

TÉCNICO EM AGRIMENSURA



MÓDULO III
GEODÉSIA



2025 - INEPROTEC

Diretor Pedagógico	EDILVO DE SOUSA SANTOS
Diagramação	MICHEL MARTINS NOGUEIRA
Capa	MICHEL MARTINS NOGUEIRA
Elaboração	INEPROTEC

Direitos Autorais: É proibida a reprodução parcial ou total desta publicação, por qualquer forma ou meio, sem a prévia autorização do INEPROTEC, com exceção do teor das questões de concursos públicos que, por serem atos oficiais, não são protegidas como Direitos Autorais, na forma do Artigo 8º, IV, da Lei 9.610/1998. Referida vedação se estende às características gráficas da obra e sua editoração. A punição para a violação dos Direitos Autorais é crime previsto no Artigo 184 do Código Penal e as sanções civis às violações dos Direitos Autorais estão previstas nos Artigos 101 a 110 da Lei 9.610/1998.

Atualizações: A presente obra pode apresentar atualizações futuras. Esforçamo-nos ao máximo para entregar ao leitor uma obra com a melhor qualidade possível e sem erros técnicos ou de conteúdo. No entanto, nem sempre isso ocorre, seja por motivo de alteração de software, interpretação ou falhas de diagramação e revisão. Sendo assim, disponibilizamos em nosso site a seção mencionada (Atualizações), na qual relataremos, com a devida correção, os erros encontrados na obra e sua versão disponível. Solicitamos, outros sim, que o leitor faça a gentileza de colaborar com a perfeição da obra, comunicando eventual erro encontrado por meio de mensagem para contato@ineprotec.com.br.

VERSÃO 2.0 (01.2025)

Todos os direitos reservados à
Ineprotec - Instituto de Ensino Profissionalizante e Técnico Eireli
Quadra 101, Conjunto: 02, Lote: 01 - Sobreloja
Recanto das Emas - CEP: 72.600-102 - Brasília/DF
E-mail: contato@ineprotec.com.br
www.ineprotec.com.br

Sumário

ABERTURA	05
SOBRE A INSTITUIÇÃO	05
• Educação Tecnológica, Inteligente e Eficiente	05
• Missão	05
• Visão	05
• Valores	05
SOBRE O CURSO	05
• Perfil profissional de conclusão e suas habilidades	06
• Quesitos fundamentais para atuação	06
• Campo de atuação	07
• Sugestões para Especialização Técnica	07
• Sugestões para Cursos de Graduação	07
SOBRE O MATERIAL	07
• Divisão do Conteúdo	08
• Boxes	08
BASE TEÓRICA	10
INTRODUÇÃO	10
CONCEITOS, HISTÓRIA E OBJETIVOS DA GEODÉSIA	10
• O termo geodésia	11
• Objetivo da geodésia	12
• História da geodésia	14
✓ Época Antiga e Idade Média	14
✓ Época moderna	15
✓ No Século XX	16
COORDENADOS E SUPERFÍCIES EM GEODÉSIA	18
• Sistema de Coordenadas Cartesianas	18
• Sistema de Coordenadas Geodésicas	19
• Sistema de Coordenadas Planas	20
SISTEMAS DE REFERÊNCIA EM GEODÉSIA	21

• SAD69	21
• WGS84	21
• SIRGAS2000	23
• DATUM	24
• Sistemas de referência clássicos	25
• Sistemas de referência modernos	27
SGR BRASILEIRO	28
SGB	31
• Sistemas de Referência Geodésicos adotados no Brasil	31
✓ Córrego Alegre	31
✓ Astro Datum Chuá	32
✓ SAD69	33
✓ Procedimentos de Densificação do SAD69	34
✓ SAD69 – realização 1996	35
SESSÕES ESPECIAIS	38
MAPA DE ESTUDO	38
SÍNTESE DIRETA	39
MOMENTO QUIZ	41
GABARITO DO QUIZ	42
REFERÊNCIAS	42

MÓDULO III

GEODÉSIA

TÉCNICO EM AGRIMENSURA

Abertura

SOBRE A INSTITUIÇÃO

Educação Tecnológica, Inteligente e Eficiente

O Instituto de Ensino Profissionalizante e Técnico (INEPROTEC) é uma instituição de ensino que valoriza o poder da educação e seu potencial de transformação.

Nascemos da missão de levar educação de qualidade para realmente impactar a vida dos nossos alunos. Acreditamos muito que a educação é a chave para a mudança.

Nosso propósito parte do princípio de que a educação transforma vidas. Por isso, nossa base é a inovação que, aliada à educação, resulta na formação de alunos de grande expressividade e impacto para a sociedade. Aqui no INEPROTEC, o casamento entre tecnologia, didática e interatividade é realmente levado a sério e todos os dias otimizado para constante e contínua evolução.

Missão

A nossa missão é ser símbolo de qualidade, ser referência na área educacional presencial e a distância, oferecendo e proporcionando o acesso e permanência a cursos técnicos, desenvolvendo e potencializando o talento dos estudantes, tornando-os, assim, profissionais de sucesso e cidadãos responsáveis e capazes de atuar como agentes de mudança na sociedade.

Visão

O INEPROTEC visa ser um instituto de ensino profissionalizante e técnico com reconhecimento nacional, comprometido com a qualidade e excelência de seus cursos, traçando pontes para oportunidades de sucesso, tornando-se, assim, objeto de desejo para os estudantes.

Valores

Ciente das qualificações exigidas pelo mercado de trabalho, o INEPROTEC tem uma visão que prioriza a valorização de cursos essenciais e pouco ofertados para profissionais que buscam sempre a atualização e especialização em sua área de atuação.

SOBRE O CURSO

O curso TÉCNICO EM AGRIMENSURA pertence ao Eixo Tecnológico de INFRAESTRUTURA. Vejamos algumas informações importantes sobre o curso TÉCNICO EM AGRIMENSURA relacionadas ao **perfil profissional de conclusão e suas habilidades**,

quesitos fundamentais para atuação, campo de atuação e, também, algumas sugestões interessantes para continuação dos estudos optando por **Especializações Técnicas** e/ou **Cursos de Graduação**.

Perfil profissional de conclusão e suas habilidades

- Executar levantamentos geodésicos e topográficos.
- Utilizar equipamentos e métodos específicos.
- Fazer a locação de obras de sistemas de transporte, civis, industriais e rurais.
- Delimitar glebas.
- Identificar elementos na superfície e pontos de apoio para georreferenciamento e amarração.
- Organizar e supervisionar ações de levantamento e mapeamento.
- Efetuar aerotriangulação.
- Restituir fotografias aéreas para a elaboração de produtos cartográficos em diferentes sistemas de referências e projeções.
- Processar e interpretar dados de sensoriamento remoto, fotos terrestres e fotos aéreas de modo integrado a dados de cartas, mapas e plantas.
- Utilizar ferramentas de geoprocessamento.
- Executar cadastro técnico multifinalitário.
- Identificar métodos e equipamentos para a coleta de dados.
- Participar do planejamento de loteamentos, desmembramentos e obras de engenharia.
- Dar assistência técnica na compra, venda e utilização de produtos e equipamentos especializados.
- Executar levantamentos e coletas de dados espaciais e geométricos.

Quesitos fundamentais para atuação

- Conhecimentos e saberes relacionados à execução de levantamentos geodésicos e topográficos, a vistorias e arbitramentos relativos à Agrimensura, com o intuito de permitir a organização fundiária do espaço rural, incluindo as medições, as demarcações, as divisões, os mapeamentos, as avaliações e a regulamentação das terras.
- Compromisso e ética para assegurar o cumprimento da legislação e das normas técnicas vigentes.

- Habilidade de liderança de equipes para solução de problemas técnicos e trabalhistas e para a gestão de conflitos.

Campo de atuação

- Empresas de mapeamento e levantamento topográfico, de comercialização de equipamentos e instrumentos específicos da função, de aerolevantamentos, de logística e distribuição de cargas
- Forças Armadas.
- Concessionárias de serviços públicos.
- Agências reguladoras.

Sugestões para Especialização Técnica

- Especialização Técnica em Cadastramento Ambiental Rural.
- Especialização Técnica em Georreferenciamento de Imóveis Rurais.
- Especialização Técnica em Monitoramento de Estruturas.

