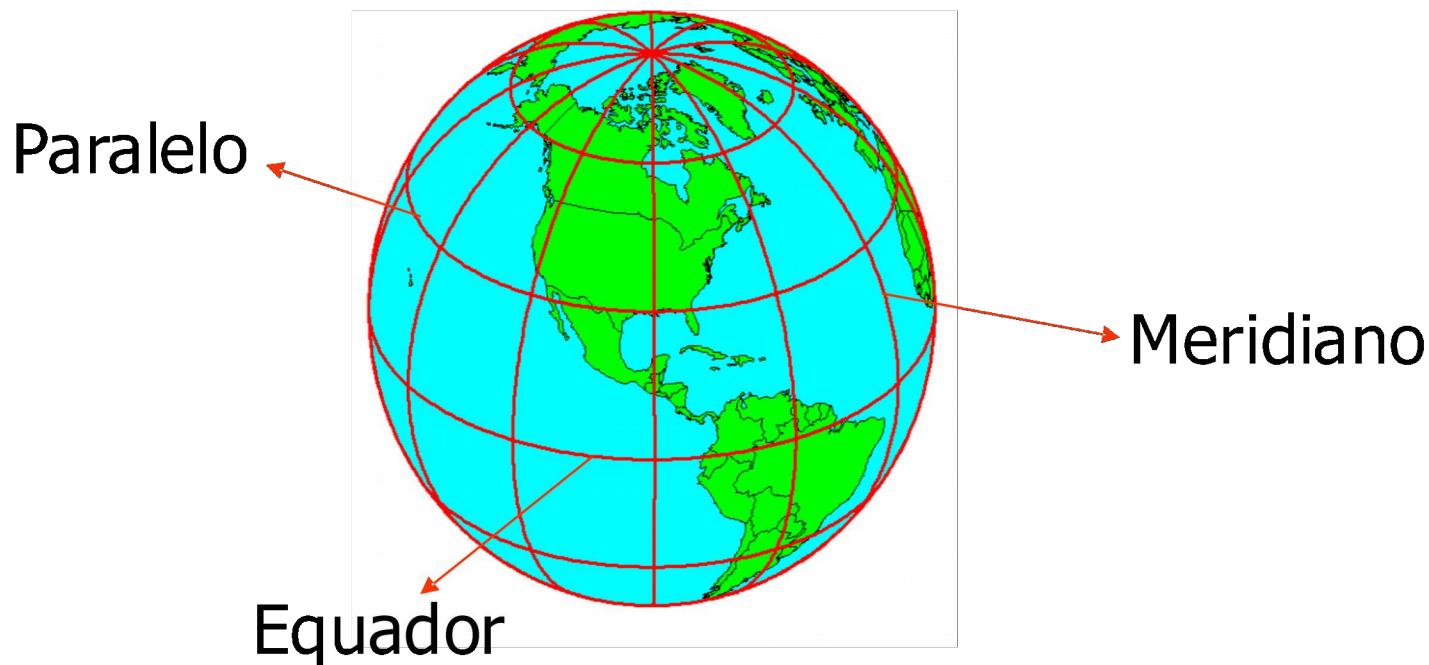




3 - SISTEMAS DE COORDENADAS

Construção dos Sistemas de Coordenadas

- Os sistemas de coordenadas são necessários para expressar a posição de pontos sobre uma superfície, seja ela um elipsoide, esfera ou um plano.



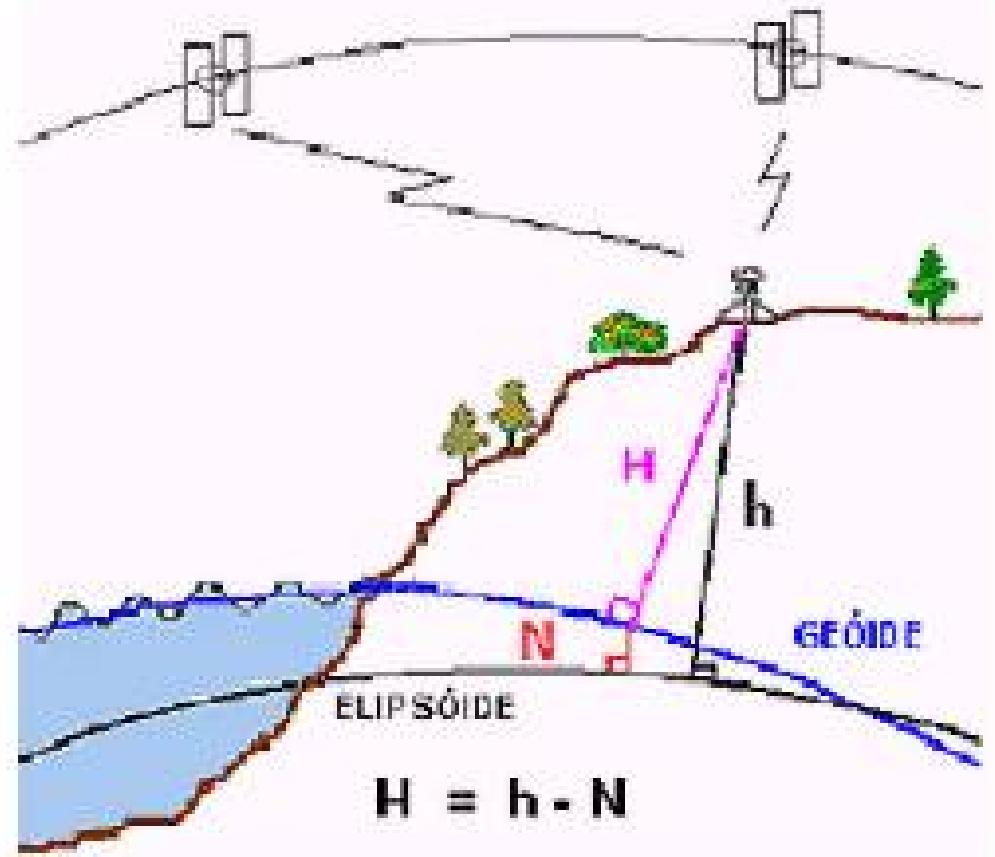
Construção dos Sistemas de Coordenadas



- Para o elipsoide, ou esfera, usualmente emprega-se um sistema de coordenadas geodésicas (geográficas) cartesiano e curvilíneo (**PARALELOS** e **MERIDIANOS**).
- Para o plano, usa-se geralmente um sistema de coordenadas cartesianas (X e Y).
- Para amarrar a posição de um ponto no espaço complementam-se as coordenadas bidimensionais com uma terceira coordenada denominada **ALTITUDE**.

