

# Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia de Transportes - PTR

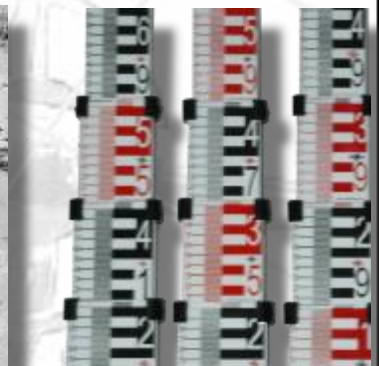
Laboratório de Topografia e Geodésia - LTG

## PTR 3111 – Geomática I



PTR3111 – Geomática I

# CONCEITOS



# CONCEITO DE GEOMÁTICA

## ■ O que é Geomática?

**Geomática** é um campo de atividades que, usando uma abordagem sistemática, integra todos os meios utilizados para a aquisição e gerenciamento de dados espaciais necessários como parte de operações científicas, administrativas, legais e técnicas envolvidas no processo de produção e gerenciamento de informação espacial. Trata-se, portanto, da área tecnológica que visa à aquisição, ao armazenamento, a análise, a disseminação e o gerenciamento de dados espaciais.

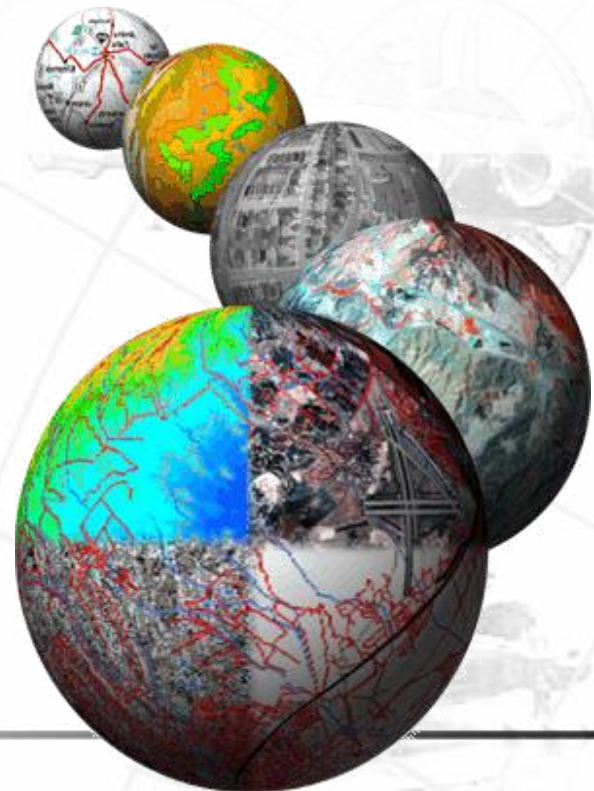
(fonte: [portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/geomatic.pdf](http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/geomatic.pdf))

### Geomática

- em francês Géomatique;
- em inglês Geomatics.

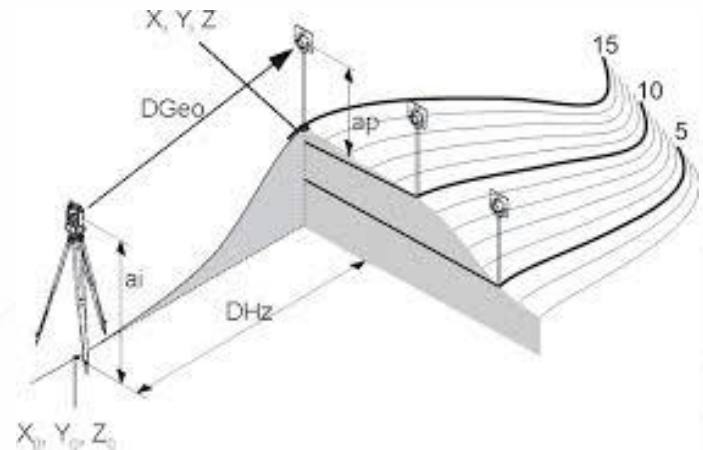
Termo usado pela primeira vez em 1975, bem aceito e utilizado pelos especialistas do ramo desde o começo da década de 1990 (século XX).

(fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Geomática>)



## Ciências que se aglutinam com a Geomática:

- Topografia,
- Geodesia,
- Cartografia,
- Fotogrametria,
- Sensoriamento Remoto e
- Astronomia.

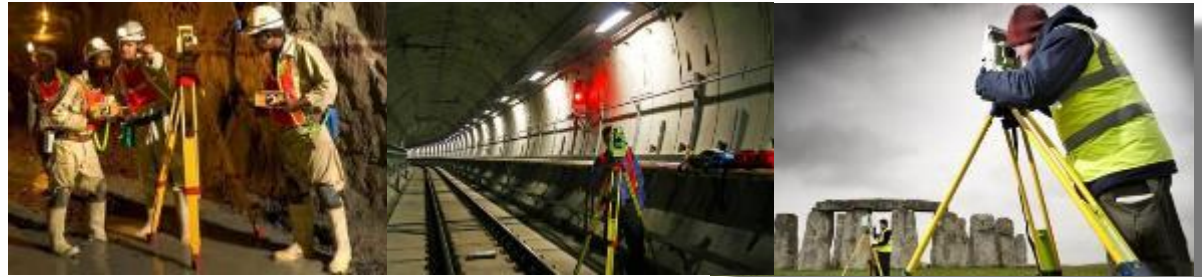


# TOPOGRAFIA

- *O que é?*
- *Para que serve?*
- *Como aplicá-la?*



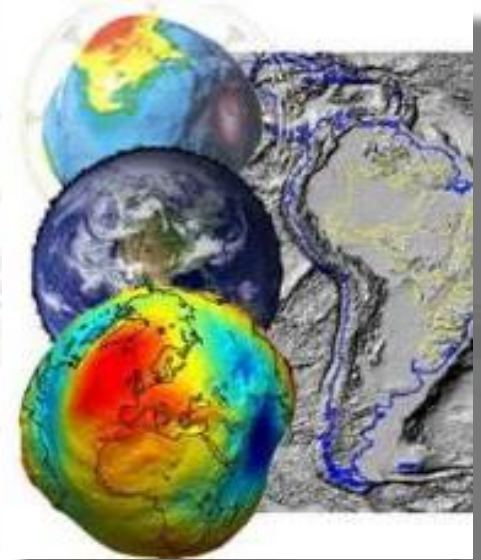
# DEFINIÇÃO



- **(1)** é o conjunto dos princípios, técnicas e convenções utilizadas para a determinar a forma, as dimensões e a posição relativa de pontos sobre a superfície da terra ou no seu interior (minas, túneis, galerias, etc).
- **(2)** Consiste na arte de medir distâncias entre pontos, ângulos entre direções e locar pontos a partir de ângulos e distâncias observadas. Em geral se utiliza de um ponto de referência, com coordenadas conhecidas para apoiar os trabalhos de campo.
- *Visa a coleta de dados para a confecção de plantas para fins de planejamento e projeto em engenharia, arquitetura, etc*

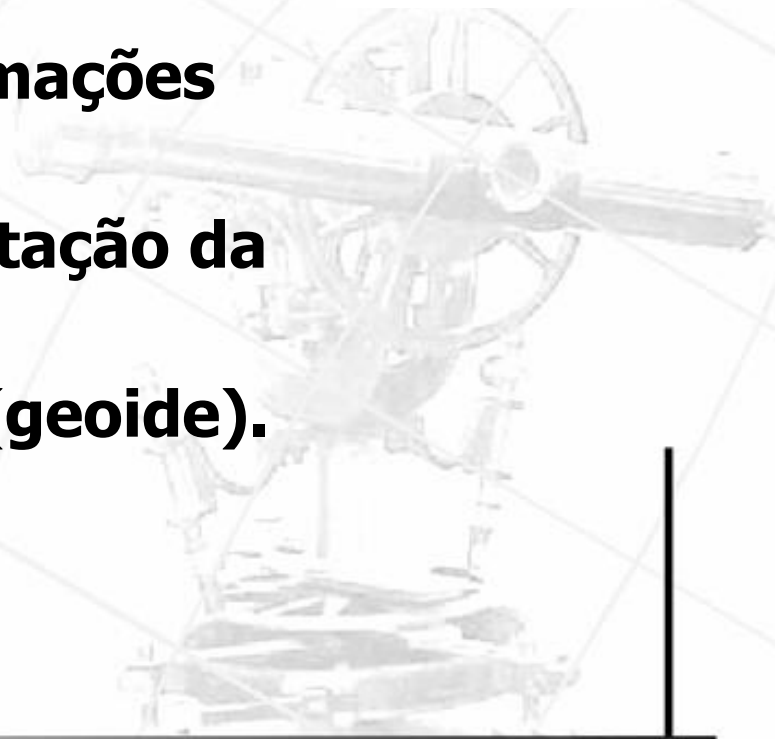
# DEFINIÇÃO DE GEODESIA

- **Geodesia** 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.



# DEFINIÇÃO DE GEODESIA

- Atualmente considera-se que a Geodesia tem **três objetos**:
  - a geometria e as deformações da Terra,
  - os parâmetros de orientação da Terra no espaço,
  - o campo de gravidade (geoide).





