

MUSEU DE TOPOGRAFIA PROF. LAUREANO IBRAHIM CHAFFE DEPARTAMENTO DE GEODÉSIA – UFRGS

GEODÉSIA

Texto original de:
[Wikipédia, a enciclopédia livre](#)

Ampliação e ilustração de autoria de;
[Iran Carlos Stalliviere Corrêa](#)

Museu de Topografia Prof. Laureano Ibrahim Chaffe – Porto Alegre-RS



Um marco geodésico (1855) em Ostend, Bélgica.

O termo **geodésia** (português brasileiro) ou **geodesia** (português europeu) (do grego *Γεωδαισία*, composto de *γη*, "terra", e *δαιζω*, "dividir") foi usado, pela primeira vez, por Aristóteles (384-322 a.C.), e pode significar tanto "divisões (geográficas) da terra" como também o ato de "dividir a terra" (por exemplo entre proprietários). A geodésia é, ao mesmo tempo, um ramo das Geociências e uma Engenharia, que trata do levantamento e da representação da forma e da superfície da terra (*Definição clássica de Helmert*), global e parcial, com as suas feições naturais e artificiais e o campo gravitacional da Terra.

Objetivo

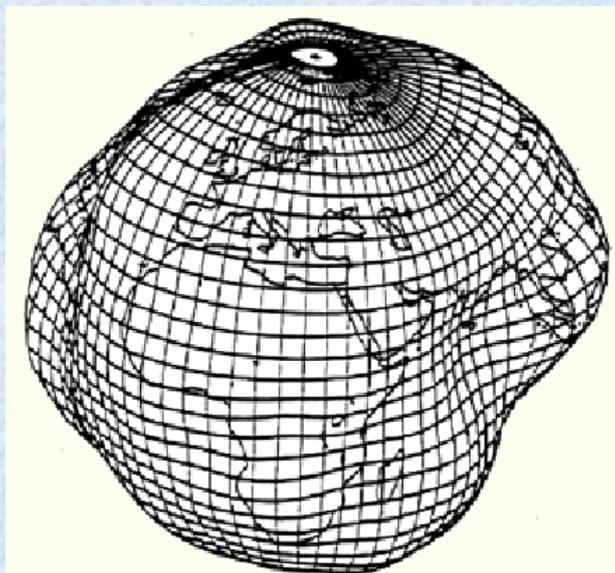
A **geodésia** fornece, com as suas teorias e seus resultados de medição e cálculo, a referência geométrica para as demais geociências como também para a geoinformática, os Sistemas de Informações Territoriais, os cadastros, o planejamento, as engenharias de construção, a navegação aérea, marítima e rodoviária, entre outros e, inclusivamente para aplicações militares e programas espaciais.

A **Geodésia Superior** ou **Geodésia Teórica**, dividida entre a Geodésia Física e a Geodésia Matemática, trata de determinar e representar a figura da terra em termos globais; a **Geodésia Inferior**, também chamada **Geodésia Prática** ou **Topografia**, levanta e representa partes menores da Terra onde a superfície pode ser considerada "*plana*". Para este fim, podemos considerar algumas Ciências auxiliares, como é o caso da cartografia, da fotogrametria e do *Ajustamento e Teoria de Erros de Observação*, cada uma com diversas subáreas.

Além das disciplinas da geodésia científica, existem uma série de disciplinas técnicas que tratam problemas da organização, administração pública ou aplicação de medições geodésicas, por exemplo, a cartografia sistemática, o cadastro imobiliário, o saneamento rural, as medições de engenharia ou o geoprocessamento.

A observação e descrição do "**campo de gravidade**" e sua variação temporal, atualmente, é considerada o problema de maior interesse na geodésia teórica. A direção da força de gravidade num ponto, produzido pela rotação da Terra e pelas massas terrestres, como também das massas do Sol, da Lua e dos outros planetas, e o mesmo como a direção da vertical (*ou do prumo*) em algum ponto. A direção do campo de gravidade e a direção vertical são idênticas. As superfícies perpendiculares a estas direções são superfícies equipotenciais. Uma destas superfícies equipotenciais é chamada **geóide** - é aquela superfície que mais se aproxima do nível médio das águas do mar. O problema da

determinação da figura terrestre é resolvido para um determinado momento se for conhecido o campo de gravidade dentro de um sistema espacial de coordenadas. Este campo de gravidade também sofre alterações causadas pela rotação da Terra e também pelos movimentos dos planetas (*marés*).