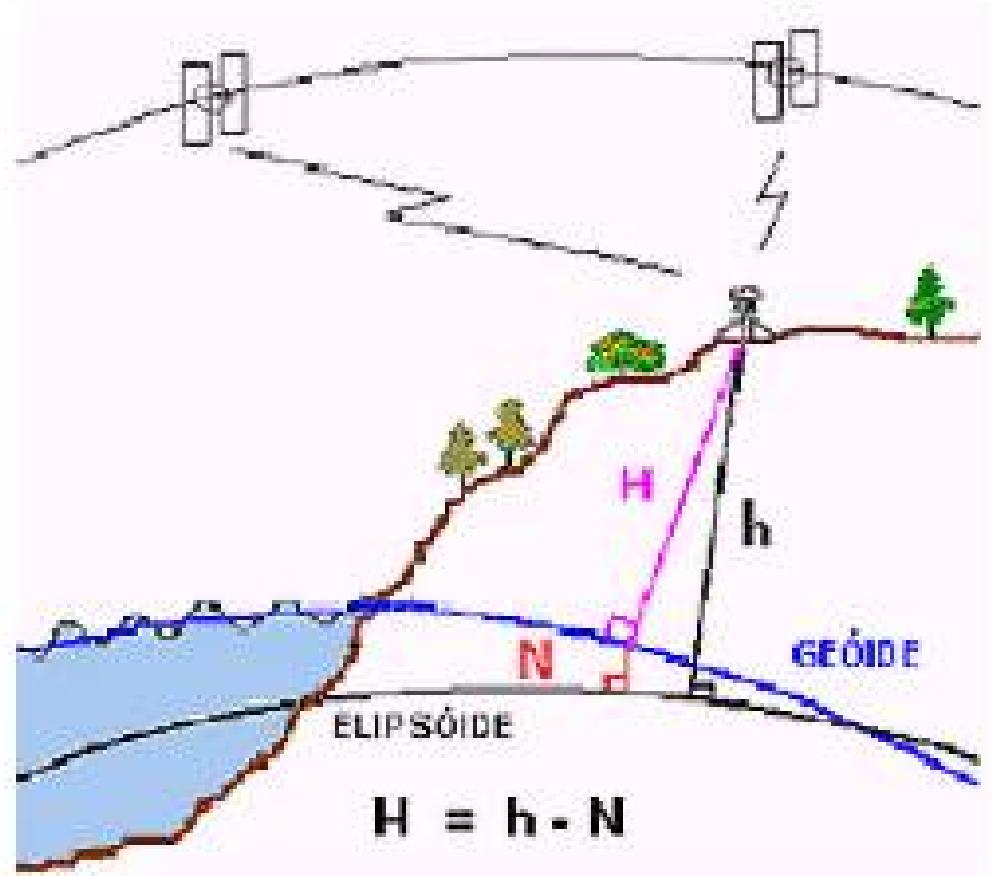
Construção dos Sistemas de Coordenadas

■ A ALTITUDE ORTOMÉTRICA de um ponto qualquer sobre superfície terrestre é a distância contada a partir do geoide (que é a superfície de referência para contagem das altitudes). É resultante de nivelamento geométrico e corresponde à distância medida sobre a linha vertical



Construção dos Sistemas de Coordenadas

- + A ALTITUDE GEOMÉTRICA ou ALTITUDE GEODÉSICA ou ALTITUDE ELIPSOIDAL é a distância do ponto na superfície física à superfície do elipsoide, contada sobre a linha reta perpendicular ao elipsoide (normal), que não corresponde à linha vertical.

