

# Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia de Transportes – PTR

Laboratório de Topografia e Geodésia – LTG

## PTR 5003 – Fundamentos de Informações Espaciais



PTR5003

# Fundamentos de Informações Espaciais



Denizar Blitzkow

Edvaldo Simões da Fonseca Jr.

Jorge Pimentel Cintra

Nicola Paciléo Netto

Ana Paula Larocca

## Colaboradores

André Rodrigues

Caio Marcelo Ferreira Santos

Cláudio Alessandro Cervelin

Virgínia da Silva Gante

# CONCEITO DE TOPOGRAFIA

- **Topografia** é o conjunto dos princípios, técnicas e convenções utilizadas para a determinação do contorno, das dimensões e da posição relativa de pontos sobre a superfície da terra ou no seu interior (minas, túneis, galerias, etc).

Consiste na arte de medir distâncias entre pontos, ângulos entre direções e locar pontos a partir de ângulos e distâncias observadas usando um ponto com coordenadas predeterminadas como referência.

- Ciências afins: Geodésia, Cartografia, Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Astronomia.

# CONCEITO DE GEODÉSIA

**Geodésia** é a ciência que estuda a forma e as dimensões da Terra, a posição de pontos sobre sua superfície e a modelagem do campo gravitacional.

- Divisão: Geodésia Geométrica  
Geodésia Física  
Geodésia Espacial

(No passado)

Hoje há uma interação entre estas partes o que torna a separação sem sentido.

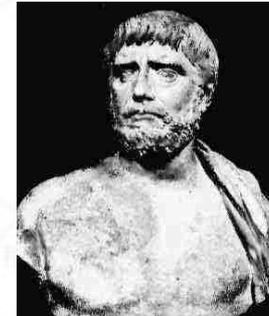
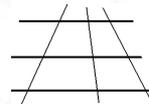
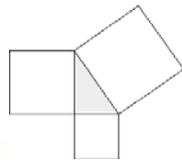
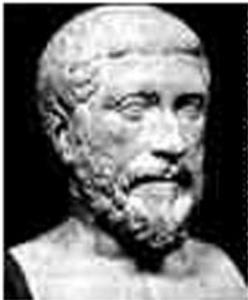
Três objetos: a geometria e as deformações da Terra, os parâmetros de orientação da Terra no espaço e o campo de gravidade (geóide).



# FORMA DA TERRA - A ESFERA



- Pitágoras de Samos (571-497 a.C.) e Tales de Mileto (630-545 a.C.) defendiam a esfericidade da Terra e o fato da mesma girar em torno do Sol (heliocentrismo).



- **Aristóteles (384-322 a.C.)** apresentou três argumentos para a esfericidade da Terra:

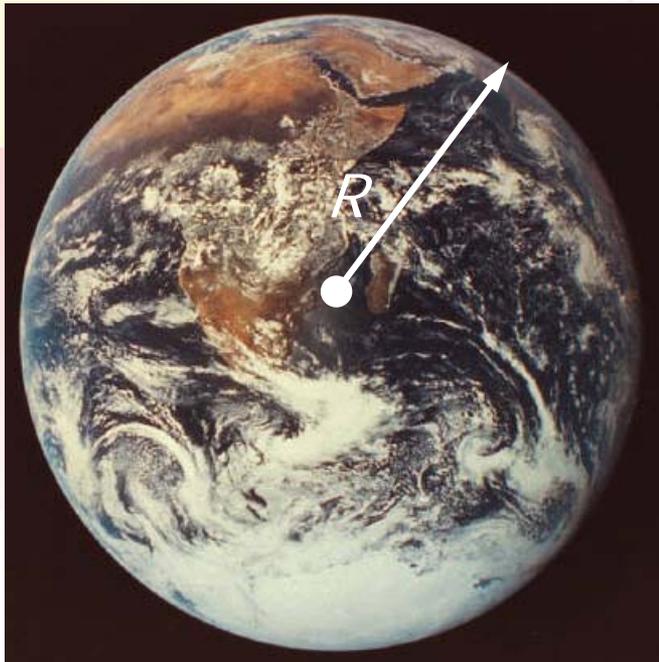
- variação no aspecto do céu estrelado com a latitude;
- sombra circular da Terra nos eclipses da Lua;
- tendência das partículas a se dirigirem para um ponto central do universo, quando competem entre si adquirindo a forma esférica.



# FORMA DA TERRA - A ESFERA

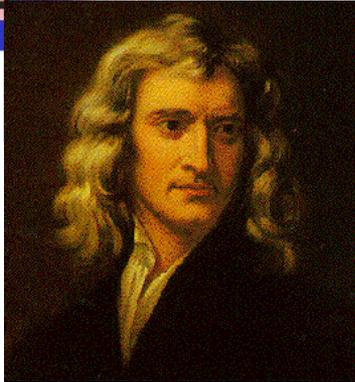
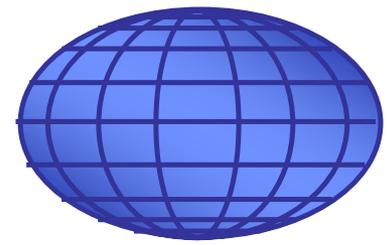


**Eratóstenes** (276-197 a.C) realizou a primeira determinação do raio da Terra igual a 39.556,96 estádios  $\cong$  6.210 km, com erro inferior a 2%. Na verdade os Gregos foram responsáveis por dois conceitos, a forma esférica e o sistema geocêntrico que, embora errados, duraram séculos. No primeiro caso a correção veio com Newton.



Galileo Galilei (sec.16) defendeu a idéia do sistema heliocêntrico.

# FORMA DA TERRA – O ELIPSÓIDE



- **Sir Isaac Newton** (1642-1727) considerou a forma da Terra como uma figura geométrica gerada pela rotação de uma elipse em torno do eixo menor, chamada elipsóide de revolução, consequência da da força centrífuga oriunda da rotação em torno do eixo.

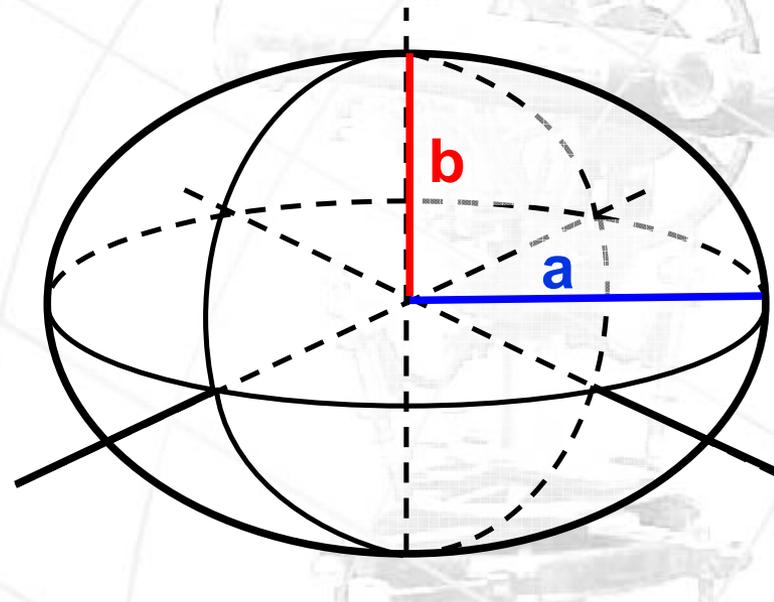
- O Elipsóide de rotação é definido por:

