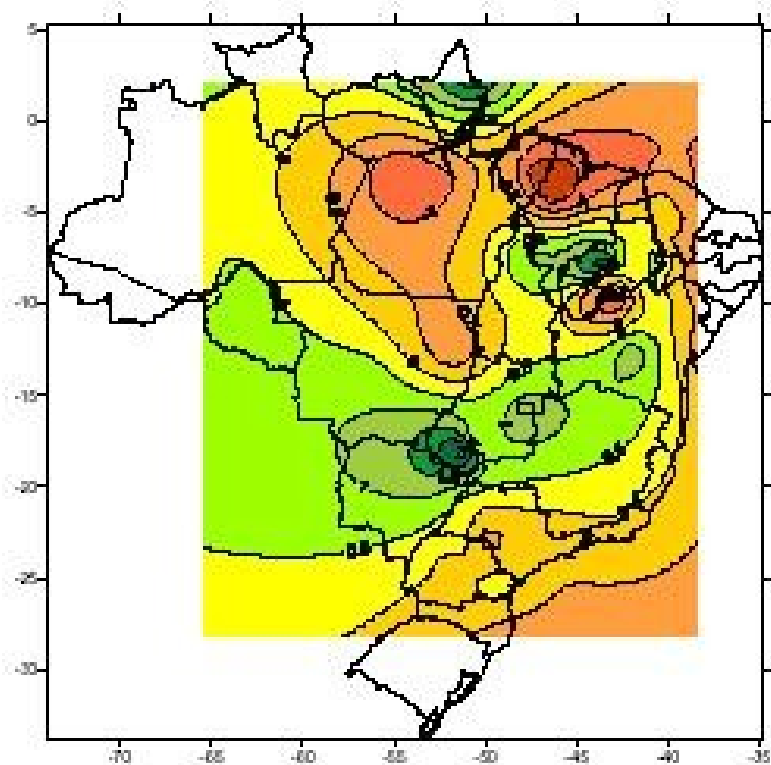
## Dados Gravimétricos - MAPGEO2004



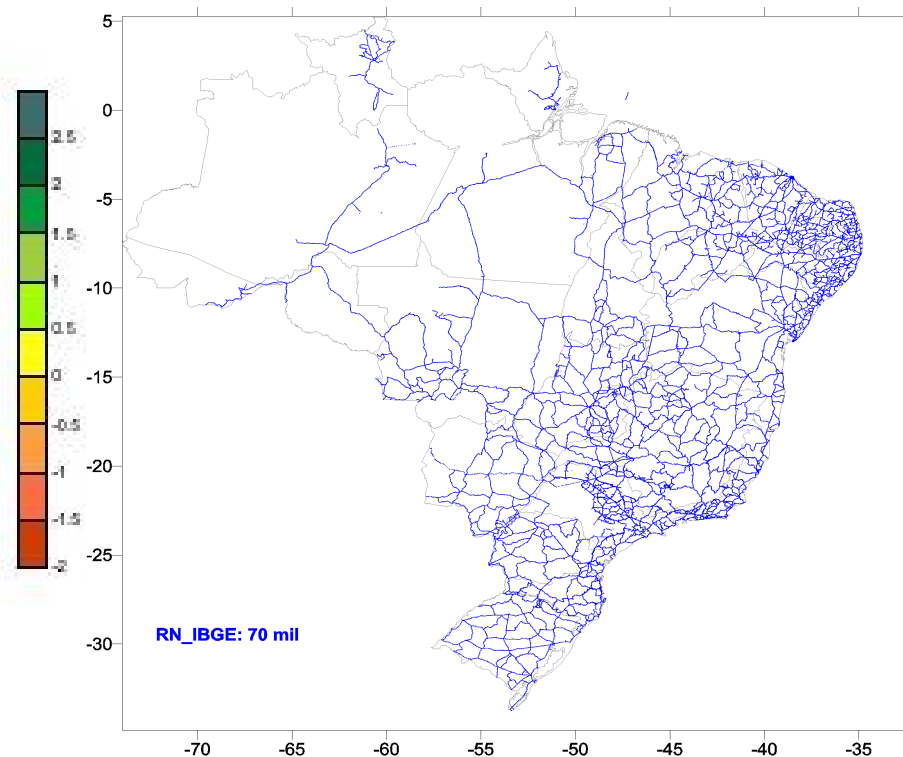
Fonte: Lobianco (2005)