Sugestões para Cursos de Graduação

- Curso Superior de Tecnologia em Agrimensura.
- Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento.
- Curso Superior de Tecnologia em Estradas.
- Curso Superior de Tecnologia em Construção Civil.
- Bacharelado em Engenharia de Agrimensura.
- Bacharelado em Engenharia Cartográfica.
- Bacharelado em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.
- Bacharelado em Geografia.
- Bacharelado em Engenharia Ambiental.

SOBRE O MATERIAL

Os nossos materiais de estudos são elaborados pensando no perfil de nossos cursistas, contendo uma estruturação simples e clara, possibilitando uma leitura dinâmica e com volume de informações e conteúdos considerados básicos, mas fundamentais e essenciais para o desenvolvimento de cada disciplina. Lembrando que nossas apostilas não são os únicos meios de estudo.

Elas, juntamente com as videoaulas e outras mídias complementares, compõem os vários recursos midiáticos que são disponibilizados por nossa Instituição, a fim de

proporcionar subsídios suficientes a todos no processo de ensino-aprendizagem durante o curso.

Divisão do Conteúdo

Este material está estruturado em três partes:

- 1) ABERTURA.
- 2) BASE TEÓRICA.
- 3) SESSÕES ESPECIAIS.

Parte 1 - ABERTURA

- Sobre a Instituição.
- Sobre o Curso.
- Sobre o Material.

Parte 2 – BASE TEÓRICA

- Conceitos.
- Observações.
- Exemplos.

Parte 3 – SESSÕES ESPECIAIS

- Mapa de Estudo.
- Síntese Direta.
- Momento Quiz.

Boxes

Além dessas três partes, no desenvolvimento da BASE TEÓRICA, temos alguns BOXES interessantes, com intuito de tornar a leitura mais agradável, mesclando um estudo mais profundo e teórico com pausas pontuais atrativas, deixando a leitura do todo “mais leve” e interativa.

Os BOXES são:

- VOCÊ SABIA



São informações complementares contextualizadas com a base teórica, contendo curiosidades que despertam a imaginação e incentivam a pesquisa.

- PAUSA PARA REFLETIR...



Um momento especial para descansar a mente do estudo teórico, conduzindo o cursista a levar seus pensamentos para uma frase, mensagem ou indagação subjetiva que leve a uma reflexão pessoal e motivacional para o seu cotidiano.

- SE LIGA NA CHARADA!



Se trata de um momento descontraído da leitura, com a apresentação de enigmas e indagações divertidas que favorecem não só a interação, mas também o pensamento e raciocínio lógico, podendo ser visto como um desafio para o leitor.

Base Teórica

INTRODUÇÃO

Classicamente, a Geodésia 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, geóide.

Coordenadas geodésicas constituem o vínculo natural entre os diferentes sistemas de projeção cartográfica disponíveis num Sistema de Informação Geográfica (SIG). As informações armazenadas na base de dados de um SIG referem-se usualmente a uma certa projeção cartográfica que, por sua vez, se relaciona diretamente a um sistema geodésico de referência.

Assim, sempre que um usuário requerer uma transformação entre dois sistemas de projeção, o SIG deve verificar se ambas as projeções utilizam-se do mesmo sistema geodésico de referência, ou seja, se ambas vinculam-se ao mesmo “datum” planimétrico. Quando há diferenças o SIG deve realizar uma conversão de “datum” planimétrico que se traduz pela alteração dos valores das coordenadas geodésicas.

Os sistemas de referência são utilizados para descrever as posições de objetos. Quando é necessário identificar a posição de uma determinada informação na superfície da Terra são utilizados os Sistemas de Referência Terrestres ou Geodésicos. Estes por sua vez, estão associados a uma superfície que mais se aproxima da forma da Terra, e sobre a qual são desenvolvidos todos os cálculos das suas coordenadas.

As coordenadas podem ser apresentadas em diversas formas: em uma superfície esférica que recebe a denominação de coordenadas geodésicas ou em uma superfície plana que recebe a denominação da projeção às quais estão associadas, como por exemplo, as coordenadas planas UTM.

CONCEITOS, HISTÓRIA E OBJETIVOS DA GEODÉSIA

O termo geodésia

O termo geodésia foi usado, pela primeira vez, por Aristóteles e pode significar tanto divisões (geográficas) da terra como também o ato de dividir a terra (por exemplo entre proprietários).

A geodésia é, simultaneamente, um ramo das geociências e um tipo de 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.

O termo geodésia também é usado em matemática para a medição e o cálculo acima de superfícies curvas usando métodos semelhantes àqueles usados na superfície curva da terra. Na física, geodésia é o nome da trajetória reta no espaço curvo, de corpos como a Terra. Isso acontece em função da gravidade.



Figura 1: Um marco geodésico (1855) em Oostende, Bélgica.

OBSERVAÇÕES:

Métodos e atividades geodésicas

- ✓ Altimetria;
- ✓ Estacionamento livre;
- ✓ Geodésia por satélite;

- ✓ Gravimetria;
- ✓ Interseção inversa, interseção direta, interseção de arcos;
- ✓ Laserscanning;
- ✓ Levantamento aéreo;
- ✓ Levantamento topográfico;
- ✓ Locação;
- ✓ Mapeamento;
- ✓ Poligonação (polígono);
- ✓ Posicionamento astronômico;
- ✓ Posicionamento por satélite;
- ✓ Rede de referência geodésica, angulação, trilateração.

Objetivo da geodésia

A geodésia fornece as suas teorias e os seus resultados de medição e cálculo, dando a referência geométrica para as demais geociências e aplicações, como a geomática, os Sistemas de Informação Geográfica, o cadastro, o planejamento urbano e de obras, as engenharias de construção, a navegação aérea, marítima e rodoviária, aplicações militares e programas espaciais, entre muitos outros exemplos.

A geodésia superior (ou geodésia teórica) é dividida entre a geodésia física e a 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 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 precisos da geodésia matemática projetam-se estes pontos numa superfície geométrica, que matematicamente deve ser bem definida. Para este fim se

costuma definir um elipsoide de rotação (ou de revolução ou referência). Existe uma série de elipsoides que antes foram definidos para as necessidades de apenas um país, ou 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.

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.

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. 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 (p.e. 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 chamados “sistemas altimétricos de uso”.

OBSERVAÇÕES:

Instrumentos geodésicos

- ✓ Baliza;
- ✓ Bússola;
- ✓ Câmara métrica;
- ✓ Câmara aereofotogramétrica;
- ✓ Distanciômetro;
- ✓ Estação total;
- ✓ Fototeodolito;
- ✓ Giroscópio;
- ✓ Gravímetro;
- ✓ Laserscanner;

- ✓ Mira;
- ✓ Nível;
- ✓ Pentaprisma;
- ✓ Prisma ou refletor;
- ✓ Prumo;
- ✓ Receptor para o GPS, GLONASS e Galileo;
- ✓ Sextante;
- ✓ Taqueômetro;
- ✓ Teodolito;
- ✓ Trena;
- ✓ VANT.

Instrumentos históricos

- ✓ Groma;
- ✓ Dioptra.

História da geodésia

Época Antiga e Idade Média

A Geodésia tem a mesma origem da geometria. Foi desenvolvida no 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 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, gnómon, mira, trena). 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.

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. 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.

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 elipsoide de rotação, achatado nos polos, foi definido por Isaac Newton em 1687, sendo base da sua hipótese de gravitação, e Huygens em 1690, a base da teoria cartesiana do redemoinho. A forma de um elipsoide combinou também com algumas observações antes inexplicáveis como 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 remedição 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 elipsoide de rotação como figura matemática e primeira aproximação na geometria da terra. 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 elipsoide 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 geoide 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 elipsoide que tem a melhor aproximação com a terra física. Os elipsoides mais importantes eram os de Bessel (1841) e de Clarke (1886 e 1880).



VOCÊ SABIA?

Ensino Em Portugal

Em Portugal a geodésia é dada como disciplina central nos cursos de licenciatura de 5 anos de Engenharia Geográfica nas Universidades de Coimbra, Lisboa, Porto e no Instituto Politécnico da Guarda (IPG).

