

O SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

(RESUMO)

MAURO PEREIRA DE MELLO
ENG^o CARTÓGRAFO
M. SC. GEODÉSIA

1 - INTRODUÇÃO:

Classicamente, a Geodésica e tem sido definida como a ciência que se ocupa dos estudos e pesquisas associadas com a definição da forma e dimensões da Terra. A partir deste conceito o problema geodésico, em primeira análise, é eminentemente geométrico, podendo ser, para fins práticos, reduzido a definição de um sistema de coordenadas, em que a figura da Terra fique definida a partir da família de pontos descritores da camada mais externa da crosta terrestre.

A partir da colocação anterior surgem duas superfícies para a Terra: a topográfica ou superfície física da Terra, o terreno, e a superfície equipotencial do campo gravitacional terrestre, que coincide com a superfície hipotética dos oceanos, considerados em repouso e livres das ações e efeitos dos agentes perturbadores, géoide.

A simples consideração das definições acima nos permite visualizar um sistema natural de coordenadas – as **COORDENADAS ASTRONÔMICAS** – representado pela latitude astronômica (Φ); a longitude astronômica (Λ) e a altitude ortométrica (H). O sistema é dependente da gravidade e referenciado ao géoide. A determinação de coordenadas estará calcada em observações astronômicas, gravimétricas e de nível.

O sistema de coordenadas naturais apresenta uma série de inconvenientes para utilização cotidiana, principalmente em termos de cálculos. Sendo o géoide uma superfície de nível do campo gravitacional terrestre, sua curvatura é variável, em função das variações de densidade das massas externas e sub-crustais. Os modelos matemáticos para o cálculo de coordenadas são bastante complexos, dificultando sobre maneira a utilização de dados geodésicos nas atividades correntes da engenharia.

No sentido de facilitar os cálculos geodésicos, a superfície da Terra, ou mais propriamente dito o géoide, é aproximada por um elipsóide de revolução. Da aproximação surge um sistema de coordenadas geométricas – COORDENADAS GEODÉSICAS – representado pela latitude geodésica (f); longitude geodésica (l) e a altitude elipsoidal ou geométrica (h). O Sistema é definido para um elipsóide de revolução de forma, dimensões e orientação arbitrárias. A determinação de coordenadas basear-se-á na observação de grandezas geométricas, tais como ângulos ou direções e distâncias.

Até este ponto introduziu-se duas superfícies como representativas da figura terrestre, uma física e uma geométrica. Surgem dois novos problemas decorrentes da necessidade de se:

- (a) – exprimir as relações entre os dois sistemas de coordenadas, o que é resolvido com a introdução dos parâmetros definidores do sistema geodésico;
- (b) – reduzir as observações tomadas na superfície física às suas superfícies de referência.

O problema exposto em (a) é o que nos interessa no momento, como estabelecer as relações entre os sistemas natural e geométrico?

2 – A DEFINIÇÃO DE SISTEMA GEODÉSICO:

Os parâmetros que definem as relações entre os sistemas de coordenadas natural e geométrico, vinculados as suas respectivas superfícies de referência – são conhecidos como parâmetros do SISTEMA GEODÉSICO.

Os parâmetros de um sistema geodésico definem as dimensões e forma do elipsóide de referência, do mesmo modo que sua posição e orientação à Terra (géioide).

O sistema de coordenadas naturais é um sistema dextrógiro, por convenção, cujos eixos primário e terciário são orientados, respectivamente, em direção ao Polo Norte Médio (Conventional International Origin – CIO) e o Meridiano Astronômico Médio de Greenwich, como definidos, pelo International Polar Motion Service (IPMS) e o Bureau International de l'Heure (BIH).