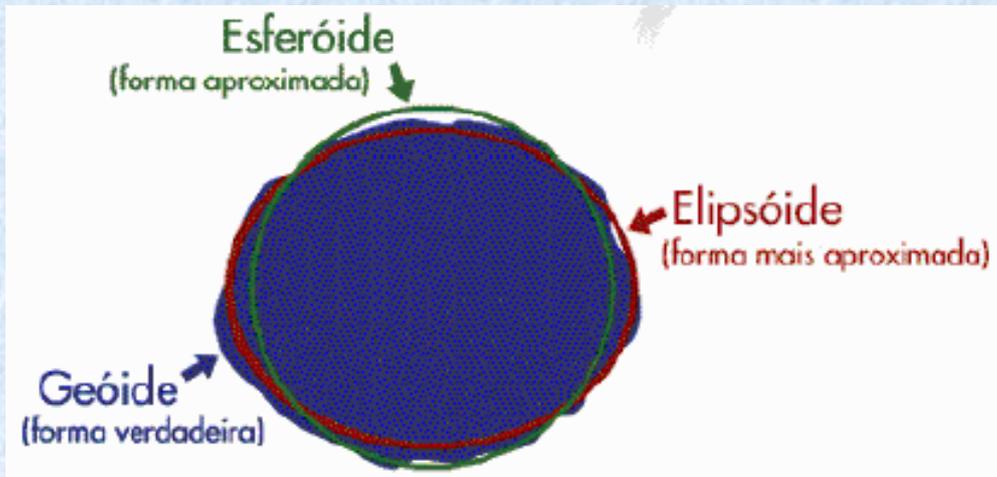


O geóide tem uma superfície irregular e não corresponde a uma esfera. Mais precisamente, o geóide é uma **superfície equipotencial** do campo gravitacional planetário, ou seja, sobre essa superfície o potencial do campo gravitacional é constante, coincidindo com a superfície de equilíbrio das massas oceânicas.

Conforme o ritmo das **marés marítimas**, também a crosta terrestre, por causa das mesmas forças, sofre deformações elásticas: as **marés terrestres**. Para uma determinação do geóide, livre de hipóteses, precisa-se em primeiro lugar de medições gravimétricas - além de medições astronômicas, triangulações, nivelamentos geométricos e trigonométricos e observações de satélites.

A maior parte das medições geodésicas aplica-se na superfície terrestre, onde, para fins de determinações planimétricas, são marcados pontos de uma "rede de triangulação". Com os métodos exatos da geodésia matemática projetam-se estes pontos numa superfície geométrica, que matematicamente deve ser bem definida. Para este fim costuma-se definir um **Elipsóide de rotação** ou **Elipsóide de referência**. Existe uma série de elipsóides que antes foram definidos para as necessidades de apenas um

país, depois para os continentes, hoje para o globo inteiro, em primeiro lugar definidos em projetos geodésicos internacionais e a aplicação dos métodos da geodésia de satélites.

