

FORMA DA TERRA

1. As diferentes formas da Terra

- A determinação da forma da Terra é uma das principais tarefas da Geodesia;
- Quando se aborda a figura da Terra, esta é geralmente encarada como sendo *ígida*, pois as perturbações temporais são tratadas em separado;
- Na Geodesia moderna são consideradas 5 figuras que representam a forma física da Terra:
 - A superfície Topográfica (forma física real);
 - O Geóide (forma física do campo gravítico real);
 - O Elipsóide de referência (forma matemática aproximada);
 - O Teluróide (forma do campo gravítico à superfície);
 - O Quasi-geóide (teluróide reduzido ao nível médio do mar);

FORMA DA TERRA

1.1 Forma real da Terra

- A representação da superfície topográfica terrestre é feita com o recurso à cartografia analógica ou digital;
- Cerca de 72% da superfície da Terra está coberta por água, e só os restantes 28% são terrenos secos;
- A Geodesia encarrega-se apenas dos 28% da superfície sólida, contudo, fornece técnica e instrumentos à Hidrografia e Oceanografia, tornando-a capaz de cartografar o fundo dos oceanos;
- Para descrever e representar matematicamente o terreno, escolhe um número finito de pontos (v.g.) e determina as suas posições num dado sistema de coordenadas;
- Estas redes geodésicas são, em 1ª aproximação, uma representação desta superfície;

FORMA DA TERRA

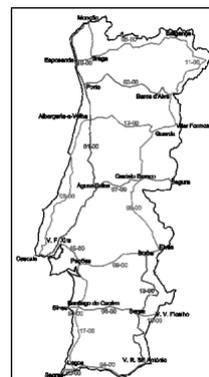
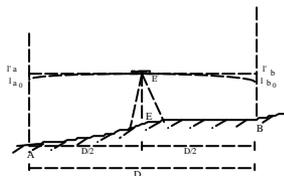
1.1 Forma real da Terra

- A partir destas redes a Cartografia, através da detecção remota (fotografia aérea e imagem de satélite) adensa ou propaga esta representação até ao pormenor;
- Tradicionalmente, estas redes geodésicas são divididas em 3 categorias, dependendo da forma como é definida a posição de cada ponto:
 - redes altimétricas ou de nivelamento - definidas apenas por uma coordenada, altitude acima do nível médio do mar (H);
 - redes planimétricas ou bidimensionais – definidas pelas suas posições horizontais (ϕ, λ);
 - redes tridimensionais ou espaciais – definidas pelas 3 coordenadas (x, y, z) ou (ϕ, λ, h);

FORMA DA TERRA

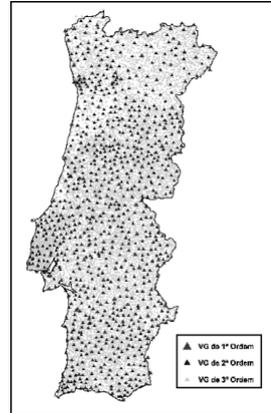
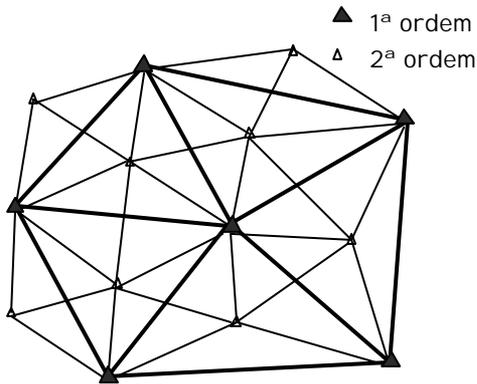
1.1.1 Rede de Nivelamento

- A partir de uma referência altimétrica (marégrafo) transportam-se as altitudes para todo o território através de linhas de nivelamento geométrico de alta precisão