# DEFINIÇÃO DE CARTOGRAFIA

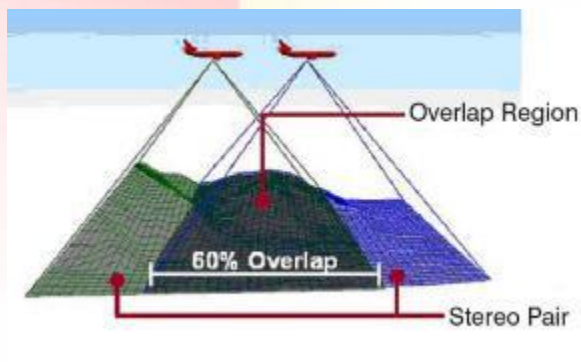
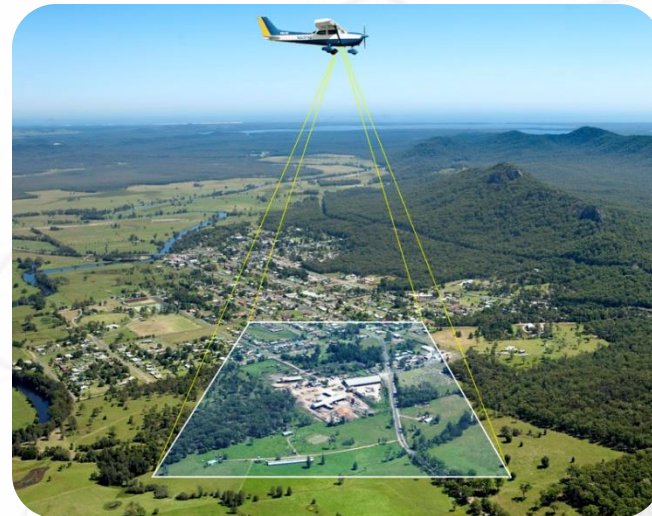
É a arte e a técnica da representação dos acidentes geográficos da superfície da Terra.

Visa o planejamento e a visão de conjunto, utilizando escalas menores (menos detalhes) em um sistema de projeção.



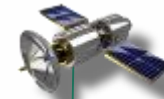
# DEFINIÇÃO DE AEROFOTOMETRIA

É técnica de produção de mapas ou cartas por meio de fotografias aéreas com emprego da estereoscopia.



# DEFINIÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO

- É o conjunto de tecnologias utilizadas para a observação da Terra e de outros corpos planetários utilizando energia eletromagnética em vários comprimentos de onda, a partir de aeronaves ou de satélites.



Satélite



Aeronave de altitude elevada



Aeronave de altitude média



Dispositivos aéreos de baixa altitude

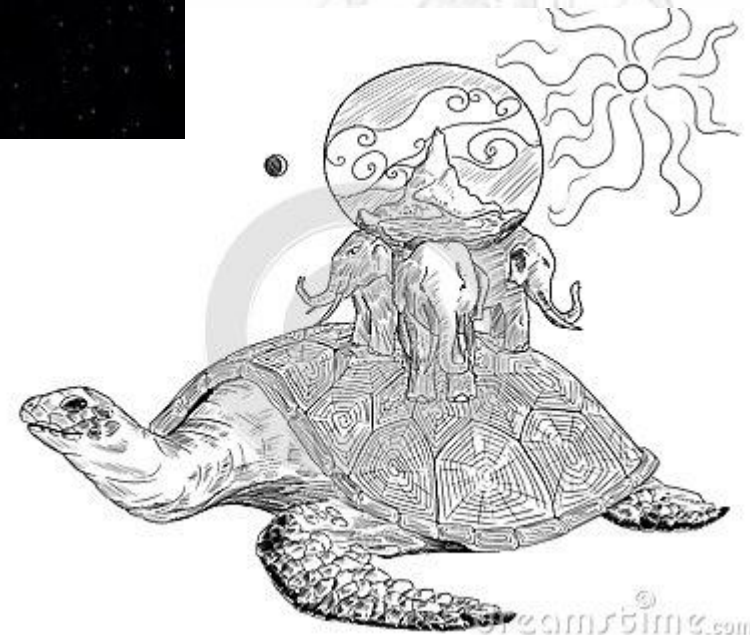
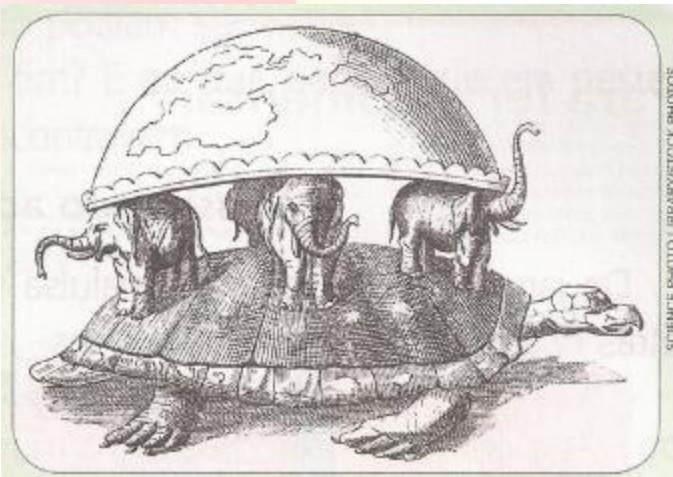


Dispositivos em superfície

# EVOLUÇÃO DA FORMA DA TERRA – Tartaruga e Elefantes



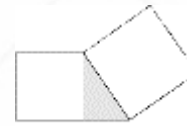
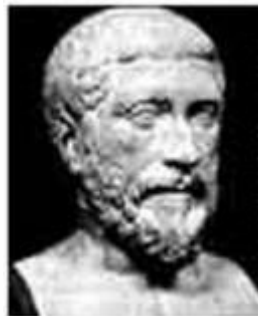
- Jasper Danckaerts (1679-1680);
- Nativos americanos;
- Culturas milenares (China, Índia).





## EVOLUÇÃO DA FORMA DA TERRA: A ESFERA

- **Tales de Mileto (630-545 a.C.), Pitágoras de Samos (571-497 a.C.) e Hiparco (190-126 a.C.)** defendiam a esfericidade da Terra e o fato da mesma girar em torno do Sol (heliocentrismo). Idéia que não prevaleceu!



- **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.

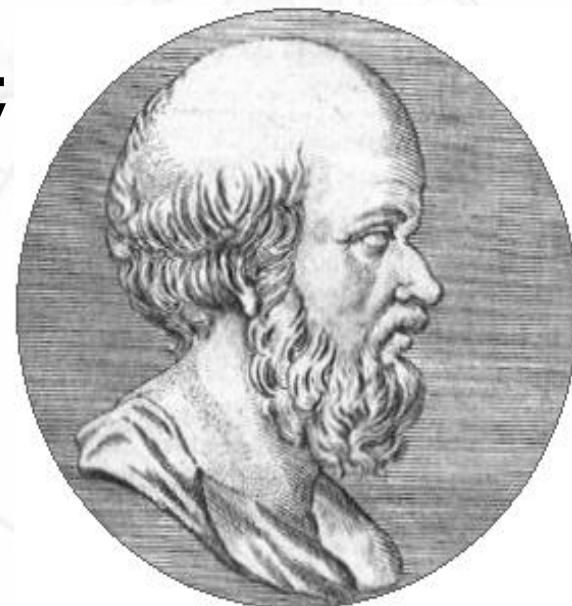




## EVOLUÇÃO DA FORMA DA TERRA: A ESFERA

- **Eratóstenes** nasceu em Cirene - (276-194 a.C) realizou a primeira determinação do raio da Terra com valor de 39.556,96 estádias  $\cong$  6.210 km. Isso indica um erro, na determinação do raio, inferior a 2%.
- Em resumo, devido aos Gregos prevaleceram conceitos úteis na época, mas errôneos:
  - o sistema geocêntrico
  - e a forma esférica da terra;

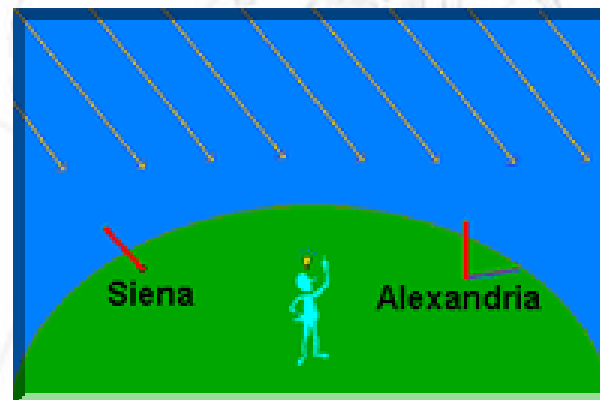
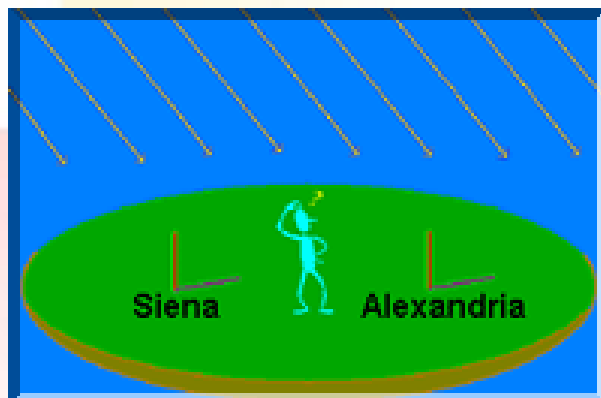
Copérnico (sec. XV) sugeriu a volta ao sistema heliocêntrico e Newton (sec. XVII) corrigiu o segundo conceito propondo outra forma para a Terra (elipsóide).



# FORMA DA TERRA

## Determinação do raio

- ERATÓSTENES viveu no Egito. Era bibliotecário-chefe da famosa Biblioteca de Alexandria, e foi lá que encontrou, num velho papiro, indicações de que ao meio-dia de cada 21 de junho na cidade de Siena, 800 km ao sul de Alexandria, uma vareta fincada verticalmente no solo não produzia sombra.
- Para alguns nada de útil porém, não para um homem observador como Eratóstenes havia algo de interessante. Ele percebeu que o mesmo fenômeno não ocorria no mesmo dia e horário em Alexandria e pensou:



Se o mundo é plano como uma mesa, então as sombras das varetas têm de ser iguais. Se isto não acontece é porque a Terra deve ser curva!