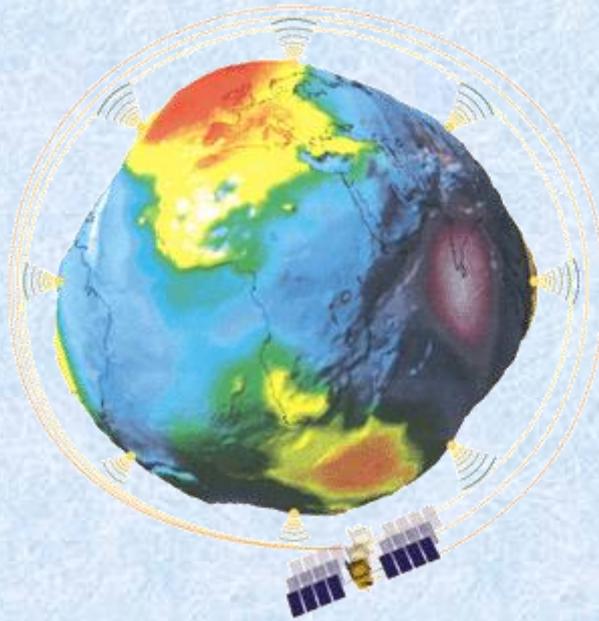


As três superfícies de referência

Além do sistema de referência planimétrica (*rede de triangulação e o Elipsóide de Rotação*), existe um segundo sistema de referência: o **sistema de superfícies equipotenciais** e linhas verticais para as medições altimétricas. Segundo a definição geodésica, a altura de um ponto P é o comprimento da linha das verticais (*curva*) entre um ponto P e o geóide (*altitude geodésica*). Também se pode descrever a altura do ponto P como a diferença de potencial entre o geóide e aquela superfície equipotencial que contém o ponto P . Esta altura é chamada **cota geopotencial**. Cotas geopotenciais têm a vantagem, comparando-as com alturas métricas ou ortométricas, de poderem ser determinadas com alta precisão sem conhecimentos da forma do geóide (*Nivelamento*). Por esta razão, nos projetos de nivelamento de grandes áreas, como continentes, costumam-se usar cotas geopotenciais, como no caso da compensação da "*Rede Única de Altimetria da Europa*". No caso de ter uma quantidade suficiente, tanto de pontos planimétricos, como também altimétricos, pode-se determinar o **geóide** local daquela área.

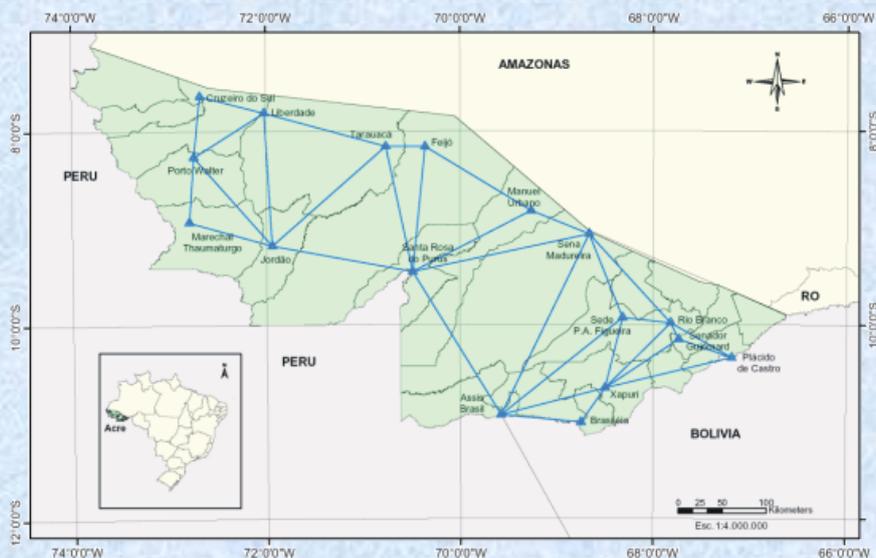
A área desta ciência que trata da definição local ou global da figura terrestre geralmente é chamada **Geodésia Física**, para aquela área, ou para suas subáreas. Também se usam termos como geodésia dinâmica, geodésia por satélite,

Gravimetria, geodésia astronômica, geodésia clássica, Geodésia tridimensional.



