PRÁTICA DE DOCÊNCIA

DISCIPLINA: FUNDAMENTOS EM GEODÉSIA

Discente: M.Sc. Andrea Santacruz J.
Docente: Profª. Dra. Regiane Dalazoana

SUMÁRIO

6. SISTEMAS E REDES GEODÉSICAS VERTICAIS FUNDAMENTAIS

6.1. Aspectos Clássicos e Atuais da definiçaõ e realização de Redes Verticais;

6.2. Aspectos Clássicos e Atuais da definição de um *Datum* Vertical;

6.3. Altitudes Físicas, Número Geopotencial e Sistemas de Altitudes

6. SISTEMAS E REDES GEODÉSICAS VERTICAIS FUNDAMENTAIS

ORGANIZAÇÕES/SERVIÇOS CIENTÍFICOS

Informações Geodésicas

com precisão adequada e confiabilidade

Necessárias para a solução de problemas relativos à **dinâmica do Sistema Terra.**

A nova visão da Geodésia

Uso de ferramentas modernas para a obtenção de informação espacialmente referenciada.

IAG *International Association of Geodesy*

GGOS

Global Geodetic Observing System

SIRGAS Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SIRGAS-GTI: Sistema de Referência

SIRGAS-GTII: SIRGAS no âmbito Nacional

SIRGAS-GTIII: Datum Vertical

FONTE: http://www.iag-aig.org/index.php

6. SISTEMAS E REDES GEODÉSICAS VERTICAIS FUNDAMENTAIS

IAG: Coordena as atividades da Geodésia no planeta

↓

IAG ICP1.2 *Inter-Comission Vertical Reference Frames* (2003-2011)

- Base para a definição e realização do **SVRG** (Sistema Vertical de Referência Global);
- Consistência dos parâmetros geométricos e físicos, a fim de fornecer as bases para o estabelecimento do **SVRG;**
- Desenvolvimento das convenções para sua realização e materialização (Ihde et al. (2007): ***Conventions for the Definition and Realization of a Conventional Vertical Reference System*** **(CVRS))**

INTEGRAÇÃO ⇓

Global Geodetic Observing System - GGOS

Coletar dados geodésicos globais para gerar uma infraestrutura e base científica interoperável utilizada em estudos relacionados às mudanças globais.

↓

TEMA 1: Unified Height System

FONTE: Sideris (2010)
Ihde (2007-2011)
http://www.ggos.org

6. SISTEMAS E REDES GEODÉSICAS VERTICAIS FUNDAMENTAIS

GGOS

Temas de Pesquisa:

1. **SGA;**
2. Riscos Geológicos;
3. NMM.

- **Ciências da Terra**
- **Sociedade**

- **ICP 1.2** → Comissões 1 e 2 da IAG, em 2010 forma parte do GGOS.
- **WHS-PP**:
  - Padrões numéricos, normas da IAG;
  - Combinação de parâmetros (técnicas espaciais, gravidade, outros);
  - Obter parâmetros de transformação entre sistemas de referência verticais (nacionais, regionais, globais);
  - Consideração da dependência do tempo

Grupo de Trabalho
Padronização do Datum Vertical: JWG 0.1.1-VDS

- Padrões geométricos da IAG, do IERS (2003/2010) e do IAS;
- Padrões físicos do IGFS com MGGs do ICGEM

FONTE: http://www.ggos.org/

6. SISTEMAS E REDES GEODÉSICAS VERTICAIS FUNDAMENTAIS

SIRGAS: Definição, materialização e manutenção do Sistema Geocêntrico tridimensional para as Américas

SIRGAS-GTIII: Datum Vertical

Procura o estabelecimento de um Sistema Vertical de Referência unificado para os países membros do SIRGAS (**SVRS**) com sua respectiva **RVRS,** relacionado ao campo de gravidade, que cumpre os requisitos do **GGOS,** o qual seja totalmente compatível, homogêneo, com confiabilidade e com estabilidade ao longo do tempo.

Homogeneização e Integração das Redes Verticais Sul-Americanas

Extensão para os outros países membros do SIRGAS

PROBLEMA ?

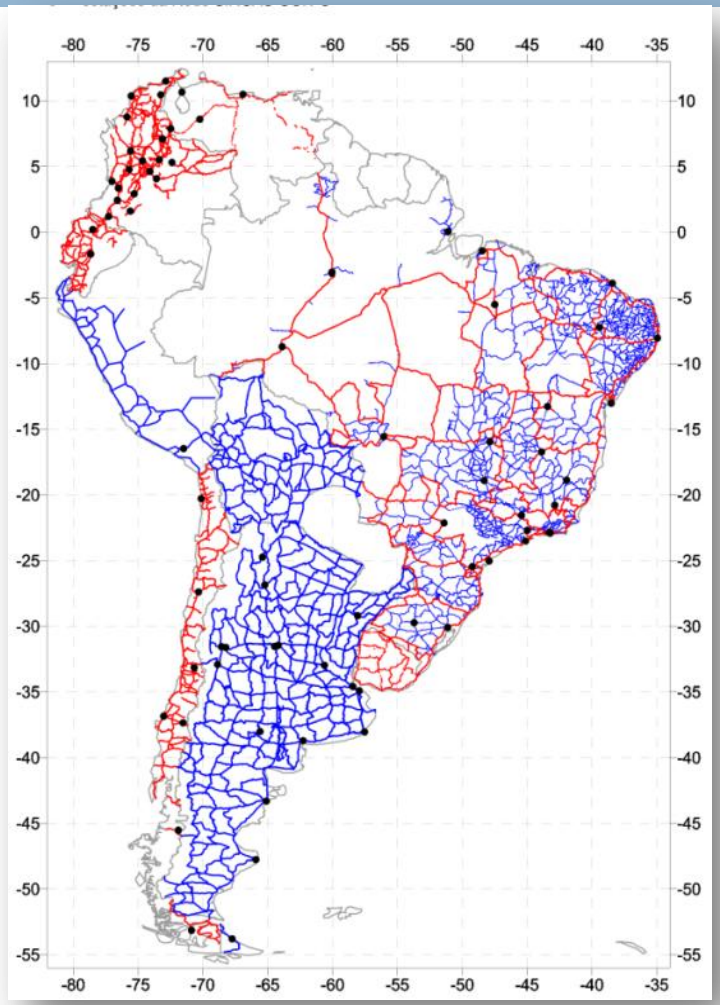
Incompatibilidade de Dados

FONTE: Adaptado de http://www.sirgas.org

6.1. Aspectos **Clássicos** e Atuais da definiçaõ e realização de Redes Verticais

- Cada país tem diferentes: níveis de referência, *data* verticais, marégrafos, registros do NMM, metodologias de levantamento;
- Circuitos de nivelamento de alta precisão, mas sem correção dos efeitos do campo da gravidade;
- Variabilidade das altitudes e do nível de referência com relação ao tempo.