# FORMA DA TERRA

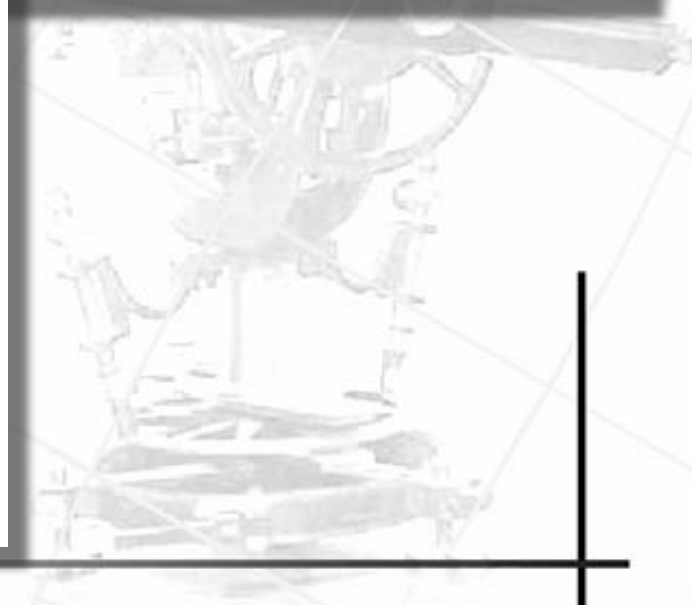
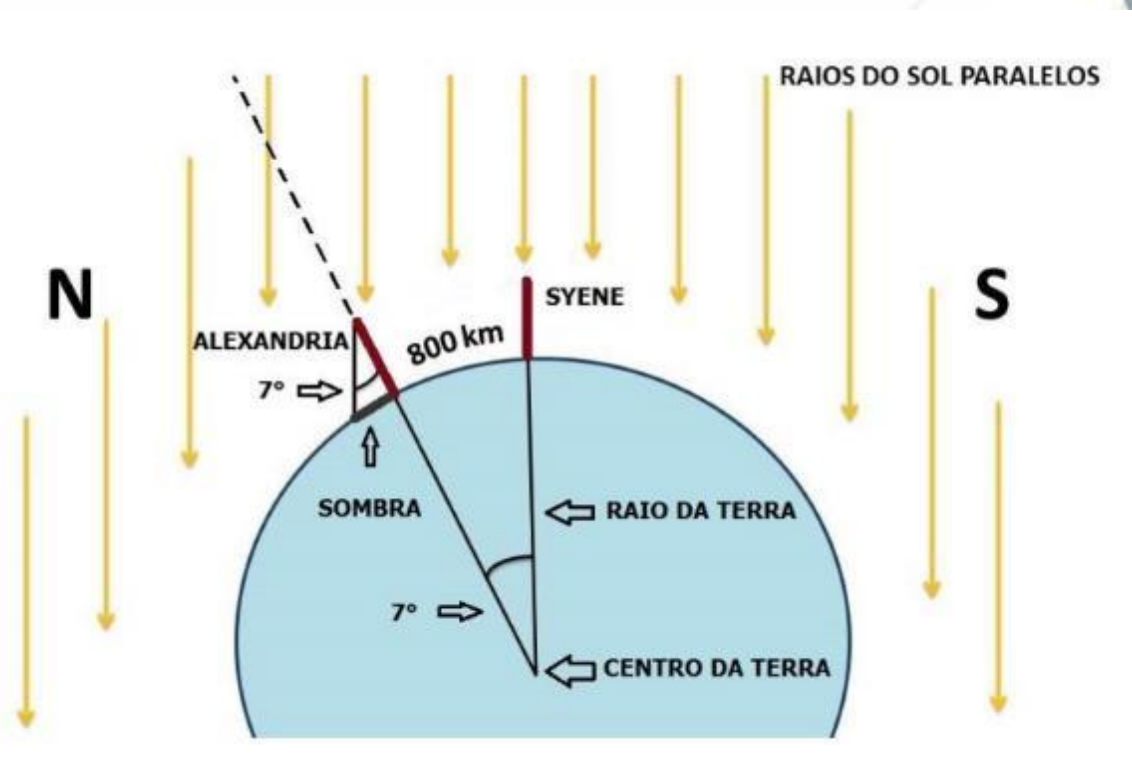
## Determinação do raio

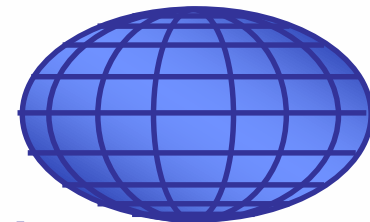




# FORMA DA TERRA

## Determinação do raio





## EVOLUÇÃO DA 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 da Terra em torno do eixo dos Polos.

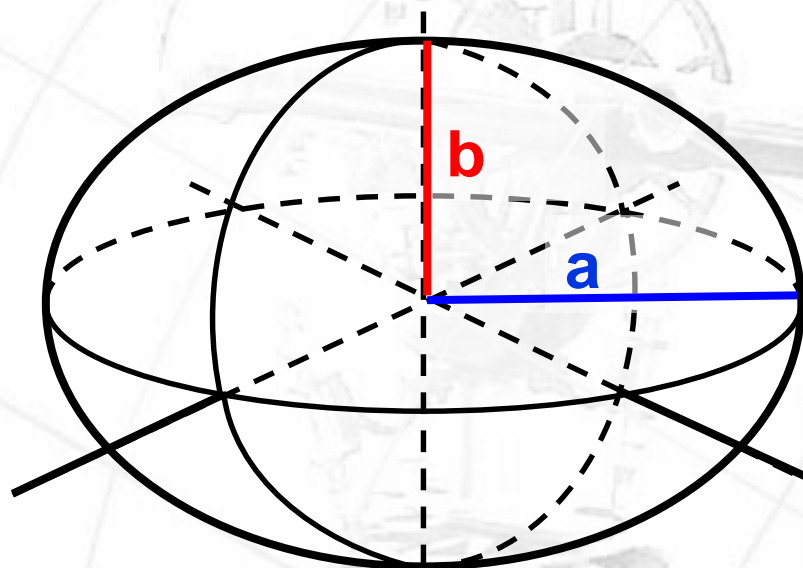
- O Elipsóide de rotação é definido por:

- Semi-eixo maior = **a**

- Semi-eixo menor = **b**

- Achatamento =  $f = \frac{(a-b)}{a}$

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



# ELEMENTOS FUNDAMENTAIS DO ELIPSÓIDE

- Resumindo: O Elipsóide de rotação é definido por:
  - $a$  = semi-eixo maior (raio equatorial)
  - $b$  = semi-eixo menor (raio polar)
  - $f$  = achatamento:  $f = (a-b)/a$  ou  $\alpha = 1/f$
  - $e$  = excentricidade:  $e = b/a$

# ELEMENTOS FUNDAMENTAIS DO ELIPSÓIDE

$$M = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}}$$

Raio da seção meridiana (NS)

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}}$$

Raio da seção primeiro vertical (LO)  
(Grande Normal)

$$R_m = \sqrt{M \cdot N}$$

Raio médio

$$R_A = \frac{M \cdot N}{N \cdot \cos^2 A + M \cdot \sin^2 A}$$

Raio na direção do azimute  $A$

$$R_p = N \cdot \cos \varphi$$

Raio do paralelo de latitude  $\varphi$

# ELEMENTOS FUNDAMENTAIS DO ELIPSÓIDE

## (Elipsóides mais utilizados)

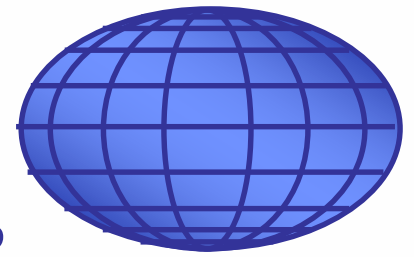
Nome	Eixo Equatorial a(m)	Eixo Polar b(m)	Inversa do Achatamento (1/f)
Delambre, Frankr.1810	6.376.985		308,6465
Schmidt, 1828	6.376.804,37		302,02
G.B. Airy 1830	6.377.563,4	6.356.256,91	299,3249646
Airy 1830 modificada	6.377.340,189	6.356.034,447	299,3249514
Everest (Índia) 1830	6.377.276,345		300,8017
Bessel 1841	6.377.397,155	6.356.078,965	299,1528128
Clarke 1880 /IGN	6.378.249,15		293,465 (466)
Helmert 1906	6.378.200,000	(próximo GRS80)	298,3
Australian Nat.	6.378.160,000		298,25
Modif. Fischer 1960	6.378.155,000	(Astro/ Mercury)	298,3
Clarke 1866	6 378 206.400	6 356 583.800	294,978 698 2
Internacional 1924	6 378 388	6 356 911.9	297,0
GRS 1980	6 378 137	6 356 752.3141	298,257 222 101
WGS 1984	6 378 137	6 356 752.3142	298,257 223 563
Córrego Alegre	6 378 388		297,000
SAD - 1969	6 378 160		298,250
SIRGAS 2000	6 378 137		298,257 221 0
<b><i>Esfera (6371 km)</i></b>	<b><i>6 371 000</i></b>	<b><i>6 371 000</i></b>	<b><i>0</i></b>