## DISTRIBUIÇÃO DO ERRO MÉDIO PADRÃO DO MODELO DE ONDULAÇÃO GEOIDAL (m)

(comparação com estações GPS/RN)



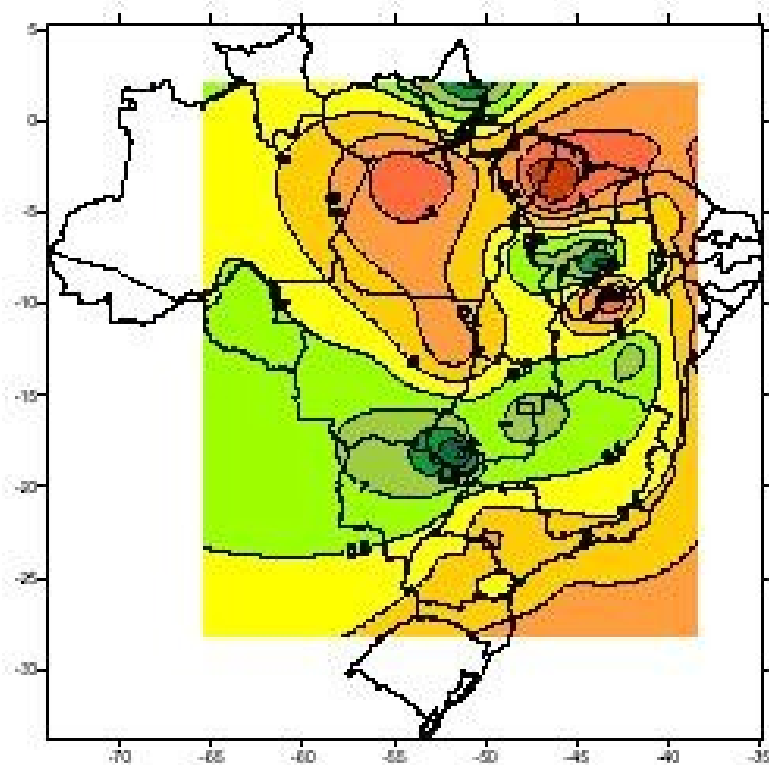
## Rede Altimétrica (RAAP)