- semi-eixo maior **a**

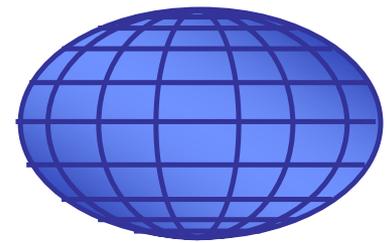
- semi-eixo menor **b**

- achatamento:  $\alpha$  ou  $f = \frac{(a-b)}{a}$

- Excentricidade:  $e = \frac{c}{a}$

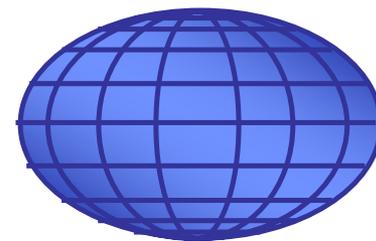


# FORMA DA TERRA – O ELIPSÓIDE



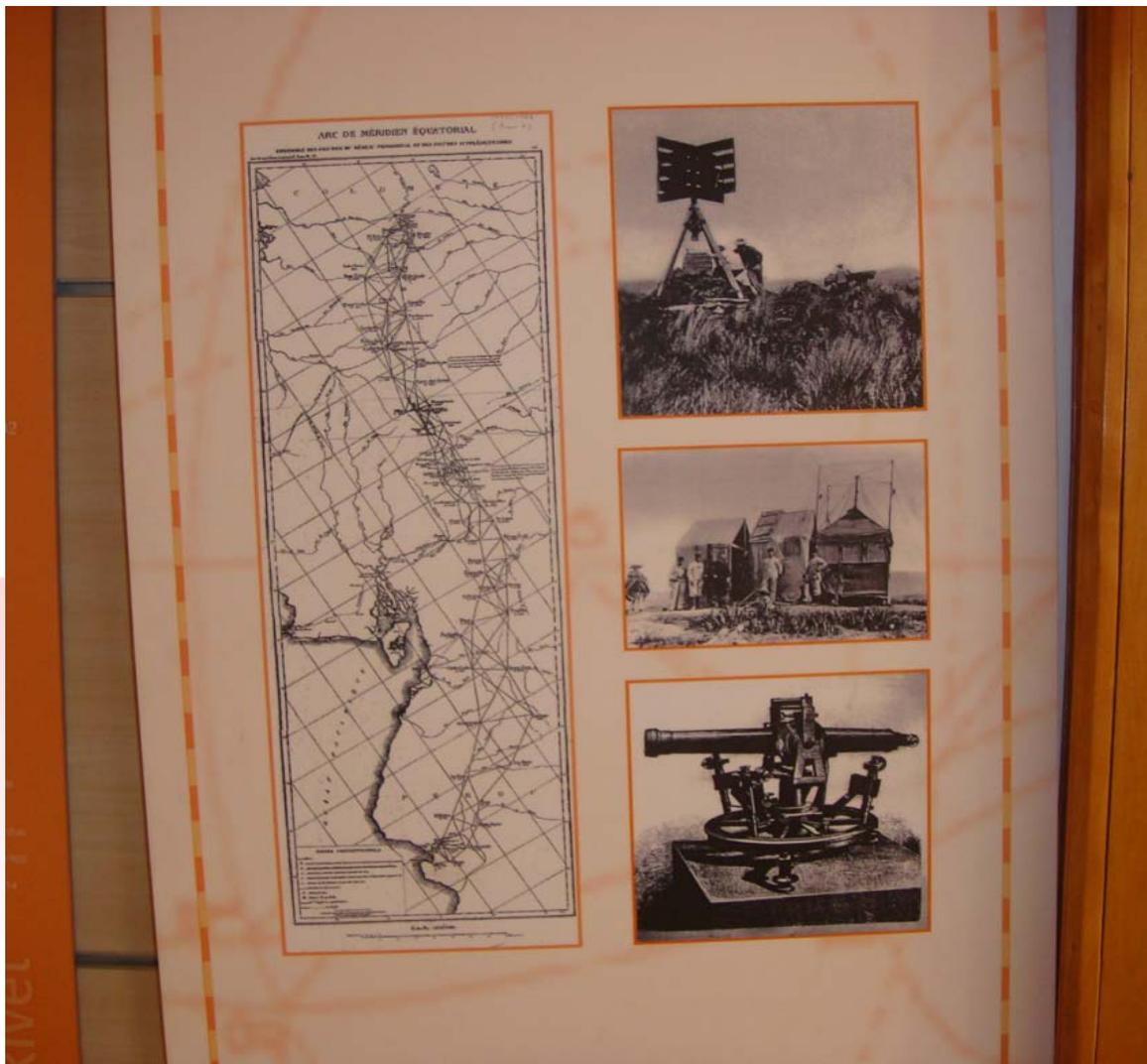
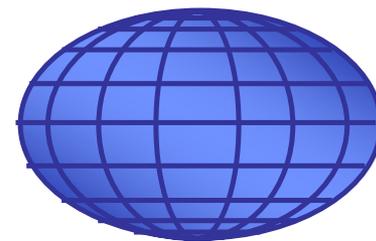
- Na França em 1666 foi criada a Academia Real de Ciências. Sob a direção dos Cassinis (Dominique e Jacques) desenvolveu-se em 1669 uma triangulação entre Dunkerque e Collioure, coordenado por Jean Piccard. O resultado foi estranho: o comprimento do arco de  $1^\circ$  diminuía na direção norte (Terra alongada e não achatada). Daí resultaram as famosas expedições francesas, uma para a Lapônia e outra para o então Vice-Reinado do Peru, hoje o Equador.
- As expedições confirmaram a teoria de Newton.

# Expedições francesas - Equador



Triangulação  
Quito  
Equador

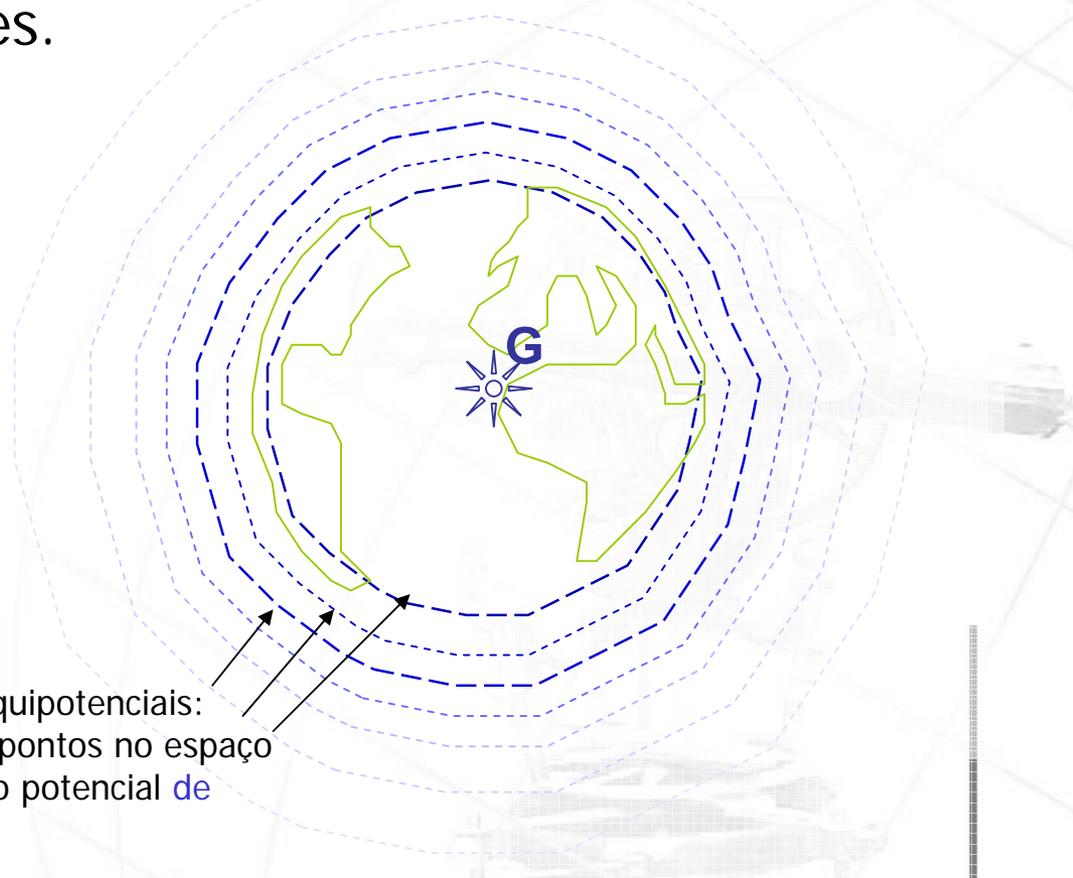
# Expedições francesas – Equador



Triangulação  
Quito  
Equador

# FORMA DA TERRA – O GEÓIDE

- **Gauss** (1777 - 1855) caracterizou a **Superfície Geoidal** como uma **superfície equipotencial** do campo de gravidade que coincide com o nível médio não perturbado dos mares.