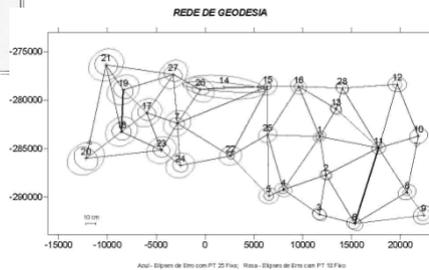
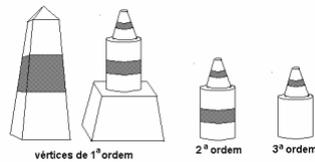
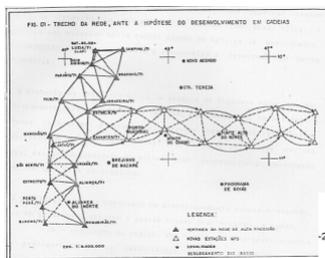
FORMA DA TERRA

1.1.2 Rede Geodésica bidimensional



FORMA DA TERRA

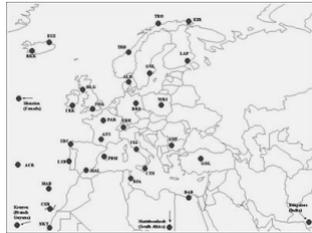
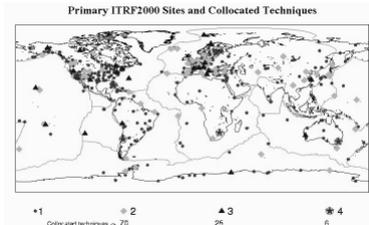
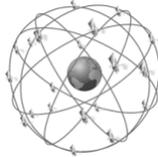
1.1.2 Rede Geodésica bidimensional



FORMA DA TERRA

1.1.3 Rede Geodésica tridimensional

- Usando a tecnologia mais avançada de posicionamento e navegação, o GNSS, observam-se redes tridimensionais de larga escala:



FORMA DA TERRA

1.2 A forma dada pelo Geóide

- De acordo com a ideia de Gauss, o geóide é encarado como uma representação da figura da Terra;
- O geóide é uma superfície com um significado físico preciso: a superfície equipotencial de referência;
- O geóide corresponde à superfície de um fluido homogêneo;
- Sendo o geóide muito próximo do nível médio do mar, o geóide representa em 72% a forma exacta da Terra;
- Dada a dinâmica e a heterogeneidade das águas oceânicas, a comparação entre o geóide e a superfície oceânica é feita por via de uma superfície estacionária – o nível médio do mar;

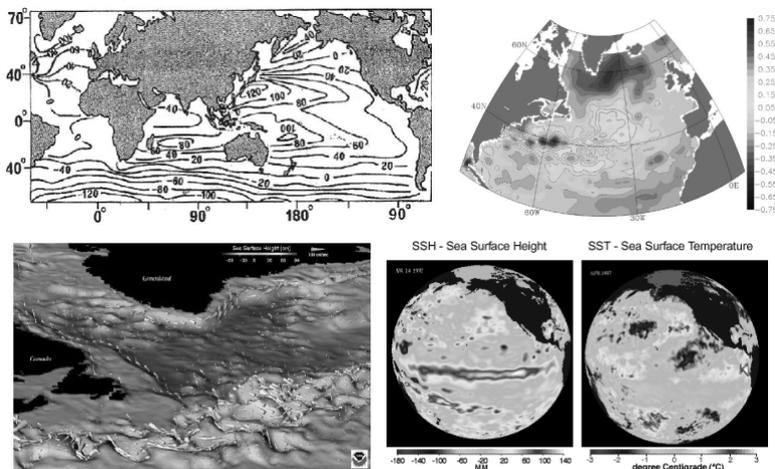
FORMA DA TERRA

1.2 A forma dada pelo Geóide

- O NMM serviu durante muito tempo (e ainda serve) como referência altimétrica, e como primeira aproximação da superfície do geóide;
- O nível instantâneo do mar pode variar até 20 m por dia, mas as médias mensais não variam mais do que 20-40 cm, já as médias anuais são estáveis a menos de 10cm;
- Sea surface height – SSH, é a altura da superfície do mar acima do elipsóide de referência, é determinada a partir da medição de um altímetro e pela altitude do satélite acima do elipsóide (com GPS, SLR e DORIS);
- Sea surface topography – SST, é dada pela diferença entre o geóide e a SSH, varia entre os cerca de -100 cm e os 120 cm;