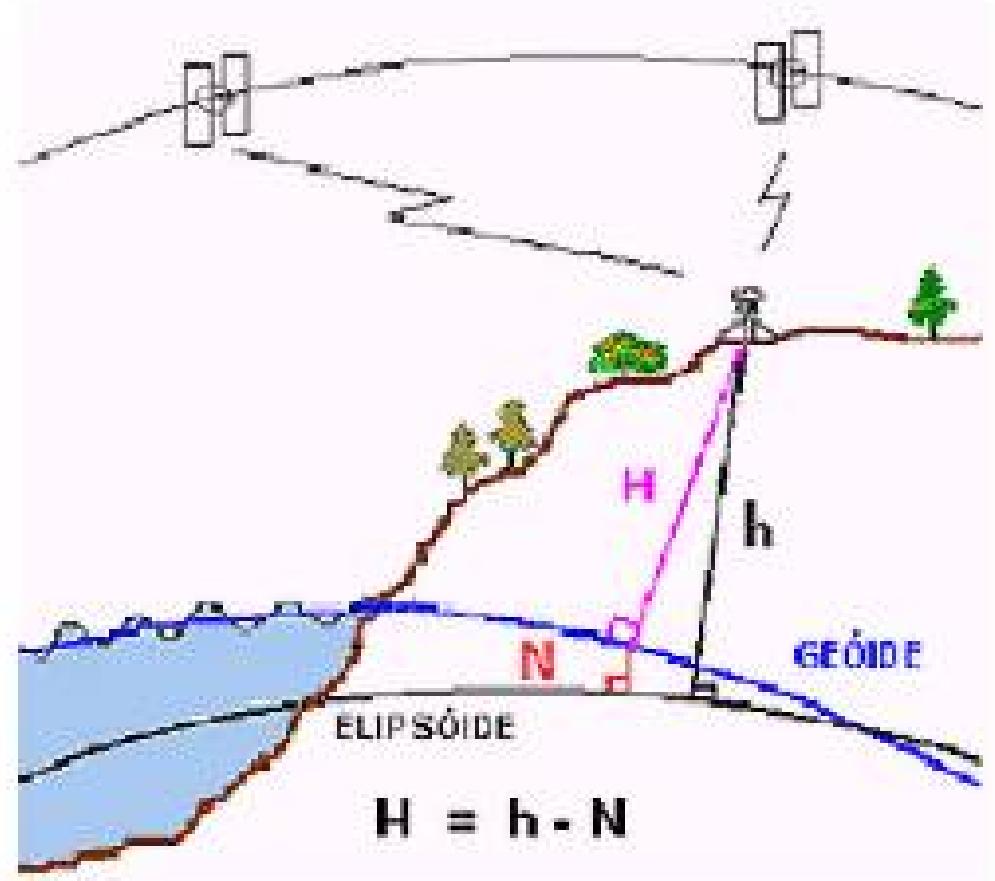


Construção dos Sistemas de Coordenadas

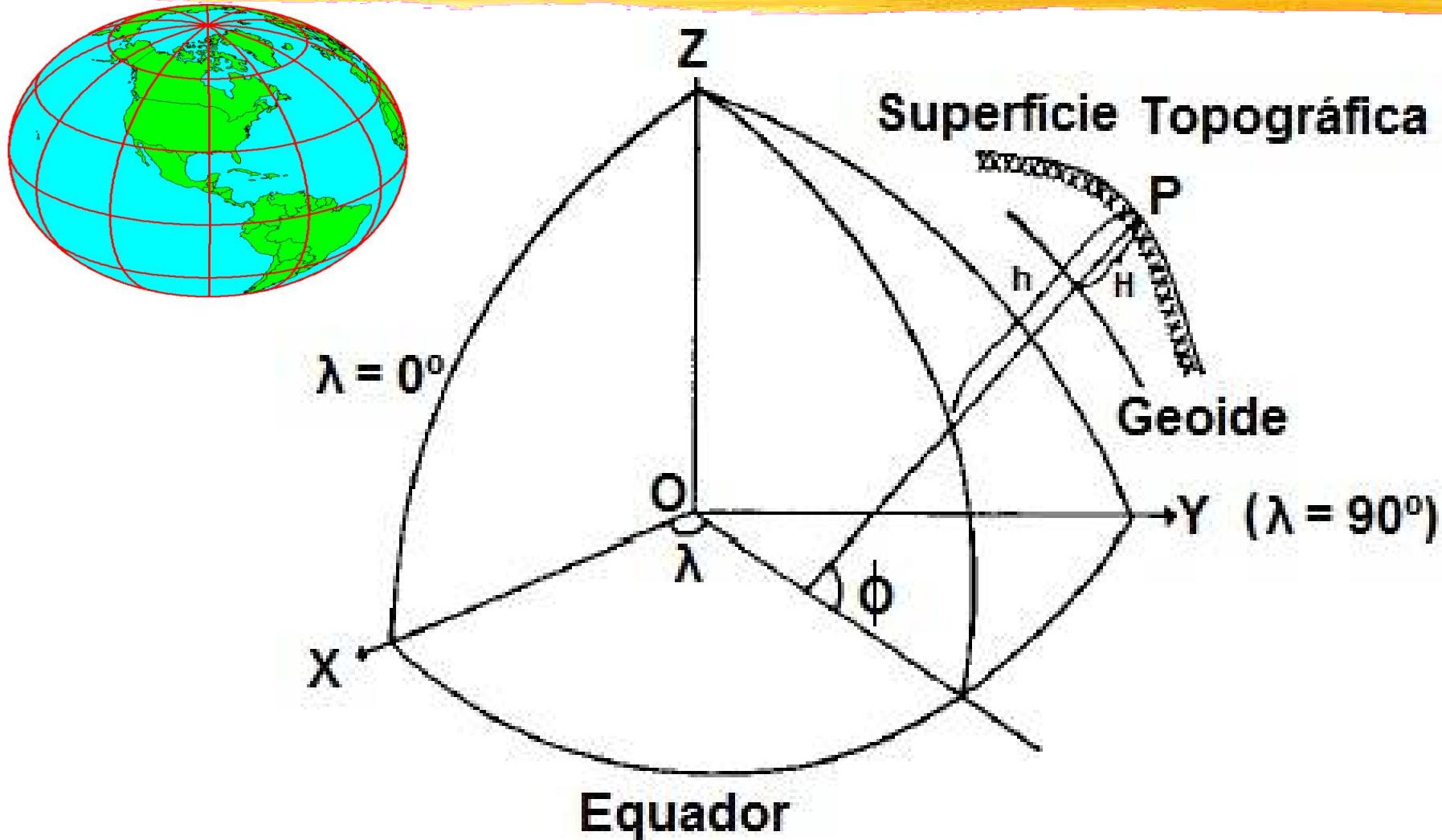
- **NOTA:** Alguns autores afirmam que o termo “ALTITUDE” deve ser usado apenas para a ALTITUDE ORTOMÉTRICA.
- Assim, recomendam usar o termo “ALTURA GEOMÉTRICA” ao invés de ALTITUDE GEOMÉTRICA.