Fonte: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

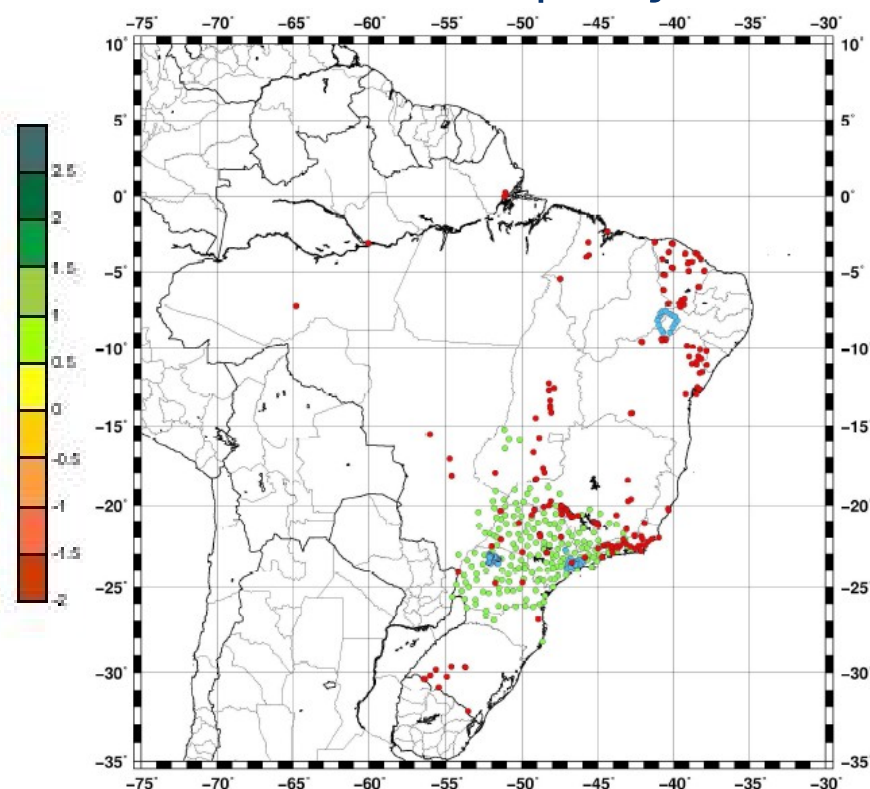
## DISTRIBUIÇÃO DO ERRO MÉDIO PADRÃO DO MODELO DE ONDULAÇÃO GEOIDAL (m)

(comparação com estações GPS/RN)



Fonte: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

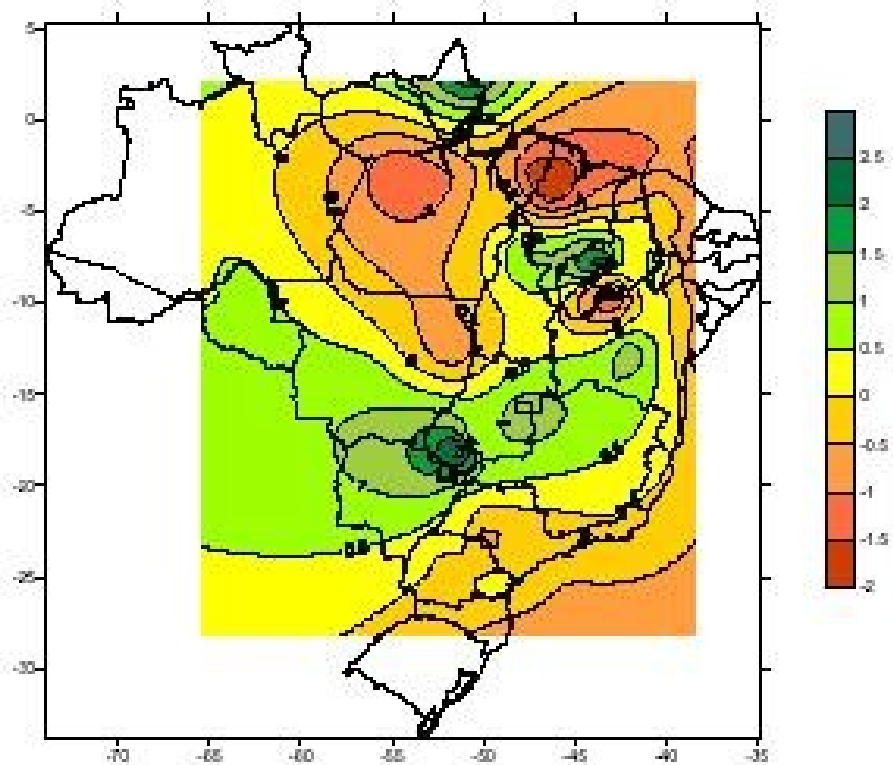
## GPS/RN “elo de comparação”