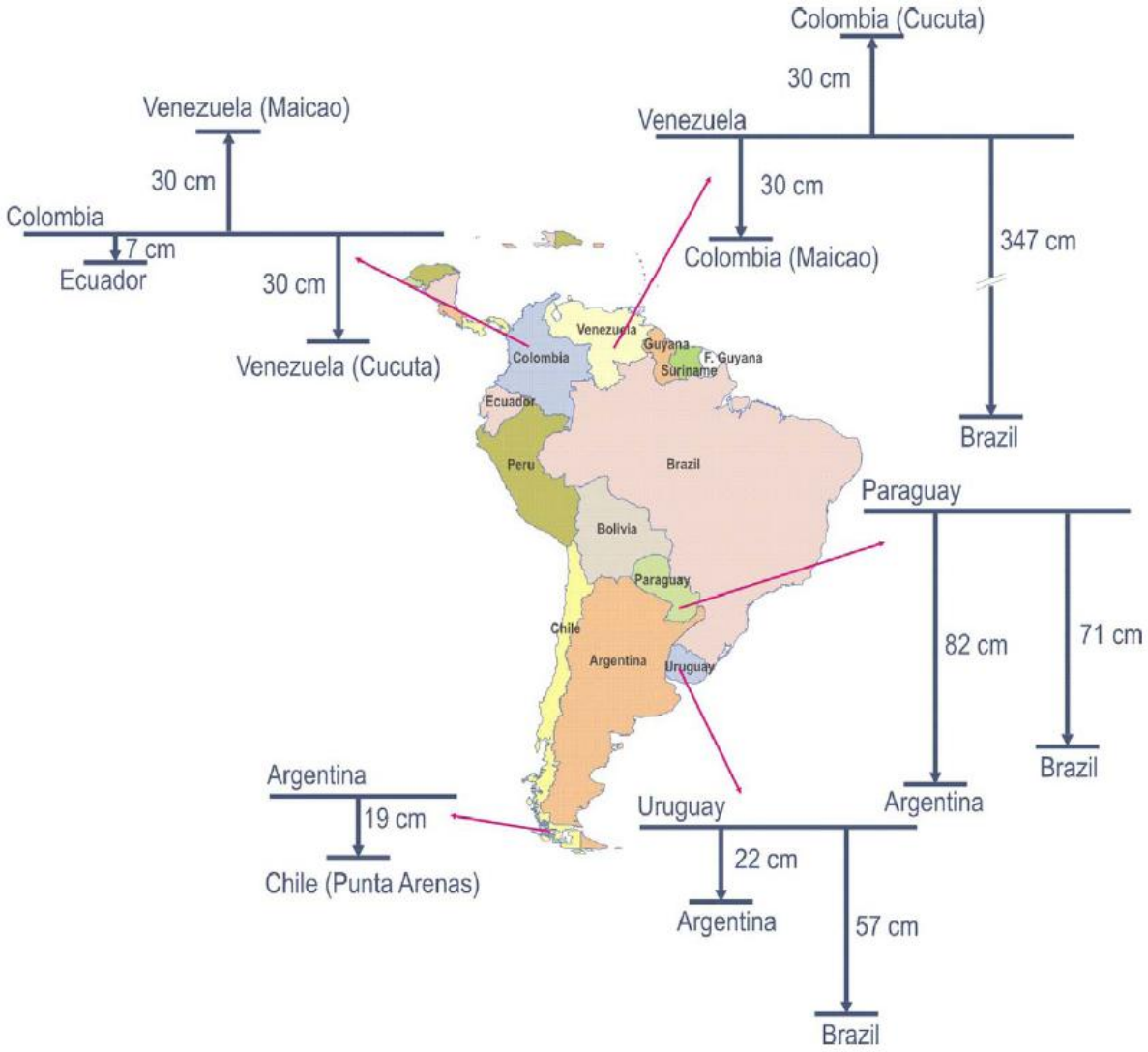
- **Discrepâncias de dados entre países vizinhos;**
- **Não permitem a troca de informação geográfica;**
- **Não podem determinar alturas com técnicas GNSS em combinação com MGGs.**



FONTE: http://www.sirgas.org/index.php?id=60
http://www.sirgas.org/index.php?id=94

6.1. Aspectos **Clássicos** e Atuais da definiçaõ e realização de Redes Verticais

- Discrepâncias entre as redes de nivelamento de Sul América



FONTE: SIRGAS, 2005

6.1. Aspectos Clássicos e **Atuais** da definiçaõ e realização de Redes Verticais

SISTEMA VERTICAL DE REFERÊNCIA SIRGAS (SVRS)

COMPONENTE GEOMÉTRICA

Referem-se às altitudes elipsóidicas relacionadas ao SIRGAS

COMPONENTE FÍSICA

Em termos do Geopotencial (W_0 como nível de referência e número geopotencial como coordenadas principais).

- Referem-se a um sistema unificado W_0 -nível de referência mundial;
- Altitudes físicas adequadas (derivadas dos números geopotencias);
- Associado a uma época de referência (considerar as alterações do referencial com o tempo).

FONTE: Sánchez, 2009
SIRGAS, 2014

6.1. Aspectos **Clássicos e Atuais** da definiçaõ e realização de Redes Verticais

Visão Clássica

STOKES: depende do *datum* vertical nacional e das linhas de nivelamento e distribuição de massas

$$W_P = W_0 - C_P$$

$$C_P = W_{0i} - W_P = \int_0^P g\,dn \cong \sum g_m \Delta H$$

Redes de Nivelamento

Visão Atual

Com tecnologias inovadoras, MGGs, PVCG fixado; altimetria com GNSS; independente do nivelamento

$$W_P = U_P + T_P$$

$$C_P = W_0 - W_P$$

$$U_P = U_0 + \frac{\partial U_0}{\partial h}.h$$ Potencial Normal

$$T_P = \frac{R}{4\pi}\iint_s (\delta g + g_1 + \cdots).H(\psi)ds$$

Potencial Perturbador
PVCG fixo na superfície física

Redes Gravimétricas e altitudes elipsoidais

FONTE: Brovar (1972), Ihde (2010), Heck(2011)

6.1. Aspectos **Clássicos e Atuais** da definiçaõ e realização de Redes Verticais

Visão Clássica

$$C_P = W_0 - W_P = \int_0^P g\,dn \cong \sum g_m \Delta H$$

$$W_P = W_0 - C_P$$

Visão Atual

$$C_P = W_0 - W_P$$

$$W_P = U_P + T_P$$

$$\delta g_P = g_P - \gamma_P$$ Distúrbio da gravidade

Etapa Remover:

$$\delta g_{RES} = \delta g_{OBS} - \delta g_{MGG} - \delta g_{RTM}$$

Etapa Restaurar:

$$T = T_{RES} + T_{MGG} + T_{RTM}$$

Termos Espectrais

Conversão de anomalias da gravidade em distúrbio da gravidade

$$\delta g = \Delta g - \frac{\delta \gamma}{\delta h} N \approx \Delta g + 0{,}3086N$$

$$\Delta g = g_{geóide} - \gamma_{elipsóide}$$

FONTE: Brovar (1972), Ihde (2010), Heck(2011),

6.1. Aspectos Clássicos e **Atuais** da definiçaõ e realização de Redes Verticais

INTERNATIONAL HEIGHT REFERENCE SYSTEM (IHRS)

SISTEMA ALTIMÉTRICO DE REFERENCIA INTERNACIONAL

UNIFIED HEIGHT SYSTEM

SISTEMA GLOBAL DE ALTITUDES

SISTEMA VERTICAL DE REFERENCIA GLOBAL (SVRG)

GLOBAL GEODETIC REFERENCE SYSTEM (GGRS)

6.1. Aspectos Clássicos e **Atuais** da definiçaõ e realização de Redes Verticais

GLOBAL GEODETIC REFERENCE SYSTEM (GGRS)

Conjunto de modelos físicos e matemáticos necessários para descrever as posições físicas e a gravidade no espaço e no tempo.

A Resolução 1 da IAG de julho de 2015 "*Definition and realization of an International Height Reference System (IHRS)*"

- Sistema definido e realizado no espaço do geopotencial.
- Nível de referência → $W_0 = 62\,636\,853{,}4\ m^2s^{-2}$
- Coordenadas primárias → números geopotenciais.

GLOBAL GEODETIC REFERENCE FRAME (GGRF)

É a materialização do GGRS através da integração de redes de referencia geodésicas, incorporação do ITRF, ICFR, do futuro IHRF e Rede Global Gravimétrica Absoluta

FONTE: IAG, 2015

6.1. Aspectos Clássicos e **Atuais** da definiçaõ e realização de Redes Verticais

SIRGAS GTIII: combinação consistente de altitudes geométricas (GNSS) e altitudes físicas (nivelamento + gravimetria).