## EVOLUÇÃO DA FORMA DA TERRA: O ELIPSÓIDE



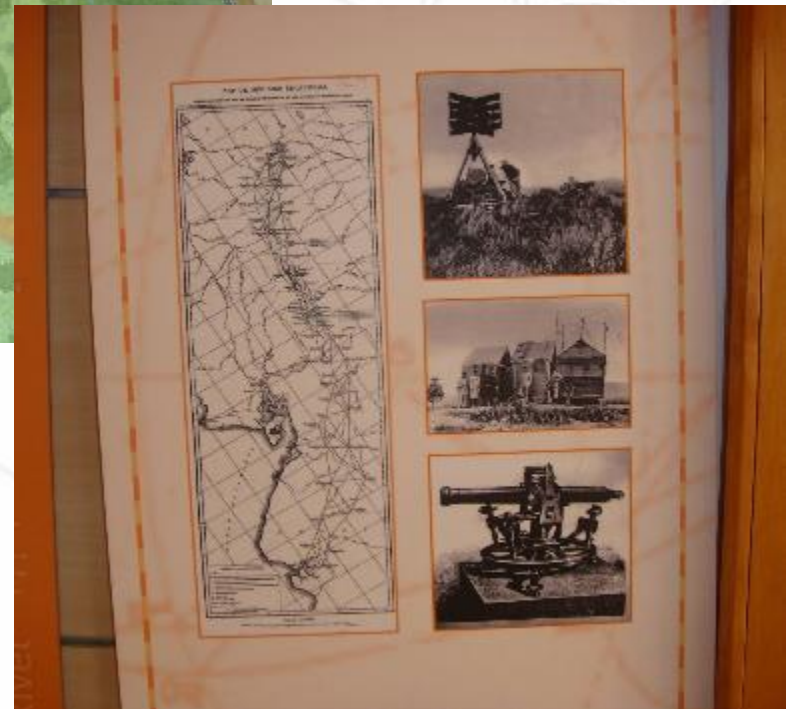
- Na França em 1666 foi criada a Academia Real de Ciências, sob a direção dos Cassinis (Dominique e Jacques).
- Jean\_Felix Picard realizou em 1668 uma primeira triangulação, entre Dunkerque e Collioure, completada pelos irmãos Cassini (1683-1715). O resultado, em função de erros, foi estranho: o comprimento do arco de meridiano de 1º diminuía na direção norte (Terra alongada e não achatada nos Polos).
- Para sanar a dúvida, foram organizadas as famosas expedições francesas, uma na Lapônia e outra no então Vice-Reino do Peru, hoje o Equador.
- Os resultados das expedições confirmaram a teoria de Isaac Newton.

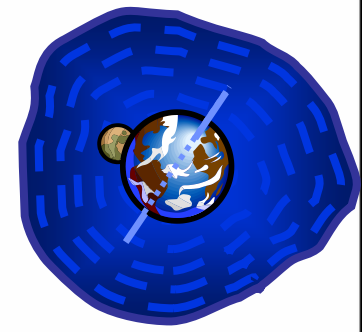


## EXPEDIÇÕES FRANCESAS AO EQUADOR



Triangulação para a  
medição do arco de  
meridiano  
Quito, Equador





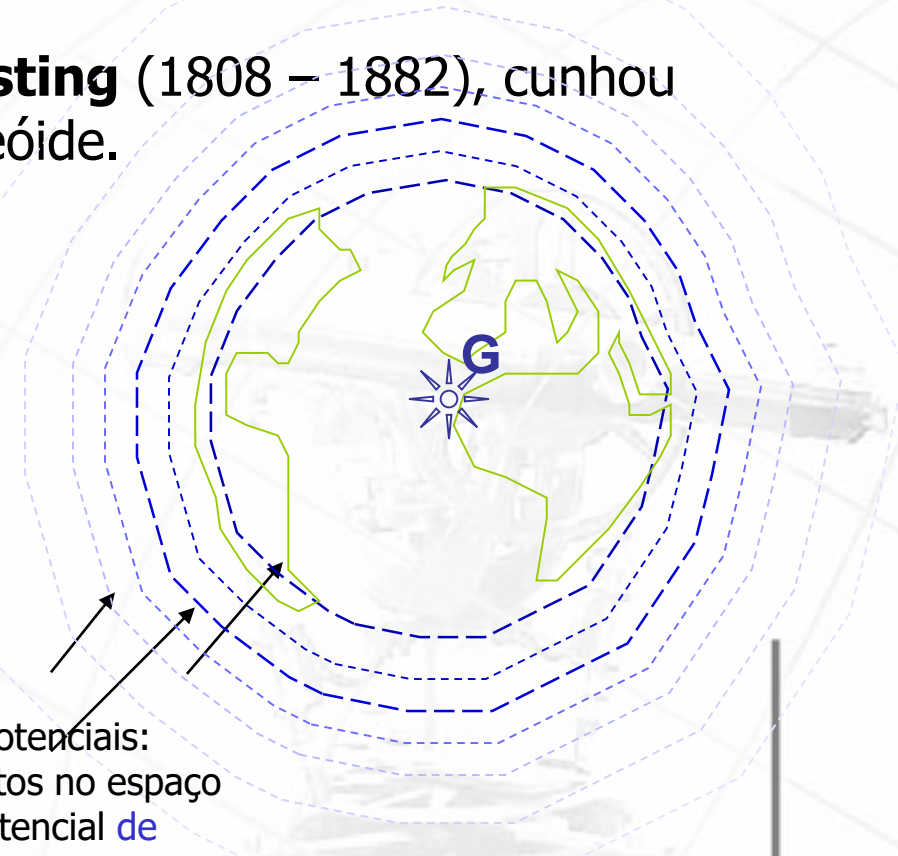
## EVOLUÇÃO DA FORMA DA TERRA: O GEÓIDE



- **Johann Carl Friedrich 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.



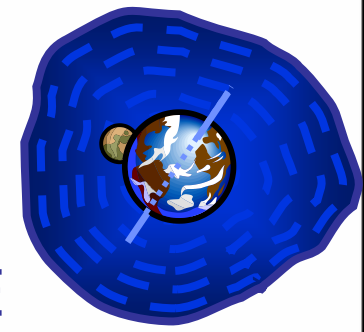
- **Johann Benedikt Listing** (1808 – 1882), cunhou em 1873 a palavra geóide.



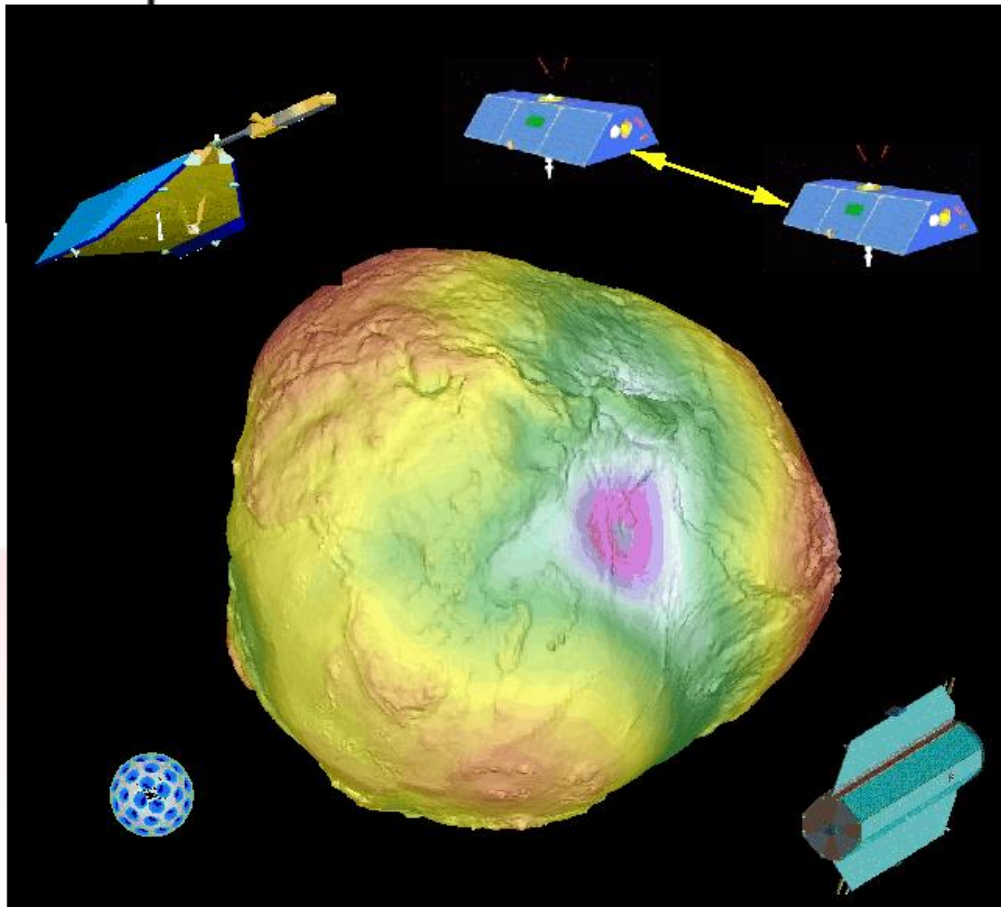
Superfícies equipotenciais:  
conjunto de pontos no espaço  
com o mesmo potencial de  
gravidade