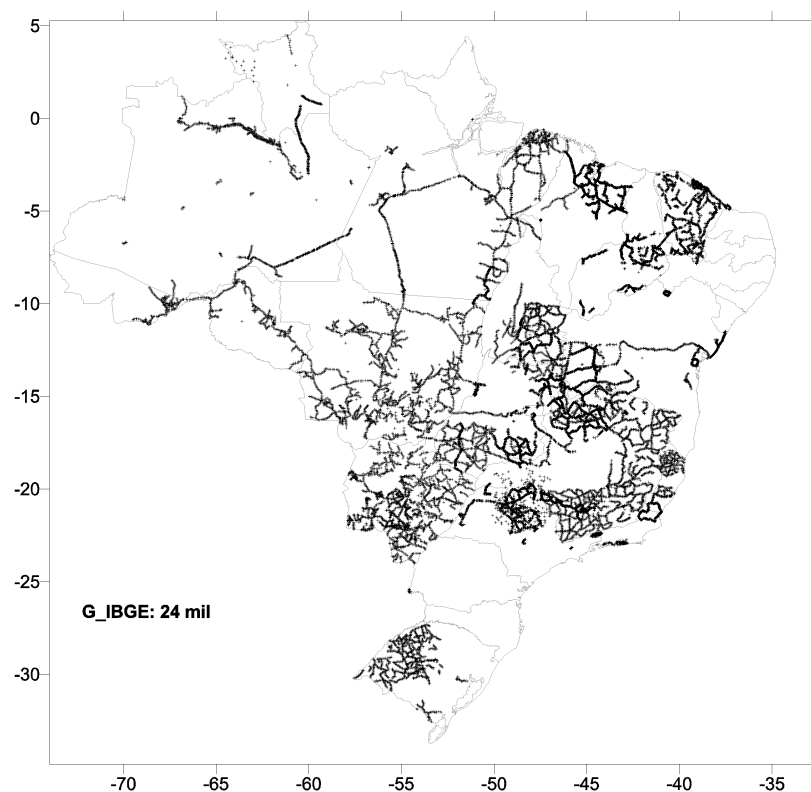
Fonte: Lobianco (2005)

## DISTRIBUIÇÃO DO ERRO MÉDIO PADRÃO DO MODELO DE ONDULAÇÃO GEOIDAL (m)

(comparação com estações GPS/IRN)



## Rede Gravimétrica - IBGE



Fonte: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

## PERSPECTIVAS

### **Modernização do Sistema de Referência Vertical Brasileiro:**

**Ampliar o Banco de Dados Gravimétricos do IBGE através de:**

- Convênios**
- Novas campanhas**

**Estratégias de densificação das Redes Altimétrica e Gravimétrica:**

- 1) Cobrir o restante da “extensão” da Rede Altimétrica com levantamento gravimétrico terrestre**
- 2) Cobrir os vazios (áreas em “desenvolvimento urbano”) com nivelamento geométrico e gravimetria terrestre (Por quê ?)**

## PERSPECTIVAS

### Manutenção do Sistema de Referência Vertical Brasileiro com atenção ao usuário:

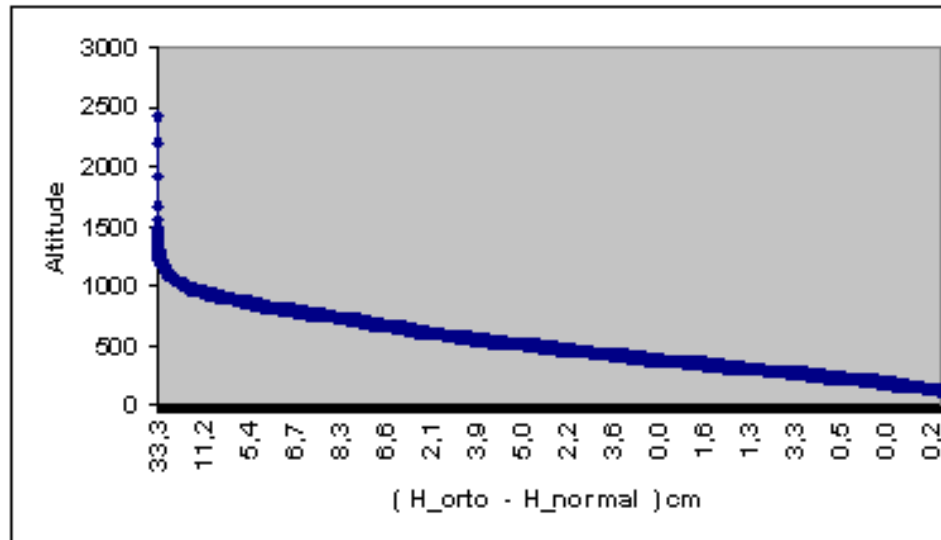
- Rede Altimétrica: atividades que necessitam grandes precisões relativas (nível de milímetros: Implantação de Obras de Infraestrutura: Estradas, Gasodutos etc )
- Modelo Geoidal: atividades de que demandam precisões inferiores (nível de decímetros: Mapeamento etc)