TERMOS DE REFERÊNCIA DO SIRGAS/IAG/GGOS

- Complementar **conexões** com nivelamento de precisão dos pontos fundamentais (marégrafos e entre países vizinhos);
- Dispor de **dados** tanto clássicos quanto modernos em formato digital **padronizado;**
- Realizar o **ajustamento** continental de toda a informação disponível;
- Uso **de convenções** das organizações imersas na pesquisa;
- Uso de **Tecnologia Espacial** para coleta de dados;
- Uso da **informação geodésica clássica e moderna,** com precisão e índice de confiabilidade;
- Uso de dados espaciais em **áreas sem informações** para fornecer novas soluções alternativas (PVCG);

FONTE: Brunini et al., 2013
http://www.ggos.org

6.1. Aspectos Clássicos e **Atuais** da definiçaõ e realização de Redes Verticais

ESTRATÉGIAS PARA A UNIFICAÇÃO DAS REDES VERTICAIS

- Ihde (2007-2011), enlaçando **dados clássicos com modernos**: Nivelamento + GPS/GNSS + MGGs + Gravimetria;

- Gerlach e Rummel (2012), estabelecimento de um **SGA** baseado em **MGGs** do **GOCE** junto com observações GPS/GNSS e Modelos Digitais de Altitudes – **MDA;**

- Ferreira *et al.* (2014), visão de **independência** dos dados de **nivelamento** através das soluções do **PVCG + MGGs;**

- Montecino (2014), estudo das **Redes Verticais** através de **MGGs** e de Modelos da superfície global média do oceano -**MSS** (e.g CNES CLS 2011).

6.1. Aspectos Clássicos e **Atuais** da definiçaõ e realização de Redes Verticais

COMBINAÇÃO DE DADOS E ESTRATÉGIAS

- Sistemas Verticais de Referência Nacionais – **SVRNs** (dados clássicos e modernos);
- Sistema Vertical de Referência SIRGAS – **SVRS**: componente geométrica e componente física (referida a números geopotenciais);
- Novas Plataformas para a obtenção de informações associadas aos Sistema e Redes Verticais de Referência:
  - Modelos Globais do Geopotencial – **MGGs**, Valores de gravidade dos MGGs obtidos com as novas missões gravimétricas CHAMP, GRACE e GOCE mediante modelos obtidos no *International Centre for Global Earth Models* – ICGEM;
  - Modelos Digitais de Altitudes – **MDAs**;
  - Modelos Oceânicos (Mean Sea Surface – **MSS**) com base em elipsoides de referencia ou se definido um geoide global, a Topografia do Nível Médio do Mar – **TNMM** (Sea Surface Topography – SSTop ou Mean Ocean Dynamic Topography – **MDT**);

6.1. Aspectos Clássicos e **Atuais** da definiçaõ e realização de Redes Verticais

EXEMPLOS DAS ESTRATÉGIAS PARA A UNIFICAÇÃO DE SISTEMAS NACIONAIS E SUA VINCULAÇÃO A UM SGA

- Implicações na Cartografia com a evolução do Sistema Geodésico Brasileiro e futura adoção do SIRGAS; 2001(DALAZOANA, 2001);
- Estudos dirigidos à análise temporal do Datum Vertical Brasileiro (DALAZOANA, 2006);
- Modelamento do potencial anômalo no *Datum* Vertical Brasileiro visando sua nova definição (DE FREITAS *et al.*, 2007);
- Estratégias para modernização da componente vertical do Sistema Geodésico Brasileiro e a sua integração ao SIRGAS (LUZ, 2008).
- Conexão das Redes Verticais fundamentais do Brasil e da Argentina com base em Números Geopotenciais (PEREIRA, 2009);
- Determinação da diferença do geopotencial do *Datum* Vertical Brasileiro relativo ao EGM2008 (FERREIRA, 2010);

6.1. Aspectos Clássicos e **Atuais** da definiçaõ e realização de Redes Verticais

EXEMPLOS DAS ESTRATÉGIAS PARA A UNIFICAÇÃO DE SISTEMAS NACIONAIS E SUA VINCULAÇÃO A UM SGA

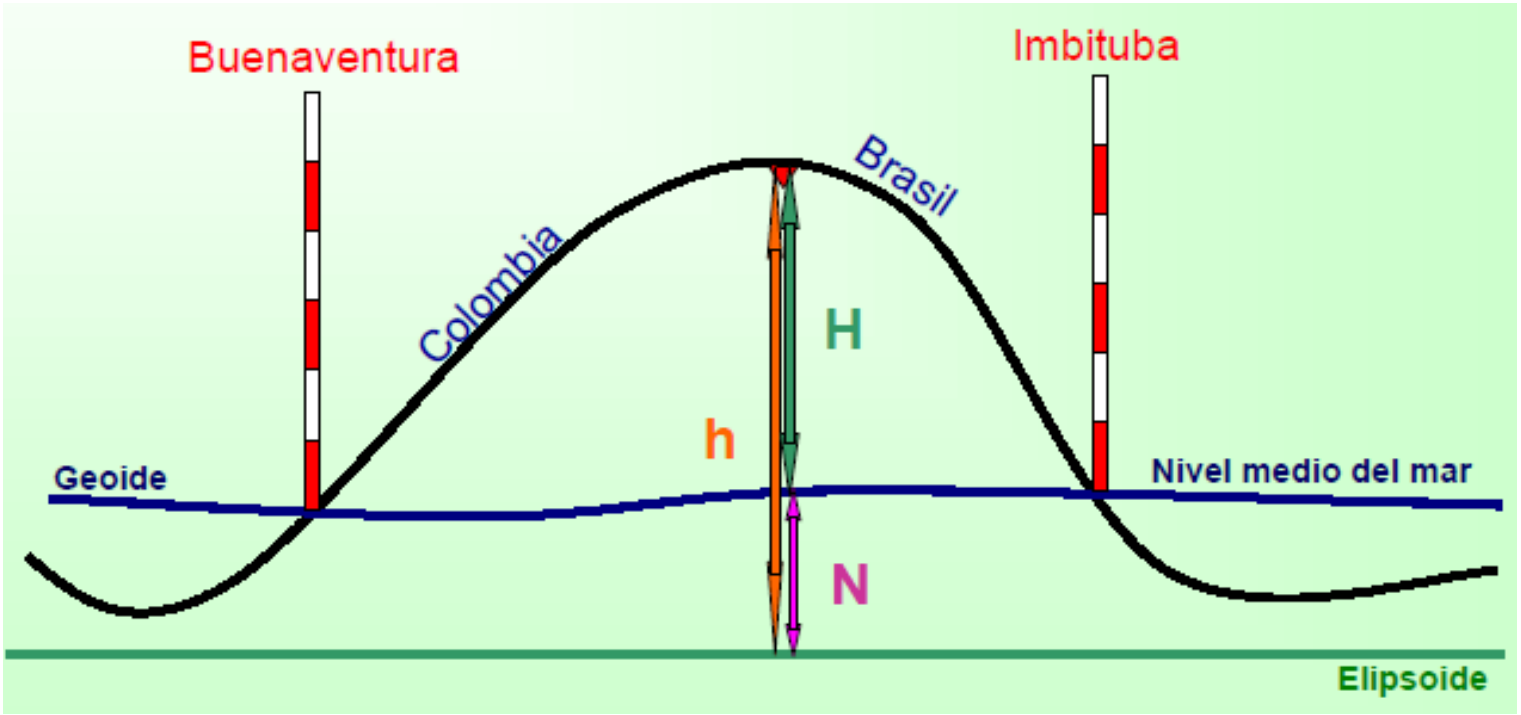
- Preparação para a substituição dos Data horizontal e vertical oficiais nos Estados Unidos (SMITH Y SHIELDS, 2010);
- Separação entre o Geoide e o quase-geoide: Uma análise no contexto Brasileiro (FERREIRA et al., 2011);
- Proposta de Alternativas para conexão dos Data Verticais Brasileiros de Imbituba e Santana (MONTECINO, 2011);
- Um intento de vínculo do Sistema Altura de Brasil para um Sistema Mundial de Altura (FERREIRA et al., 2012);
- Solução de tipo Brovar para o Segundo Problema de Valor de Contorno da Geodésia em vista da modernização de Sistemas de Altitudes (FERREIRA, 2013);
- A validação baseada na diferença dos modelos do campo de gravidade GOCE e dados de nivelamento/GPS e EGM08 numa área de estudo no Brasil (FERREIRA et al., 2013);

6.1. Aspectos Clássicos e **Atuais** da definiçaõ e realização de Redes Verticais

EXEMPLOS DAS ESTRATÉGIAS PARA A UNIFICAÇÃO DE SISTEMAS NACIONAIS E SUA VINCULAÇÃO A UM SGA

- Análise das discrepâncias entre os marcos de referência verticais da Argentina e Brasil (GOMEZ et al., 2013);
- Análise do Vínculo do Datum Vertical Brasileiro a um Sistema Global de Altitudes com base em soluções fixadas e livres do PVCG (PALMEIRO et al., 2013);
- A unificação dos sistemas de alturas com GOCE e a definição do Sistema de Referência Vertical da América do Norte (RANGELOVA y SIDERIS, 2013);
- Estudo da Rede Vertical Chilena através de MGGs e de Modelo superfície global média do oceano CNES CLS 2011 (MONTECINO, 2014);
- Conexão de sistemas verticais de referência locais ao sistema geodésico brasileiro com base em um sistema vertical de referência global (MAIA, 2014).
- Integração das Redes Altimétricas Sul - Americanas: Inventário em vista dos Termos de Referência do SIRGAS/IAG/GGOS (SANTACRUZ, 2015).