## EVOLUÇÃO DA FORMA DA TERRA: O GEÓIDE



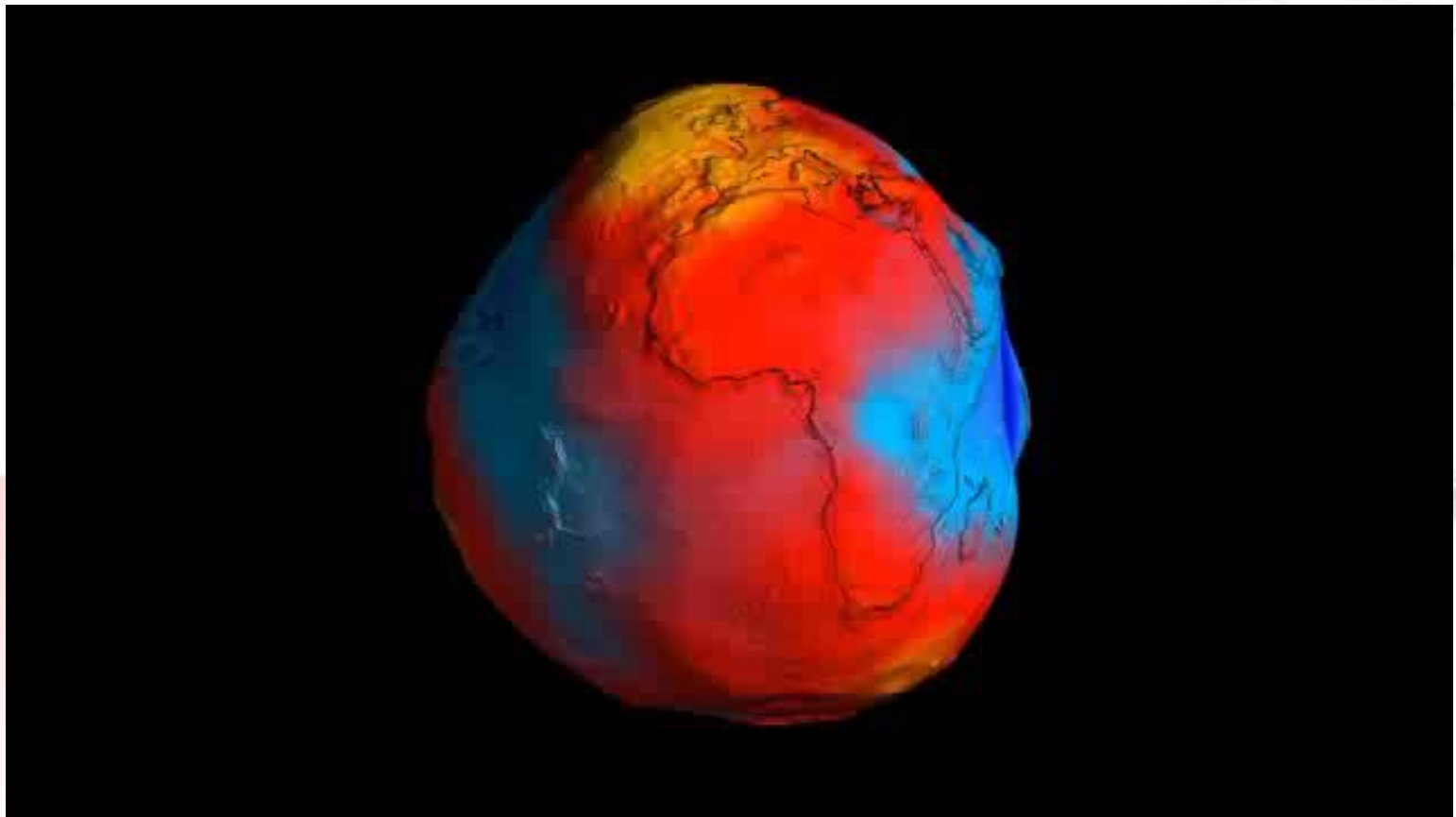
O Geoide é um corpo com uma distribuição não homogênea de massa. Dai a razão de sua forma ser irregular. Porém, as heteroneidades são pequenas. Por isso, sua superfície é **levemente** irregular.

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

Fonte: GFZ Alemanha

# EVOLUÇÃO DA FORMA DA TERRA: O GEÓIDE

Novo modelo de Geóide obtido a partir dos dados do satélite GOCE (31/03/2011)

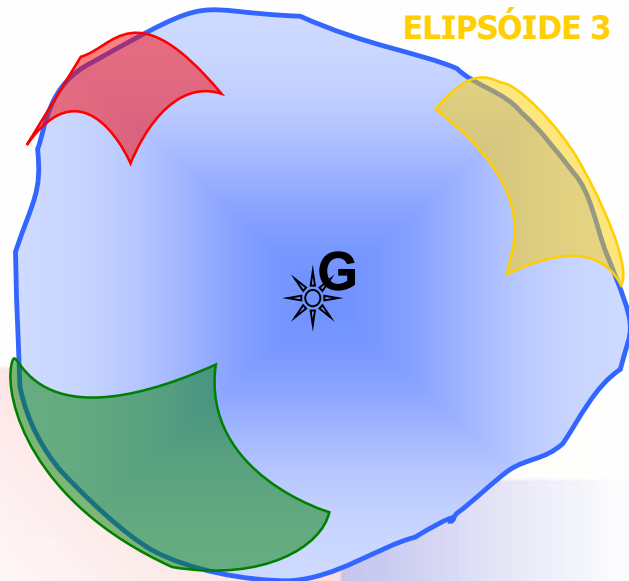


# ELIPSÓIDE e GEÓIDE

Para uma modelagem matemática da superfície da Terra, adota-se uma superfície elipsoidal que melhor se adapte à superfície geoidal na região de interesse.

ELIPSÓIDE 1

ELIPSÓIDE 3



ELIPSÓIDE 2

No passado cada região do globo definia o elipsóide que melhor se adaptasse ao geóide para estabelecer o Datum local. Hoje em dia se pensa em elipsóide de abrangência global.

O elipsóide é um sólido com equação matemática bem conhecida e bem adequado para estabelecer um sistema de projeção e de coordenadas.

A esfera é uma aproximação válida para a Terra nos casos em que se deseja mapear em escalas médias ou pequenas.

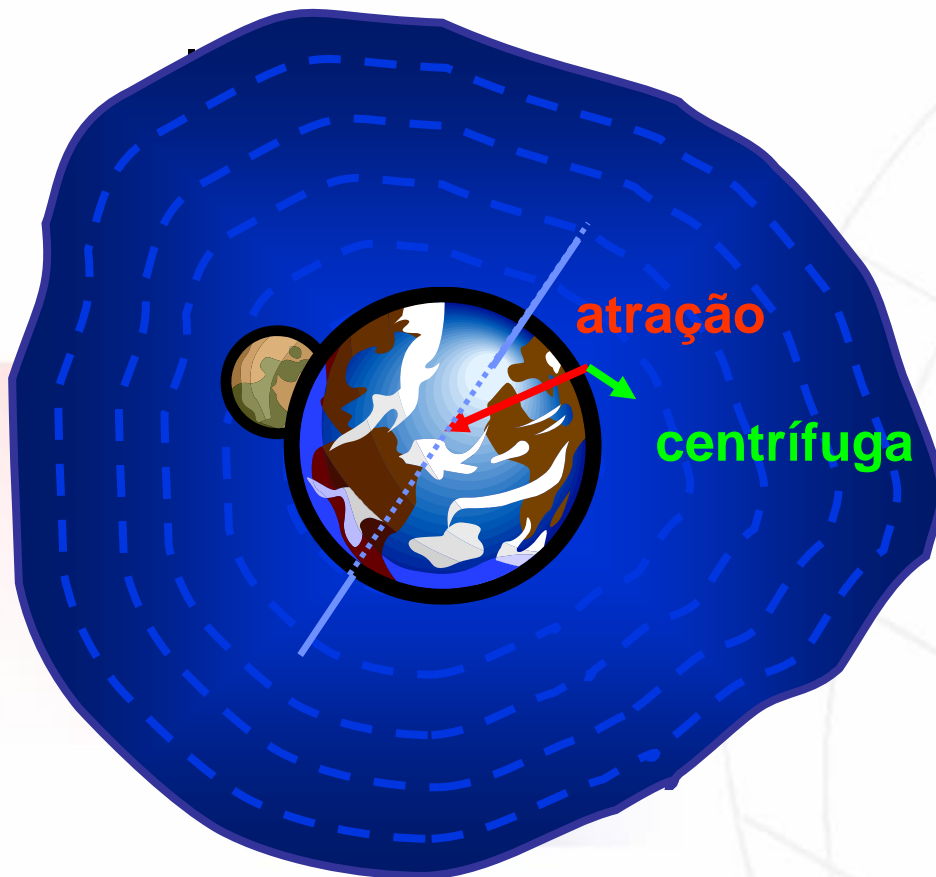
# IRREGULARIDADES NA FORMA DA TERRA



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.