Superfícies equipotenciais:  
conjunto de pontos no espaço  
com o mesmo potencial de  
gravidade

# FORMA DA TERRA - O GEÓIDE

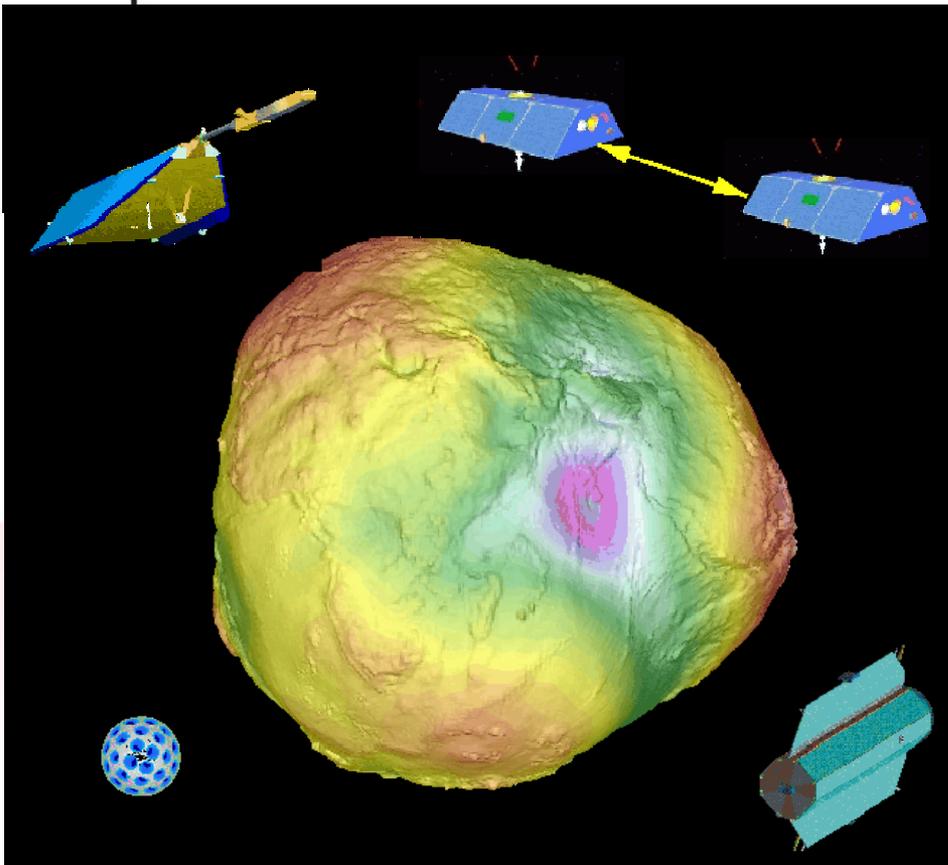


Figura do GFZ

O Geóide é um corpo com uma distribuição não-homogênea de massa. As heterogeneidades são pequenas. Por isso, sua superfície é **levemente** irregular.

- Em todos os pontos da superfície geoidal, o potencial de gravidade é constante ( $W_0$ ). A referida superfície pode ser materializada através dos marégrafos.

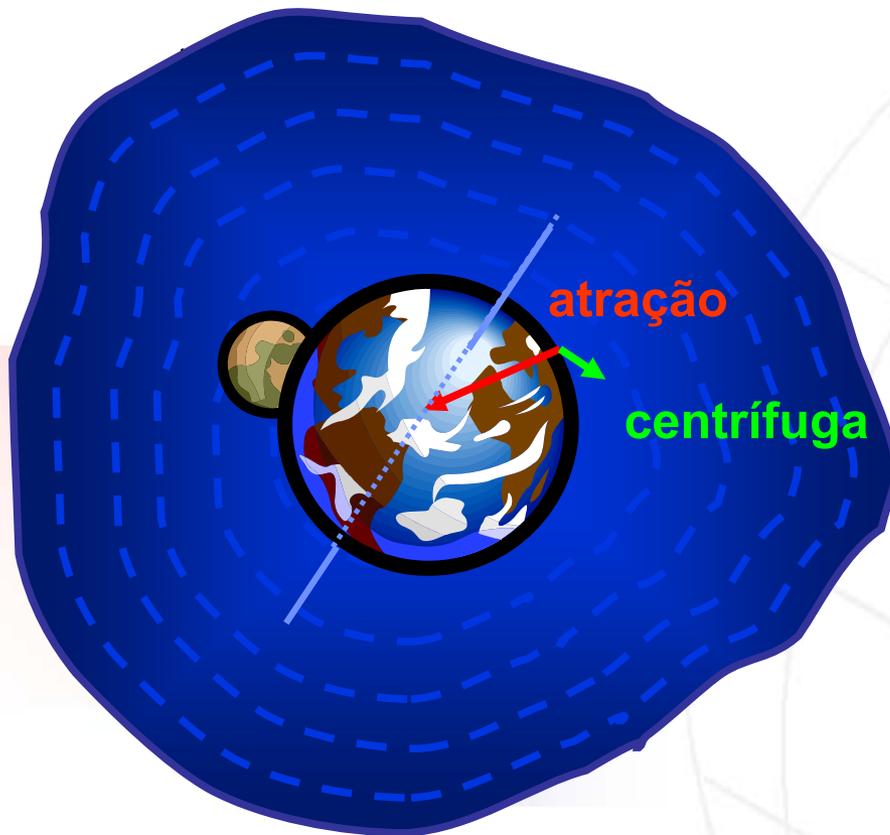
# IRREGULARIDADES NA FORMA DA TERRA



Os Andes e a Amazônia sugerem uma idéia completamente oposta de massa. O primeiro caso insinua mais massa do que o segundo. Entretanto, as duas regiões tem quantidades semelhantes de massa. A razão é a isostasia.

# A FORMA DA TERRA – FORÇAS PERTINENTES

Um objeto **sobre ou próximo** da superfície da Terra está sujeito, entre outras, a duas forças: atração (ou gravitacional) e centrífuga. A resultante **das duas** é a **força de gravidade**.



**Campo gravitacional** é o conjunto de pontos do espaço sujeito à força gravitacional.

**Campo de gravidade** é o conjunto de pontos do espaço sujeito à força de gravidade.

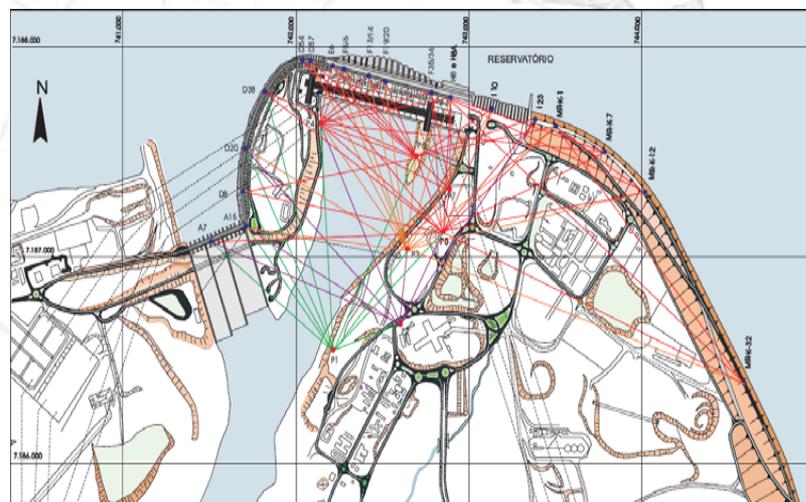
# A GEODESIA E A ENGENHARIA

A Engenharia exige cada vez mais da Topografia e da Geodesia. As grandes estruturas precisam ser locadas (posicionadas) com precisão. Por exemplo, a construção da ponte estaiada exigiu um posicionamento preciso do mastro. Por outro lado, o tabuleiro é construído por segmentos (blocos) que precisam igualmente ser posicionados com muita precisão.



# A GEODESIA E A ENGENHARIA

Finalmente as grandes estruturas precisam ser monitoradas para detectar eventual deslocamento ou deformação. Para tanto entram os sensores civis e os equipamentos geodésicos: estação total (medem ângulo e distância) ou receptor GPS.



# D.G.H. SISTEMA GEODÉSICO

Anteriormente à Era Espacial, o sistema geodésico de referência era estabelecido através de observações astronômicas, das redes de triangulação ou, com menos rigor, das poligonais eletrônicas, conduzidas a partir de um ponto origem e da adoção de um elipsóide. Era o chamado Datum Geodésico.