6.2. Aspectos **Clássicos** e Atuais da definição de um ***Datum* Vertical**



***DATUM* VERTICAL CLÁSSICO:**

- Nível Médio do Mar (NMM) coincidente com o Geóide no seu ponto origem;
- Origem das Redes de Nivelamento;
- Determinado por observações maregráficas (NM) de aprox. 18,6 anos (período);

FONTE: SIRGAS., 2002

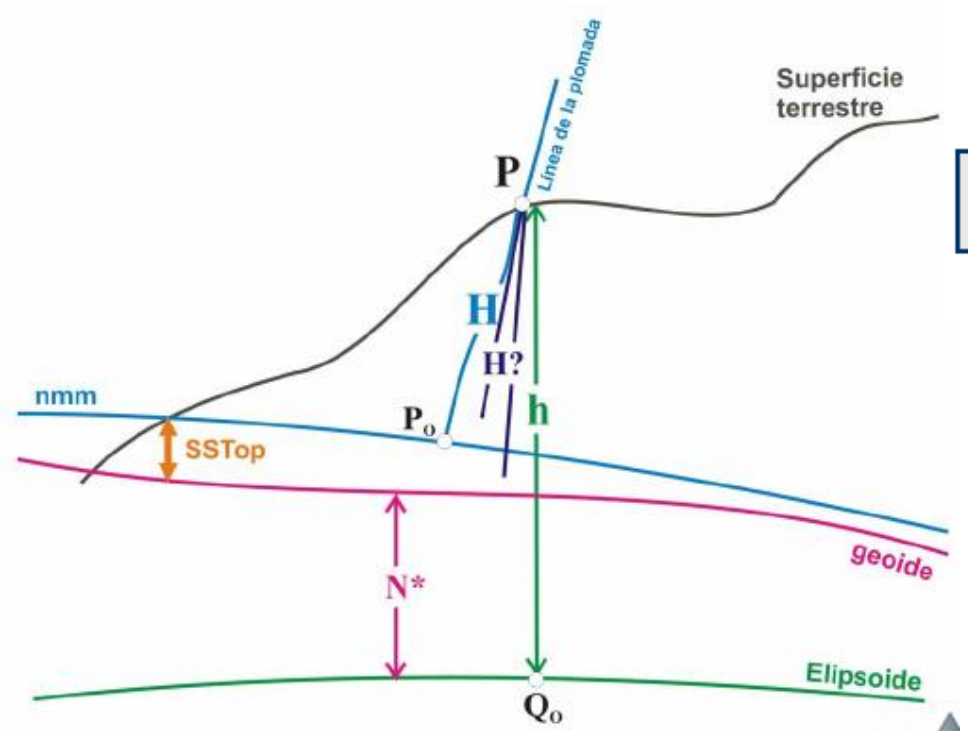
Dalazoana, 2015

6.2. Aspectos **Clássicos** e Atuais da definição de um ***Datum* Vertical**

Datum Vertical Brasileiro (DVB)

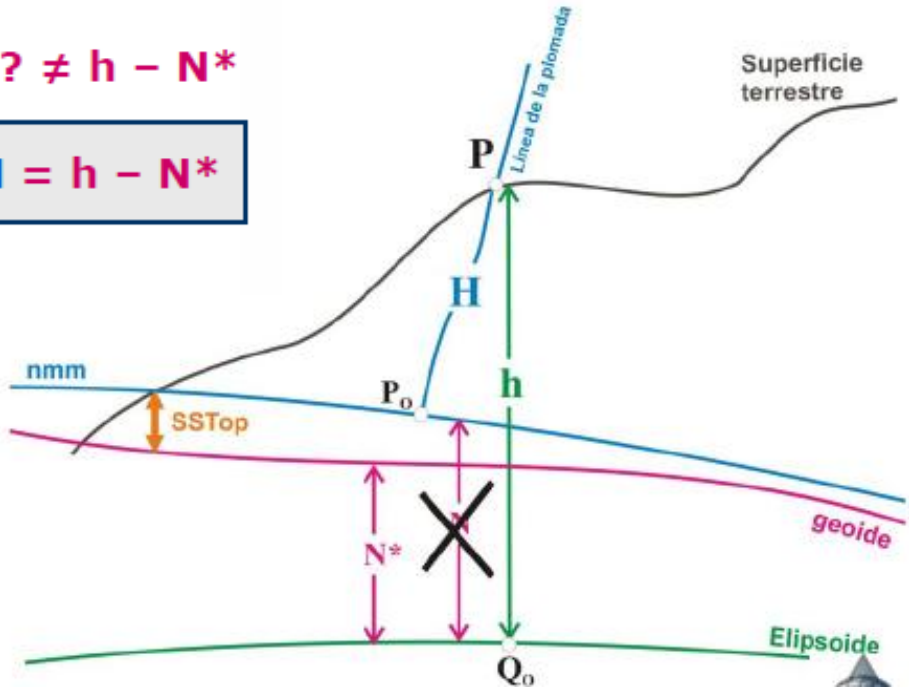
- Imbituba (SC)
- 9 anos de observações (1949 -1957)