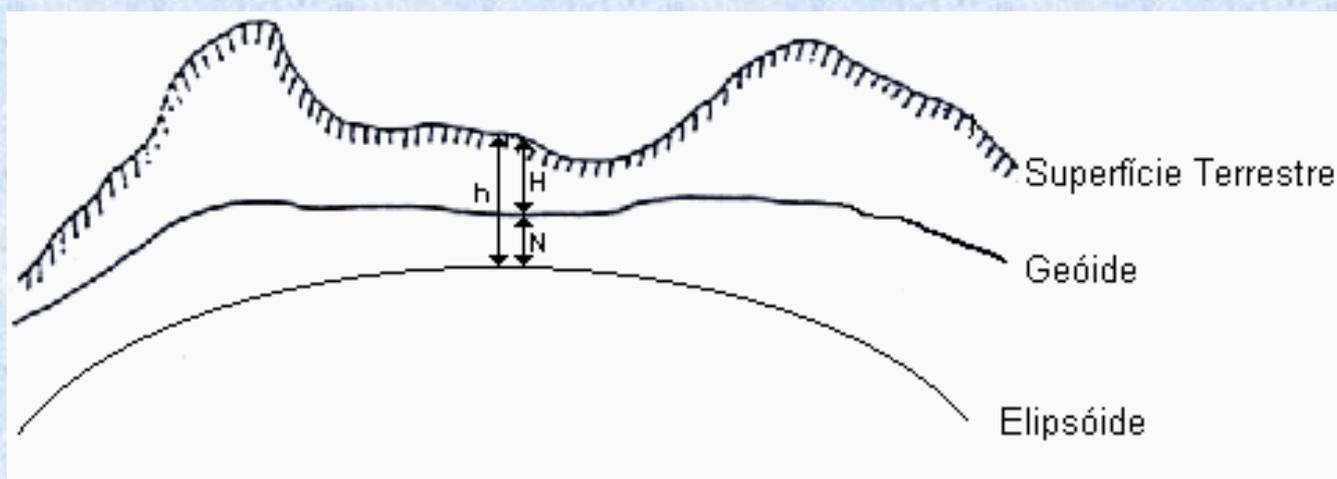
A Geodésia Física tem como objetivo a determinação precisa da posição de pontos sobre a superfície terrestre e recorre, para tal, a técnicas diversas, das quais se destacam o GPS (Global Positioning System) e o VLBI (Very Long Baseline Interferometry).

Geodésia matemática: Na geodésia matemática formulam-se os métodos e as técnicas para a construção e o cálculo das coordenadas de redes de pontos de referência para o levantamento de um país ou de uma região. Estas redes podem ser referenciadas para novas redes de ordem inferior e para medições topográficas e cadastrais.



Rede de triangulação geodésica do estado do Acre

Para os cálculos planimétricos modernos usam-se três diferentes sistemas de coordenadas, os quais foram definidos como “**projeções conformes**” da rede geográfica de coordenadas: a **projeção estereográfica**, para áreas de pequena extensão, a **projeção de Lambert**, para países com grandes extensões na direção oeste-leste e a **projeção transversal de Gauss** (UTM), para áreas com maiores extensões meridionais. Segundo a resolução da IUGG (Roma, 1954) cada país pode definir seu próprio sistema de referência altimétrica. Estes sistemas também são chamadas “*sistemas altimétricos de uso*”. Tais “*sistemas de uso*” são, p.e., as altitudes ortométricas, que são o comprimento da linha vertical entre um ponto P e o ponto P' , que é a interseção daquela linha das verticais com o geóide. Se determina tal altura como a cota geopotencial c através da relação, onde \bar{g} é a média das acelerações de gravidade acompanhando a linha PP' , um valor que não é mensurável diretamente, e para determiná-lo precisa-se de mais informações sobre a variação das massas no interior da Terra. As altitudes ortométricas são exatamente definidas, embora o seu valor numérico determina-se apenas aproximadamente. Para essa aproximação usa-se também a relação (*fórmula*) onde a constante é a média das acelerações de gravidade.



N - **ondulação do geóide** (distância entre o elipsóide e o geóide, medida ao longo da normal ao elipsóide);
 h - **altura elipsoidal** (distância entre o elipsóide e a superfície terrestre, medida ao longo da normal ao elipsóide);
 H - **altura ortométrica** (distância entre o geóide e a superfície terrestre, medida ao longo da linha de prumo).