- **Datum Geodésico Horizontal (DGH)** adota:
  - Elipsóide de referência: fixação e orientação no espaço.
  - Ponto origem: **com a atribuição** de coordenadas geodésicas, altura geoidal e um azimute de partida.
  - **Sistema Geodésico definido**: define-se o sistema geodésico através da escolha do DGH.
- **Sistema Geodésico materializado**: Os marcos de referência e respectivas coordenadas são sua materialização .

# SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

Data (**plural de datum**) utilizados no Brasil:

## ■ Até 1979

- Origem: Córrego Alegre
- Elipsóide: Hayford (internacional)
- $a$  (semi-eixo maior) = 6.378.388 m
- $e^2 = 0,00672267$
- achatamento:  $1/f = 1/297$

## ■ Após 1979

- Origem: Chuá SAD-69
- Elipsóide: GRS 1967 (UGGI67).
- $a = 6\ 378\ 160$  m
- $e^2 = 0,0066946053$
- achatamento:  $1/f = 1/298,25$

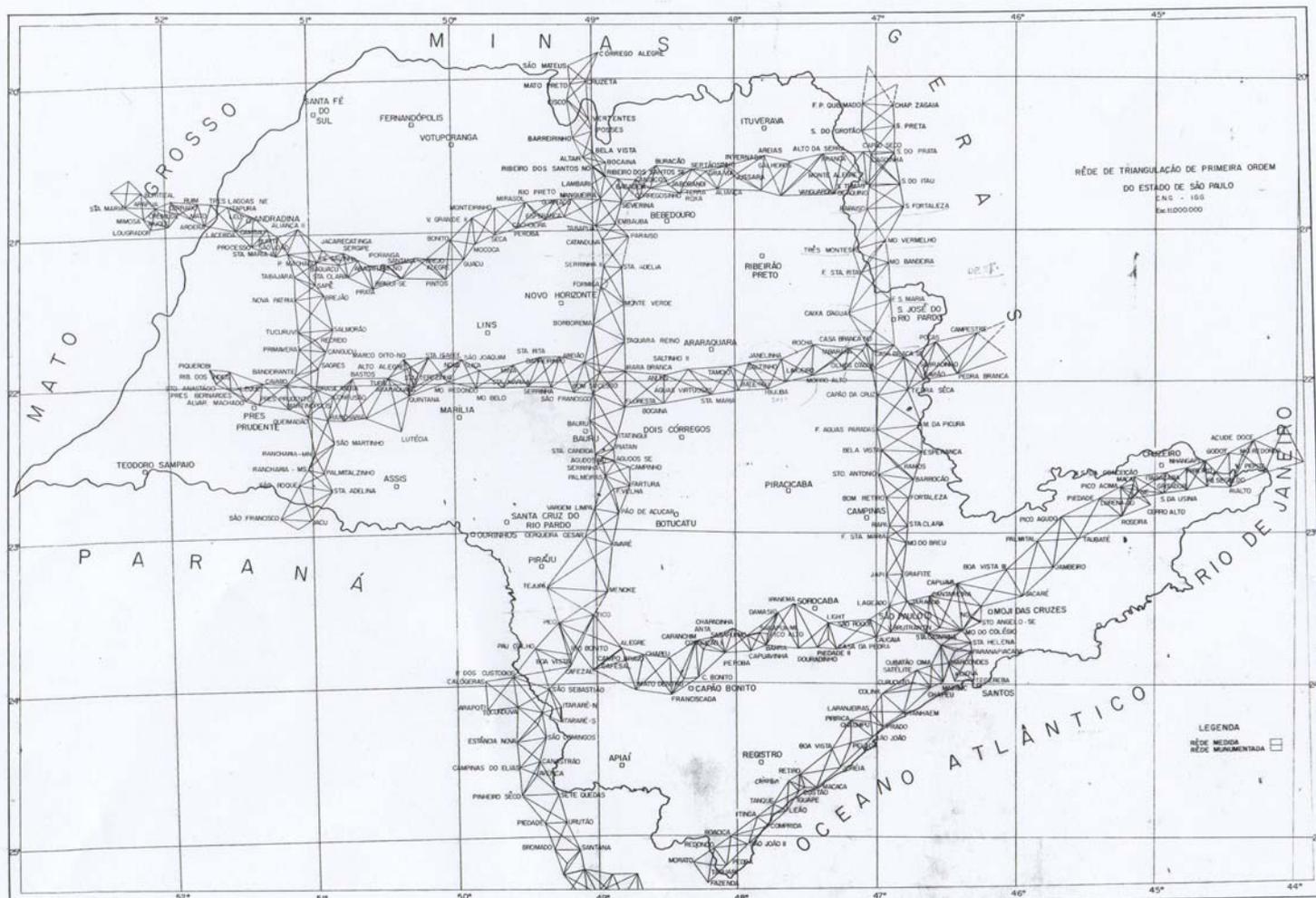
## ■ Desde 25/02/2005 o Brasil adota:

- SIRGAS 2000 (materialização- 2000) – época 2000,4
- Elipsóide GRS 80
- $a = 6\ 378\ 137$  m
- achatamento =  $1/f = 1/298,25722101$

**Obs.: O mapeamento de São Paulo e de diversas áreas do Brasil continua referido ao Córrego Alegre.**

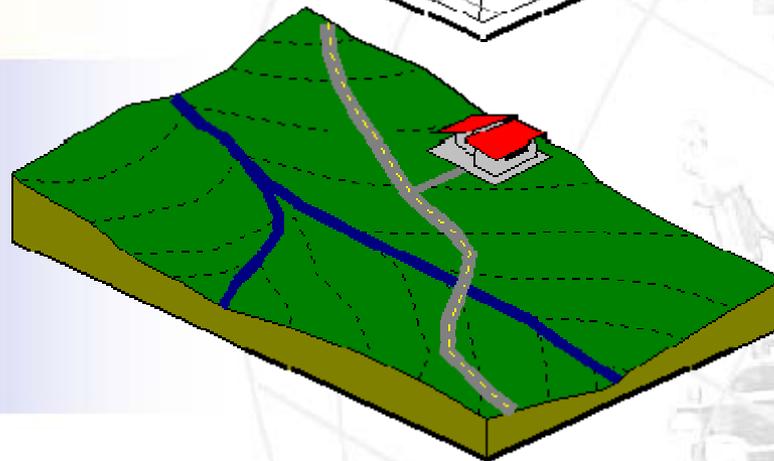
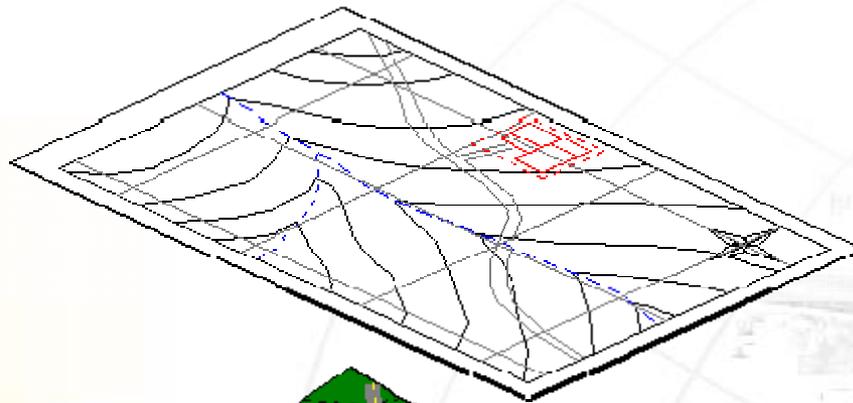