Na América do Sul

Na América do Sul existem faculdades de geodésia em vários países. No Brasil, a geodésia está representada nos cursos de Geografia, Engenharia de Agrimensura e Engenharia Cartográfica nas universidades públicas e privadas. Nos outros países do subcontinente na Argentina (Buenos Aires, La Plata, Córdoba, Rosário, Santa Fé, Tucuman, San Juan), na Venezuela (Maracaibo, La Universidade del Zulia), no Peru (Puno), na Colômbia (Bogotá), no Uruguai (Montevideu), no Chile o título do profissional em geodésia é *Geomensor* que pode ser obtido nas universidades de Santiago, Antofagasta e Los Angeles.

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 elipsoides de rotação introduzindo o esferoide normal. 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 geoide. H. Wolf descreveu a base teórica para um modelo livre de hipóteses de uma geodésia tridimensional 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 geoide 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 (predeterminação de sismos, etc).



VOCÊ SABIA?

Organizações científicas

Ainda que no século XIX apenas a Europa contasse com organizações científicas ou técnicas de geodésia, hoje, existem em quase todos os países. Muitos têm organizações independentes para subdisciplinas como da cartografia, fotogrametria, topografia, geodésia mineira, cadastro imobiliário, etc, como no caso do Brasil, onde os geodestas estão organizados na Sociedade Brasileira de Cartografia, e também na Federação Nacional de Engenheiros Agrimensores. Ao nível global, em primeiro lugar, é a *Fédération Internationale des Géomètres* (FIG), que coordena projetos continentais ou globais e que organiza o intercâmbio de informações e opiniões. A FIG também é membro da *International Union of Geodesy and Geophysics* para coordenar projetos comuns com a participação das disciplinas vizinhas.

As subdisciplinas da geodésia também contam com organizações globais. No caso da fotogrametria, a *International Society of Photogrammetry and Remote Sensing* na área da cartografia, a *International Cartographic Association*, que coordena projetos internacionais de mapeamento continental ou global. A SBC está associada a todas as três organizações internacionais e também participa com projetos cartográficos das Nações Unidas.



SE LIGA NA CHARADA!

PERGUNTA:

Por que o tomate foi ao banco?

RESPOSTA:

Porque ele queria se transformar em extrato!

COORDENADOS E SUPERFÍCIES EM GEODÉSIA

As coordenadas referidas aos Sistemas de Referência Geodésicos são normalmente apresentadas em três formas: cartesianas, geodésicas (ou elipsoidais) e planas.

Sistema de Coordenadas Cartesianas

Um sistema coordenado cartesiano no espaço 3-D é caracterizado por um conjunto de três retas (x, y e z), denominados de eixos coordenados, mutuamente perpendiculares. Ele associado a um Sistema de Referência Geodésico, recebe a denominação de Sistema Cartesiano Geodésico (CG) de modo que:

- O eixo X coincidente ao plano equatorial, positivo na direção de longitude 0°;
- O eixo Y coincidente ao plano equatorial, positivo na direção de longitude 90°;
- O eixo Z é paralelo ao eixo de rotação da Terra e positivo na direção norte.

Se está localizada no centro de massas da Terra (geocentro), as coordenadas são denominadas de geocêntricas, usualmente utilizadas no posicionamento à satélites, como é o caso do WGS84 (figura 2).

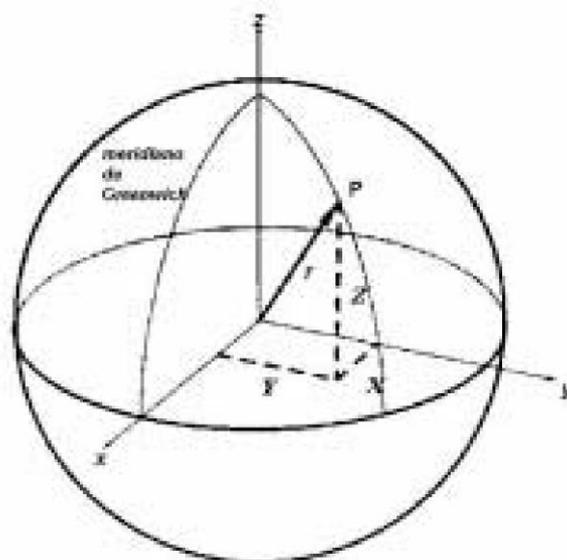


Figura 2: Coordenadas cartesianas geocêntricas (X, Y, Z).

Sistema de Coordenadas Geodésicas

Independentemente do método utilizado para se representar ou projetar uma determinada superfície no plano, deve se adotar uma superfície que sirva de referência, garantindo uma concordância das coordenadas na superfície esférica da Terra. Com este propósito, deve-se escolher uma figura geométrica regular, muito próxima da forma e dimensões da Terra, a qual permite, mediante a um sistema coordenado, posicionar espacialmente as diferentes entidades topográficas. Esta figura recebe a denominação de elipsoide e as coordenadas referidas a ele são denominadas de latitude e longitude geodésicas.

As definições de coordenadas geodésicas de um ponto qualquer P na superfície do elipsoide são:

- A latitude geodésica é o ângulo contado sobre o meridiano que passa por P, compreendido entre a normal passante por P e o plano equatorial;
- A longitude geodésica é o ângulo contado sobre o plano equatorial, compreendido entre o meridiano de Greenwich e o ponto P;
- A altitude elipsoidal corresponde à distância de P à superfície do elipsoide medida sobre a sua normal (figura 3).

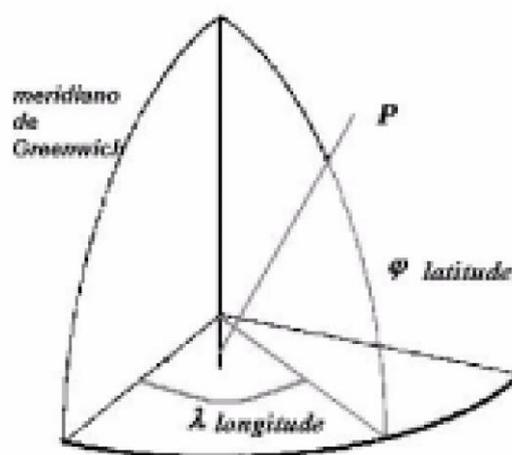


Figura 3: Latitude (ϕ) e longitude (λ) geodésicas.

Os sistemas coordenados curvilíneos também podem ser representados no espaço 3-D através do sistema cartesiano. O conjunto de formulações que fazem a associação entre estes dois sistemas (geodésico e cartesiano) constam na Resolução da Presidência da República nº 23 de 21/02/89.

As superfícies mais utilizadas em geodésia como referência das altitudes são o geóide e o elipsoide. Define-se por geóide a superfície equipotencial a qual se aproxima melhor do nível médio dos mares, estendida aos continentes e por elipsoide a superfície matemática (representada por uma elipse biaxial de revolução – elipsoide), sobre a qual estão referidos todos os cálculos geodésicos. Por questões de conveniência matemática e de facilidades de representação, utiliza-se em algumas situações, a esfera como uma aproximação do elipsoide. Recebem a denominação de altitudes elipsoidais aquelas altitudes referidas ao elipsoide.

Um exemplo na obtenção destas altitudes é através do GPS. As altitudes ortométricas são obtidas por nivelamento geométrico e são referidas ao geóide. A separação entre as duas superfícies é conhecida por ondulação geoidal as quais podem ser obtidas através de mapas de ondulação geoidais (na forma analítica ou analógica). A importância dessa entidade reside no fato de que o sistema de altitudes utilizado no Brasil se refere ao geóide, cabendo, portanto, a necessidade do seu conhecimento para redução das altitudes obtidas por GPS (figura 4).