6.2. Aspectos **Clássicos** e Atuais da definição de um ***Datum* Vertical**



$H? \neq h - N^*$

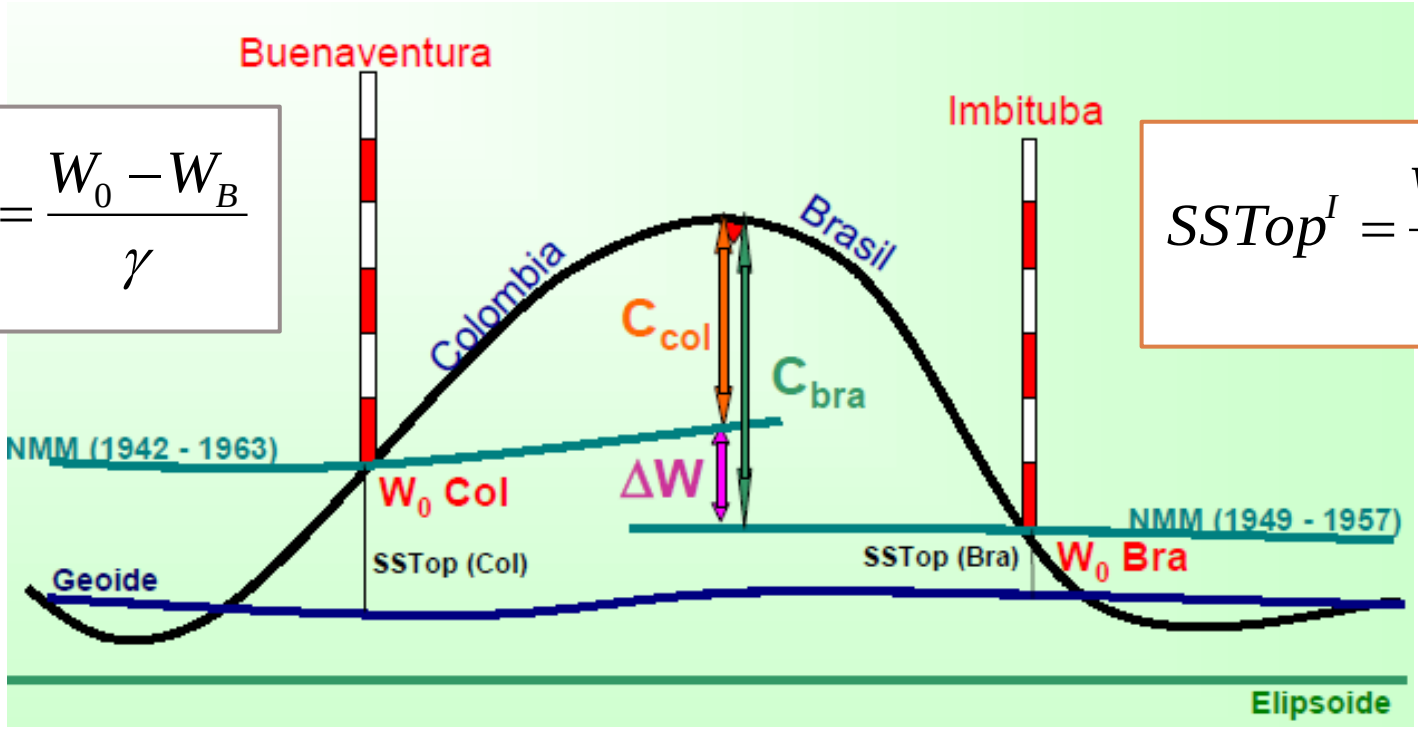
$H = h - N^*$



FONTE: SIRGAS., 2005

6.2. Aspectos Clássicos e **Atuais** da definição de um ***Datum* Vertical**

$$SSTop^{B} = \frac{W_0 - W_B}{\gamma}$$



$$SSTop^{I} = \frac{W_0 - W_I}{\gamma}$$

***DATUM* VERTICAL MODERNO:**

- Nível Médio do Mar (NMM) DIFERENTE do Geóide → **NMM ≠ Geóide;**
- **SSTop** (**S**ea **S**urface **Top**ography) ou **TNMM** (Topografia do Nível Médio do Mar);
- SSTop (varia ± 2m)

FONTE: SIRGAS, 2002

6.3. Altitudes Físicas, **Número Geopotencial** e Sistemas de Altitudes

- Chama-se de **Número Geopotencial** de um ponto (***CP***) da superfície física da Terra a diferença entre o geopotencial ***W0*** no geoide e o geopotencial ***WP*** nesse ponto.

$$C_P = W_0 - W_P = \int_0^P g\,dn \cong \sum g_m \Delta H$$

Parte teórica

Parte prática

[kGal m]
equivalente[10 $m^2\,s^{-2}$].

Considera-se os desníveles ΔH das secções com nivelamento geométrico, junto com a gravidade g_m que assume o valor médio da gravidade mensurada sobre dita secção.

FONTE: Gemael, 1999
Torgue, 2001

6.3. Altitudes Físicas, **Número Geopotencial** e Sistemas de Altitudes

- O número geopotencial, é uma grandeza unívoca, independente do trajeto seguido para o deslocamento entre duas superfícies equipotenciais, e tem significado físico real na definição da altitude com relação à superfície de referência, o que não ocorre com os desníveis medidos geometricamente.

FONTE: Ferreira, 2011

6.3. Altitudes Físicas, Número Geopotencial e **Sistemas de Altitudes**

ALTITUDES DE TIPO GEOMÉTRICO

- Altitude Nivelada
- Altitude Elipsoidal
- Altitude Normal
  - **Molodenski**
  - **Vignal**
  - **Bomford**
  - **Hirvonen**

ALTITUDES DE TIPO FÍSICO

- Altitude Dinâmica
- Altitude Ortométrica (Científica):
  - **Helmert**
  - **Niethammer**
  - **Mader**
  - **Mueller**
  - **Ramsayer**
  - **Ledersteger**
  - **Baranov**

FONTE: Gemael, 1999
Sánchez, 2002

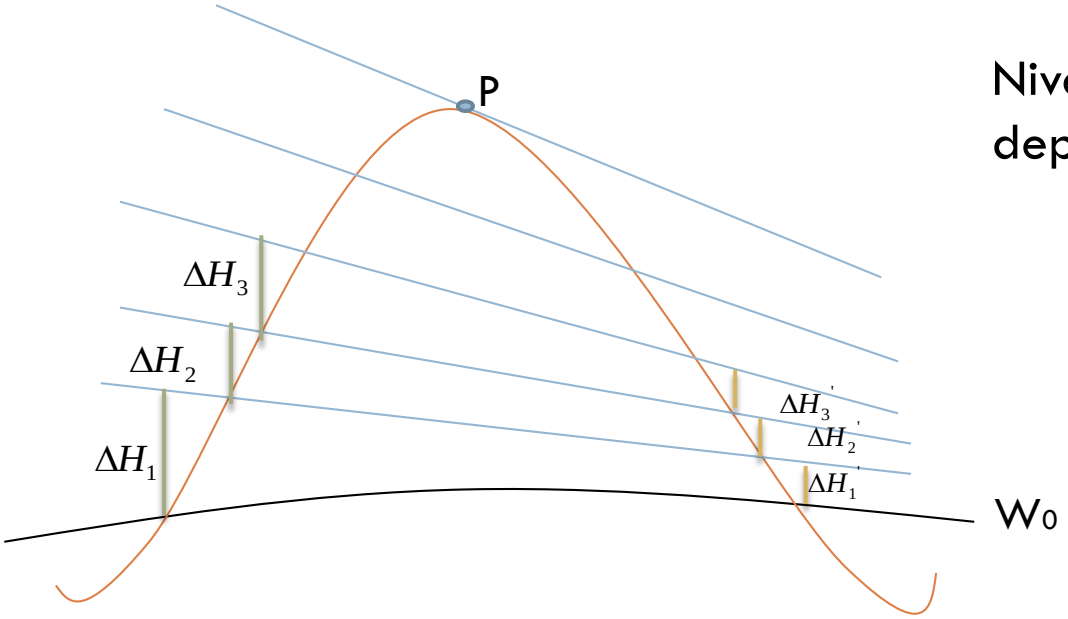
6.3. Altitudes Físicas, Número Geopotencial e **Sistemas de Altitudes**

