

**Universidade Presbiteriana Mackenzie**  
**Laboratório de Geotecnologias**  
<http://labgeo.mackenzie.br>

## Conceitos Básicos de Geodésia

Prof. Dr. Sergio Vicente Denser Pamboukian

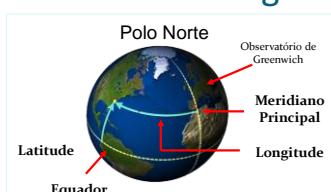
Laboratório de Geotecnologias da UPM  
 Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

## Geodésia

- Geodésia é a ciência que estuda a forma, as dimensões, o campo de gravidade da Terra e sua variações temporais.
- A complexidade da geometria e da distribuição da massa terrestre conduzem a utilização de dois modelos: o elipsoidal (matemático) e o geoidal (equipotencial).
- A determinação das coordenadas de pontos na superfície terrestre e a descrição do campo de gravidade externo envolvem três superfícies: a superfície física da Terra, a superfície geoidal e a superfície elipsoidal

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
 Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

## Coordenadas Geográficas



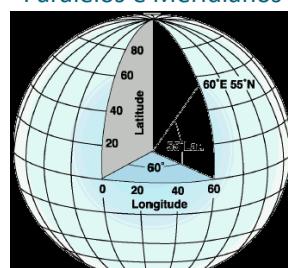
- Latitude: Ângulo com o Equador  
90° Norte – 0° (Equador) – 90° Sul
- Longitude: Ângulo com o Meridiano Principal (Greenwich)  
180° Oeste – 0° (Greenwich) – 180° Leste

Fonte: adaptado de Seixas e Ferreira (2011)

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
 Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

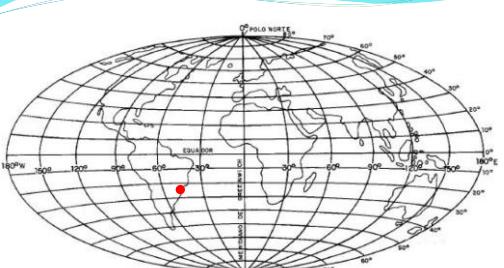
## Latitude (NS) e Longitude (EW)

### Paralelos e Meridianos



Fonte: Baptista (2009)

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
 Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian



São Paulo

- Latitude -23°32'51" ou 23°32'51"S
- Longitude -46°37'33" ou 46°37'33"W
- Altitude 730m

Fonte: adaptado de Rosa (2004)

[Video](#)

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
 Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

## Declinação Magnética

Em uma bússola, uma das extremidades da agulha aponta para um ponto do globo terrestre chamado de **polo norte magnético** e a outra para o **polo sul magnético**. A Terra, na sua rotação diária, gira em torno de um eixo virtual; os pontos de encontro deste eixo com a superfície terrestre chamam-se **polo norte e polo sul verdadeiros ou geográficos**. Em geral, os polos magnéticos e verdadeiros não coincidem, a não ser accidentalmente em algumas posições do globo. O ângulo entre a direção norte-sul magnética e a direção norte-sul verdadeira é chamado de **declinação magnética local**.

Fonte: Borges (1977)

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

## Declinação Magnética

A declinação magnética local varia de acordo com diversos fatores: deslocamento do polo norte magnético em torno do polo norte verdadeiro com o passar do tempo, tempestades magnéticas, grandes massas minerais do subsolo, etc.

Fonte: Borges (1977)

Hoje é possível calcular facilmente a declinação magnética de um determinado local em uma determinada época. No site do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), por exemplo, existe uma calculadora online para o cálculo de declinação magnética, entre outras coisas.