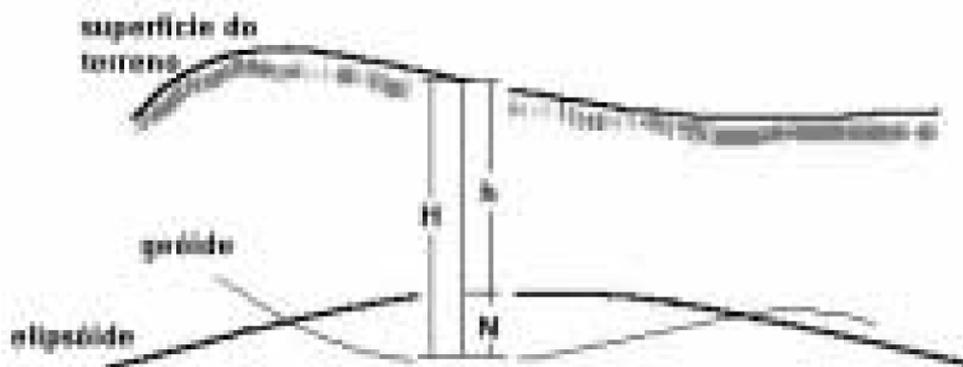


Figura 4: superfícies do elipsoide e geóide.

Sistema de Coordenadas Planas

As coordenadas referidas a um determinado Sistema de Referência Geodésico, podem ser representadas no plano através das componentes Norte e Leste e são o tipo de coordenadas regularmente encontrado em mapas. Para representar as feições de uma superfície curva em plana são necessárias formulações matemáticas chamadas de Projeções. Diferentes projeções poderão ser utilizadas na confecção de mapas, no Brasil a projeção mais utilizada é a Universal Transversa de Mercator (UTM).

SISTEMAS DE REFERÊNCIA EM GEODÉSIA

- **SAD69** (*South American Datum 1969*) Elipsoide IUGG 1967.
- **WGS84** (*World Geodetic System 1984*) Elipsoide WGS 1984.
- **SIRGAS2000** (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000) Elipsoide GRS 1980.
- **Datum73** (Datum para Portugal 1973) Elipsoide IUGG 1924.

SAD69

O **South American Datum (SAD)** é o sistema de referência geodésico regional para a América do Sul e define um formato para a terra para uso na geodésia e em navegação. Sua orientação é topocêntrica, ou seja, o ponto de origem e orientação está na superfície terrestre. Em 2000 foi substituído no Brasil pelo SIRGAS 2000, sendo oficializado através de portaria do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2005.



VOCÊ SABIA?

Parâmetros de transformação entre SAD69 e outros sistemas de referência

Na obtenção de coordenadas em outros sistemas a partir de SAD69, utiliza-se a formulação apresentada na Resolução da Presidência do IBGE nº 23 de 21/02/89 e os seguintes parâmetros de transformação apresentados na tabela abaixo:

Parâmetros/ Sistemas	Córrego Alegre	WGS84
Dx (m)	138,70	-66,87
Dy (m)	-164,40	4,37
Dz (m)	-34,40	-38,52

Figura 5: Tabela com parâmetros de transformação entre SAD69 e outros sistemas de referência.

	Córrego Alegre	SAD69	WGS84
Elipsóide	Internacional 1924 - Hayford	Internacional 1967	WGS84
Achatamento (1/f)	297,00	298,25	298,257223563
Semi eixo maior (m)	6378388,00	6378160,00	6378137,00
Estação origem	Vértice Córrego Alegre	Vértice Chuá	-

Figura 6: Tabela de parâmetros definidores (elipsoide e estação origem) de cada sistema.

WGS84

WGS84 (World Geodetic System) (o **WGS 1984, EPSG:4326**) é uma norma usada em cartografia de origem geocêntrica utilizado pelo GNSS do DoD, e pelo Sistema de

Posicionamento Global (GPS), definida em 1984 e cuja última revisão se deu em 2004. É composta por um sistema de coordenadas para a Terra, uma superfície de referência esferoidal padrão (a base ou elipsoide de referência) para dados de altitude, e uma superfície gravitacional equipotencial (o geóide) que define o nível médio do mar.



Figura 7: GPS com bússola e altímetro em WGS 84.

O advento dos satélites artificiais, há mais de 35 anos, possibilitou o desenvolvimento prático dos sistemas de referência geocêntricos, como por exemplo o WGS84 e o ITRF em suas mais diversas realizações e densificações.

O WGS84 é a quarta versão de sistema de referência geodésico global estabelecido pelo *U.S. Department of Defense* (DoD) desde 1960 com o objetivo de fornecer o posicionamento e navegação em qualquer parte do mundo, através de informações espaciais (MALYS & SLATER, 1994). Ele é o sistema de referência das efemérides operacionais do sistema GPS.

Na época de sua criação o sistema fornecia precisão métrica em função da limitação fornecida pela técnica observacional utilizada, o Doppler. Por esta razão, uma série de refinamentos foram feitos ao WGS84 nos últimos anos com o objetivo de melhorar a precisão de sua versão original (NIMA, 1997). A rede terrestre de referência do WGS84 foi originalmente estabelecida em 1987, contando somente com coordenadas de estações obtidas através de observações Doppler (posicionamento isolado) e efemérides precisas.

O primeiro refinamento foi obtido através de uma nova materialização do sistema, desta vez com 32 estações (10 estações DoD correspondentes à rede de referência WGS84 original – GPS - e mais 22 estações pertencentes a rede IGS) (SWIFT, 1994). Esta solução recebeu a denominação de WGS84 (G730) (época de referência 1994,0) e foi utilizada nas órbitas operacionais dos satélites GPS de 29 junho de 1994 à 29 de janeiro de 1997. A letra

G significa que neste refinamento foi utilizada a técnica GPS e ‘730’ se refere a semana GPS desta solução.

O segundo refinamento foi um trabalho que envolveu três instituições: NIMA, NASA Goddard Space Flight Center (GSFC) e Ohio State University. O resultado foi o desenvolvimento de um novo modelo global do campo gravitacional terrestre, o EGM96. Uma nova materialização da rede terrestre de referência WGS84, recebeu a denominação WGS84 (G873), referida a semana GPS 873 (época de referência 1997,0). Esta versão foi implementada no segmento de controle operacional em 29 de janeiro de 1997, sendo utilizada até o presente momento.

Na tabela da “figura 8” pode ser visto em linhas gerais as diferenças entre as versões do WGS84.

Versão	Sistema utilizado na materialização	Número de estações utilizadas na materialização	Modelos gravitacionais da Terra	Períodos de Utilização
WGS84	TRANSIT(NSWC 9Z-2)	10	WGS84	01/01/1987 à 01/01/1994
WGS84(G730)	GPS	10	WGS84	02/01/1994 à 28/09/1997
WGS84(G873)	GPS	12	EGM96	a partir de 29/09/1997

Figura 8: Tabela com as diferenças entre as versões do WGS84.

SIRGAS2000

A segunda campanha do SIRGAS foi conduzida entre os dias 10 a 19 de maio de 2000. Seu objetivo principal era a conexão dos sistemas de altitude da América do Sul ao ITRF. Além disso, esta campanha incluiu não somente as estações **SIRGAS95**, como também estações maregráficas da América do Sul e algumas estações nas divisas dos países, o que permitiu uma conexão direta entre as redes de nivelamento de países vizinhos. Um total de 184 estações distribuídas na América do Norte, Central e do Sul foram utilizadas.

Esta rede foi calculada por 3 centros de processamento:

- **DGFI** (*Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut*);
- **IBGE**;
- **BEK** (*Bayerische Kommission für die Internationale Erdmessung*), atual *Kommission für Erdmessung und Glaziologie* (KEG).

O DGFI e o IBGE utilizaram o software Bernese, v. 4.0, enquanto que o BEK processou com o software GIPSY/OASIS II. A solução final foi obtida a partir da combinação

famosa projeção de Mercator, em que a Terra é transformada num cilindro que toca a terra na linha do equador (latitude $0^{\circ} 0' 0''$). Posteriormente surgiram outras em que um cone intercepta a Terra em duas latitudes com pontos acima do polo, e outra ainda é um cilindro tocando na Terra numa determinada latitude ou longitude. Todas estas projeções criam representações gráficas diferentes, ou seja, *data* diferentes.

A maioria dos mapas dos serviços cartográficos nos EUA utilizam o *datum* CONUS NAD-27 que usa os modelos matemáticos e uma projeção de cones de Clarke de 1866. Mapas posteriores utilizam o *datum* NAD-83 e usam a projeção UTM do centro da terra. Esta projeção a partir do centro da Terra gerou a parte universal do UTM.