PERGUNTAS ?

# ANEXO



## Diferenças em Altitude no Brasil ( Ortométrica - Normal )



\* Dados utilizados: 24 mil estações gravimétricas

\*  $H_O - H_N \cong \Delta n_{BO} * H$  ( Heiskanen e Moritz, 1985 )



## SUIÇA - Compatibilização Rede Altimétrica e Modelos (Quasi)Geoidal:

\* **Importância:** subsídios para a definição do sistema de altitudes mais adequado ao Brasil

\* Exemplo interessante de trabalho: SWISSTopo<sup>[2]</sup>

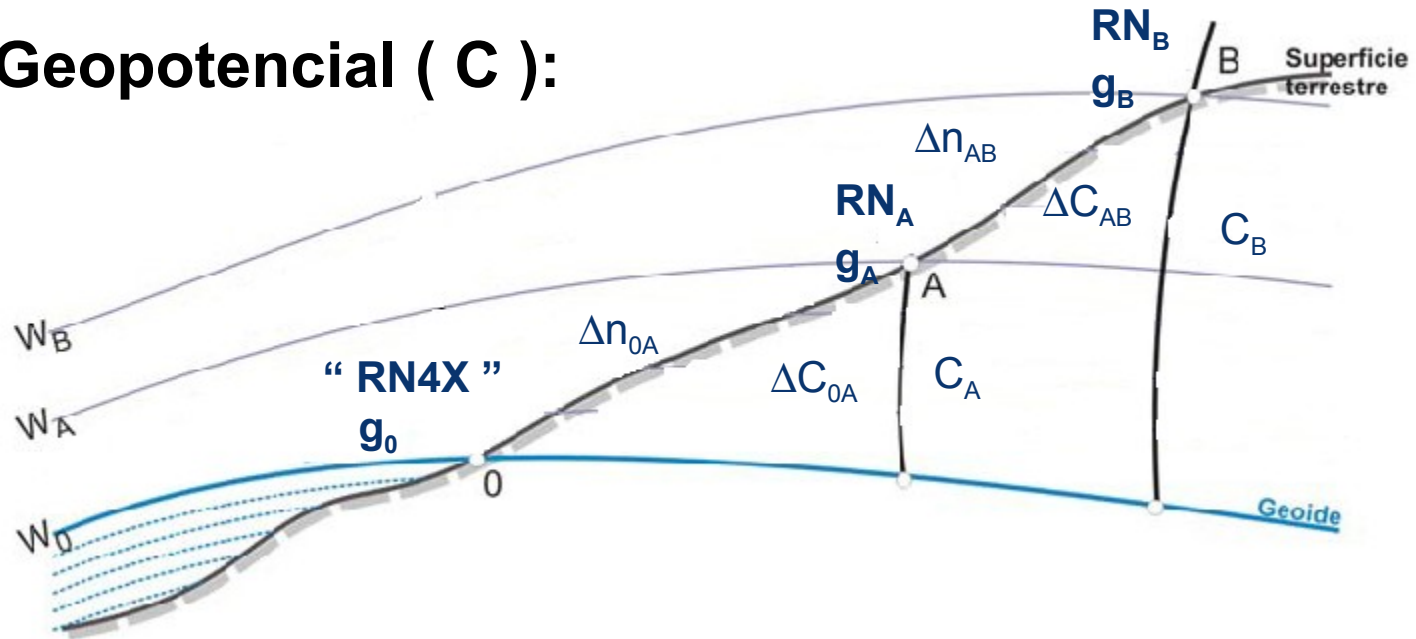
-Diferenças em altitudes:

- **Rede Clássica vs. Normal:** -21 cm a +12 cm
- **Rede Clássica vs. Ortométrica:** -20 cm a +43 cm
- **Ortométrica vs. GPS+Geóide:** +/- 5 cm
- **Normal vs. GPS+QuasiGeóide:** ?

--> “Optaram pelo Geóide por este apresentar uma superfície mais suave do que o Quasigeóide nas regiões montanhosas, sendo assim, mais propício a interpolação”

[2] The New Height System in Switzerland - Vertical Reference Systems - IAG Symposium - Colombia 2001

## Nº Geopotencial ( C ):



# Denível Geopotencial ( $\Delta C$ ) =  $g_{\text{média}} * \Delta n(\text{desnível bruto nivelado})$

$$C_A = \Delta C_{0A} = (g_0 + g_A) / 2 * \Delta n_{0A}$$

$$C_B = \Delta C_{0A} + \Delta C_{AB}$$

$$C_C = \Delta C_{0A} + \Delta C_{AB} + \Delta C_{BC} + \dots$$

# Arquivo de Ajuste GHOST:

```

C
C ESTAÇÕES FIXAS
C
C Estacao vinculada ao Datum Imituba
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
C ESTAÇÕES EM AJUSTE
10
C
4      1900S      S27 28 41.00      W 53 24 8.00      546.3979
4      1777X      S29 1 32.00      W 49 35 58.00      22.5785
4      1719B      S24 6 18.00      W 54 14 17.00      271.0700
4      2015S      S25 4 54.00      W 50 11 26.00      945.9811
4      2050Z      S26 1 42.00      W 48 51 37.00      43.3257
4      9049C      S27 42 0.00      W 48 40 0.00      19.6584
4      1560B      S23 15 58.00      W 55 31 8.00      521.6801
4      1578A      S23 11 2.00      W 52 12 15.00      566.1636
4      1254Z      S20 47 6.00      W 51 42 18.00      322.1475
4      43X      S20 54 23.00      W 48 38 26.00      610.8523
4      1206F      S19 0 42.00      W 54 49 38.00      468.5104
4      724C      S16 28 12.00      W 54 39 17.00      221.2942
  
```

```

.....
C
C OBSERVAÇÕES
C
14t      45D      2175A      -5.87640      3.520
14t      2175A      2175B      6.28240      3.615
14t      2175B      2175C      12.25900      3.800
14t      2175C      2175D      -4.08970      4.153
14t      2175D      2175E      27.61960      3.700
14t      2175E      2175F      21.52270      3.733
14t      2175F      2175G      -21.94250      3.968
14t      2175G      2175H      9.39755      3.993
14t      2175H      2175J      -31.14680      3.880
14t      2175J      2175L      -44.20290      4.145
14t      2175L      2175M      5.27840      3.783
14t      2175M      2175N      -53.09540      4.220
14t      2175N      2175P      -23.51498      3.768
14t      2175P      2175R      14.29910      3.428
  
```

# Precisão requerida para a Gravidade no cálculo da Altitude Ortométrica:

Helmert (tradicional):

$$H^o = C / (g + 0,0424 * H)$$

C= Kgal\*m

g= gal

H=km

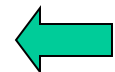
“erro g”    “erro H<sup>o</sup>”