# 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 definem 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:  $1/f = 1/297$**

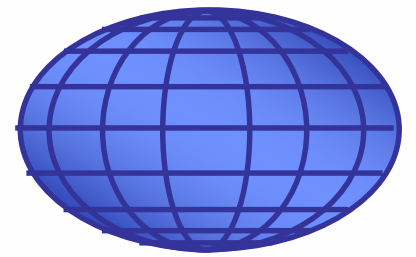
- **Após 1979**

- **Origem: Chuá SAD-69**
- **Elipsóide: GRS 1967 (UGGI 67).**
- **$a = 6.378.160$  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 Datum ao Córrego Alegre.**

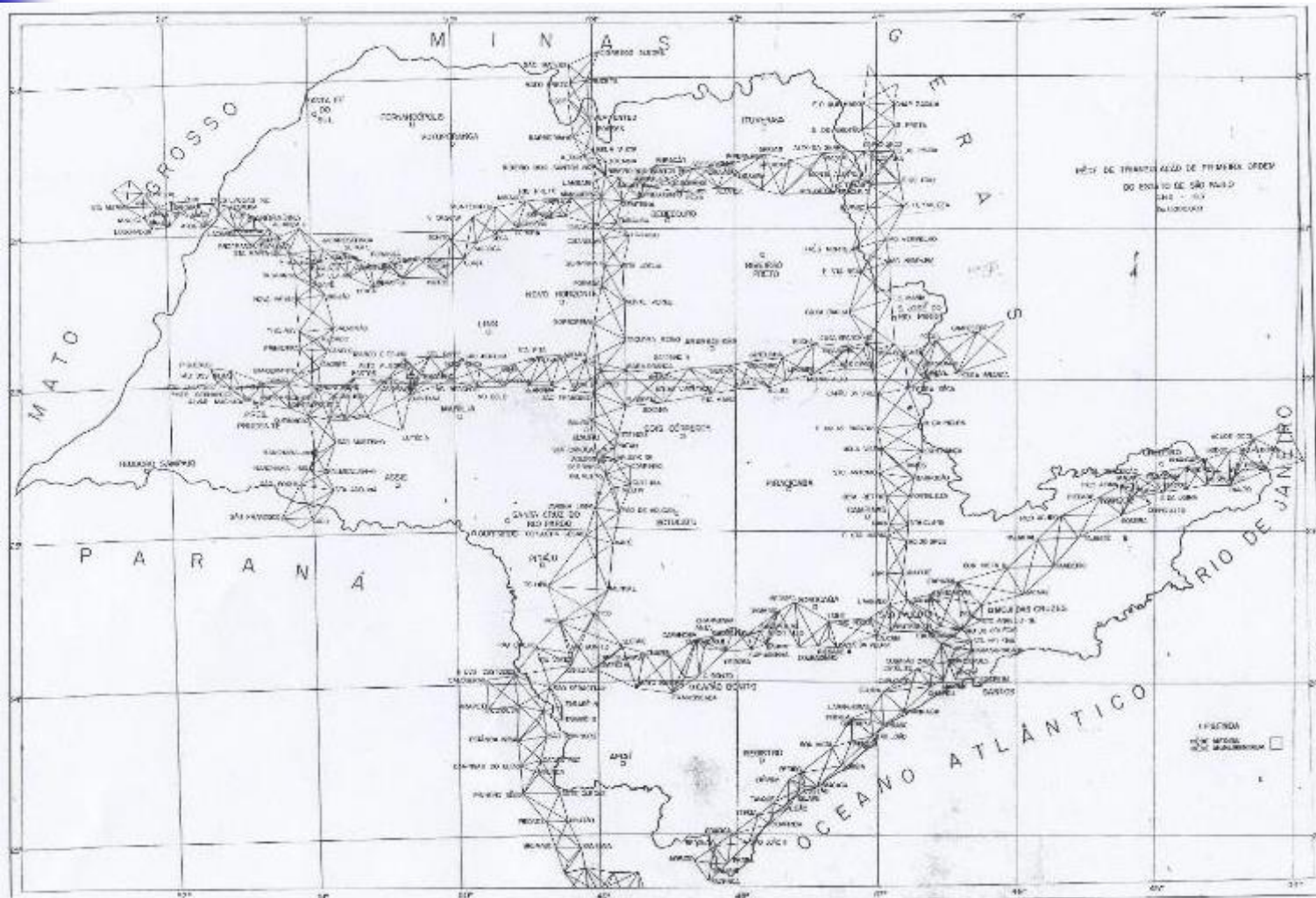


## DIFERENTES REFERÊNCIAS ADOTADOS NO BRASIL

Denominação usual	a (m)	$\alpha$
Córrego Alegre (Hayford)	6.378.388	1/297
SAD-69 (UGGI 67)	6.378.160	1/298,25
WGS-84 (GRS 80)	6.378.137	1/298,27
SIRGAS 2000 (GRS 80)	6.378.137	1/298,25722

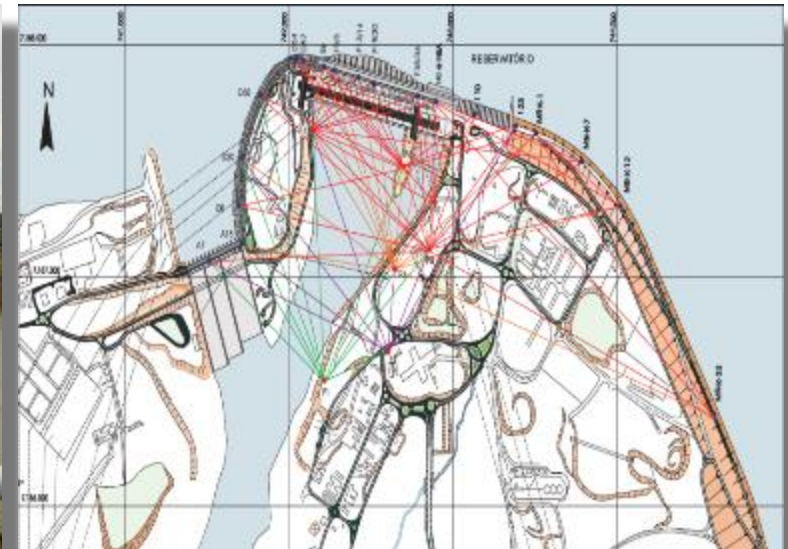


# Rede de Triangulação Cadeia do Estado de São Paulo



# Aplicação da Geodesia na Engenharia

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.

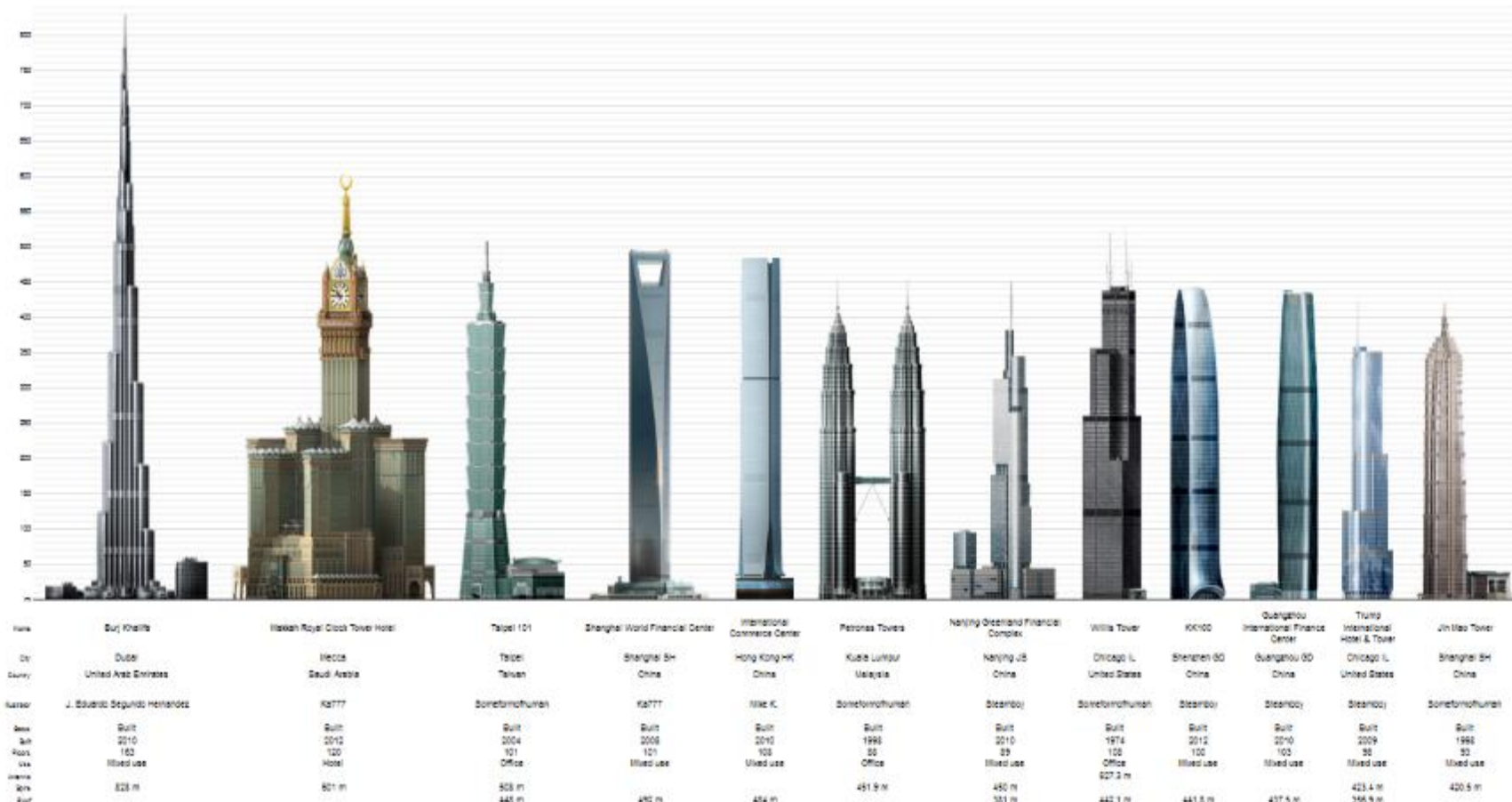


# Aplicação da Geodesia na Engenharia

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 (aduelas) que precisaram igualmente ser posicionados com muita precisão.