FORMA DA TERRA

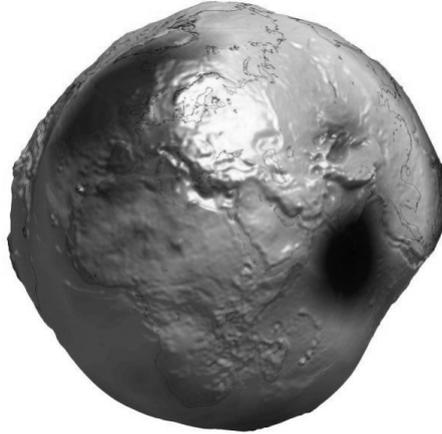
1.2 A forma dada pelo Geóide



FORMA DA TERRA

1.2 A forma dada pelo Geóide

- O geóide varia entre os 70m acima do elipsóide no Atlântico e os 100m abaixo do Elipsóide no oceano Índico;



FORMA DA TERRA

1.3 A forma dada pelo Elipsóide

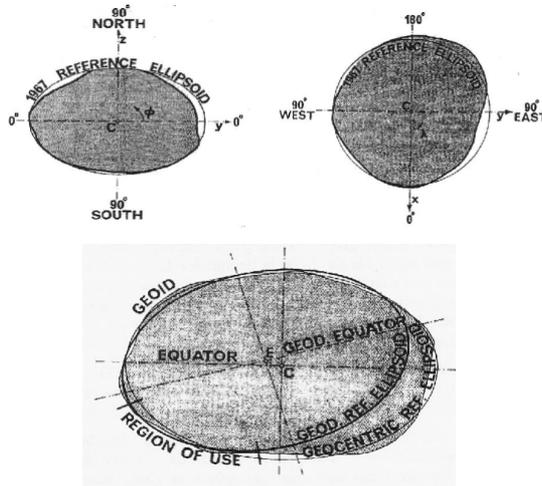
- O *elipsóide de referência* é a definição de 1ª ordem da forma não esférica da Terra, definido por um elipsóide de revolução com raio equatorial $a=6378.1363$ km e um achatamento $f=1/298.257$;
- Tomando o valor de ondulação máxima do geóide, $N=100$ m

$$\frac{N}{R} = 1.6 \cdot 10^{-5}$$

- Conclui-se que a aproximação do elipsóide em relação ao geóide é da ordem de 10ppm, e consequentemente, $R+N=R$;
- Em relação a uma esfera, o geóide apresentaria ondulações da ordem dos 10.7 km, ou seja, $1.7 \times 10^{-3}R$;
- O elipsóide é duas ordens de grandeza mais próximo do geóide do que a esfera;

FORMA DA TERRA

1.3 A forma dada pelo Elipsóide



FORMA DA TERRA

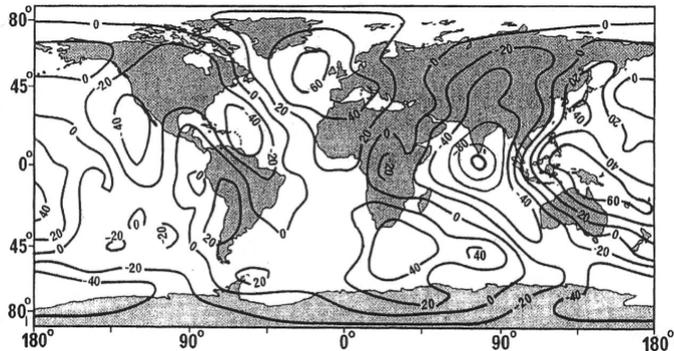
1.3 A forma dada pelo Elipsóide

Elipsóide	a (km)	1/f	Obs
Eratóstenes	5950	∞	Forma esférica
Experiência Francesa	6376.568	310.3	Base da definição de 1 metro
Hayford, 1909	6378.388	297.0	
Internacional 1927	6378.160	298.247	Usado por mais instituições
Smithsonian (Gaposkin, 1973)	6378.140	298.256	
U.S. Defense (Spelin, 1974)	6378135	298.26	
GRS80 (IAG, 1980)	6378.137	298.257	Usado por mais instituições