A projeção UTM (*Universal Transverse Mercator*) toca a Terra em várias longitudes denominadas meridianos centrais e usa um ponto de projeção no centro da Terra. O modelo matemático (*datum*) é o WGS-84 que define um elipsoide. O *datum* WGS-84 foi criado a partir do *datum* de Clarke de 1866 usado pela maioria dos mapas USGS. O *datum* WGS-84 (e o virtualmente idêntico NAD-83) especificam que a terra é mais achatada, de modo que uma medida do número de metros do equador para o norte é mais ou menos 200 m maior do que aquele medido com o modelo de 1866 de Clarke para pontos nos EUA. Conforme IBGE, atualmente o Brasil adota o *datum* SIRGAS 2000.



Figura 10: Tela de seleção do Sistema de Coordenadas e Datum em um GPS.

Sistemas de referência clássicos

Historicamente, antes das técnicas espaciais de posicionamento, os referenciais geodésicos, conhecidos pela denominação de “datum astro-geodésico horizontal” – DGH, eram obtidos através das seguintes etapas:

- 1) Escolha de um sólido geométrico (elipsoide de revolução), cujos parâmetros definidores são o achatamento (f) e semieixo maior (a). Este sólido por sua vez, representará de uma maneira aproximada as dimensões da Terra, no qual serão desenvolvidos os cálculos geodésicos.
- 2) Definição do posicionamento e orientação do referencial, feita através de 6 parâmetros topocêntricos: as coordenadas do ponto origem (2), a orientação (1- azimute inicial), a separação geoide-elipsoide (ondulação geoidal) e as componentes do desvio da vertical (meridiana e primeiro vertical) (VANICEK e KRAKIWSKY, 1986). Estas informações têm por objetivo, assegurar uma boa adaptação entre a superfície do elipsoide ao geoide na região onde o referencial será desenvolvido. Sendo assim, o centro do elipsoide não está localizada no geocentro (centro da Terra).
- 3) A realização (ou materialização) do referencial é feita através do cálculo de coordenadas dos pontos a partir de observações geodésicas de distâncias, ângulos e azimutes, ou seja, observações de origem terrestre.

Os itens 1 e 2 abordam os aspectos definidores do sistema, enquanto o item 3 aborda o aspecto prático na sua obtenção. Deste modo, as coordenadas geodésicas estão sempre associadas a um determinado referencial, mas não o definem.

O conjunto de pontos ou estações terrestres formam as chamadas redes geodésicas, as quais vêm a representar a superfície física da Terra na forma pontual (CASTAÑEDA, 1986). O posicionamento 3D de um ponto estabelecido por métodos e procedimentos da geodésia clássica (triangulação, poligonação e trilateração) é incompleta, na medida em que as redes verticais e horizontais caminham separadamente. No caso de redes horizontais, algumas de suas estações não possuem altitudes, ou as altitudes são determinadas por procedimentos menos precisos. Um exemplo de DGH em uso no Brasil é o SAD69.

O procedimento clássico de definição da situação espacial de um elipsoide de referência corresponde à antiga técnica de posicionamento astronômico, na qual arbitra-se que a normal ao elipsoide e a vertical no ponto origem são coincidentes, bem como as superfícies geoide e elipsoide, induzindo assim, a coincidência das coordenadas geodésicas e astronômicas. O mesmo pode ser dito para os azimutes geodésico e astronômico (∞_0 e A_0). Nestas condições caracteriza-se a situação espacial do datum da seguinte forma:

$$\phi_0 = \Phi_0 ; \quad \lambda_0 = \Lambda_0 ; \quad h_0 = H_0$$

Sistemas de referência modernos

Os Sistemas de Referência Terrestres, concebidos na era da geodésia espacial, possuem características diferentes dos referenciais (ex: DGH) relatados anteriormente, mas a sua essência é a mesma no sentido de possuir uma parte definidora, e atrelada a ela, uma materialização. As etapas necessárias na obtenção destes sistemas terrestres são:

- 1) Adoção de uma plataforma de referência que venha a representar a forma e dimensões da Terra em caráter global. Estas plataformas de referência, os chamados Sistemas Geodésicos de Referência – SGR, conforme abordado anteriormente, estão fundamentados em um CTS (espaço abstrato), sendo, portanto, geocêntricos. Eles são observações a satélites, fornecendo assim, o fundamento preciso para a organização de toda informação pertinente à Terra (NIMA, 1997). Eles são definidos por modelos, parâmetros e constantes (ex: um sistema de coordenadas cartesianas geocêntrico - CTS e constantes do GRS80) (DGFI, 1998). De tempos em tempos é adotado um novo SGR pela *International Union of Geodesy and Geophysics* - IUGG, sendo este baseado nas últimas informações coletadas sobre o campo gravitacional terrestre. Atualmente o SGR adotado pela IUGG é o GRS80 (TORGE, 1996). Além das constantes geométricas definidoras, os SGR modernos passam a ser definidos também por constantes físicas. Considerando a Terra um corpo com rotação e massa, a melhor aproximação física é definida através de quatro parâmetros, sendo eles: raio equatorial (o equivalente ao semieixo maior do elipsoide de referência), constante gravitacional geocêntrica GM (com ou sem atmosfera), o harmônico zonal de segunda ordem do potencial gravitacional da Terra (J2), ou o achatamento terrestre (f) e a velocidade de rotação da Terra (ω). Estas constantes estão implicitamente relacionadas às órbitas dos satélites, que por sua vez são usadas para definir as coordenadas de pontos na superfície da Terra.
- 2) A materialização de um sistema de referência terrestre geocêntrico é dada da mesma forma que um DGH, ou seja, através das redes geodésicas. Entretanto, os métodos e procedimentos utilizados no estabelecimento de coordenadas são as técnicas espaciais de posicionamento, como por exemplo o VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*), SLR (*Satélite Laser Range*) e o GPS. Estas técnicas possuem duas vantagens perante as outras terrestres. A primeira consiste no posicionamento 3D de uma estação geodésica, e a segunda é a alta precisão fornecida às coordenadas, surgindo como consequência uma quarta componente, associada à época de

obtenção das coordenadas. Sendo assim, as coordenadas das estações que compõem a materialização de um sistema de referência terrestre geocêntrico, possuem quatro componentes, três de definição espacial e uma de definição temporal, eventualmente, as velocidades vem a descrever as variações dos valores das coordenadas com o tempo. Um exemplo prático de sistema de referência terrestre geocêntrico é o IERS *Terrestrial Reference System* (ITRS), o qual é realizado anualmente através do IERS *Terrestrial Reference Frame* (ITRF), uma rede de estações fiduciais implantadas por todo mundo, nas quais estão instalados sistemas de medidas SLR, LLR, VLBI e GPS.



VOCÊ SABIA?

Materialização de um sistema de referência

O processo de estimativa das coordenadas dos pontos físicos com respeito a definição de um determinado referencial é acompanhado pelo cálculo de uma rede que relaciona os pontos levantados. O resultado, estabelecido através de um ajustamento de observações, é um conjunto de valores de coordenadas para as estações que constituem a materialização do SGR.

Usualmente, é comum adotar uma única denominação para definição e materialização do sistema, como é o caso do SAD69. Deste modo, vários ajustamentos de redes geodésicas podem ser realizados em um mesmo referencial definido com diferentes injunções, ou os mesmos dados podem ser ajustados com respeito a várias *definições*.



PAUSA PARA REFLETIR...

O mundo é um livro, e quem fica sentado em casa lê somente uma página.

Santo Agostinho.

SGR BRASILEIRO

Os Sistemas Geodésicos de Referência (SGR) são muito importantes. A evolução da tecnologia de geodésia espacial permitiu um avanço nos modelos representativos da Terra, criando uma associação direta entre os parâmetros físicos e os parâmetros geométricos do campo gravitacional terrestre.

Um Sistema Geodésico de Referência existe para fazer a localização de qualquer detalhe da superfície terrestre. Esses sistemas de referência são figuras geométricas que representam a superfície da terra, permitindo que cada ponto da superfície tenha um conjunto de coordenadas específico, como (X, Y, Z).

O órgão responsável por padronizar esses referenciais é o ITRS (Sistema de Referência Terrestre Internacional, do inglês: *International Terrestrial Reference System*). Existem vários sistemas de referência (também chamados de datum). No Brasil, existem três que são reconhecidos pelo IBGE: SAD69, CÓRREGO ALEGRE e SIRGAS2000.