# Rede de Triangulação – cadeia do Estado de São Paulo



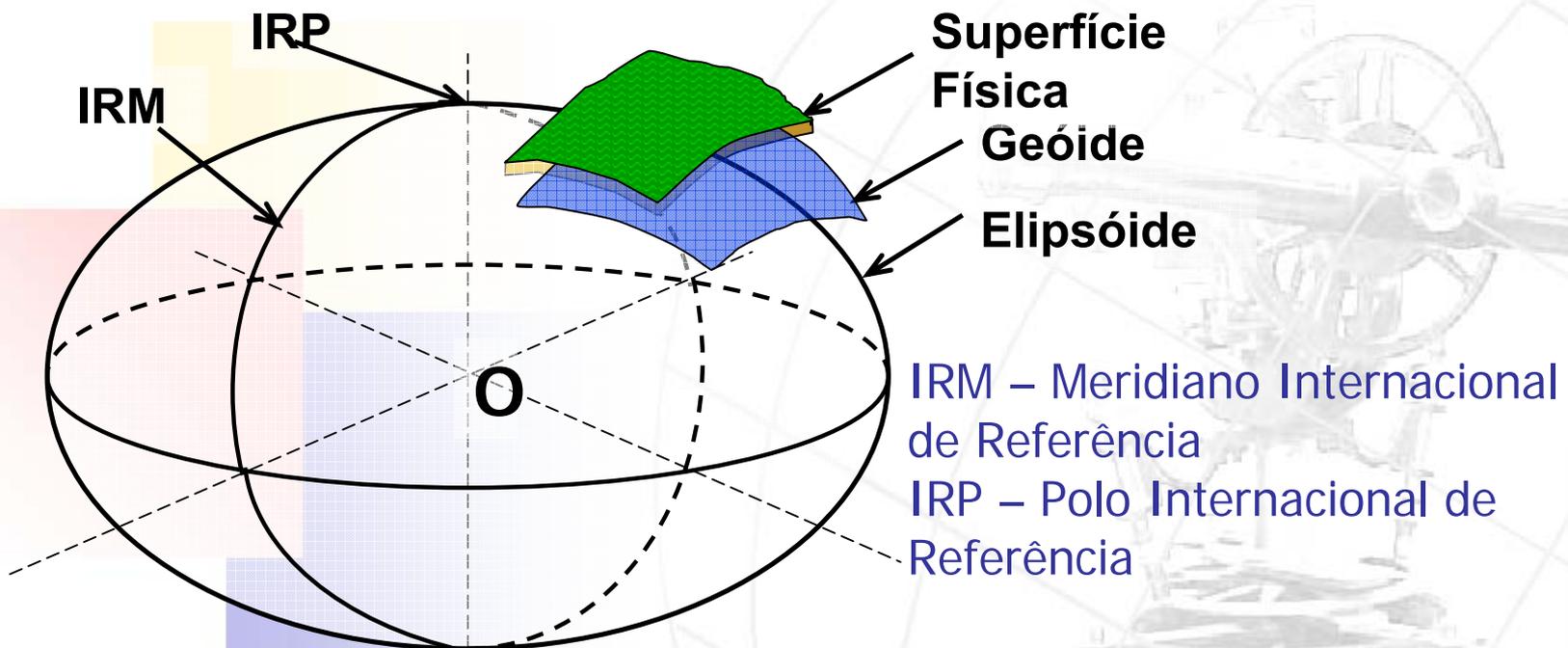
# PLANO TOPOGRÁFICO

Plano topográfico é um plano horizontal, finito, tangente à superfície da esfera terrestre e de dimensões limitadas ao campo topográfico.



# SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA

- SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA
  - Superfície geoidal: limitante do geóide.
  - Superfície física: limitante do relevo topográfico
  - Superfície elipsoidal: limitante do elipsóide de referência.



# DIREÇÕES NO GEÓIDE E NO ELIPSÓIDE

- VERTICAL

- reta que passa por um ponto do espaço perpendicular à superfície geoidal.

- NORMAL

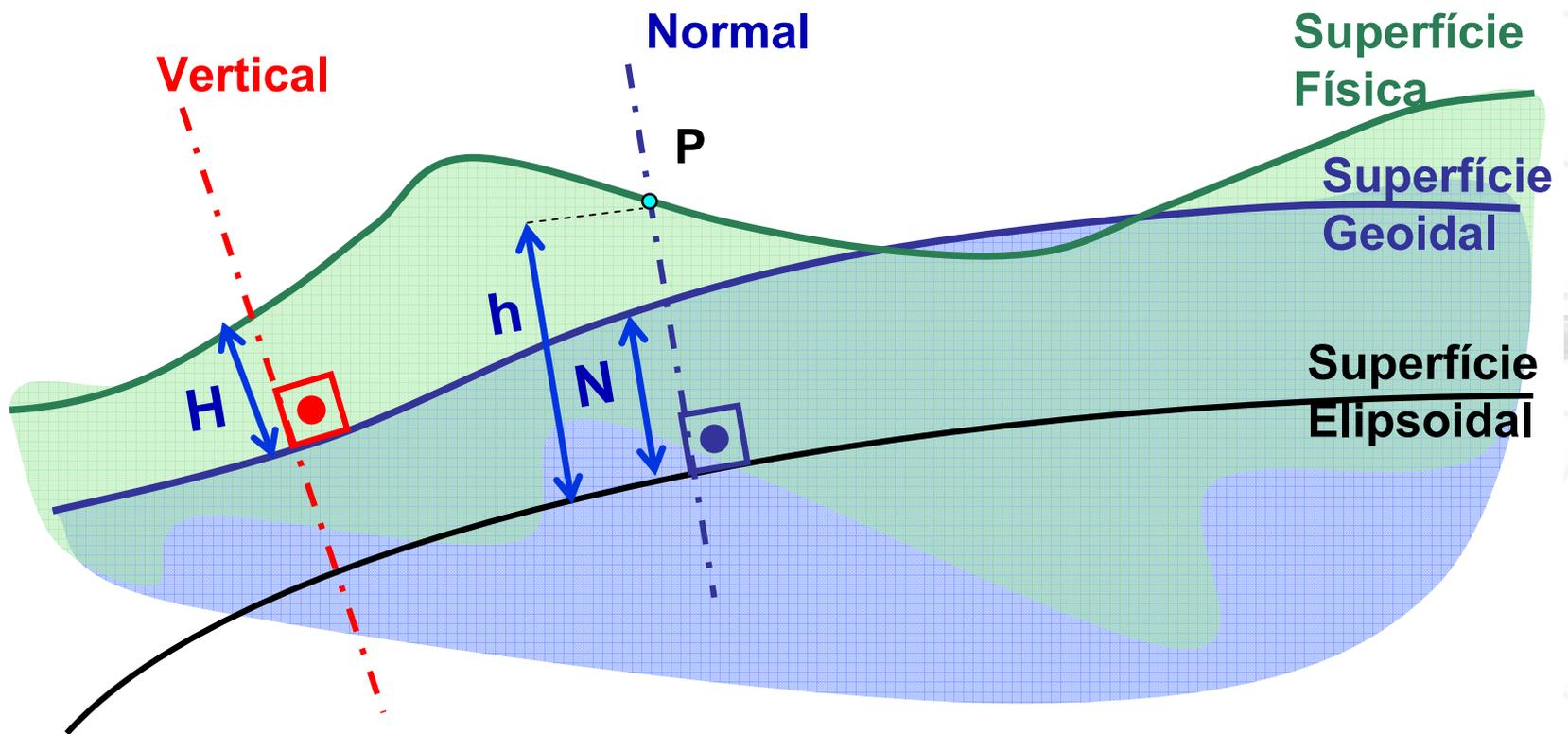
- reta que passa por um ponto do espaço perpendicular à superfície elipsoidal.