FORMA DA TERRA

1.3 A forma dada pelo Elipsóide

- Ondulação do geóide calculada sobre o GRS80



FORMA DA TERRA

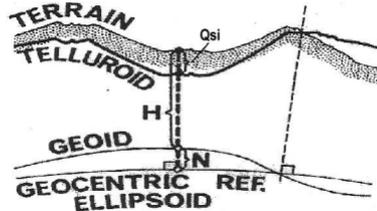
1.4 O Teluróide

- A determinação do geóide implica a redução das anomalias observadas à superfície sob a hipótese de um qualquer modelo de distribuição de densidades das massas exteriores;
- Para evitar este inconveniente, Molodensky em 1945 propôs uma nova abordagem – resolver o problema de fronteira da geodesia física directamente a partir dos valores de superfície;
- Apesar de não resolver o problema da geodesia geométrica, é de grande importância para a geodesia física;
- O geóide é então substituído por uma superfície, designada primeiro por Molodensky de “*geoid of the nonregularized earth*”, e depois por Hirvonen, de teluróide (terróide);
- Deste método resulta uma quantidade designada de anomalia de altitude - ζ , correspondente à distância vertical entre a superfície topográfica e o teluróide;

FORMA DA TERRA

1.4 O Teluróide

- O teluróide é então a superfície que dista aproximadamente do elipsóide a mesma altitude que dista a superfície topográfica do geóide;



- É definido pela altitude normal H^* acima do elipsóide

$$H^* = - \int_{w_0}^w \frac{dw}{g} = \frac{C}{g} \quad z = h - H^*$$

FORMA DA TERRA

1.4 O Teluróide

- Rigorosamente, o teluróide é a superfície onde num qualquer ponto Q o potencial normal U é igual ao potencial gravítico W do correspondente ponto P da superfície topográfica ($W_P = U_Q$);
- O respectivo problema de fronteira corresponde à determinação do potencial perturbador T , tal que:

$$\begin{aligned} \Delta T &= 0 \\ \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{2}{r} T &= \Delta g \end{aligned}$$

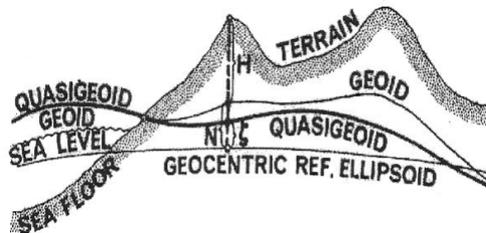
- Onde Δg são as anomalias ar-livre definidas à superfície da Terra e $T = W_P - U_P$;
- Resultando a seguinte solução após a fórmula de Bruns

$$\zeta = \zeta_0 + \frac{R}{4\pi\gamma} \iint_{\sigma} G_1 S(\psi) d\sigma \quad G_1 = \frac{R^2}{2\pi} \iint_{\sigma} \frac{h-h_p}{l^3} \left(\Delta g + \frac{3\gamma}{2R} \zeta_0 \right) d\sigma$$

FORMA DA TERRA

1.5 O Quasi-Geóide

- Quando a anomalia da altitude, ζ , é medida a partir do elipsóide de referência a superfície resultante é o quasi-geóide;
- A sua proximidade ao geóide confere-lhe o nome, no mar as duas superfícies coincidem, nas montanhas elas diferem de alguns metros;



FORMA DA TERRA

1.5 O Quasi-Geóide

- A desvantagem evidente do quasi-geóide, em relação ao geóide, é que este não possui um significado físico;
- É uma pura construção matemática e não uma superfície equipotencial;
- Como referência altimétrica o quasi-geóide não tem qualquer desvantagem;
- Nos países da ex-URSS e em muitos outros países do leste o datum altimétrico é o quasi-geóide e as altitudes usadas são as altitudes normais;