<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/>

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

## Elipsoide WGS84

$$\begin{aligned} a &= 6378137 \\ b &= a(1-f) \\ &= 6356752.31424518 \\ f &= \frac{1}{298.257223563} \\ e &= \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} \\ e' &= \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{b^2}} \end{aligned}$$

$f = \text{achatamento}$   
 $e = \text{excentricidade (círculo = 0)}$

Fonte: µ-blox ag (1999)

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

## Coordenadas Planas

- ECEF (Earth-Centered, Earth-Fixed)
- Origem no centro de gravidade da Terra (Earth-Centered)
- Eixos rotacionam com a Terra (Earth-Fixed)
- Eixo z aponta para o Pólo Norte
- Eixos x e y definem o Plano Equatorial
- Fórmulas de Conversão ECEF / LLA

Mass Center of the Earth (0, 0, 0)

Fonte: µ-blox ag (1999)

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

## Conversão LLA para ECEF

$$\begin{aligned} X &= (N + h) \cos \varphi \cos \lambda \\ Y &= (N + h) \cos \varphi \sin \lambda \\ Z &= (\frac{b^2}{a^2} N + h) \sin \varphi \end{aligned}$$

where

$\varphi$  = latitude  
 $\lambda$  = longitude  
 $h$  = height above ellipsoid (meters)  
 $N$  = Radius of Curvature (meters), defined as:

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}$$

Fonte: µ-blox ag (1999)

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

## Conversão ECEF para LLA

$$\begin{aligned} \lambda &= \arctan \frac{Y}{X} \\ \varphi &= \arctan \frac{Z + e'^2 b \sin^3 \theta}{p - e^2 a \cos^3 \theta} \\ h &= \frac{p}{\cos \varphi} - N \end{aligned}$$

Where auxiliary values are:

$$\begin{aligned} p &= \sqrt{X^2 + Y^2} \\ \theta &= \arctan \frac{Za}{pb} \end{aligned}$$

Fonte: µ-blox ag (1999)

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

## A Terra vista do espaço

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

## A verdadeira Terra

Geoide (com exagero)  
Fonte: ESA (Agência Espacial Europeia)  
[Video](#)

Formato real da Terra ao serem eliminados os oceanos (com exagero)  
[Video](#)

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

## Formato da Terra

- Devido ao movimento de rotação, a Terra não possui uma forma perfeitamente esférica, mas assemelha-se a um elipsoide de revolução.
- Possui um diâmetro equatorial de 12.756,78 km e um raio médio de 6.371,2 km.
- Geoide – Terra representada por uma superfície fictícia definida pelo prolongamento do nível médio não perturbado dos mares por sobre os continentes (superfície equipotencial).
- Elipsoide – Terra representada por uma superfície gerada a partir de um elipsoide de revolução, com deformações relativamente maiores que o modelo geoidal.

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

## Geoide e Elipsoide

Forma da Terra  
Geóide  
Elipsóide

Elipsóide  
Mares  
Terreno  
Geoide

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

## Elipsóides Global e Local

Sup. Terrestre  
Ponto Origem  
Centro do Elipsoide = Centro de Massa da Terra  
Fonte: SIGridades (2012)

- Elipsoide Global (Geocêntrico) – ponto de referência (origem) é o Centro de Massa da Terra
- Elipsoide Local (Topocêntrico) – ponto de referência (origem) é definido sobre a superfície terrestre (Datum)

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

## Datum

- É o ponto de referência padrão, um ponto de origem pré-determinado por um Sistema Geodésico a partir do qual se determinam as distâncias, altitudes e aceleração da gravidade dos demais pontos em um mapa ou carta.
- Por definição é uma localidade onde ocorre a intersecção da superfície do Elipsoide e a superfície do Geoide, tornando o Desvio Vertical nulo ou mínimo e as coordenadas geográficas (reais) e geodésicas (do elipsoide) iguais, diminuindo assim ao máximo a propagação de erros ao se efetuar cálculos e ao elaborar algum trabalho.