H= 10 m --> 1 mGal --> 0,01 mm

H= 100 m --> 1 mGal --> 0,1 mm

H=1000 m --> 1 mGal --> 1 mm

Levantamento de 1ª ordem: Precisão de até 0,05 mGal



# Precisão requerida para a Gravidade no cálculo do N<sup>o</sup> Geopotencial (GTIII-SIRGAS):

**Tabla 6.** Precisiones requeridas en los valores de gravedad para la determinación de números geopotenciales (s es la distancia en km de la sección de nivelación)

Altura en que la diferencia de nivel es medida [m]	Precisión en el valor de gravedad para s = 1 km [10 <sup>-5</sup> m s <sup>-2</sup> ]
10	400
20	200
30	133
40	100
50	80
70	57
100	40
200	20
500	8
1000	4
2000	2
4000	1

$$10^{-5} \text{ms}^{-2} = \text{mGal}$$

$$\begin{aligned} \text{N}^{\circ}\text{Geopot} &= g_m * \Delta n \\ &= [\text{Kgal} * \text{m}] \end{aligned}$$

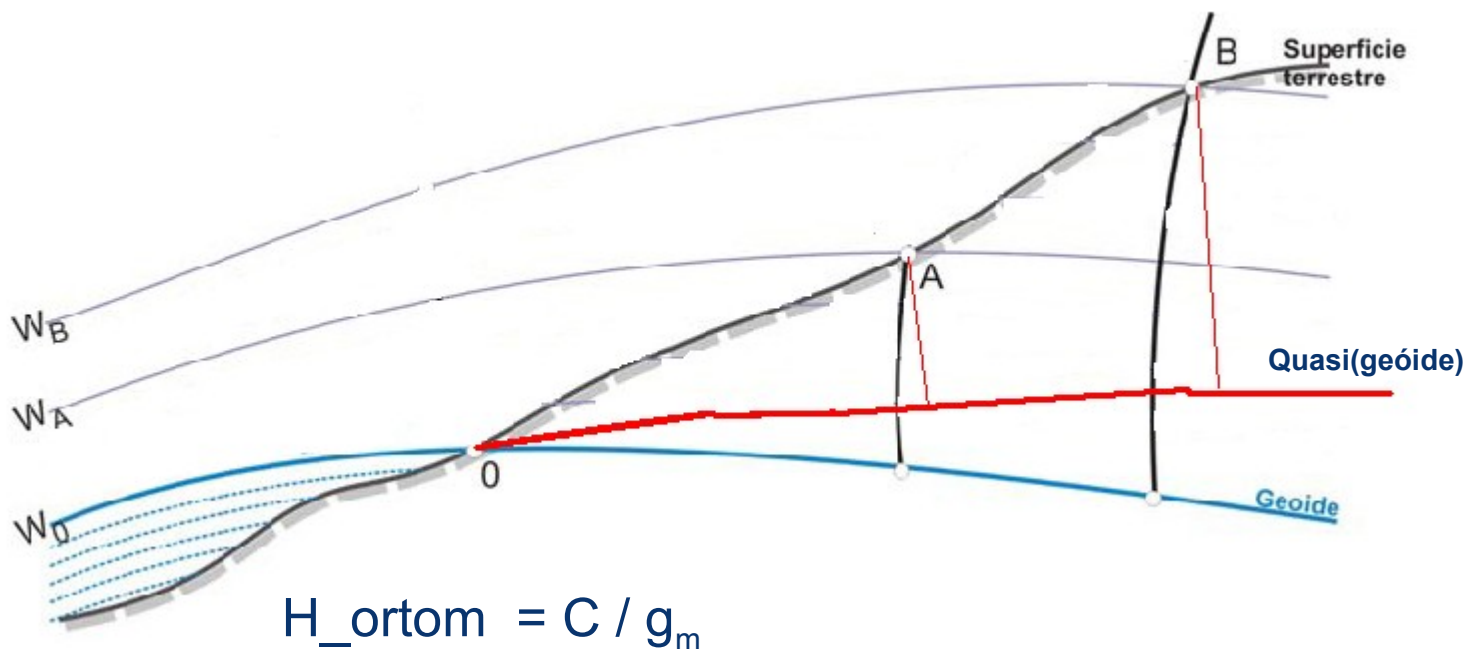
$$g = 978012,19 \text{ mGal}$$

$$\begin{aligned} g &= 0,97801219 \text{ Kgal} \\ \Delta n &= 85,2451 \text{ m} \end{aligned}$$