Construção dos Sistemas de Coordenadas

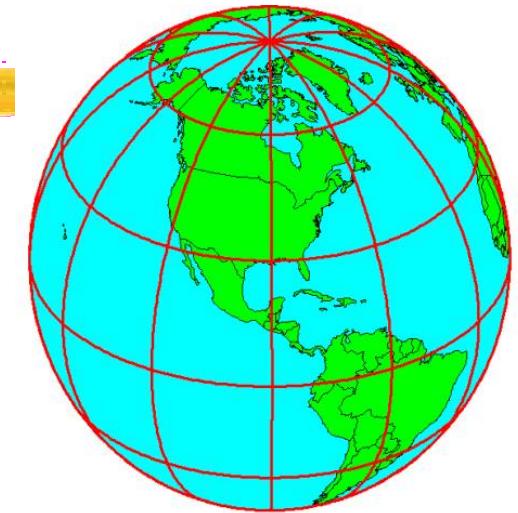
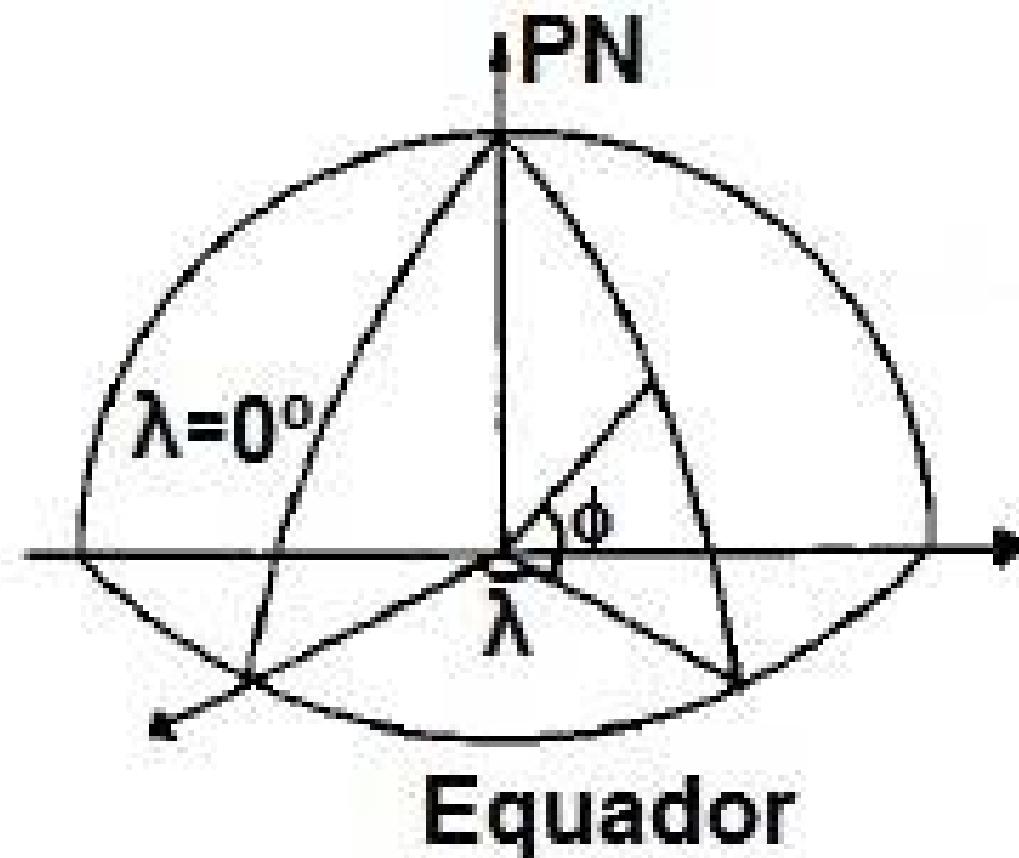
- À distância do geoide ao elipsoide, denomina-se **ondulação do geoide (N)** ou **altura geoidal**.
- Por simplificação e pela pequena diferença entre ambas, pode-se considerar:
 $H = h - N$ (para o caso do geoide acima do elipsoide o MAPGEO2010 (IBGE) considera N positivo)



Sistema de Coordenadas Geodésicas Curvilíneas



Sistema de Coordenadas Geográficas Curvilíneas

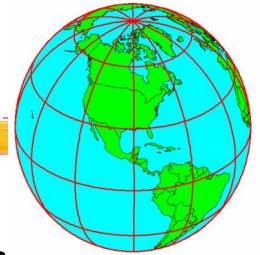


Meridianos e Paralelos



- **MERIDIANOS** - São círculos máximos que, em consequência, cortam a TERRA em duas partes iguais de polo a polo.
- Sendo assim, todos os meridianos se cruzam entre si, em ambos os polos.
- O meridiano de origem é o de GREENWICH (0°) (Meridiano zero ou Primeiro Meridiano).

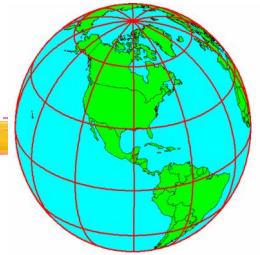
Meridianos e Paralelos



- **PARALELOS** - São círculos que cruzam os meridianos perpendicularmente, isto é, em ângulos retos.
- Apenas um é um círculo máximo, o Equador (0°).
- Os outros, tanto no hemisfério Norte quanto no hemisfério Sul, vão diminuindo de tamanho à proporção que se afastam do Equador, até se transformarem em cada polo, num ponto (90°).

Latitude e Longitude

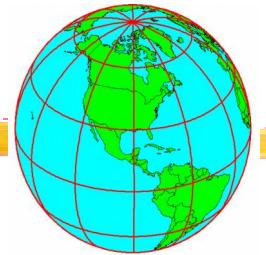
Geográficas - A esfera como referência



- LATITUDE GEOGRÁFICA: É o arco contado sobre o meridiano do lugar e que vai do Equador até o lugar considerado.
- A latitude quando medida no sentido do polo Norte é chamada Latitude Norte ou Positiva. Quando medida no sentido Sul é chamada Latitude Sul ou Negativa.
- Sua variação é de: 0° à 90° N ou 0° à $+ 90^\circ$; 0° à 90° S ou 0° à $- 90^\circ$