# Aplicação da Geodesia na Engenharia

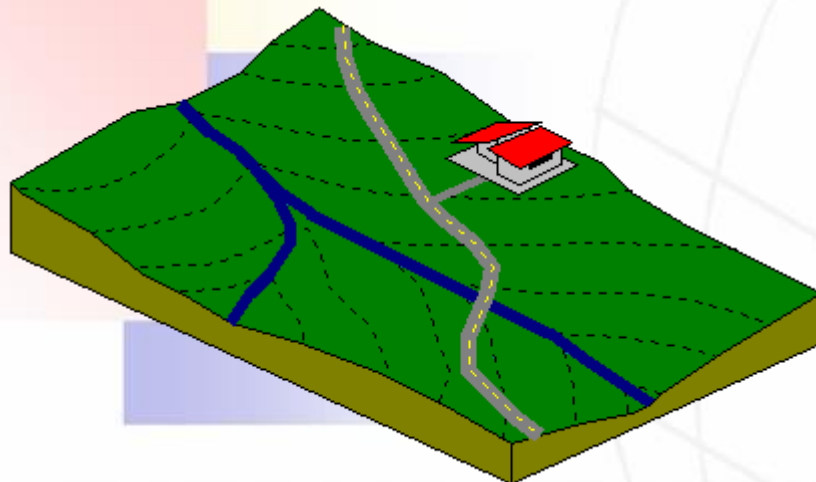
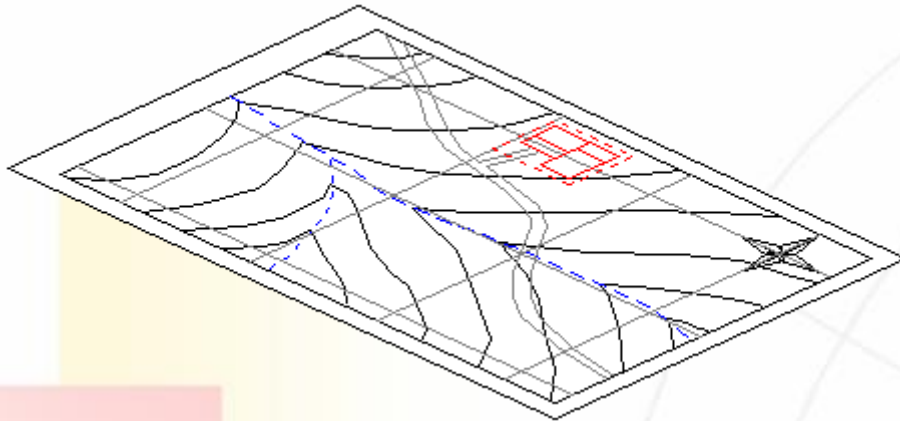


Grandes edificações precisam ser locadas com precisão e monitoradas de modo sistemático.



# PLANO TOPOGRÁFICO

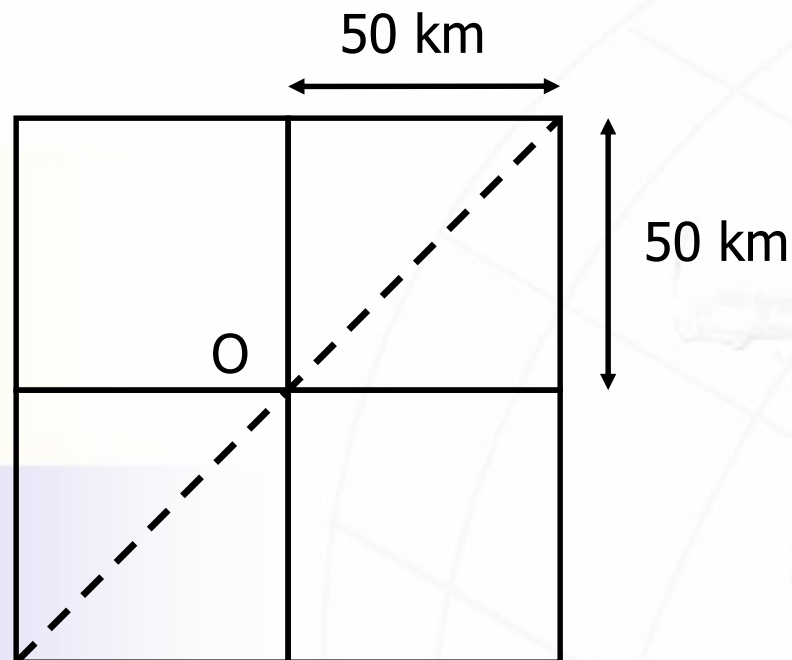
Plano topográfico é um plano horizontal, finito, tangente à superfície da esfera terrestre e de dimensões limitadas ao campo topográfico.



- Limite de 25 a 30km;
- O efeito da curvatura da Terra é desprezado, dentro de tais limites.

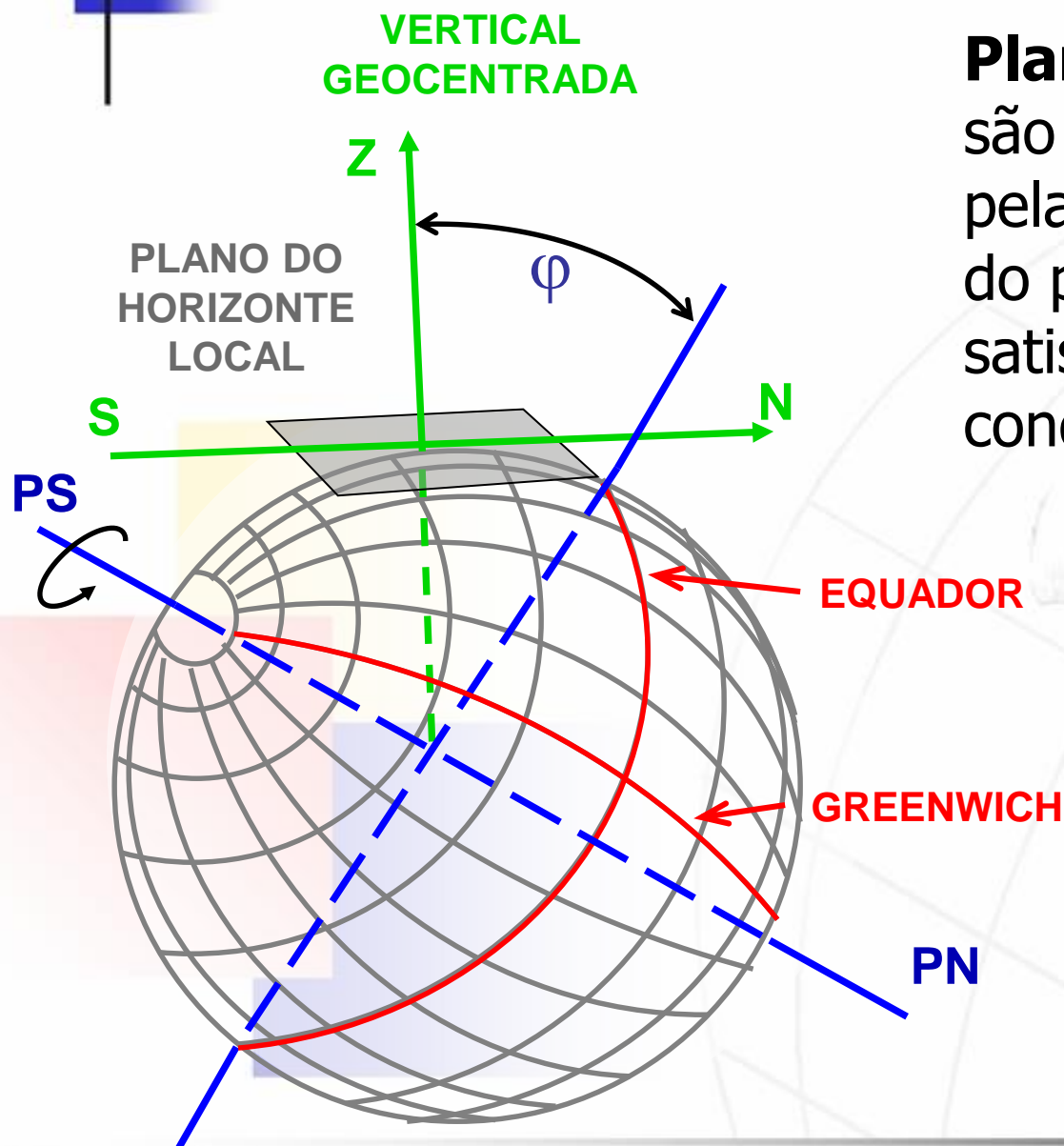
# PLANO TOPOGRÁFICO LOCAL

O **Plano do horizonte local** é elevado à altitude ortométrica  $H$  média da área de abrangência do sistema, passando a chamar-se PLANO TOPOGRÁFICO LOCAL.



Origem do Sistema Topográfico Local e distância máxima a esta origem (Plano Topográfico Local)