O elipsóide de referência é definido por dois parâmetros, normalmente o comprimento do semi-eixo maior (a) e o achatamento (f). A posição de seu centro de gravidade em relação ao sistema natural é determinada por três parâmetros adicionais, vinculados a um ponto da rede planimétrico escolhido como origem. Tradicionalmente os três parâmetros são caracterizados pelas componentes meridiana e primeiro vertical do desvio ($\mathbf{x}_0, \mathbf{h}_0$) e a geondulação (N_0), no ponto origem, ou seja :

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_0 &= \Phi_0 - \mathbf{f}_0 \\ \mathbf{h}_0 &= (\Lambda_0 - I_0) \cos \Phi_0 \\ N_0 &= h_0 - H_0 \end{aligned}$$

Pode ser demonstrado que as coordenadas astronômicas ou naturais (Φ_0, Λ_0, H_0) e os parâmetros de posição geóide – elipsóide ($\mathbf{x}_0, \mathbf{h}_0, a$ e f) são equivalentes às coordenadas cartesianas do ponto origem em relação ao centro de gravidade do elipsóide, desde que os eixos do elipsóide sejam paralelos aos terrestres como definidos anteriormente. Se esta última condição é imposta, o sistema geodésico é definido por cinco parâmetros $\mathbf{x}_0, \mathbf{h}_0, N_0, a$ e f .

Também pode ser demonstrado que o paralelismo dos eixos é assegurado, se no ponto origem as seguintes condições são atendidas:

- para o azimute - \mathbf{a} - $A = \mathbf{h} \tan \mathbf{f} + (\mathbf{x} \sin A + \mathbf{h} \cos A) \cot Z$,
- para a distância - \mathbf{z} - $Z = - (\mathbf{x} \cos A + \mathbf{h} \sin A)$.

Expressões conhecidas como equações de Laplace, em que (\mathbf{a}) e (\mathbf{z}) são o azimute astronômico e a distância zenital para uma outra estação (A) e (Z) são os equivalentes elipsoidais. As expressões anteriores são aproximadas para:

$$(\mathbf{a}_0 - A_0) = \mathbf{h}_0 \tan \mathbf{f}_0$$

por serem as zenitais $Z \cong 90^\circ$.

No estágio em que atingiram as especulações, pode-se conceituar o SISTEMA GEODÉSICO como sendo o conjunto de pontos coordenados descritores da superfície física da Terra. Diante do que pode se redefinir o

problema geodésico como sendo o da parametrização de um sistema geodésico.

Diversos procedimentos, de natureza geométrica e física, podem ser empregados na determinação dos parâmetros de um sistema geodésico. Dada as dimensões do sólido terrestre e a complexidade de seu campo gravitacional, a obtenção dos parâmetros nunca será imediata, ter-se-á que recorrer ao princípio das aproximações sucessivas para se colimar respostas a cada momento mais precisas.

2.1 – SISTEMA GEODÉSICO RELATIVO:

Como primeira aproximação para a definição de um sistema geodésico ter-se-á a tomada das Coordenadas naturais pelas geométricas, num ponto da rede planimétrica – origem ou ponto datum – o que corresponde a:

$$\begin{array}{lll} \mathbf{x}_0 = 0 & \text{em consequência de} & \Phi_0 = f_0; \\ \mathbf{h}_0 = 0 & \text{em consequência de} & \Lambda_0 = I_0, \\ \mathbf{N}_0 = 0 & \text{em consequência de} & h_0 = H_0, \end{array}$$

equivalente a se tomar as superfícies de referência, géoide e elipsóide, tangentes na origem; a normal coincidente com a vertical.

A forma e dimensões da superfície de referência serão escolhidas arbitrariamente, podendo ser, em princípio, a melhor adaptada a um segmento da superfície terrestre.

Como a escolha da origem é arbitrária, qualquer mudança desta acarretará a mudança dos valores das componentes do desvio da vertical e da geo-ondulação, portanto o sistema assim definido é relativo, em sua essência.