Latitude e Longitude

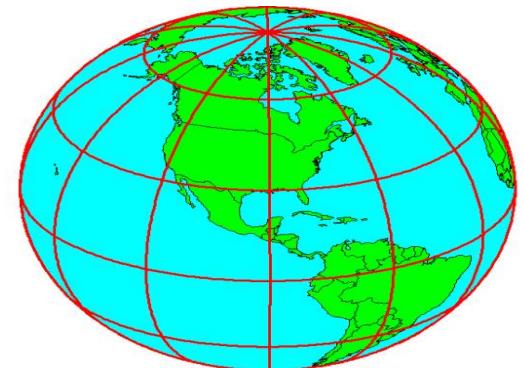
Geográficas - A esfera como referência



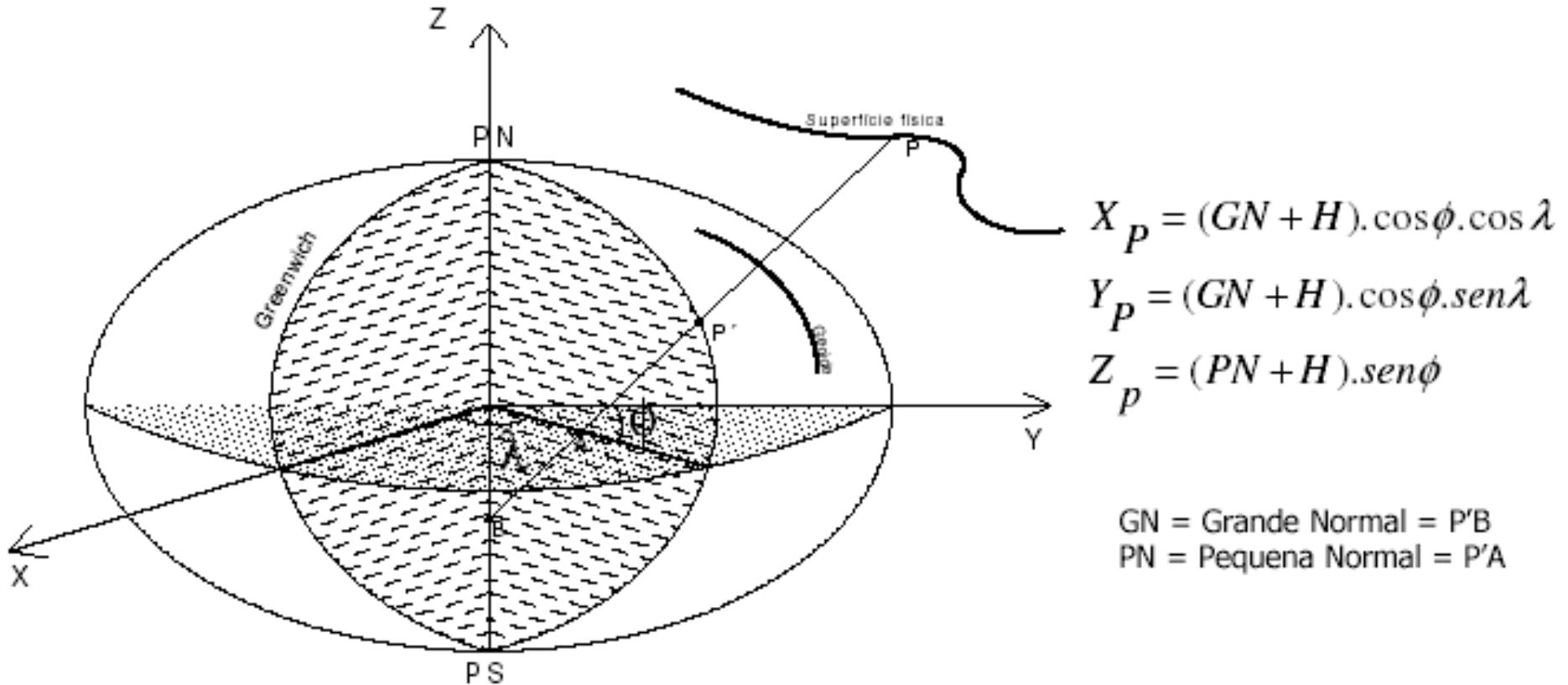
- LONGITUDE GEOGRÁFICA: É o arco contado sobre o Equador e que vai de GREENWICH (Meridiano Zero ou Primeiro Meridiano) até o Meridiano do referido lugar.
- A Longitude pode ser contada no sentido Oeste, quando é chamada LONGITUDE OESTE DE GREENWICH (W Gr.) ou NEGATIVA. Se contada no sentido Este, é chamada LONGITUDE ESTE DE GREENWICH (E Gr.) ou POSITIVA.
- A Longitude varia de: 0° à 180° W Gr. ou 0° à -180° ; 0° à 180° E Gr. ou 0° à $+180^\circ$.

Latitude e Longitude Geodésicas - O elipsóide como referência

- LATITUDE GEODÉSICA: É o ângulo formado pela normal ao elipsoide de um determinado ponto e o plano do Equador.
- LONGITUDE GEODÉSICA: É o ângulo formado pelo plano meridiano do lugar e o plano meridiano tomado como origem (GREENWICH ou Meridiano Zero ou Primeiro Meridiano).



Sistema de Coordenadas Geodésicas Tridimensionais



(Originalmente com GPS calcula-se **X**, **Y** e **Z**)

Sistema de Coordenadas Geodésicas Tridimensionais

- As coordenadas geodésicas cartesianas tridimensionais de um ponto de coordenadas curvilíneas Φ e λ , são as suas coordenadas retilíneas referidas a um sistema de eixos cartesianos tridimensionais.
- As equações que permitem calcular as coordenadas geodésicas cartesianas tridimensionais de um ponto genérico P' (na superfície do Elipsoide), são as seguintes:
 - $X_{P'} = GN \cdot \cos \Phi \cdot \cos \lambda$
 - $Y_{P'} = GN \cdot \cos \Phi \cdot \sin \lambda$
 - $Z_{P'} = PN \cdot \sin \Phi$

Sistema de Coordenadas Geodésicas Tridimensionais

GN é a grande normal que corresponde à distância do ponto P' (que está na superfície do elipsoide) até o ponto B (que está no eixo do elipsoide), e que pode ser calculado por:

$$\diamond \quad GN = a / (1 - e^2 \cdot \sin^2 \Phi)^{1/2}$$

PN é a pequena normal que corresponde à distância do ponto P' (que está na superfície do elipsoide) até o ponto A (que está no plano equatorial), e que pode ser calculado por:

$$\diamond \quad PN = GN \cdot (1 - e^2)$$

$\diamond \quad a$ é o semieixo maior do elipsoide

$\diamond \quad e$ é a primeira excentricidade do elipsoide

Sistema de Coordenadas Geodésicas Tridimensionais

◆ $e^2 = (a^2 - b^2)/a^2$

◆ b é o semieixo menor do elipsoide

+ Considerando o caso real, em que o ponto **P** está sobre a superfície física da Terra, a altitude geométrica (distância do ponto ao elipsoide) deve ser considerada, e as coordenadas geodésicas cartesianas tridimensionais, que inclusive são as fornecidas pelos receptores GPS, podem ser obtidas por:

◆ $X_p = (GN + H) \cdot \cos \Phi \cdot \cos \lambda$

◆ $Y_p = (GN + H) \cdot \cos \Phi \cdot \sin \lambda$

◆ $Z_p = (PN + H) \cdot \sin \Phi$



4 O SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO E O SISTEMA GEODÉSICO ADOTADO PELO GPS

Sistema Geodésico de Referência

- O **sistema geodésico de referência** é um sistema de coordenadas associado a um conjunto de pontos descritores de características geométricas ou físicas da superfície terrestre (superfície topográfica).
- Na prática, serve para a obtenção de coordenadas (latitude e longitude), que possibilitam a representação e localização em mapa de qualquer elemento da superfície do planeta.