# SEPARAÇÃO ENTRE SUPERFÍCIES

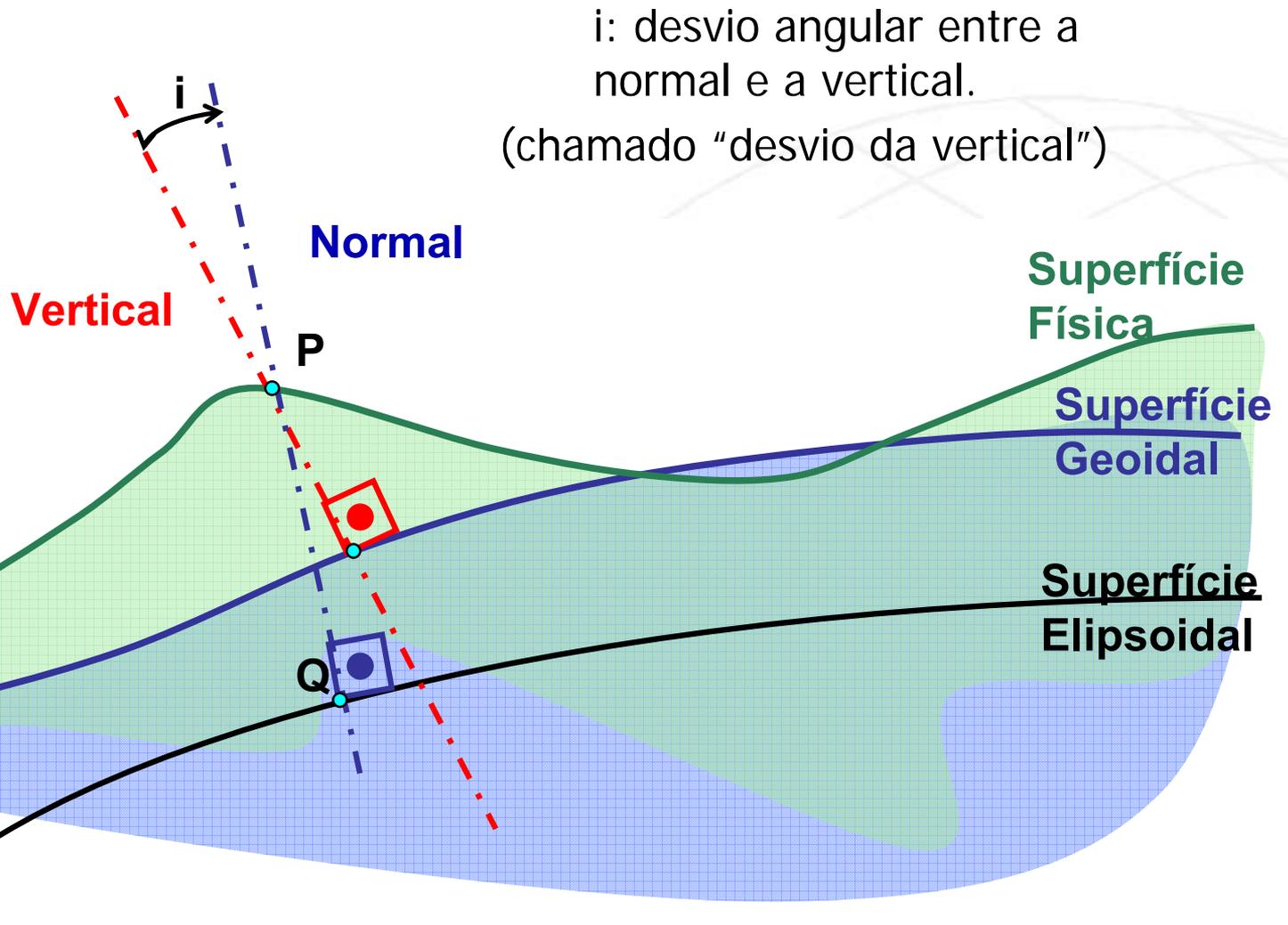
- ALTITUDE ORTOMÉTRICA (H)
  - distância entre a superfície geoidal e a superfície física medida ao longo da vertical.
- ALTURA GEOIDAL (N)
  - distância entre a superfície elipsoidal e a geoidal medida ao longo da normal.
- ALTITUDE GEODÉSICA OU GEOMÉTRICA (h)
  - distância entre a superfície elipsoidal e o ponto espacial P, medida ao longo da normal.

# SEPARAÇÃO ENTRE SUPERFÍCIES

- Vertical, normal e superfícies de referência

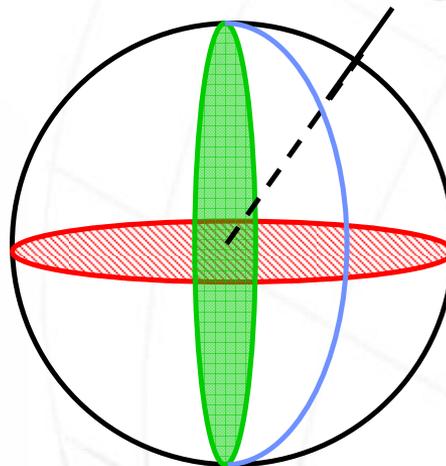


# DESVIO DA VERTICAL



# COORDENADAS ASTRONÔMICAS

- LATITUDE ASTRONÔMICA
  - ângulo que a vertical forma com sua projeção sobre o **plano do equador**.
- LONGITUDE ASTRONÔMICA
  - ângulo diedro formado pelo **plano do meridiano astronômico de Greenwich** e pelo **plano do meridiano astronômico local**.



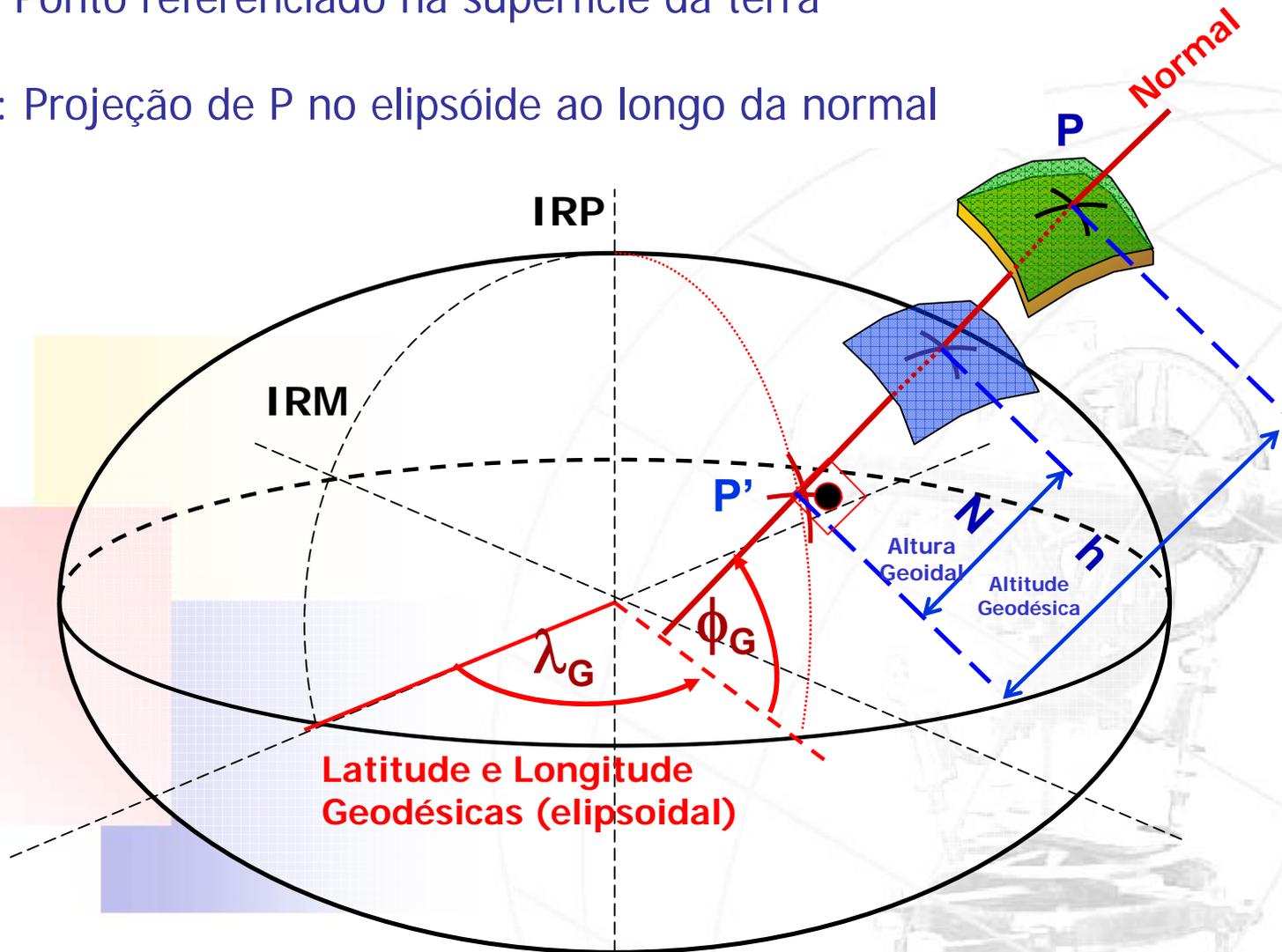
# COORDENADAS GEODÉSICAS

- LATITUDE GEODÉSICA OU ELIPSÓIDICA
  - ângulo que a normal forma com sua projeção sobre o plano do equador -  $\phi_G$ .
- LONGITUDE GEODÉSICA OU ELIPSÓIDICA
  - ângulo diedro formado pelo plano do meridiano geodésico de referência e pelo plano do meridiano geodésico local -  $\lambda_G$ .