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

## Exemplo: datum SAD69

- O South American Datum (SAD), oficializado para uso no Brasil em 1969, é representado pelo vértice Chuá, situado próximo à cidade de Uberaba/MG.
- Elipsoide South American 1969:
  - $a = 6.378.160 \text{ m}$  – é a dimensão que representa o semieixo maior do elipsoide (em metros).
  - $b = 6.356.775 \text{ m}$  – é a dimensão que representa o semieixo menor do elipsoide (em metros).
  - $f = 1-b/a = 1/298,25$  – é a relação entre o semieixo menor e o semieixo maior do elipsoide, ou seja, o seu achatamento.
  - Este elipsoide é idêntico ao Aust\_SA (Australian National) e ao GRS 1967 ou International 1967.

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

## Outros Data (plural de Datum)

- Córrego Alegre:**
  - Elipsóide: Internacional de Hayford de 1924
  - Origem: Topocêntrico
  - Ponto Datum: Vértice Córrego Alegre (MG)
- SAD69:**
  - Elipsóide: Internacional de 1967
  - Origem: Topocêntrico
  - Ponto Datum: Vértice Chuá (MG)
- SIRGAS2000:**
  - Elipsóide: GRS-80
  - Origem: Geocêntrico
  - Ponto Datum: Centro de Massa da Terra
- WGS84: (GPS)**
  - Elipsóide: GRS-80
  - Origem: Geocêntrico
  - Ponto Datum: Centro de Massa da Terra

Fonte: SIGcidades (2012)

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

## Datum Altimétrico

- Além do Datum Planimétrico, existe também o Datum Altimétrico utilizado para a determinação de altitudes.
- No Brasil são utilizados os seguintes Data Altimétricos:
  - Imbituba - correspondente ao nível médio determinado por um marégrafo instalado no Porto de Imbituba (SC), utilizada como origem para toda rede altimétrica nacional à exceção do estado do Amapá;
  - Porto de Santana - correspondente ao nível médio determinado por um marégrafo instalado no Porto de Santana (AP) para referenciar a rede altimétrica do Estado do Amapá que ainda não está conectada ao restante do País.

Fonte: SIGcidades (2012)

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

## Uso de diferentes Sistemas de Referência de Coordenadas (SRC)



Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

## Projeções

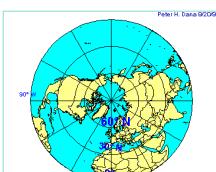
- A Terra é praticamente uma esfera (3D) e os mapas são planos (2D), por isso são necessárias as projeções.
- As projeções introduzem erros na representação:
  - forma, área, distância, direção, etc.
- Tipos:
  - Cilíndrica
  - Azimutal
  - Cônica
  - Outras

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

## Projeção Azimutal

Peter H. Dana 9/2004

- Projeção num plano
- Apenas parte da superfície da terra é visível
- A visão será metade do globo ou menos
- Distorção ocorre nos quatro cantos do plano
- Distância é preservada na maior parte



Planar Projection Surface

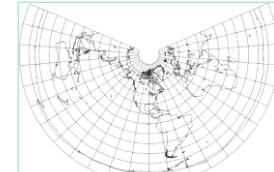
Fonte: Dana (2008)

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

Peter H. Dana 9/2004

## Projeção Cônica

- A superfície da terra é projetada num cone que envolve o globo.
- Área é distorcida
- Distância é muito distorcida quando se move para baixo da imagem
- Escala é preservada na maior parte da imagem



Conical Projection Surface

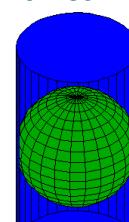
Fonte: Dana (2008)

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pambeukan

# Projeção Cilíndrica

Peter H. Dana (2009)

- A superfície da Terra é projetada num cilindro que envolve o globo (Mercator)
- Imagem contínua da Terra
- Países perto do equador têm verdadeiras posições relativas
- A visão dos pólos é bastante distorcida
- Área é preservada em grande parte
- Mantém escala, forma, área para pequenas regiões.