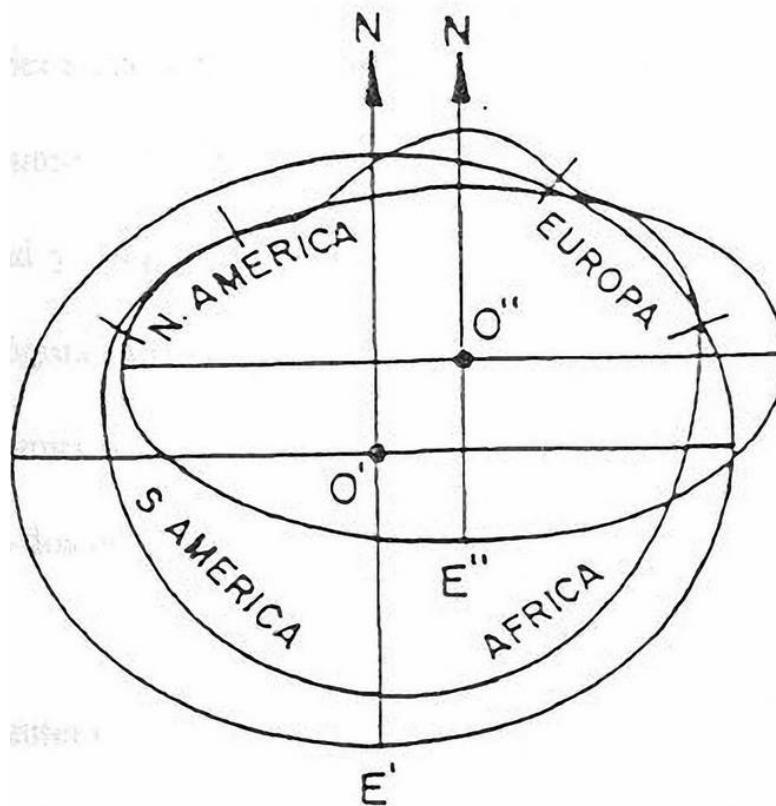
O Sistema Geodésico Brasileiro



- Até 1979, o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) adotava o Elipsoide de Referência Internacional de 1909 (ERI-1909) (Hayford) como a imagem geométrica da terra com *datum* situado na localidade de Córrego Alegre, próximo à cidade de Uberaba/MG.
- Neste *datum* considerou-se a ondulação do geoide como sendo nula, ou seja, coincidiu-se o elipsoide e geoide, **fazendo com que o elipsoide se adapte ao nosso território**, não importando com isto com o fato de o centro do elipsoide não coincidir com o centro de massa da terra.

O Sistema Geodésico Brasileiro

- A figura a seguir ilustra a situação de “deslocamento” do centro dos elipsoides:



O Sistema Geodésico Brasileiro



De 1979 até o final de 2004, vigorou o Elipsoide de Referência Internacional de 1967 (ERI-67), e o *datum* coincidente com o *Datum Sulamericano de 1969* (SAD 69), situado na localidade de CHUÁ, também próximo à cidade de Uberaba/MG.

Imagens da Base Chuá – Prof. Elifas Valim Neto



Imagens da Base Chuá – Prof. Elifas Valim Neto



O Sistema Geodésico Brasileiro



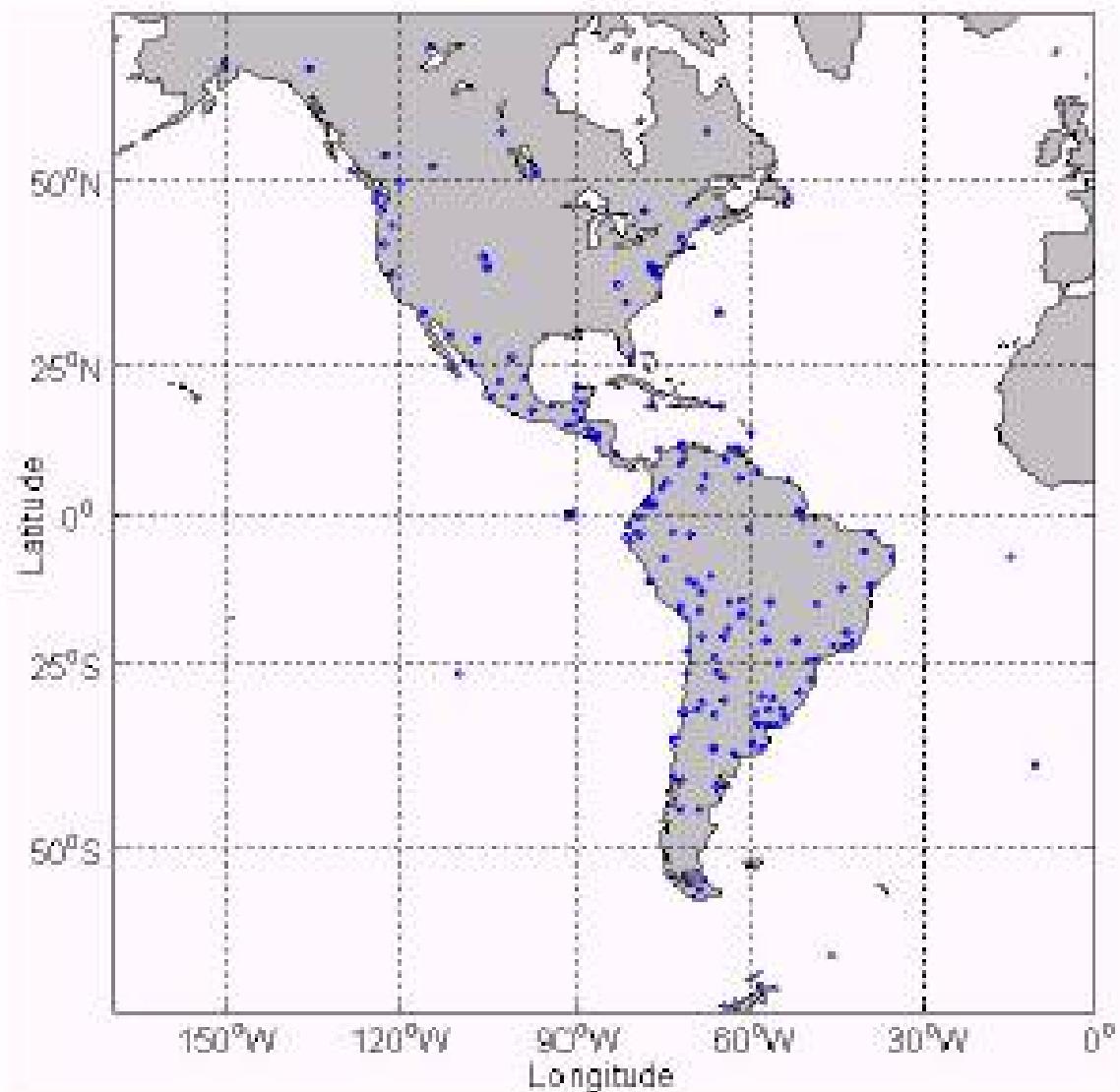
- No início de 2005 entrou em vigor o SGB denominado SIRGAS2000 (Sistema de Referência **Geocêntrico** para as Américas) em sua realização no ano de 2000.
- Estabeleceu-se um prazo de 10 anos para que a mudança ocorresse no Brasil, assim, desde 2015 o SGB oficial é o SIRGAS2000.