Os sistemas SAD69 e o CÓRREGO ALEGRE são topocêntricos, ou seja, estão localizados na superfície física da terra. Nesses modelos, o centro do elipsoide (ou origem dos eixos) não está localizado no centro de massa da Terra, e sim no ponto de origem (vértice) escolhido. Já o SIRGAS2000 é um sistema geocêntrico, o que significa que sua origem está no centro de massa da terra. No sistema geocêntrico, o eixo de rotação é paralelo ao eixo de rotação da Terra, e é essa origem que está localizada no centro de massa da Terra.

Vejamos nas figuras a seguir (figuras 11 e 12), exemplos de sistema topocêntrico e geocêntrico:

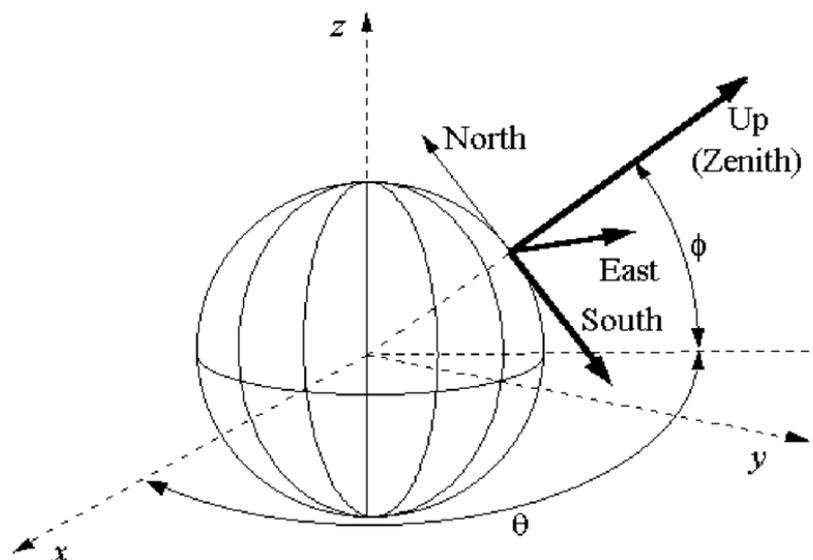


Figura 11: Exemplo de sistema topocêntrico.

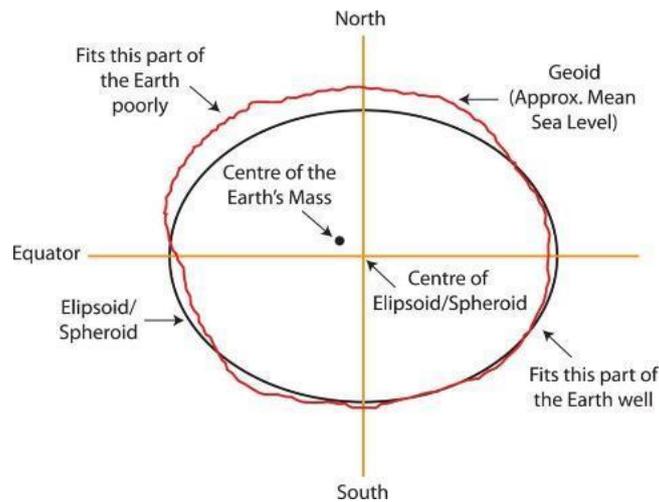


Figura 12: Exemplo de sistema geocêntrico.

O SIRGAS2000 é compatível com o WGS84 (*World Geodetic System*), que é uma norma de cartografia de origem geocêntrica usada pelo Sistema de Posicionamento Global (GPS). Portanto um ponto com coordenadas no datum SAD69 terá coordenadas (valores) diferentes no datum SIRGAS2000 ou WGS84. Aliás este último, mundialmente utilizado, é compatível com o nosso SIRGAS2000 o que explica a adoção deste como nosso referencial oficial.

Como complemento, existem os sistemas de coordenadas geográficas, que fornecem valores numéricos dos pontos na superfície da Terra. Como as coordenadas geográficas são curvilíneas, seus valores são dados em graus, minutos e segundos (representando latitude e longitude).

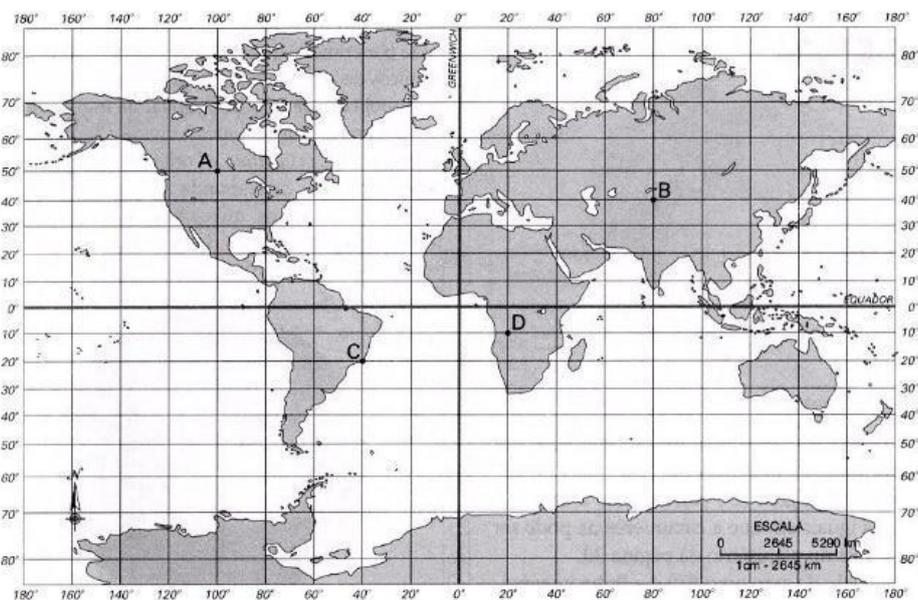


Figura 13: Exemplo de um sistema de coordenadas geográficas, que fornecem valores numéricos dos pontos na superfície da Terra.

Um sistema geodésico moderno utiliza como base um elipsoide de revolução cuja origem coincide com o centro de massa da Terra e com eixo de revolução que coincide com o eixo de rotação da Terra. É possível criar esse sistema a partir de uma rede de estações geodésicas com coordenadas tridimensionais. Estas coordenadas são criadas por meio de técnicas de posicionamento espacial de alta precisão.

Existem redes geodésicas verticais e horizontais. As verticais são compostas por pontos implantados na superfície física da Terra. Cada um desses pontos é chamado de Referência de Nível, e por meio de técnicas de nivelamento sua altitude ortométrica (H) é determinada. As redes verticais, por outro lado, concentram-se principalmente na precisão das altitudes, a partir do chamado “Nível Médio dos Mares” (NMM) com utilização de marégrafos. Em outras palavras, monitora-se a variação instantânea local do nível do mar (HNMI) com respeito ao zero do marégrafo.

Em resumo, podemos dizer que a materialização do Sistema Geodésico de Referência se dá por meio do conjunto de pontos implantados sobre a superfície da Terra, em coordenadas conhecidas. A realização do SGR é disponibilizada a um usuário a partir da divulgação desse conjunto de coordenadas.



SE LIGA NA CHARADA!

PERGUNTA:

Por que o fotógrafo foi expulso da festa?

RESPOSTA:

Porque ele só queria dar foco nos seus amigos!

SGB

Sistemas de Referência Geodésicos adotados no Brasil

Define-se por Sistema Geodésico Brasileiro - SGB - o conjunto de pontos geodésicos implantados na porção da superfície terrestre delimitada pelas fronteiras do país. Em outras palavras é o sistema ao qual estão referidas todas as informações espaciais no Brasil.

Córrego Alegre

A Rede Planimétrica do SGB foi submetida a vários ajustes, em função das necessidades que eram envolvidas, principalmente no que diz respeito à definição de Sistemas Geodésicos. Anterior a era dos computadores, estes ajustes eram feitos com calculadoras mecânicas ou até fazendo uso da tábua de logaritmos.