ALTITUDES DE TIPO GEOMÉTRICO

- **Altitude Nivelada**

Equipotencias não paralelas

Nivelamento Geométrico → Desnível depende da trajetória



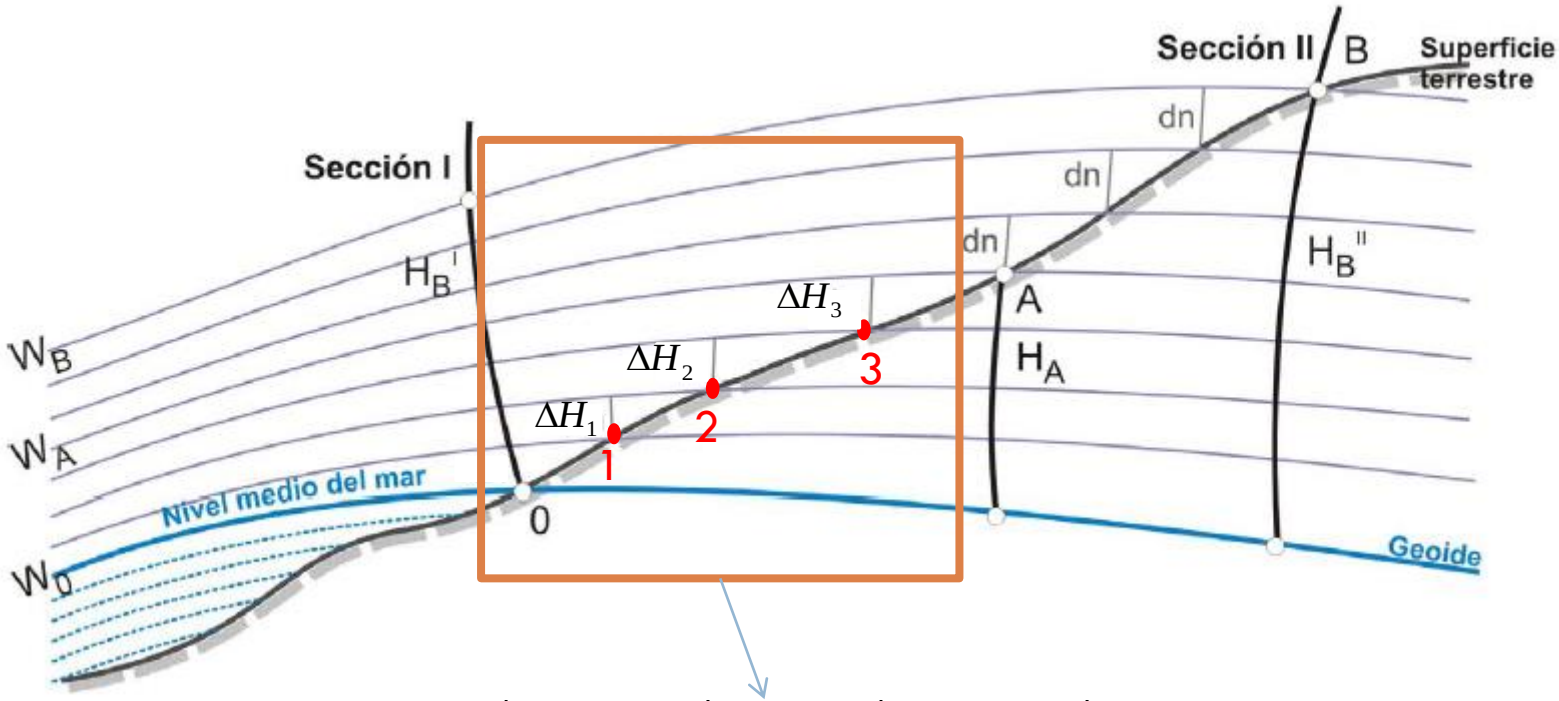
$$\sum \Delta H_i \neq \sum \Delta H'_i$$

FONTE: Adaptado de De Freitas, 2013 e Dalazoana, 2015

6.3. Altitudes Físicas, Número Geopotencial e **Sistemas de Altitudes**

ALTITUDES DE TIPO GEOMÉTRICO

- **Altitude Nivelada**



$$\Delta H_1\left(\frac{g_2-g_1}{2}\right)+\Delta H_2\left(\frac{g_3-g_2}{2}\right)+.....$$

FONTE: Adaptado de Sánchez, 2002

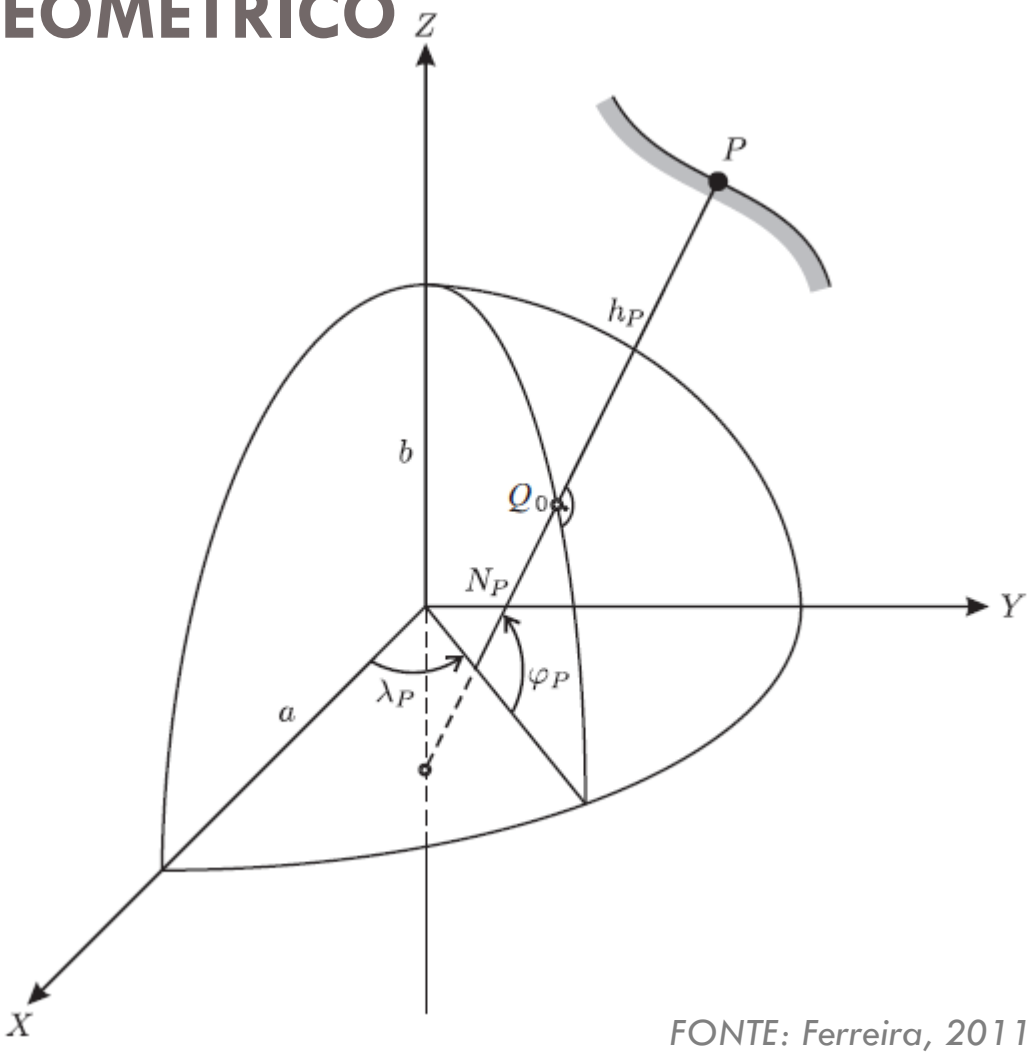
6.3. Altitudes Físicas, Número Geopotencial e **Sistemas de Altitudes**

ALTITUDES DE TIPO GEOMÉTRICO

- **Altitude Elipsoidal**

Distância a partir da superfície terrestre (P) para o elipsoide de referência medida ao longo da normal

