

PAULO ROBERTO FITZ
é graduado em Geografia
pela Universidade Federal do
Rio Grande do Sul (UFRGS).
Possui especialização em
Geografia Ambiental, mestrado
em Sensoriamento Remoto
e doutorado em Recursos
Hídricos e Saneamento
Ambiental, todos também pela
UFRGS.

Atualmente é professor adjunto,
pesquisador e coordenador
do curso de Geografia do
Unilasalle – Centro
Universitário La Salle.

É autor do livro
*Geoprocessamento sem
complicação*, da Oficina
de Textos.

CARTOGRAFIA

nova edição

básica

PAULO ROBERTO FITZ

EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS GEODÉSICOS 1

As conquistas tecnológicas das últimas décadas vêm desvendando cada vez mais antigos enigmas que perduraram durante séculos.

A corrida espacial disputada pelas duas superpotências então existentes no decorrer da chamada Guerra Fria, Estados Unidos e ex-União Soviética, trouxe à tona evidências de muitos mistérios que povoaram a mente dos homens no decorrer de milênios.

Entretanto, por mais incrível que possa parecer, ainda hoje há quem acredite que o homem não tenha pisado na Lua. Possivelmente, na época de Cabral e de Colombo, muitos não acreditaram nas narrativas dos navegadores.

Os avanços tecnológicos constituídos ao longo dos tempos acabaram por proporcionar a superação de quaisquer dessas desconfianças e, possivelmente, o futuro nos reservará ainda mais surpresas.

A forma do Planeta que habitamos, atualmente de compreensão um tanto óbvia, em função das imagens de satélites disponibilizadas em nosso dia-a-dia pelos meios de comunicação, foi motivo de violentas execuções num passado nem tão distante.

Desde a época do apogeu da antiga Grécia, muitos pensadores já acreditavam que a Terra possuía uma superfície esférica e buscavam encontrar formas de calcular sua circunferência.

No entanto, somente por volta do ano 200 a.C., Eratóstenes, responsável pela famosa Biblioteca de Alexandria, conseguiu calculá-la com relativa precisão. O sábio grego percebeu que, no dia do solstício de verão para o Hemisfério Norte, ao meio-dia, em Siena, cidade localizada nas proximidades do rio Nilo, os raios do Sol iluminavam todo o fundo de um poço vertical. Nessa mesma data, em Alexandria, cidade localizada mais ao norte, ele observou

que os raios solares estavam inclinados em relação à vertical, uma vez que não incidiam diretamente no fundo de outro poço como ocorrera em Siena.

Eratóstenes realizou, então, um experimento. Colocando uma estaca vertical ao terreno em Siena e outra em Alexandria, acabou por observar que, ao meio-dia de 21 de junho, enquanto a estaca colocada em Siena não apresentava sombra, a de Alexandria apresentava uma sombra no terreno. Verificou ainda que, em Alexandria, essa sombra projetada apresentava os raios solares com uma inclinação, em relação à estaca vertical, de cerca de $1/50$ de circunferência, ou seja, $7^{\circ}12'$.

Dando continuidade ao seu trabalho e não dispondo, na época, de instrumentalização adequada, estimou a distância entre as cidades, com base em informes, em 5.000 estádios, o que equivale a, aproximadamente, 925.000 metros (1 estádio \cong 185 metros).

A partir desses dados, torna-se relativamente simples a realização do cálculo da circunferência, pois:

- se a distância entre as duas cidades é de 5.000 estádios;
- se a inclinação dos raios solares é de $7^{\circ}12'$,

então:

$$7^{\circ}12' \rightarrow 5.000 \text{ estádios};$$

$360^{\circ} \rightarrow x$; e, finalmente, $x = 250.000$ estádios, ou seja, cerca de 46.250.000 metros (bastante próximo dos aproximados 41.700 km reais). Segundo o Elipsóide Internacional de Referência, a medida é de 41.761.478,94 metros (Oliveira, 1993).

O pequeno erro cometido, de cerca de 10%, deveu-se principalmente a dois fatores:

- Siena não estava localizada sobre o mesmo meridiano que Alexandria;
- a distância real entre as duas cidades era de cerca de 4.500 estádios (pouco mais de 830 km).

A Fig. 1.1 apresenta um esquema do método utilizado por Eratóstenes.

1 Evolução dos Sistemas Geodésicos

Mais tarde, já na Idade Média, a Cartografia experimentou, assim como toda a ciência, um enorme retrocesso. Chegou-se a imaginar que a Terra teria a forma de um disco plano com abismos e monstros marinhos ao seu final, conforme apresentam diversos mapas e figuras da época.

A partir de algumas observações feitas pelos antigos navegadores, as questões apresentadas pelos gregos foram novamente sendo retomadas, e a esfericidade terrestre voltou a ocupar seu lugar nas discussões científicas. As percepções de que

um navio parece perder suas partes ao afastar-se no horizonte; de que a Estrela Polar, aparentemente, move-se em relação ao observador conforme ele vai se deslocando no sentido norte-sul, ou ainda, a da projeção da sombra da Terra na Lua no decorrer dos eclipses, entre outras, trouxeram à tona essas velhas questões.

Posteriormente, já no século XVII, em um experimento do astrônomo francês Jean Richer, foi verificado em Caiena, na Guiana Francesa, próximo ao Equador, que um relógio com um pêndulo de 1 m atrasava cerca de dois minutos e meio por dia em relação à mesma situação verificada na cidade de Paris. Utilizando o princípio da Gravitação Universal de Newton, o estudioso pôde estabelecer uma relação entre as diferentes gravidades experimentadas nas proximidades do Equador e em Paris. A situação observada, do atraso no pêndulo, levou-o à conclusão de que, na zona equatorial, a distância entre a superfície e o centro da Terra deveria ser maior do que essa distância quando mensurada na proximidade dos pólos, ou seja, de que o Planeta não seria uma esfera perfeita, e, sim, "achatada". Surgia, então, a idéia da forma de um elipsóide (figura matemática cuja superfície é gerada pela rotação de uma elipse em torno de um de seus eixos) para o Globo.