Um dos ajustamentos de importância realizados nesta época foi o que definiu o Sistema Geodésico de Referência Córrego Alegre. Neste ajuste foi adotado o método das equações de condições (método correlatos). A escolha do vértice Córrego Alegre para ponto datum, bem como, do elipsoide internacional de Hayford para superfície matemática de referência, foram baseadas em determinações astronômicas realizadas na implantação da cadeia de triangulação em Santa Catarina.

Verificou-se, na ocasião, que os desvios da vertical na região tinham uma tendência para o leste, ou seja, constatando uma maior concentração de massas a oeste e deficiência das mesmas a leste, concluindo que o ponto datum a ser escolhido ficaria melhor situado na região do planalto. O posicionamento e orientação no ponto datum, vértice Córrego Alegre, foram efetuados astronomicamente. Foram adotados os seguintes parâmetros na definição deste Sistema:

- Superfície de referência: elipsoide Internacional de Hayford 1924.

Semi-eixo maior: 6378388 metros

Achatamento: 1/297

- Ponto Datum: Vértice Córrego Alegre.

Coordenadas:

$$\gamma = -19^{\circ} 50' 14''.91$$

$$\lambda = -48^{\circ} 57' 41''.98$$

$$h = 683.81 \text{ metros}$$

- Orientação elipsoide-geoide no ponto datum:

$$\xi = \eta = 0 \text{ (componentes do desvio da vertical)}$$

$$N = 0 \text{ metros (ondulação geoidal)}$$

Com a finalidade de conhecer melhor o geoide na região do ponto datum, foram determinadas 2113 estações gravimétricas em uma área circular em torno do ponto datum. Estas observações tinham por objetivo o melhor conhecimento do geoide na região e estudos na adoção de um novo ponto datum, considerando-se arbitrária a escolha anteriormente feita (forçada a condição de tangência entre elipsoide e geoide). Como resultado destas pesquisas, foi escolhido um novo ponto datum, o vértice Chuá, localizado na mesma cadeia do anterior e através de um novo ajustamento foi definido um novo sistema de referência, denominado Astro Datum Chuá.

Astro Datum Chuá

O sistema Astro Datum Chuá, com ponto origem no vértice Chuá e elipsoide de referência Hayford, foi um sistema estabelecido segundo a técnica de posicionamento astronômico com o propósito de ser um ensaio ou referência para a definição do SAD69. Ele desenvolveria o papel de um sistema razoável a ser utilizado unicamente na uniformização dos dados disponíveis na época (o IBGE tinha recém-concluído um ajustamento da rede planimétrica referido a este sistema). Isso não representaria ainda o sistema “ótimo” para a América do Sul, faltando ainda a boa adaptação geoide-elipsoide para que as observações geodésicas terrestres pudessem ser reduzidas à superfície do elipsoide. Sendo assim, na condição de um sistema provisório, as componentes do desvio da vertical foram ignoradas, ou seja, foi assumida a coincidência entre geoide e elipsoide, no ajustamento das coordenadas em Astro Datum Chuá.

SAD69

O SAD69 é um sistema geodésico regional de concepção clássica. A sua utilização pelos países Sul-americanos foi recomendada em 1969 através da aprovação do relatório final do Grupo de Trabalho sobre o Datum Sul-americano, pelo Comitê de geodésia reunido na XI Reunião Pan-americana de Consulta sobre Cartografia, recomendação não seguida pela totalidade dos países do continente. Apenas em 1979 ele foi oficialmente adotado como sistema de referência para trabalhos geodésicos e cartográficos desenvolvidos em território brasileiro.

O Projeto do Datum Sul-Americano foi dividido em duas partes:

- 1) Estabelecimento de um sistema geodésico tal que o respectivo elipsoide apresentasse “boa adaptação” regional ao geoide.
- 2) Ajustamento de uma rede planimétrica de âmbito continental referenciada ao sistema definido.

A triangulação foi a metodologia observacional predominante no estabelecimento das novas redes. Uma rede de trilateração HIRAN fez a ligação entre as redes geodésicas da Venezuela e Brasil. Outra melhoria a ser implementada diz respeito à forma do elipsoide de referência. Na época, a UGGI recomendou a utilização do GRS67, conduzindo, assim, à adoção desta figura no projeto SAD69, ao invés do Hayford. Escolhido o elipsoide de referência, era necessário fixar os parâmetros para o seu posicionamento espacial. No caso do SAD69 este posicionamento se deu em termos de parâmetros topocêntricos no ponto

origem Chuá: as componentes do desvio da vertical (ξ, η) e a ondulação geoidal (N), cujos valores foram determinados de forma a otimizar a adaptação elipsoide-geoide no continente.

A definição do sistema foi complementada através do fornecimento das coordenadas geodésicas do ponto origem e do azimute geodésico da direção inicial Chuá-Uberaba. Em consequência das limitações impostas pelos meios computacionais da época, a rede brasileira foi dividida em 10 áreas de ajuste, que foram processadas em blocos separados. Os seguintes parâmetros foram adotados na definição deste Sistema:

- Superfície de referência: elipsoide Internacional de 1967(UGGI67).

Semi-eixo maior: 6378160 metros

Achatamento: 1/298.25

- Zonto datum: Vértice Chuá.

Coordenadas geodésicas:

latitude 19° 45' 41".6527 S

longitude 48° 06' 04".0639 W

Azimute (Chuá – Uberaba) 271° 30' 04".05

- Altitude ortométrica:

763.28

- Orientação elipsoide-geoide no ponto datum:

$$\xi=0.31 \quad \eta=-3.52 \quad N=0 \text{ m}$$

Procedimentos de Densificação do SAD69

A rede planimétrica continental do SAD69 foi ajustada pela primeira vez na década de 60. Neste ajustamento, cadeias de triangulação de vários países tiveram seus dados homogeneizados, adotando-se o mesmo tratamento. Em função da extensão da rede e das limitações computacionais da época, fez-se necessário dividir o ajustamento por áreas. Optou-se, então, pelo método de ajustamento conhecido por “piece-meal”, no qual uma vez ajustada uma determinada área, as estações das áreas adjacentes, comuns à ajustada, são mantidas fixas, de modo que cada estação da rede só tenha um par de coordenadas correspondente.

Este procedimento foi mantido pelo IBGE no processo de densificação da rede planimétrica após a conclusão do ajustamento em SAD69. Esta metodologia de densificação foi uma das causas do acúmulo de distorções geométricas (escala e orientação) na rede planimétrica. Em alguns trechos da rede as reduções das observações geodésicas ao

elipsoide foram aplicadas através de dados obtidos por mapas geoidais pouco precisos, pois eram os únicos existentes na época. Outro fato que não pode ser ignorado é a diversidade de instrumentos e métodos utilizados no decorrer do estabelecimento da rede, tornando complexa a análise da precisão das coordenadas das estações.

Tendo em vista todos os fatos abordados, aliados aos avanços tecnológicos emergentes, constatou-se a necessidade de um reajustamento da rede, desta vez de forma global, abrangendo todas as observações disponíveis até então. Como o SAD69 é o referencial oficialmente adotado no Brasil, neste reajustamento foram mantidos os mesmos parâmetros definidores e injunções iniciais do primeiro ajustamento. Sendo assim, forçosamente deve-se manter a mesma denominação para o sistema de referência SAD69 na sua nova materialização após o reajustamento.

SAD69 – realização 1996

O IBGE, através do Departamento de Geodésia, possui a atribuição de estabelecer e manter as estruturas geodésicas no Brasil. Muitas mudanças ocorreram na componente planimétrica na última década. A começar pela utilização da técnica de posicionamento através do sistema de satélites GPS, ampliando sua concepção 'planimétrica', pois são estabelecidas simultaneamente as três componentes definidoras de um ponto no espaço. Esta alteração nos procedimentos de campo repercutiu no processamento das respectivas observações, acarretando a necessidade de conduzir ajustamentos de redes em três dimensões. Isso foi alcançado, no caso do reajustamento global da rede brasileira, com a utilização do sistema computacional GHOST, desenvolvido no Canadá para o Projeto *North American Datum of 1983 (NAD-83)*.