O Sistema Geodésico Brasileiro



- Foi executada uma campanha GPS continental realizada de 10 a 19 de maio de 2000, quando 184 estações foram ocupadas nas Américas (21 delas no Brasil).

O Sistema Geodésico Brasileiro



Caracterização do SGB

- • Sistema Geodésico de Referência: Sistema de Referência Terrestre Internacional - ITRS (*International Terrestrial Reference System*)
- • Figura geométrica para a Terra: Elipsoide do Sistema Geodésico de Referência de 1980 (*Geodetic Reference System 1980 – GRS80*); Semieixo maior “a”= 6.378.137m, Achatamento “f” = 1/298,257222101
- • Origem: **Centro de massa da Terra**
- • Orientação: Polos e meridiano de referência consistentes em $\pm 0,005''$ com as direções definidas pelo BIH (*Bureau International de l'Heure*), em 1984,0.

Caracterização do SGB

- Estações de Referência: As 21 estações da rede continental SIRGAS2000 estabelecidas no Brasil constituem a estrutura de referência a partir da qual o sistema SIRGAS2000 é materializado em território nacional.
- Está incluída a estação SMAR (Santa Maria/RS), pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC), cujas coordenadas foram determinadas pelo IBGE posteriormente à campanha GPS SIRGAS2000.

Caracterização do SGB

- • Época de Referência das coordenadas: 2000,4
- • Materialização: Estabelecida por intermédio de todas as estações que compõem a Rede Geodésica Brasileira, implantadas a partir das estações de referência.
- Depois desta época novas estações foram incluídas à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo, inclusive a MGIN (Inconfidentes/MG) (ver documentos).

O Sistema Geodésico adotado pelo GPS

- O sistema usado é o WGS 84, que é um sistema geodésico mundial, em que se adota um Elipsoide definido com o que se tinha de melhor em termos de recursos em 1984, e considerando o centro do elipsoide no **centro de massa da terra.**
- É o sistema geodésico utilizado pelos satélites atualmente em uso pela comunidade técnico-científica mundial.
- O sistema WGS 84, representa a tecnologia de ponta, e modela a terra do ponto de vista geométrico, geodésico e gravitacional, usando informações, técnicas e tecnologia disponíveis em 1984.

O Sistema Geodésico adotado pelo GPS

- Com a adoção do SIRGAS2000, tem ocorrido entre os usuários, com certa frequência, duas dúvidas relacionadas às coordenadas geodésicas. São elas:
 - - Como realizar a transformação de coordenadas obtidas por GPS, ou seja, referidas ao WGS 84, para SIRGAS2000?
 - - E ainda: quais parâmetros de transformação usar atualmente para transformar as coordenadas WGS 84 para SAD 69?
- Para a primeira pergunta, não é necessário realizar qualquer transformação!

O Sistema Geodésico adotado pelo GPS

- Isto porque o novo sistema SIRGAS2000 é compatível com o sistema WGS 84 ao nível de centímetro, isto é, a diferença entre usar uma coordenada WGS 84 ou SIRGAS2000 é menor que 0,01 m! (**IBGE, Revista Ponto de Referência, 2006**)
- Desta forma, para fins práticos, ou seja, para todos os usuários que não precisam de qualidade superior ao centímetro, é totalmente indiferente usar WGS 84 ou SIRGAS2000!

O Sistema Geodésico adotado pelo GPS

- No caso da segunda pergunta, para transformar coordenadas obtidas atualmente em WGS 84 para SAD 69, devem ser usados os parâmetros de transformação SIRGAS2000 <=> SAD 69 publicados pelo IBGE quando da adoção do SIRGAS2000, em 25/02/2005.
- O valor dos parâmetros podem ser encontrados no seguinte endereço:
ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pmrg/legislação/RPR_01_25fev2005.pdf

O Sistema Geodésico adotado pelo GPS

- As razões para se usar estes parâmetros, e não os publicados na Resolução do Presidente do IBGE nº 23, de 21 de fevereiro de 1989, baseiam-se, inicialmente, na resposta dada à primeira pergunta: o WGS 84 e o SIRGAS2000 podem ser considerados atualmente coincidentes (**IBGE, 2006**).
- Dessa forma, transformar coordenadas WGS 84 obtidas nos dias de hoje para SAD69 equivale a transformar coordenadas SIRGAS2000 em SAD 69 e vice-versa (**IBGE, 2006**).