# COORDENADAS GEODÉSICAS

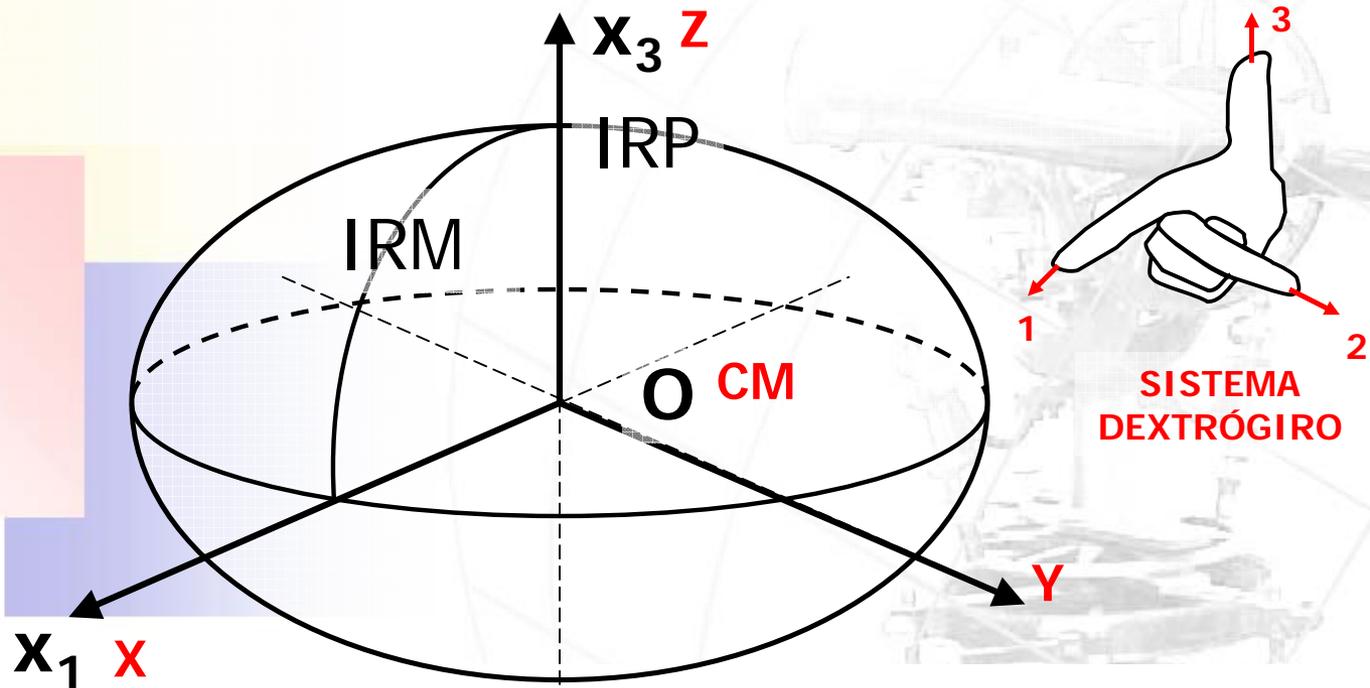
P: Ponto referenciado na superfície da terra

P': Projeção de P no elipsóide ao longo da normal



# SISTEMA DE REFERÊNCIA TERRESTRE

- Sistema cartesiano de referência terrestre
  - Origem: centro de massa da Terra
  - O eixo X é orientado na direção do IRM
  - O eixo Z é orientado na direção do IRP
  - O eixo Y a  $90^\circ$  de OX completando um sistema dextrógiro (orientado pela “regra da mão direita” )



# SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA

- **Nova conceituação de sistema geodésico de referência**
  - Atualmente os sistemas geodésicos de referência são constituídos por REDES DE REFERÊNCIA. São pontos materializados no terreno cujas coordenadas são determinadas através de técnicas espaciais.
  - A redes podem ser: globais (IGS), continentais (SIRGAS), nacionais (RBMC), regionais (Rede GPS do estado de São Paulo).

# SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA

- Pontos materializados no terreno para referência

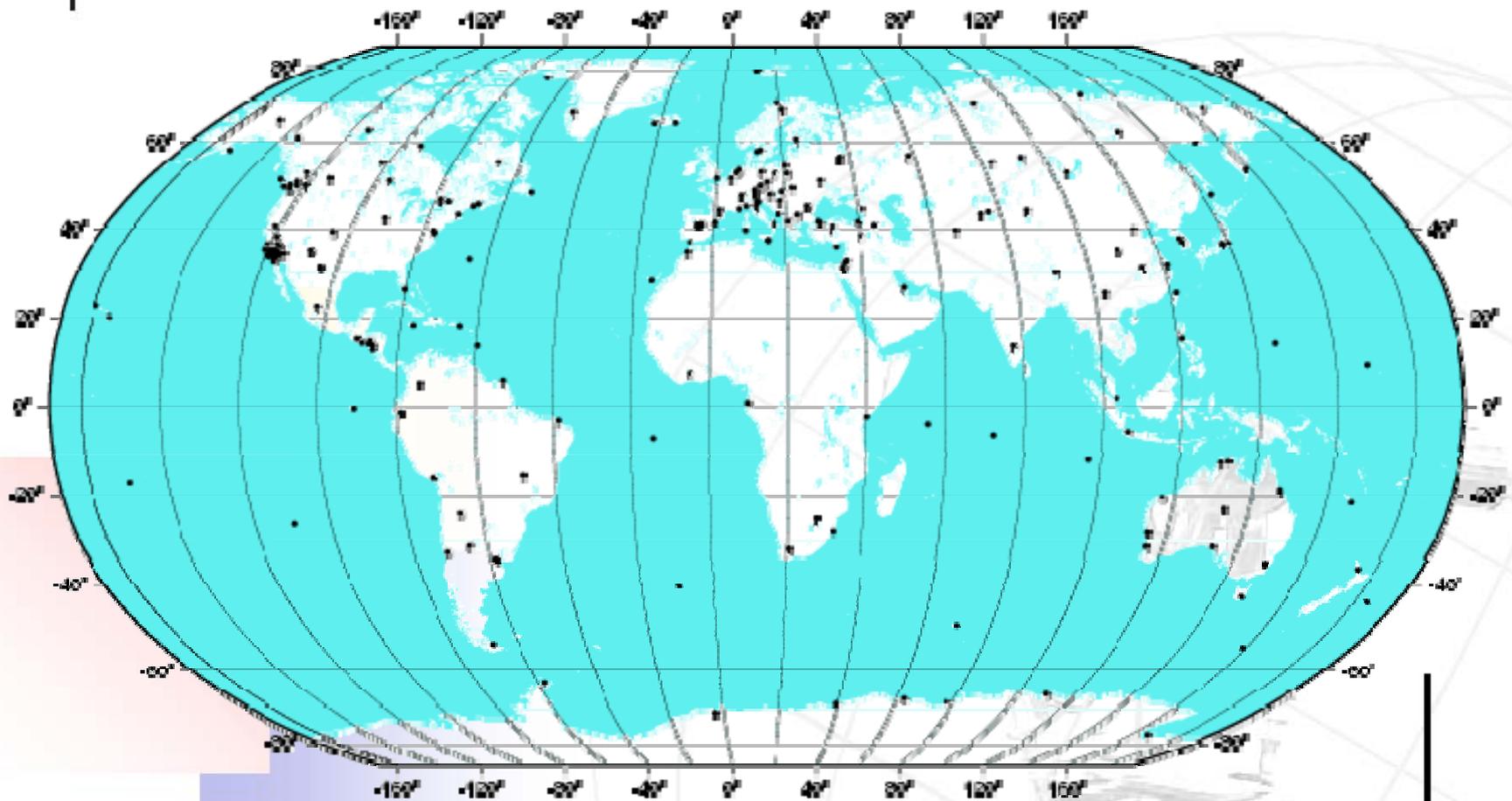


Marco Estável de centragem forçada,  
típico de uma rede nacional  
(exemplo: pontos alinhados junto à Raia  
Olímpica da USP)



Marco típico de uma rede local  
(exemplo: pontos espalhados pelo  
campus da capital da USP, pelo  
PTR-LTG para trabalho prático de  
topografia)