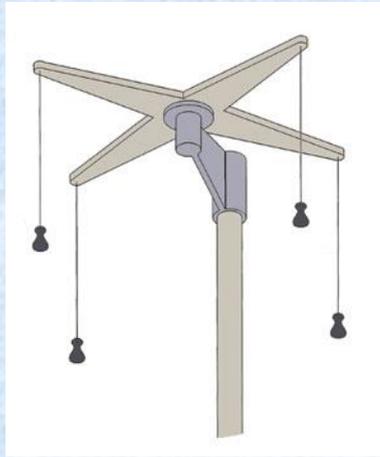
História

Época Antiga e Idade Média

Tendo a mesma origem da geometria, foi desenvolvida nas altas culturas do Oriente Médio, com o propósito de levantar e dividir as propriedades em parcelas. As fórmulas usadas para calcular áreas, geralmente empíricas, foram usadas pelos agrimensores romanos e encontram-se também nos livros gregos, p.e. de Heron de Alexandria, que inventou a "**dioptra**", o primeiro instrumento geodésico de precisão, que também permitia o nivelamento que aumentava a série de instrumentos da Geodésia (**groma**, **gnômon**, **mira**, **trena**).



Dioptra



Groma



Gnômon

Aperfeiçoou ainda o instrumento de **Ktesíbios** para medir grandes distâncias. Alexandre Magno ainda levou "**Bematistas**" para levantar os territórios conquistados. Depois de descobrir a forma esférica da terra, **Eratóstenes** determinou pela primeira vez o diâmetro do globo terrestre.



Medida da circunferência terrestre por Eratostenes

Hiparco, Heron e Ptolomeu determinavam a longitude geográfica observando eclipses lunares, no mesmo instante, em dois pontos cuja distância já era conhecida por medições. Estes métodos foram transferidos para a Idade Média através dos livros dos agrimensores romanos e pelos árabes, que também usavam o **astrolábio**, o **quadrante** e o "bastão de Jacobo" para tarefas geodésicas.



Astrolábio de 1571



Quadrante do século XVI

Entre os instrumentos, a partir do século XIII, encontra-se também a **bússola**. No século XVI, S. Münster e R. Gemma Frisius, desenvolveram os métodos da interseção que permitia o levantamento de grandes áreas. O nível hidrostático de Heron, há vários séculos esquecido, foi reinventado no século XVII.



Bússola

Época moderna

Uma nova era da **Geodésia** começou no ano 1617, quando o holandês Snellius inventou a triangulação para o levantamento de áreas grandes como regiões ou países. A primeira aplicação da triangulação foi o levantamento de Württemberg por Schickard. Nesta época, a geodésia foi redefinida como "**a ciência e tecnologia da medição e da determinação da figura terrestre**". J. Picard realizou a primeira medição de arco no sul de Paris, cujos resultados iniciaram uma disputa científica sobre a geometria da figura terrestre. O **elipsóide de rotação**, achatado nos pólos, foi definido por Isaac Newton em 1687, à base da sua hipótese de gravitação, e Huygens em 1690, à base da teoria cartesiana do redemoinho. A forma de um elipsóide combinou também com algumas observações antes inexplicáveis, por exemplo o atraso de um relógio pendular em Cayenne, calibrado em Paris, observado por J. Richter em 1672, ou o fato do pêndulo do segundo, cujo comprimento aumenta, aproximando-se da linha do equador. A "Académie des sciences de Paris" mandou realizar medições de arcos meridianos em duas diferentes latitudes do globo, uma (1735-45 e 1751) por P. Bouguer e Ch. M. de la Condamine no norte do Peru (hoje Equador), e outra 1736/1737 na Finlândia, por P. L. Maupertius, A. C. Clairaut e A. Celsius. Estas medições tinham como único fim a confirmação da tese de Newton e Huygens, aplicando os últimos conhecimentos da astronomia e os métodos mais modernos de medição e retificação da época, como constantes astronômicas aperfeiçoadas (*precessão, aberração da luz, refração atmosférica*), nutação do eixo terrestre, medição da constante de gravitação com pêndulos e a correção do desvio da vertical, 1738 observado pela primeira vez por Bouguer nas medições no Chimborasso (*Equador*). Junto com a re-medição do "arco de Paris" por Cassini de Thury e N. L. de la Caille a retificação das observações confirmou o achatamento do globo terrestre, e com isso, o elipsóide de rotação como figura matemática e primeira aproximação na geometria da terra. Em 1743, Clairaut publicou os resultados na sua obra clássica sobre a geodésia. Nos anos seguintes a base teórica foi