O Sistema Geodésico adotado pelo GPS

- Além disso, o sistema WGS 84 sofreu ao longo do tempo três modificações (em 02/01/1994, 29/09/1997 e 20/01/2002), o que significa dizer que o sistema WGS 84 adotado no GPS hoje em dia não é o mesmo de 1989 – inclusive esta é uma das razões pelas quais o WGS 84 e o SIRGAS2000 são atualmente coincidentes (**IBGE, 2006**).
- Desse forma, os parâmetros publicados em 1989 referiam-se a uma versão do WGS 84 que não existe mais e, portanto, não devem ser mais utilizados.

Dúvidas frequentes



- - Qual(is) o(s) sistema(s) geodésico(s) de referência em uso hoje no Brasil?
■ Legalmente é o SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas). Há também outros sistemas que, apesar de não terem respaldo em lei, ainda são utilizados no país.

Dúvidas frequentes



- + - Qual(is) a(s) diferença(s) entre o SAD 69 e o SIRGAS2000?
São sistemas de concepção diferente. Enquanto a definição/orientação do SAD 69 é topocêntrica, ou seja, o ponto de origem e orientação está na superfície terrestre, a definição/orientação do SIRGAS2000 é geocêntrica.

Dúvidas frequentes



- Isso significa que esse sistema adota um referencial que é um ponto calculado computacionalmente no **centro da terra** (geoide).
- - Que tipo de problema a coexistência de mais de um sistema pode causar?
- A dificuldade em compatibilizar as informações geográficas de várias origens. Por exemplo, para a análise do impacto ambiental da construção de uma hidrelétrica, várias informações sobre o ecossistema da região precisam ser avaliadas: fauna, flora, área rural e urbana, rodovias, rios etc. para análise do impacto ambiental.

Dúvidas frequentes



- Todas essas características devem ser reunidas para construir um Sistema de Informações Geográficas (SIG) e, para que isso seja feito sem problemas, elas deverão estar num mesmo sistema de referência. Os dados fornecidos pelo SAD 69 e pelo SIRGAS2000 não são compatíveis entre si, ou seja, não podem ser inseridos num mesmo mapa.
- Há um deslocamento espacial entre as coordenadas determinadas pelos dois sistemas (variável, dependendo do local onde se está). A distância média para o mesmo ponto em SAD 69 e SIRGAS2000 é algo em torno de 65 metros.

Dúvidas frequentes



- - Qual é o sistema de referência geodésica oficial do Brasil?
- O SIRGAS2000 é o sistema geodésico de referência legalizado no Brasil. Ele é a base para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN).
- - Qual foi o prazo dado para a mudança para o SIRGAS2000 no Brasil?
- Considerando 10 anos a partir da publicação do Presidente do IBGE, o prazo foi 25/02/2015.

Dúvidas frequentes



- - Para quem a adoção do sistema único será obrigatória?
 - Para qualquer um que necessite receber ou fornecer informações espaciais em escalas relevantes de e para o governo e de e para as instituições produtoras de cartografia no Brasil - resumindo, para todos os que fazem uso ou produzem informações geográficas.
- - Em que sistema deverão ser feitos os mapeamentos no Brasil?
 - Em SIRGAS2000.

Dúvidas frequentes



- - O que ocorre com quem, ao fim do prazo de conversão, não fez a mudança e continua a adotar o sistema antigo?
- Não poder, por exemplo, requisitar uma revisão de limites numa propriedade, fazer qualquer tipo de questionamento legal utilizando o sistema antigo nem fornecer/receber dados às/das concessionárias de serviços públicos para recebimento ou prestação de serviços.
- - Por que o país precisa de um sistema de referência único?
 - Para compatibilização das informações geográficas, facilitando, assim, o intercâmbio dessas informações por todos, inclusive entre o Brasil e os demais países que utilizam o SIRGAS2000.

Dúvidas frequentes



- - Na prática, quais são as vantagens da adoção do SIRGAS2000 em relação aos demais sistemas de referência que são usados atualmente?
 - Adotando-se o referencial geocêntrico, será possível fazer uso direto da tecnologia de GPS (*Global Positioning System*, ou Sistema Global de Posicionamento), uma importante ferramenta para a atualização de mapas, controle de frota de empresas transportadoras, navegação aérea, marítima e terrestre em tempo real. O SIRGAS2000 permitirá maior precisão no mapeamento do território brasileiro e na demarcação de suas fronteiras.

Dúvidas frequentes



- Além disso, a adoção desse novo sistema pela América Latina contribui para o fim de uma série de problemas originados na discrepância entre as coordenadas geográficas apresentadas pelo sistema GPS e aquelas encontradas nos mapas utilizados até então no continente.
- - O que vai mudar, na prática, com a adoção do referencial geocêntrico?
- As coordenadas da informação geográfica. Como o sistema de referência será alterado, todas elas sofrerão alteração de seus valores seguindo a mesma magnitude e direção.

Dúvidas frequentes

- - Os mapas mudam quando de muda de sistema geodésico?
- Alguns sim. A mudança não é perceptível em mapas de escala muito pequena, como os murais, nos quais 1 cm equivale a 5 km no terreno. Qual a escala?
- Mapas Murais: Distribuição da População; Político do Brasil; Biomas; Vegetação; Clima; estes na escala de 1:5.000.000.
- Mapas Murais: Amazônia Legal (1:3.000.000); Político do Brasil-2014 (1:2.500.000).
- Mas em mapas de escalas maiores (1:50.000, 1:100.000, 1:250.000), como folhas topográficas e mapeamento cadastral, a diferença nas coordenadas é relevante.

Dúvidas frequentes

- - O governo oferece ferramentas para a conversão ao SIRGAS2000? A que custo?
- Sim, já estão disponíveis gratuitamente no sítio web do IBGE arquivos e programas que auxiliam na conversão para o novo referencial como: as coordenadas SIRGAS2000 das estações da rede planimétrica do sistema geodésico brasileiro e o programa de transformação de coordenadas - **ProGrid** .
- Página do IBGE:
http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/param_transf/default_param_transf.shtml