# Rede IGS

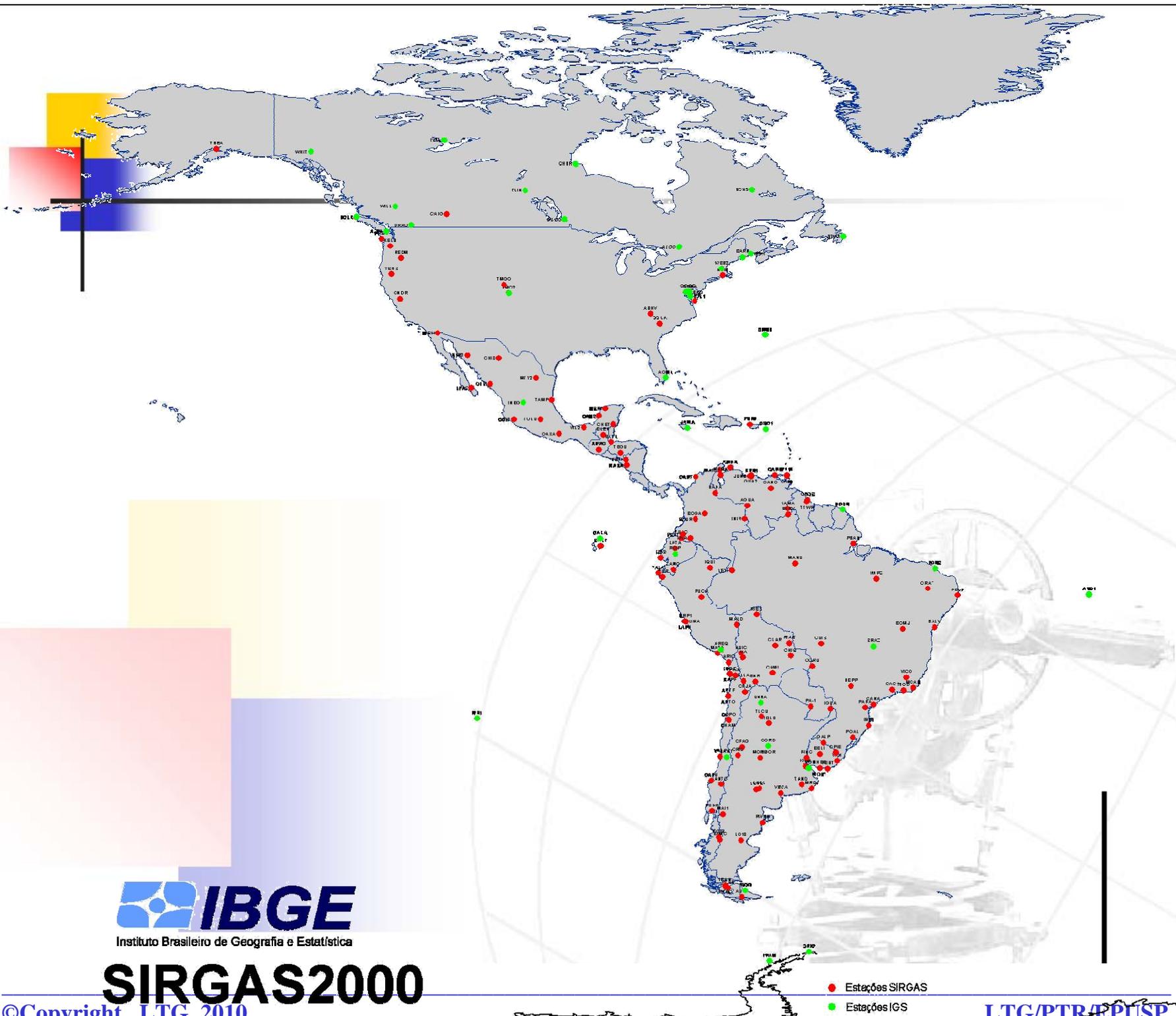




Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

# SIRGAS2000

©Copyright LTG 2010

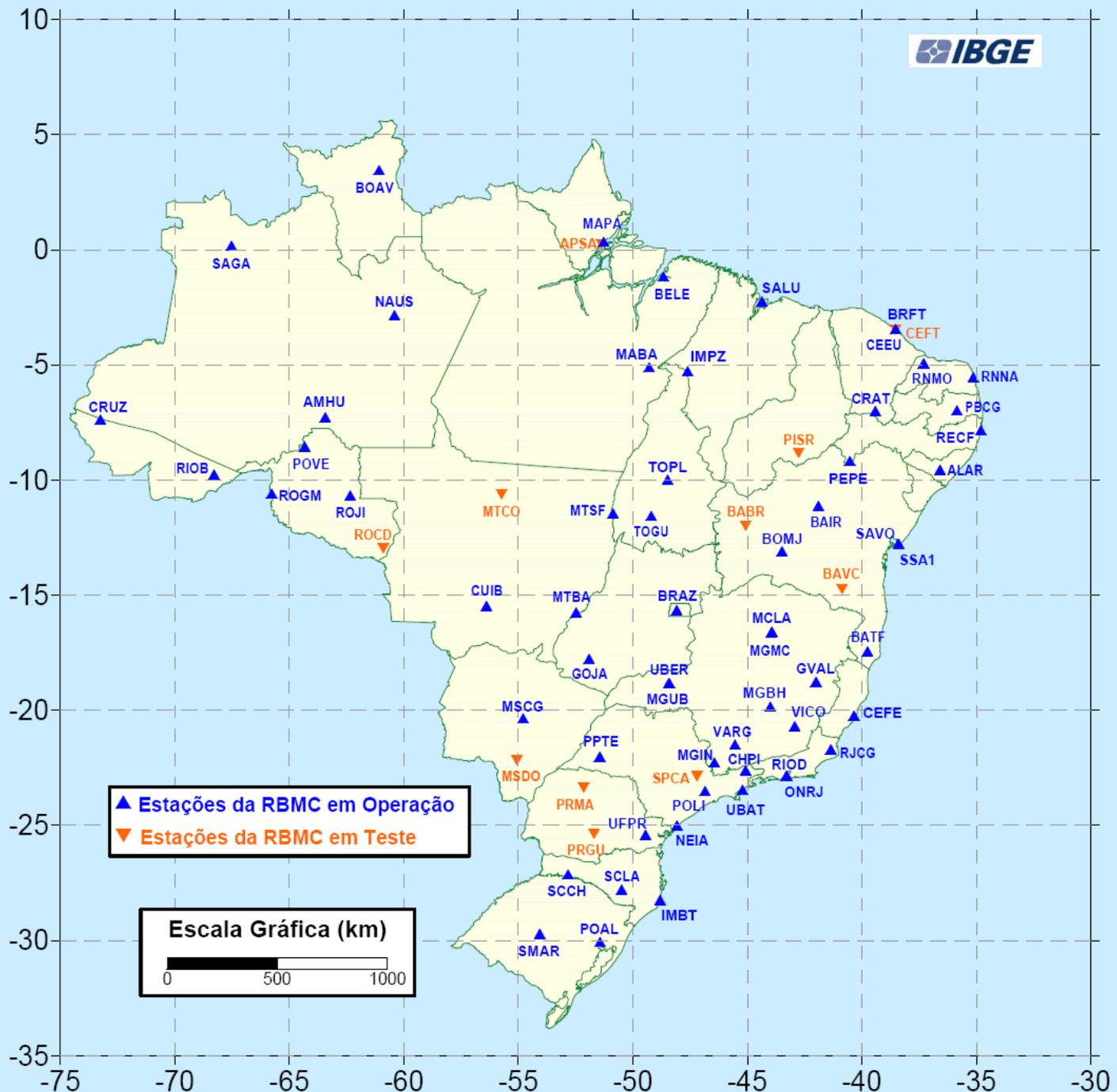


● Estações SIRGAS

● Estações IGS

LTG/PTR/EPUSP

# Distribuição das Estações da RBMC



# INDE

## INFRAESTRUTURA NACIONAL DE DADOS ESPACIAIS

- Em 27 de novembro de 2008 através do Decreto No. 6.666 (DOU de 28/11/2008), pg.57) foi instituída a INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais) e definida como:
  - Conjunto integrado de tecnologias; políticas; mecanismos e procedimentos de coordenação e monitoramento; padrões e acordos, necessário para facilitar e ordenar a geração, o armazenamento, o acesso, o compartilhamento, a disseminação e o uso dos dados geoespaciais de origem federal, estadual, distrital e municipal.