aperfeiçoada, em primeiro lugar por d'Alembert (***Determinação do Achatamento da Terra através da Precessão e Nutação***) e também por Laplace, que determinou o achatamento unicamente através de observações do movimento da Lua, tomando em conta a variação da densidade da Terra. O desenvolvimento do cálculo de probabilidades (Laplace, 1818) e do método dos mínimos quadrados (C. F. Gauss, 1809) aperfeiçoaram a retificação de observações e melhoraram os resultados das triangulações. O século XIX começou com o descobrimento de Laplace, que a figura física da terra é diferente do elipsóide de rotação, comprovado pela observação de desvios da vertical como diferenças entre latitudes astronômicas e geodésicas. Em 1873, J. B. Listings usou, pela primeira vez, o nome "**geóide**" para a figura física da terra. O final do século foi marcado pelos grandes trabalhos de "medições de arcos meridianos" (*como a do Arco Geodésico de Struve*) dos geodestas junto com os astrônomos, para determinar os parâmetros daquele elipsóide que tem a melhor aproximação com a terra física. Os elipsóides mais importantes eram os de Bessel (1841) e de Clarke (1886 e 1880).

No Século XX

A **geodésia moderna** começa com os trabalhos de Helmert, que usou o método de superfícies, em lugar do método de "medição de arcos" e estendeu o teorema de Clairaut para elipsóides de rotação introduzindo o esferóide normal. Em 1909, Hayford aplicou este método para o território inteiro dos Estados Unidos. No século XX, se formaram associações para realizar projetos de dimensão global como a "Association géodésique internationale" (1886-1917, *Central em Potsdam*) ou a "L'Union géodésique et géophysique internationale" (1919). A Geodésia recebeu novos impulsos através do envolvimento com a computação, que facilitou o ajustamento de redes continentais de triangulação, e dos satélites artificiais para a medição de redes globais de triangulação e para melhorar o conhecimento sobre o geóide. H. Wolf descreveu a base teórica para um modelo livre de

hipóteses de uma "geodésia tri-dimensional" que, em forma do WGS84, facilitou a definição de posições, medindo as distâncias espaciais entre vários pontos via GPS, e conseqüentemente veio o fim da triangulação, e a fusão entre a "**Geodésia Superior**" e a "**Geodésia Inferior**" (a *topografia*). Na discussão para as tarefas para o futuro próximo, encontra-se a determinação do geóide como superfície equipotencial acima e abaixo da superfície física da terra ($W=0$) e a "**Geodésia Dinâmica**" para determinar a variação da figura terrestre com o tempo para fins teóricos (*dados de observação para a comprovação da teoria de Wegener*) e práticos (*pré-determinação de sismos, etc*).

Sistemas de Referência Geodésica

- SAD69 (South American Datum) de 1969
- WGS84 (World Geodetic System) Elipsóide de 1984
- SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) Elipsóide GRS 1980
- Datum 73 (Datum para Portugal]] Elipsóide Hayford)

Referências

- DRAHEIM, H.: *Die Geodäsie ist die Wissenschaft von der Ausmessung und Abbildung der Erdoberfläche* (pt: a geodésia é a ciência da medição e representação da superfície da terra), AVN 7/1971 (Allgemeine Vermessungs-Nachrichten), p. 237-251
- GEMAEL, C.: *Geodésia Física*, Editora da UFPR, Curitiba PR 1999, ISBN 85-7335-029-6
- _____: *A Evolução da Geodésia*, Revista Brasileira de Cartografia, No 46/1995, páginas 1-8
- HELMERT, F.R.: *Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie* (pt: As Teorias Matemáticas e Físicas da Geodésia Superior), 1ª parte. Leipzig 1880, 2ª parte. Leipzig 1884
- MEDINA, A.: *O Termo Grego 'Geodésia' - um Estudo Etimológico*, GEODÉSIA online, 3/1997 (em pdf)