$$h \approx H + N$$



FONTE: Ferreira, 2011

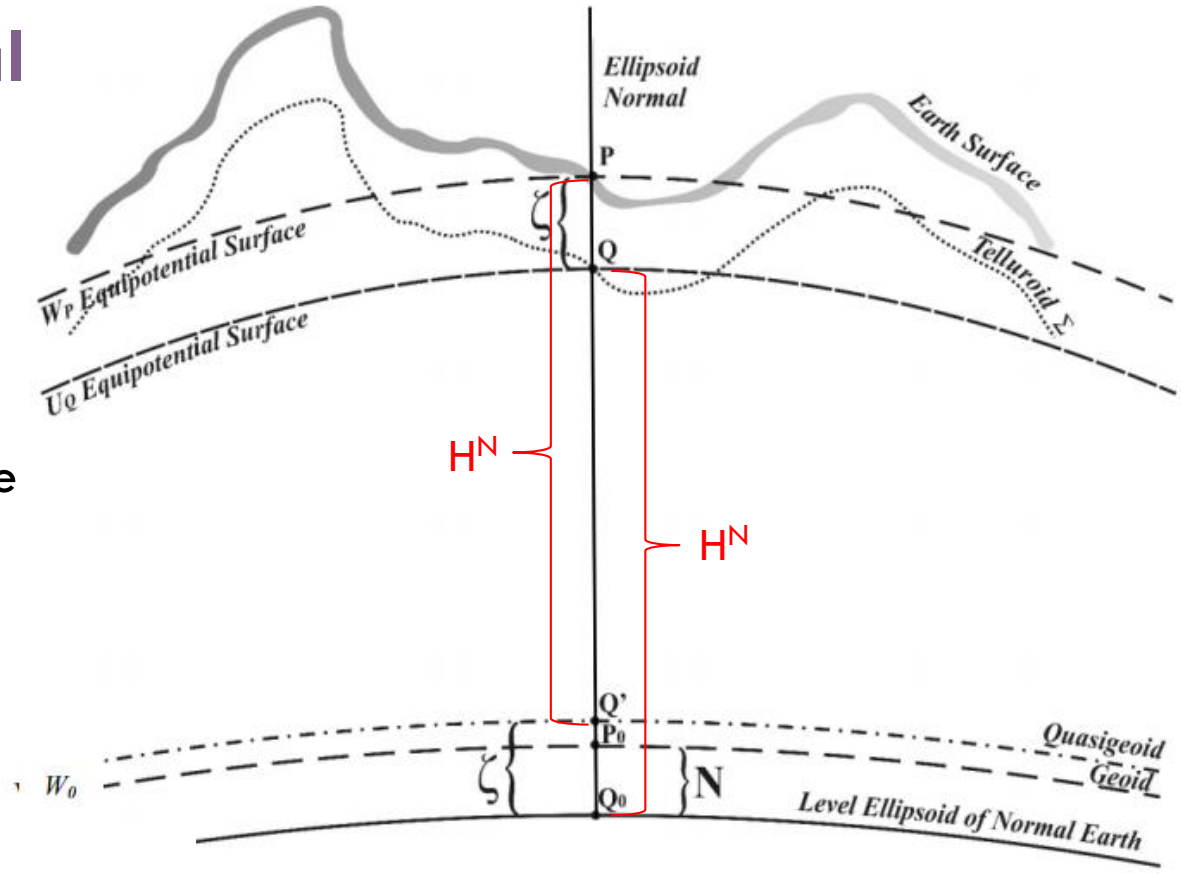
6.3. Altitudes Físicas, Número Geopotencial e **Sistemas de Altitudes**

ALTITUDES DE TIPO GEOMÉTRICO

- **Altitude Normal**

$$H^N = \frac{C}{\gamma_m}$$

γ_m É valor da gravidade média entre o elipsoide de referência e o ponto de altitude normal



ζ anomalia de altitude

FONTE: Gemael, 1999
Sánchez, 2002
De Freitas, 2015

6.3. Altitudes Físicas, Número Geopotencial e **Sistemas de Altitudes**

ALTITUDES DE TIPO GEOMÉTRICO

Altitude Normal

- **Vignal**

$$H^V = \frac{C}{\gamma_m}$$

$$\gamma_m = \gamma - 0{,}154H$$

As altitudes normais, podem ser determinadas sem a formulação de hipóteses na estimativa do valor médio da gravidade.

Sua precisão depende:

- Das diferenças de nível medidas,
- Dos valores de gravidade (observada ou interpolada),
- Da latitude do ponto
- Da precisão da fórmula da gravidade teórica;

FONTE: Gemael, 1999
Sánchez, 2002

6.3. Altitudes Físicas, Número Geopotencial e **Sistemas de Altitudes**

ALTITUDES DE TIPO FÍSICO

□ Altitude Dinâmica

$$H^D = \frac{C}{\gamma_0}$$

Altitude dinâmica é a única que pontos na mesma equipotencial tem mesma altitude

γ_0 é a gravidade normal para uma latitude arbitrária, geralmente 45°.

FONTE: Sánchez, 2002
Delazoana, 2015

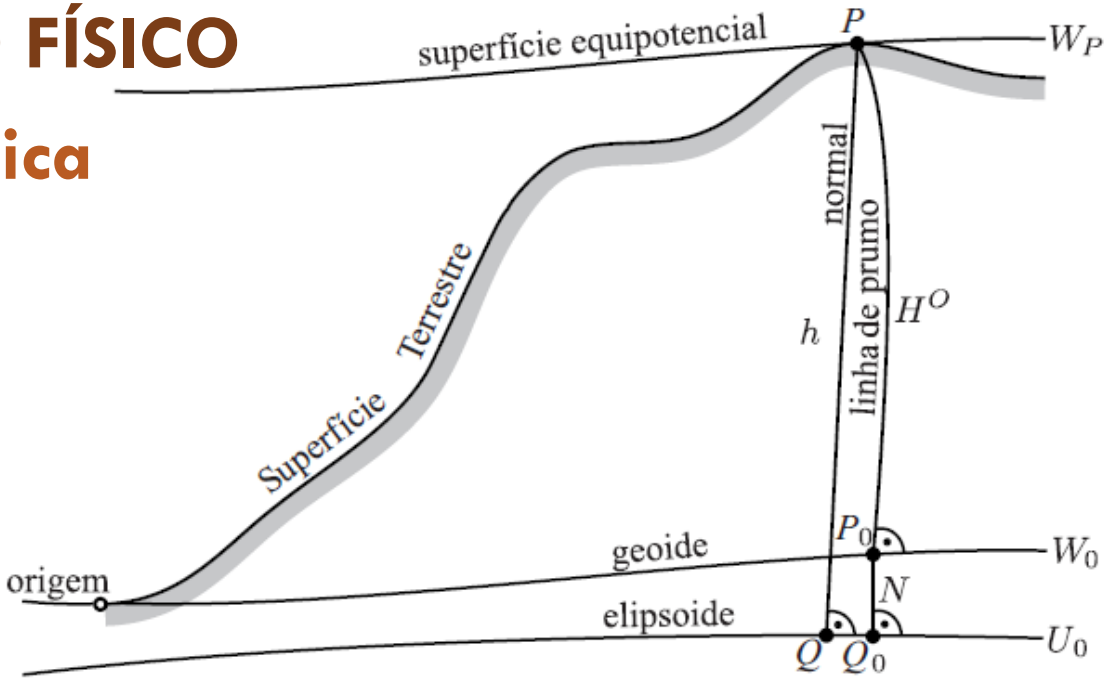
6.3. Altitudes Físicas, Número Geopotencial e **Sistemas de Altitudes**

ALTITUDES DE TIPO FÍSICO

□ Altitude Ortométrica

$$H^O = \frac{C}{g_m}$$

g_m Valor médio da gravidade real mensurada ao longo da linha de prumo entre o geóide e o ponto de observação.



H^O é definida como a distância desde a superfície do geóide até um ponto na superfície terrestre medida ao longo da linha de prumo que passa por este ponto.