Numa segunda aproximação, poder-se-á melhor definir o sistema geodésico, buscando-se a partir da extensão da rede planimétrica a grandes áreas, ou mesmo a um continente, a superfície de referência e orientação que permitam melhor adaptação do géoide ao elipsóide, ou seja minimizando os desvios da vertical e a separação géoide – elipsóide em grandes áreas.

Na solução da segunda aproximação conjugar-se-ão as informações astronômicas com as geodésicas, procedendo-se ao NIVELAMENTO

ASTRO-GEODÉSICO, com tudo o caráter relativo do sistema geodésico será mantido, pois qualquer alteração do conjunto de pontos utilizados para a minimização alterará a orientação.

Evidentemente o nivelamento Astro-Geodésico poderá ser reciclado exaustivamente, conduzindo a definição de um sistema geodésico melhor adaptação em termos probabilísticos, a segmentos da superfície terrestre, sendo, contudo, impraticável a obtenção de resultados globais.

2.2 – SISTEMA GEODÉSICO ABSOLUTO

Se os parâmetros definidores de um sistema geodésico são estabelecidos de tal forma que com o centro de massa da Terra e os parâmetros, definidores das dimensões e forma, correspondem aos de um Elipsóide equipotencial, definidor do campo gravitacional hipotético, o sistema é dito absoluto, em contraposição ao relativo ou astrogeodésico definido anteriormente.

A parametrização absoluta pode ser obtida através do método físico ou gravimétrico. Os modelos matemáticos clássicos são:

(a) – fórmula de STOKES para a determinação da geo-ondulação:

$$N = \frac{R}{4\pi G} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \Delta g \cdot F(\Psi) \cdot \sin \Psi \cdot d\Psi \, da$$

em que:

R= raio médio da terra suposta esférica.

G= gravidade média para a Terra.

$\Delta g = g - \mathbf{g}$ = diferença entre a gravidade real e a gravidade teórica
ou normal = anomalia da gravidade.

F(?) = função de posição do ponto de cálculo em relação ao elemento,
corrente segundo a direção de azimute

(b) – fórmula de VENING – MEINSZ para o cálculo das componentes do desvio da vertical:

$$\left. \begin{matrix} \xi'' \\ \eta'' \end{matrix} \right\} = - \frac{\rho''}{2 \pi G} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \Delta g \cdot f(\Psi) \cdot \sin \Psi \cdot d\Psi \cdot \left. \begin{matrix} \text{sen } \alpha \\ \text{cos } \alpha \end{matrix} \right\} da$$

em que:

$f(\Psi)$ = função posição, do ponto de cálculo ao ponto corrente, segundo o azimute a .

As equações integrais pressupõe que a integração se dá sobre o sólido terrestre, inclusive as áreas oceânicas.

Longe se está de conseguir a cobertura gravimétrica de todo o sólido terrestre, inúmeras áreas oceânicas apresentam-se como “vazios” gravimétricos, sendo que em termos continentais o Brasil é um dos maiores.

O método celeste – com o avanço alcançado pela tecnologia aeroespacial os horizontes do geodesta foram substancialmente ampliados, principalmente a partir da década de setenta quando surgiram, a níveis comerciais, os rastreadores portáteis de satélites artificiais, construídos especificamente para fins geodésicos.

Os procedimentos dinâmicos com a utilização de satélites artificiais tem possibilitado a obtenção dos coeficientes geopotenciais com alto grau de precisão. A utilização destes resultados tem conduzido a definição das ondulações geoidais em escala mundial. A importância desta contribuição pode ser melhor entendida a partir da visualização do plano orbital do móvel artificial, imerso no campo gravitacional terrestre descrevendo órbitas em função da posição do centro de massa da Terra. As coordenadas orbitais estão intimamente relacionadas ao geóide, decorrendo de tal fato a importância do método celeste na definição absoluta de um sistema geodésico.

Embora a tecnologia aeroespacial tenha permitido o geodesta a abertura de novos caminhos, longe se está de encontrar a solução para os sistemas geodésicos absolutos.