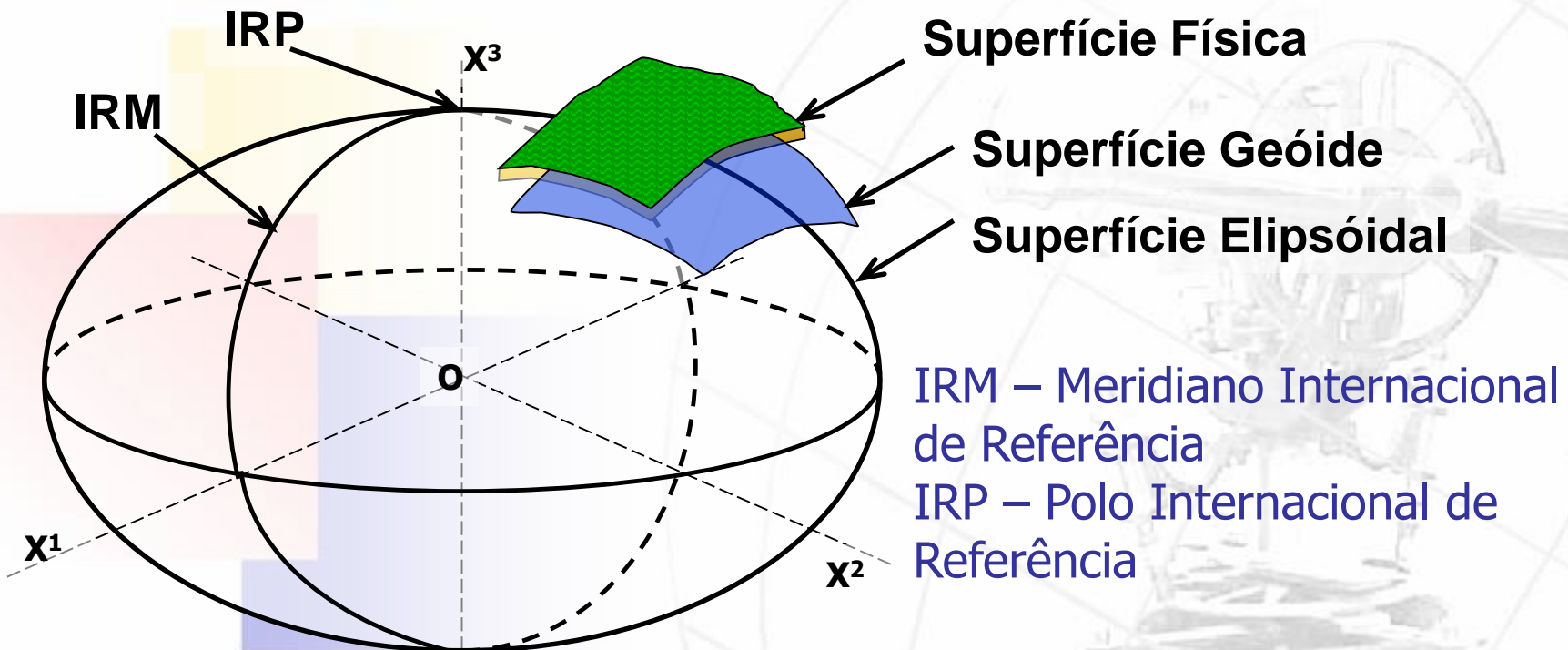
# PLANO TOPOGRÁFICO LOCAL



**Plano topográfico local:** são os limites estabelecidos pela ABNT para o tamanho do plano topográfico, satisfazendo certas condições (NB14166).

# SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA

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





# 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).
  - As redes de referência podem ser passivas ou ativas. No primeiro caso existe simplesmente o marco com coordenadas conhecidas. No segundo há um receptor monitorando continuamente.

# SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA

- **Pontos materializados no terreno para referência**

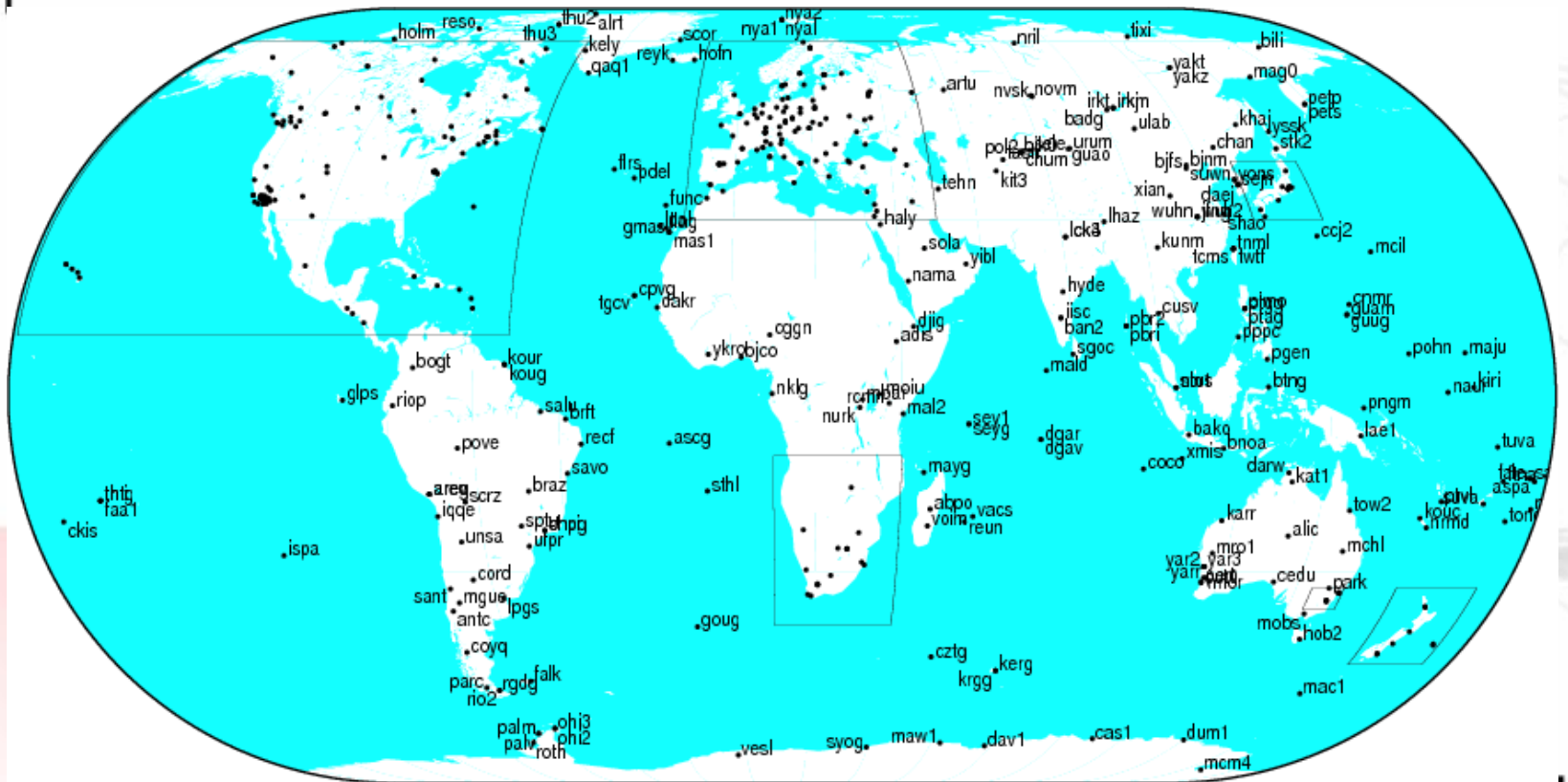


Marco Estável de centragem forçada,  
típico de uma rede nacional  
(exemplo: pontos alinhados junto à Raia  
Olímpica da USP)



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

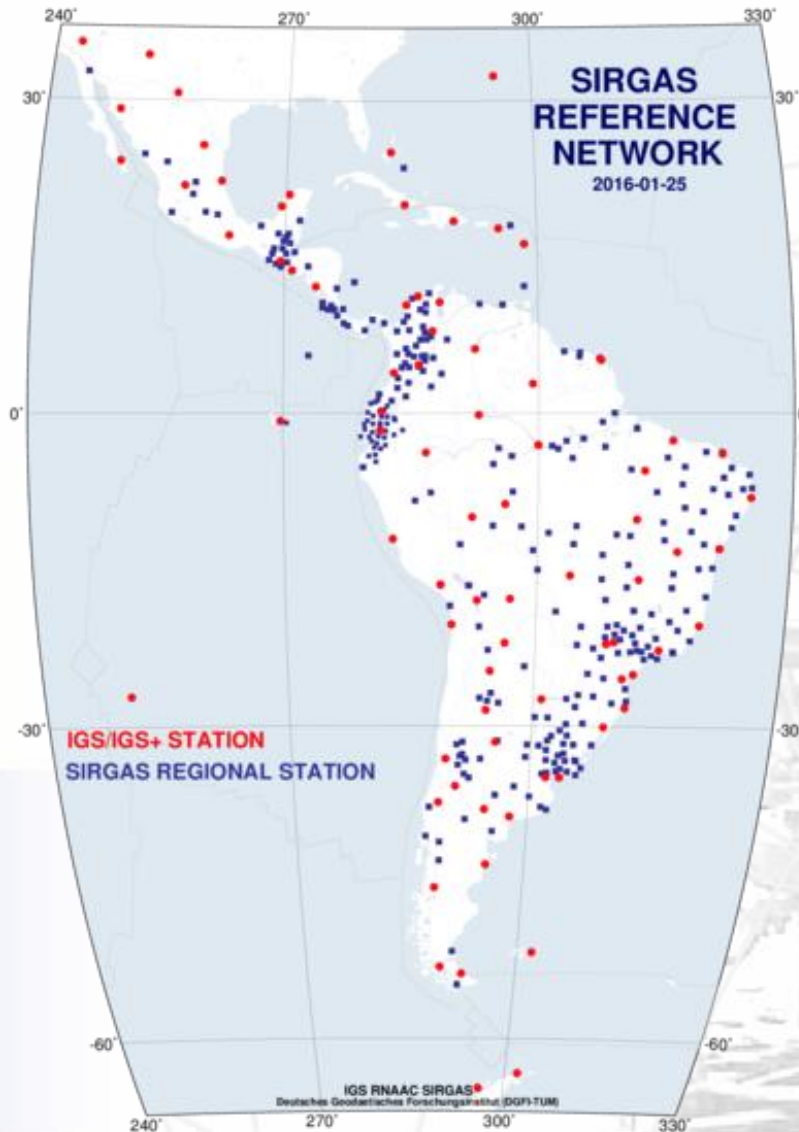
# Rede IGS - International GNSS Service



2016 Feb 17 16:45:29

Fonte: <http://kb.igs.org/hc/en-us/articles/202484696-IGS-tracking-network>

# Rede SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as AméricaS



Fonte: <http://www.sirgas.org/index.php?id=61>

# RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS

# RBMC



Fonte: [ftp://geoftp.ibge.gov.br/RBMC/relatorio/RBMC\\_2018.png](ftp://geoftp.ibge.gov.br/RBMC/relatorio/RBMC_2018.png)