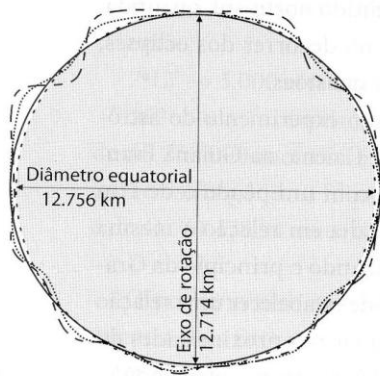
Fig. 1.1 Esquema do método utilizado por Eratóstenes para o cálculo da circunferência da Terra

As diferenças entre as dimensões dos diâmetros equatorial e do eixo de rotação não são, porém, tão significativas, apresentando cerca de 12.756 km e 12.714 km, respectivamente. A disparidade encontrada, de aproximadamente 42 km entre as medidas, representa um "achatamento" de perto de 1/300, mostrando que, vista do espaço, a Terra apresenta-se como uma esfera quase perfeita.

Outro termo para a forma da Terra comumente utilizado nos meios acadêmicos é o do GEÓIDE, a figura que mais se aproxima da verdadeira forma terrestre.

Pode-se definir, de maneira bastante simplificada, que o GEÓIDE seria uma superfície coincidente com o nível médio e inalterado dos mares e gerada por um conjunto infinito de pontos, cuja medida do potencial do campo gravitacional da Terra é constante e com direção exatamente perpendicular a esta.

Em razão das propriedades apresentadas, o ELIPSÓIDE DE REVOLUÇÃO traduz-se como a figura matemática que mais se aproxima da forma do GEÓIDE. Assim, o ELIPSÓIDE DE REVOLUÇÃO é a superfície mais utilizada pela ciência geodésica para a realização de seus levantamentos.



- esfera
- geóide
- elipsóide
- forma "real"

Fig. 1.2 Formas de representação da Terra

A Fig. 1.2 mostra uma comparação entre as diversas formas de representação do Planeta.

Para que se possa estabelecer uma relação entre um ponto determinado do terreno e um elipsóide de referência, deve-se possuir um sistema específico que faça esse relacionamento. OS SISTEMAS GEODÉSICOS DE REFERÊNCIA realizam essa função.

1.1 SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é composto por redes de altimetria, gravimetria e planimetria.

O REFERENCIAL DE ALTIMETRIA vincula-se ao GEÓIDE, descrito anteriormente como uma superfície equipotencial do campo gravimétrico da Terra, coincidente com o marco "zero" do Marégrafo de Imbituba, localizado no Estado de Santa Catarina. O REFERENCIAL DE GRAVIMETRIA está vinculado a milhares de estações distribuídas sobre o território nacional, que recolhem dados acerca da aceleração da gravidade. Finalmente, a definição da superfície, origem e orientação do sistema de coordenadas usado para mapeamento e georreferenciamento no território brasileiro é dada pelo REFERENCIAL DE PLANIMETRIA, representado ainda hoje pelo SAD-69, mas em processo de alteração.

1.1.1 SAD-69

Como já foi salientado, no Brasil, atualmente, é utilizado o Sistema Geodésico Brasileiro. Esse sistema faz parte do Sistema Geodésico Sul-Americano de 1969, conhecido como SAD-69, que apresenta dois parâmetros principais: a figura geométrica representativa da Terra (o elipsóide de referência) e sua orientação (a localização espacial do ponto de origem - base - do sistema):

Figura da Terra:

- Elipsóide Internacional de 1967, com:
 - a (semi-eixo maior) = 6.378.160,00 m;
 - b (semi-eixo menor) = 6.356.774,72 m;
 - α (achatamento) = $(a-b)/a = 1/298,25$.

Orientação:

- Geocêntrica: dada pelo eixo de rotação paralelo ao eixo de rotação da Terra e com o plano meridiano de origem paralelo ao plano do meridiano de Greenwich, conforme o Serviço Internacional da Hora (BIH - Bureau International de L'Heure).
- Topocêntrica: no vértice de Chuá, da cadeia de triangulação do paralelo 20° S, com as seguintes coordenadas:
 - ϕ (latitude) = 19°45'41,6527" S
 - λ (longitude) = 48°06'04,0639" WGr
 - N (altitude) = 0,0 m

1.1.2 SIRGAS

O Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (Sirgas) encontra-se em implantação e está sendo utilizado concomitantemente com o SAD-69.

O Sirgas foi concebido em função das necessidades de adoção de um sistema de referência compatível com as técnicas de posicionamento global, dadas por sistemas dessa natureza como o GPS. Amplamente discutido no meio cartográfico latino-americano, ele está programado para substituir o SAD-69 até 2015. Esse sistema leva em consideração os seguintes parâmetros:

Sistema de Referência:

- INTERNATIONAL TERRESTRIAL REFERENCE SYSTEM (ITRS) – Sistema Internacional de Referência Terrestre;
- ELIPSÓIDE DE REFERÊNCIA: Geodetic Reference System 1980 (GRS-80) – Sistema Geodésico de Referência de 1980, com:
 - raio equatorial da Terra: $a = 6.378.137 \text{ m}$
 - semi-eixo menor (raio polar): $b = 6.356.752,3141 \text{ m}$
 - α (achatamento) = $1/298,257222101$

Fig. 1.2 Formas de representação da Terra