3 – O SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO:

O sistema geodésico brasileiro começou a se formar ao início do século, com as triangulações para a demarcação das fronteiras ao Sul do país, a cargo da Comissão da Carta Geral do Brasil, em 1906. Os trabalhos de medição angular e de distâncias foram sendo desenvolvidos enquanto se consideravam as determinações da latitude e da longitude astronômica, do pilar principal do

observatório da Carta em Porto Alegre. A CGCB deu origem a atual Diretoria de Serviço Gráfico do Exército.

Na ocasião resolveu-se parametrizar o sistema geodésico Brasileiro:

(a) Superfície de referência – elipsóide de CLARKE 1866:

$$a = 6.378.260,400m$$

$$f = \frac{1}{294,98}$$

(b) Origem:

- Sinal geodésico do observatório da Carta Geral do Brasil.
- Coordenadas Astronômicas:

$$\Phi = - 30^{\circ} 02' 14",762$$

$$\Lambda = 51^{\circ} 13' 12", 660 \text{ WGr}$$

$$a = 38^{\circ} 40' 16", 35 \text{ (SONE)}$$

CAVALHADA

(c) Posição Geóide – Elipsóide:

$$x = 0",0$$

$$h = 0",0$$

$$N = 0,0m$$

Cálculo de posições geodésicas foram realizados para diversos vértices de triangulação, em que se apoiou os levantamentos para as primeiras cartas topográficas da região.

O desenvolvimento dos trabalhos da Comissão foram obstados por diversos fatores, sendo o principal a falta de recursos financeiros – que não permitiram a evolução dos trabalhos além das fronteiras do estado do Rio Grande do Sul.

Na década de quarenta tem início o maior esforço já desenvolvido no país para a estruturação do Sistema Geodésico Brasileiro. Em 1944 o então Conselho Nacional de Geografia do IBGE, dá partida aos levantamentos planimétricos na altura de GOIÂNIA e em seguida carbonífera de SANTA CATARINA, em poucos anos cobrindo parcialmente os meridianos 49° e 51° com a triangulação de 1ª ordem. Antes de findar a década de quarenta, o

vértice correspondente ao extremo Norte da base de ITARARÉ é escolhido como origem, fixando-se, então, os parâmetros do Sistema Geodésico Brasileiro para efeitos de cálculo por parte do antigo CNG - caracterizado por:

(a) Superfície de referência – elipsóide de HAYFORD 1909, escolhido como universal pela UGGI em 1924:

$$a = 6.378.388,000m$$

$$f = 1/297,0$$

(b) Origem:

- ITARARÉ BN
- Coordenadas Astronômicas

$$\Phi_0 = 24^{\circ} 07' 38",70$$

$$\Lambda_0 = 49^{\circ} 16' 25",22 \text{ WGR}$$

$$\alpha = 358^{\circ} 34' 32",51 \text{ (SONE)}$$

ITARARÉ BS

(c) Posição geóide – elipsóide:

$$x_0 = 0",0$$

$$h_0 = 0",0$$

$$N_0 = 0,0m$$

A nova definição de parâmetros não resistiria por muito tempo irretocável; tendo-se verificado que as geo-ondulações e componentes do desvio da vertical tendiam a apresentar-se com valores bastante elevados.

Reunidas as observações astrogeodésicas obtidas até então, concluiu-se pela definição de novo ponto origem, ao mesmo tempo em que se intensificavam os trabalhos voltados para a ampliação do número de pontos astrogeodésicos e determinações gravimétricas, agora a nível continental, coordenadas pela Comissão de Cartografia do Instituto Panamericano de Geografia e História.

Ao início da década de sessenta redefiniam-se a parametrização do sistema Geodésico Brasileiro, por não mais ser possível manter a origem em Itararé, surgindo o sistema vinculado à CÓRREGO ALEGRE.