**Cylindrical Projection Surface**

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboski

# Universal Transverse Mercator

- Minimiza a distorção das direções em prejuízo da distância e da área

Peter H. Dana (2008)

Transverse Cylindrical Projection Surface

Mercator Projection

Fonte: Dana (2008)

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukan

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pamboukian

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sergio Vicente D. Pambosukan

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sérgio Vicente D. Paimbóia-Neto

**SRC no QGIS**

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sérgio Vicente D. Pamboukian

Sistema de referência de coordenadas do mundo

Ocultar SRCs obsoletos

Sistema de Referência de Coordenadas

SIRGAS 2000 / UTM zone 23S  
SIRGAS 2000 / UTM zone 24S  
SIRGAS 2000 / UTM zone 23  
SIRGAS 2000 / UTM zone 24

Autoridade de ID

EPSG:31983  
EPSG:31984  
EPSG:31985

SRC selecionado: SIRGAS 2000 / UTM zone 23S

\*proj=utm +zone=23 +south +ellps=GRS80 +towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +no\_defs

Utiliza strings no padrão Proj.4:

- Sistema de Coordenadas Geográficas (longlat):
  - SAD69 (até 1995) longlat +proj=longlat +ellps=aust\_SA +towgs84=-66.87,4.37,-38.52
  - SAD69 (após 1995) longlat +proj=longlat +ellps=aust\_SA +towgs84=-67.35,3.88,-38.22
- Sistema Projetoado de Coordenadas:
  - SAD69 (após 1995) / UTM Zona 23S +proj=utm +zone=23 +south +units=m +ellps=aust\_SA +towgs84=-67.35,3.88,-38.22
  - SIRGAS2000 / UTM Zona 23S +proj=utm +zone=23 +south +units=m +ellps=GRS80 +towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +no\_defs

**Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo - CIM**

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sérgio Vicente D. Pamboukian

Geografia UFSM  
www.ufsm.br/cartografia  
autor: João Henrique Góes

**CIM – Índice de Nomenclatura e Articulação de Folhas**

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sérgio Vicente D. Pamboukian

Geografia UFSM  
www.ufsm.br/cartografia

**CIM – Índice de Nomenclatura e Articulação de Folhas**

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sérgio Vicente D. Pamboukian

Exemplo: SF.23-V-C-II-3

Geografia UFSM  
www.ufsm.br/cartografia

**IBGE - Folha SF.23-V-C-II-3**

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sérgio Vicente D. Pamboukian

**Referências**

Laboratório de Geotecnologias da UPM  
Prof. Dr. Sérgio Vicente D. Pamboukian

- BAPTISTA, C. S. *Sistemas de Informações Geográficas*. UFCG: 2009. Disponível em: <http://www.dsc.ufcg.edu.br/~baptista/cursos/SIG/>. Acesso em: 12 nov. 2011.
- BORGES, A. C. *Topografia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos: INPE, 2003. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>. Acesso em: 11 fev. 2012.
- DANA, P. H. *The Map Projection Overview*. 2008. Disponível em: <http://www.pdana.com/PHDWWW.htm>. Acesso em: 21 set. 2012.
- SEIXAS, M. J. F.; FERREIRA, F. M. F. C. *Estatística ambiental e tecnologias de informação geográfica*. Universidade Nova de Lisboa: 2011.
- μ-BLOX AG. *Datum Transformations of GPS Positions - Application Note*. 05 jul. 1999. Disponível em: <http://microme.ru/files/2012/08/GPS.G1-X-00006.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2011.
- ROSA, R. *Cartografia Básica*. UFSCAR: fev. 2004. Disponível em: <http://www.ufscar.br/~debe/geo/paginas/tutoriais/pdf/cartografia/Cartografia%20Básica.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2011.
- SIGCIDADES. *Apresentação do Sistema Geodésico Brasileiro*. 2012. Disponível em: <http://www.uff.br/sigcidades/index.php/home-3>. Acesso em: 01 jun. 2015.