FONTE: Gemael, 1999
Sánchez, 2002
Ferreira, 2011

6.3. Altitudes Físicas, Número Geopotencial e **Sistemas de Altitudes**

ALTITUDES DE TIPO FÍSICO

□ Altitude Ortométrica

- **Helmert**

$$H^H = \frac{C}{g_m}$$

$$g_m = g + 0{,}0424H$$

Redução de Poincaré-Prey

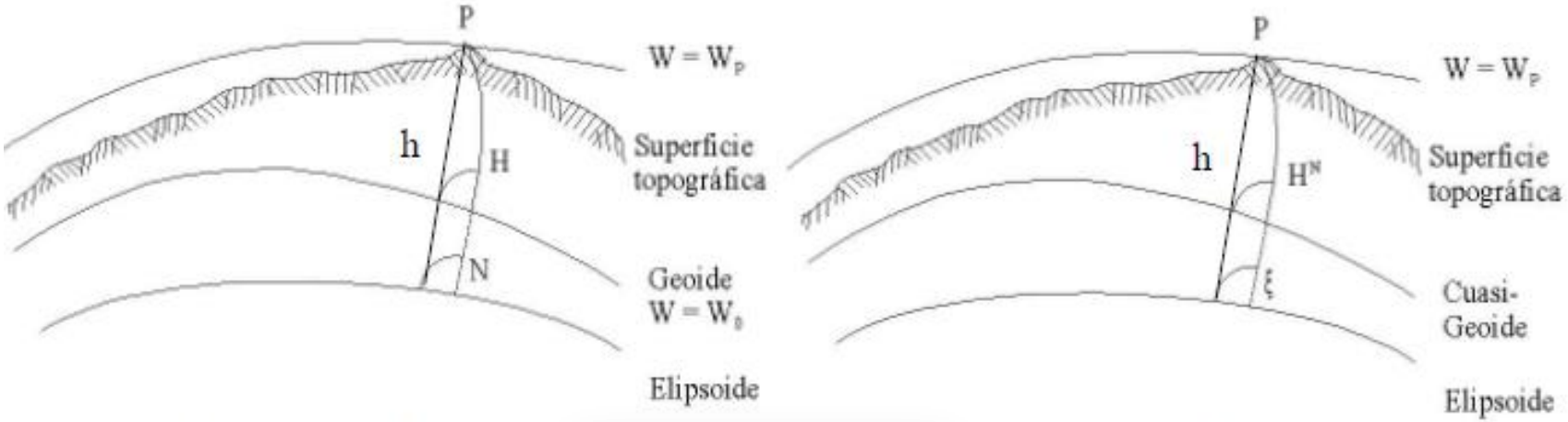
$$\frac{\delta g}{\delta h} = -0{,}0848 \quad \text{mGal por metro}$$

A gravidade tem uma variação linear com a altitude –> a densidade das massas internas é constante e o gradiente vertical da gravidade real é igual ao gradiente vertical da gravidade teórica.

FONTE: Gemael, 1999
Sánchez, 2002

6.3. Altitudes Físicas, Número Geopotencial e **Sistemas de Altitudes**

Combinação de Altitudes Modernas e Clássicas



$$H = h - N$$

$$N \cong \zeta + \frac{\Delta g_B}{\gamma_m} H_P^{Niv}$$

$$H^N = h - \zeta$$

g_m só pode ser determinada usando diferentes hipóteses para gradiente da gravidade (dg/dH) e distribuição de massas.

Geóide (N)

γ_m pode ser calculada mediante parâmetros do elipsóide de referência (e.g GRS80).

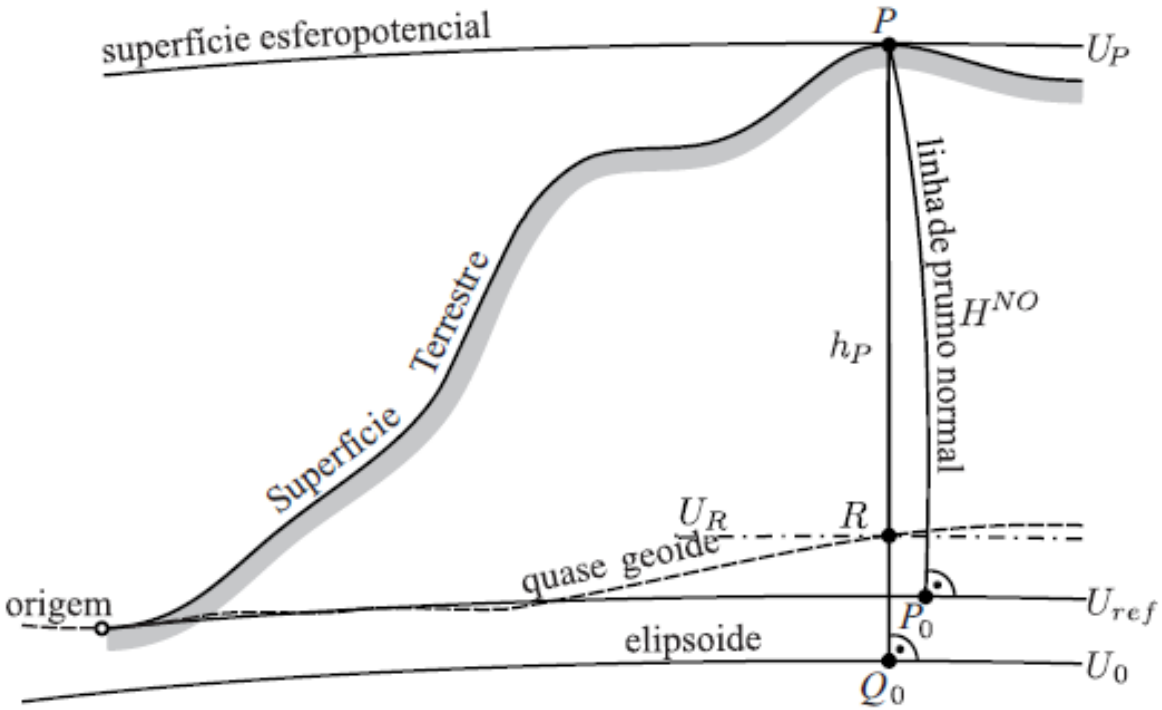
Quase-Geóide (anomalia de altitude)

FONTE: Sánchez, 2002

6.3. Altitudes Físicas, Número Geopotencial e **Sistemas de Altitudes**

Altitude Ortométrica - Normal

Estas altitudes não são nem ortométricas, nem normal, ou seja, elas não são referidas ao Geóide ou ao Quase-geoide.
Determinadas empregando-se a gravidade normal ao invés da gravidade real, porém, empregando-se a formulação matemática das altitudes ortométricas



FONTE: Ferreira, 2011

6.3. Altitudes Físicas, Número Geopotencial e **Sistemas de Altitudes**

Altitude Ortométrica - Normal

Segundo Heck (2003a), a altitude normal-ortométrica H^{NO} é dada por:

$$H^{NO} = \frac{C'_P}{\bar{\gamma}\left(\varphi, H^{NO}\right)},$$

onde C' é o número esferopotencial dado por:

$$C' = \int_{P_0}^{P} \gamma dn,$$

e pode ainda ser calculado como:

$$C'_P = U_{ref} - U_P.$$

- Altitudes usadas no Brasil.
- Não tem caráter físico
- Não tem uma superfície de referência

FONTE: Ferreira, 2011

6. SISTEMAS E REDES GEODÉSICAS VERTICAIS FUNDAMENTAIS

- REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

BROVAR, V. A possible improvement in the accuracy of gravimetric results in Geodesy. Sov. Astron. 15 (1972), 1055–1058.

DE FREITAS, S. R.C. SIRGAS;WGIII activities for unifying height system in Latin America. Revista Cartográfica IPHG, 2015.

FERREIRA, V. Solução do tipo Brovar para o Segundo Problema de Valor de Contorno da Geodésia com vistas à modernização de sistemas de altitudes. 2011

GEMAEL, C. Introdução a Geodésia Física, 1999.

GGOS (*Global Geodetic Observing System*). The Goals and Tasks of the Global Geodetic Observing System (GGOS). Disponible en: <http://192.106.234.28/HOME/Objectives.html>.

HECK, B. A Brovar-type Solution of the fixed Geodetic Boundary Value Problem. Studia Geophysica et Geodaetica. v. 55, Issue 3, p. 441-454, July 2011.

HOFMANN-WELLENHOF, B., MORITZ, H. Physical Geodesy. Springer Wien New York, 2005.

IAG (International Association of Geodesy). IAG History. Disponible en: < http://www.iag-aig.org/index.php>.

6. SISTEMAS E REDES GEODÉSICAS VERTICAIS FUNDAMENTAIS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

IAG. GGRF Description, 2015.

IHDE, J. IAG-ICP 1.2. Inter-Commission Project 1.2: Vertical Reference Frames. Report of the International Association of Geodesy, 2007-2011.

Sánchez, 2002. Determinación de Alturas Físicas en Colombia.

SIRGAS. Boletín Informativo N. 7, 2002.

SIRGAS-GTIII. Reporte 2005.

SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas). Definición de SIRGAS. Disponible en: <http://www.sirgas.org/index.php?id=52>.

SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas). SIRGAS-GTIII (Datum vertical). Disponible en: <http://www.sirgas.org/index.php?id=60>. Acceso en 2014.

SIDERIS, M. Introduction. Global Geodetic Observing System - GGOS 2020 Book. Springer, 2009.