(a) Superfície de referência – elipsóide HAYFORD 1909 – recomendado como internacional pela UGGI em 1924:

$$a = 6.378,000m$$

$$f = 1/297,0$$

(b) Origem:

- CÓRREGO ALEGRE
- Coordenadas Astronômicas

$$\Phi = - 19^{\circ} 50' 15",14$$

$$\Lambda = - 48^{\circ} 57' 42",75 \text{ WGR}$$

$$a = - 128^{\circ} 21' 48",96 \text{ (SONE)}$$

CHAPADA DAS AREIAS

(c) Posição geóide-elipsóide

$$- x = 0",0$$

$$- h = 0",0$$

$$- N = 0,0m$$

O esforço a nível continental, com resposta a altura no Brasil por parte do IBGE, conduziu a definição do Sistema Geodésico Sul Americano de 1969, em que se buscou o elipsóide melhor adaptado a um conjunto de pontos na América do Sul, tendo sido um dos pontos, em território brasileiro, escolhido como origem. A aceitação dos parâmetros do sistema Sul Americano só foi colimada em 1977, quando se resolveu definir o sistema Geodésico Brasileiro a semelhança do Sul Americano:

(a) Superfície de referência – elipsóide UGGI 1967:

$$a = 6.378.160,000m$$

$$f = 1/298,25$$

(b) Origem:

- CHUÁ
- Coordenadas Astronômica

$$\begin{aligned}\Phi &= -19^{\circ} 45' 41",34 \\ \Lambda &= 48^{\circ} 06' 07",80 \text{ WGR} \\ \alpha &= 271^{\circ} 30' 05",42 \text{ (SONE)} \\ &\text{UBERABA}\end{aligned}$$

- Coordenadas Geodésicas

$$\begin{aligned}\mathbf{a} &= -19^{\circ} 45' 41",6527 \\ \mathbf{l} &= 48^{\circ} 06' 04",0639 \text{ WGR} \\ \mathbf{A} &= 271^{\circ} 30' 04",05 \text{ (SONE)} \\ &\text{UBERABA}\end{aligned}$$

(c) Posição geóide-elipsóide:

- $\mathbf{x} = 0", 3127$
- $\mathbf{h} = 3", 5267$
- $\mathbf{N} = 0,00\text{m}$

Longe se está da determinação absoluta do Sistema Geodésico Brasileiro, a coleção de observações astronômicas e geodésicas tem ampliado acentuadamente nos últimos anos, ao que se vem agregando, a partir de 1973, pontos obtidos através do rastreamento de satélites artificiais. No correr dos próximos anos com os projetos de pesquisas em andamento, se terá possibilidades de avaliar o atual sistema geodésico, confirmando-o ou substituindo-o por outro melhor adaptado ao geóide.

4 – CONCLUSÃO:

Caracteriza-se o Sistema Geodésico Brasileiro por:

- 3.018 Vértices de triangulação de 1ª ordem;
- 669 Estações poligonais de 1ª ordem;
- 26 Estações HIRAN;
- 31 Estações SHIRAN;
- 534 Estações de rastreamento de satélites.

No controle tem-se:

- 286 pontos astronômicos de 1ª ordem;
- 181 bases medidas.

Em termos altimétricos:

- 44.164 referências de nível em 98.647km.

Em termos gravimétricos:

- 2294 Estações de densificação, reduzidas a IGSN – 1971.

Nos próximos anos estes números tenderão a crescer substancialmente, a par das garantias de renovação de equipamentos e quadros funcionais.

Nos continentes Sul e centro Americanos o realizado pelo IBGE está longe de ser ombreado, em seu âmbito a geodésia é tratada com a seriedade exigida para serviços de natureza científica, sem descuidar-se, contudo, com os aspectos tecnológicos, de onde partem os maiores volumes de solicitações de dados geodésicos.

Rio de Janeiro, 08 de Abril de 1981.