**Fonte:** Reporte 2005 - GT III - Datum Vertical  
(Laura Sánchez)

**OBS.:** No nosso entendimento, estes padrões de precisão provavelmente são satisfatórios apenas para cálculo de altitude normal !!!

# Altitudes Físicas (Científicas):

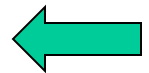
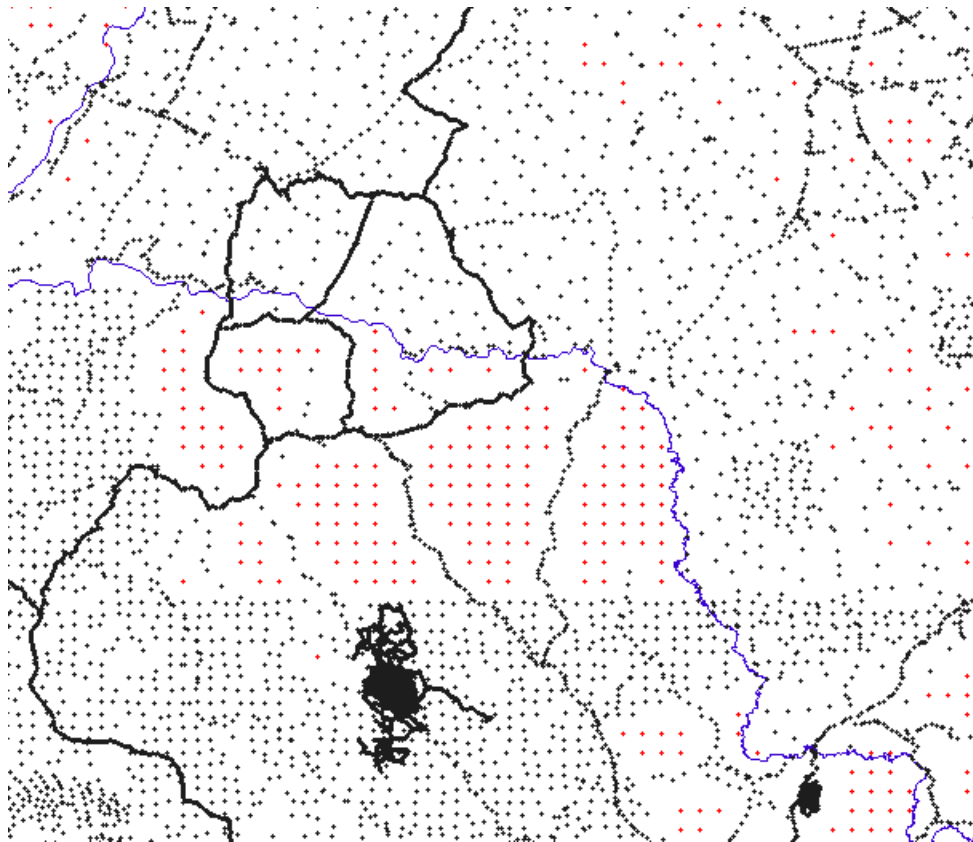


$$H_{\text{ortom}} = C / g_m$$

$$H_{\text{normal}} = C / \gamma_m$$

$C = N^\circ$  Geopotencial Ajustado

## Exemplo: Cálculo do Geóide com a Transformada Rápida de Fourier - malha de pontos de anomalias gravimétricas



Pontos em Preto: gravidade observada

Pontos em Vermelho: anomalia gravimétrica interpolada  
na resolução de 5' x 5'