Além das observações GPS, as referentes à rede clássica também participaram do reajustamento, formando uma estrutura de 4759 estações contra 1285 ajustadas quando da definição do SAD69. A tabela da "figura 14" mostra uma comparação entre as observações utilizadas no ajustamento das duas materializações do SAD69 (a original e a atual, concluída em 1996).

observações	SAD69 materializaçã o original	SAD69 Materialização 1996
Estação fixa	1 (Chuá)	1 (Chuá)
Nº de linhas de base	144	257 (triangulação) 1270 (poligonação)
nº de estações astronômicas	144	389
nº de direções horizontais	6865	16907
Nº de linhas de base GPS	-	1182
nº de posições injuncionadas (DOPPLER)	-	179

Figura 14: Tabela com observações utilizadas no ajustamento da materialização original do SAD69 e na materialização de 1996.

O reajustamento concluído em 1996 combinou duas estruturas estabelecidas independentemente por diferentes técnicas. A ligação entre elas é feita através de 49 estações da rede clássica observadas por GPS. A rede GPS (por ser uma estrutura de precisão superior) tem por função controlar a rede clássica. Algumas observações Doppler também foram incluídas no ajustamento com este objetivo.

Uma informação importante fornecida pelo reajustamento foi o erro absoluto ou o desvio padrão das coordenadas. Na tabela da figura 15, são apresentados valores médios dos erros das coordenadas (segundo a estrutura à qual pertence a estação correspondente), obtidos após o reajustamento. Hoje em dia, todos os usuários que solicitam informações ao BDG (Banco de Dados Geodésicos) do IBGE recebem, além das coordenadas das estações, os seus respectivos erros.

Precisão	Estações GPS	Estações da rede clássica
Planimétrica (horizontal)	10 cm	40 a 70 cm
Altimétrica (vertical)	10 a 30 cm	-

Figura 15: Tabela com valores médios dos desvios padrão das coordenadas após o reajustamento.



VOCÊ SABIA?

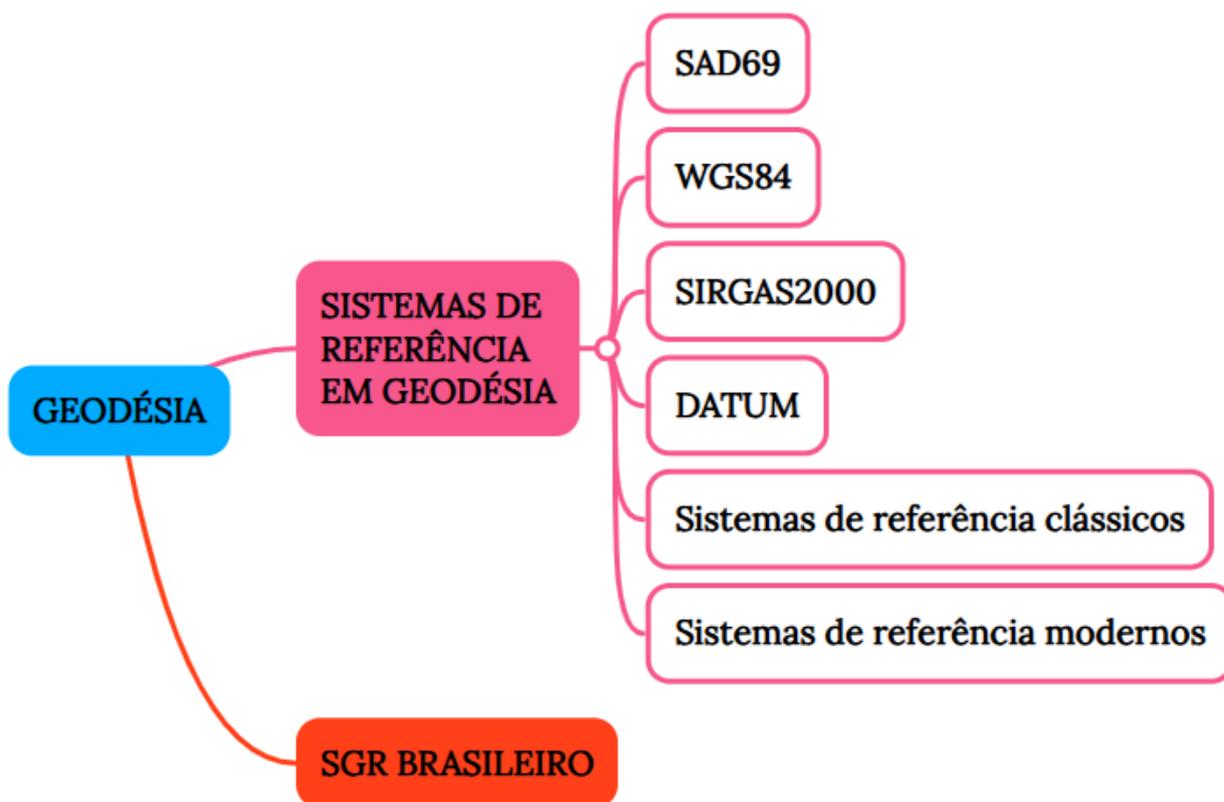
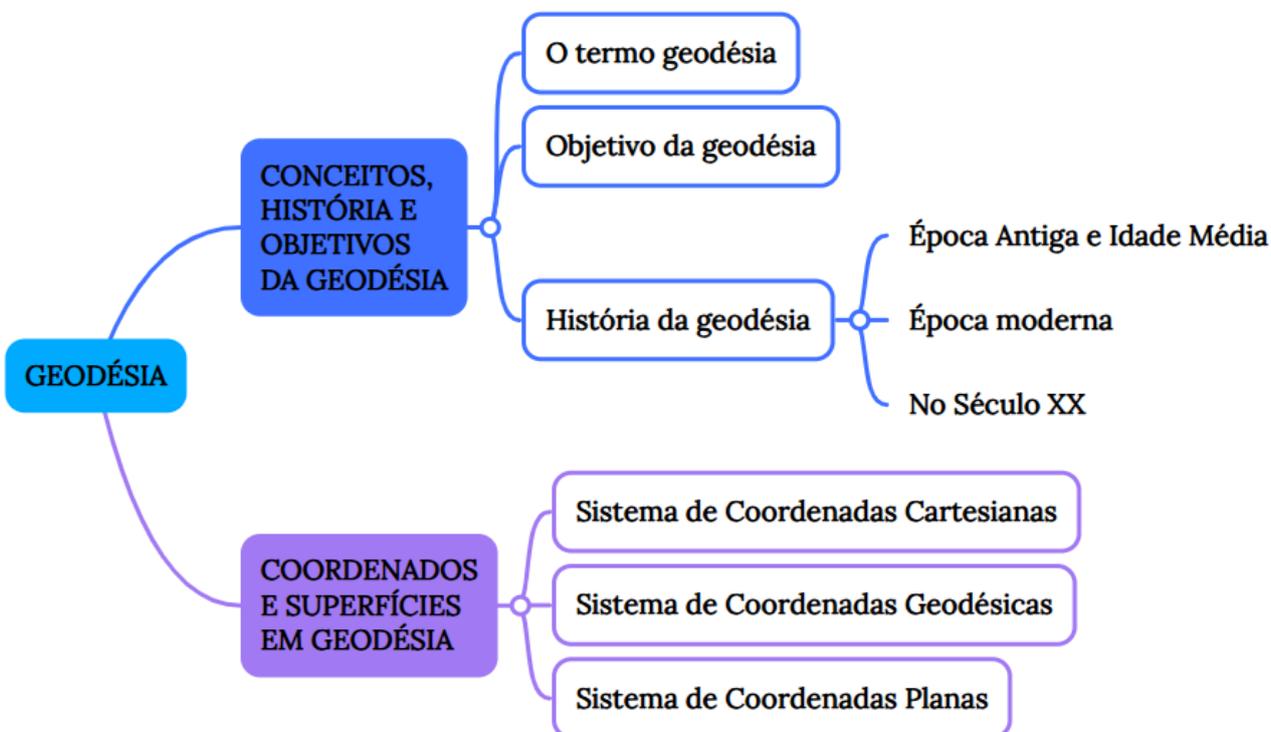
Um Sistema Geodésico de Referência (SGR), do ponto de vista prático, permite que se faça a localização espacial de qualquer feição sobre a superfície terrestre. O SGR é definido a partir da adoção de um elipsoide de referência, posicionado e orientado em relação à superfície terrestre.

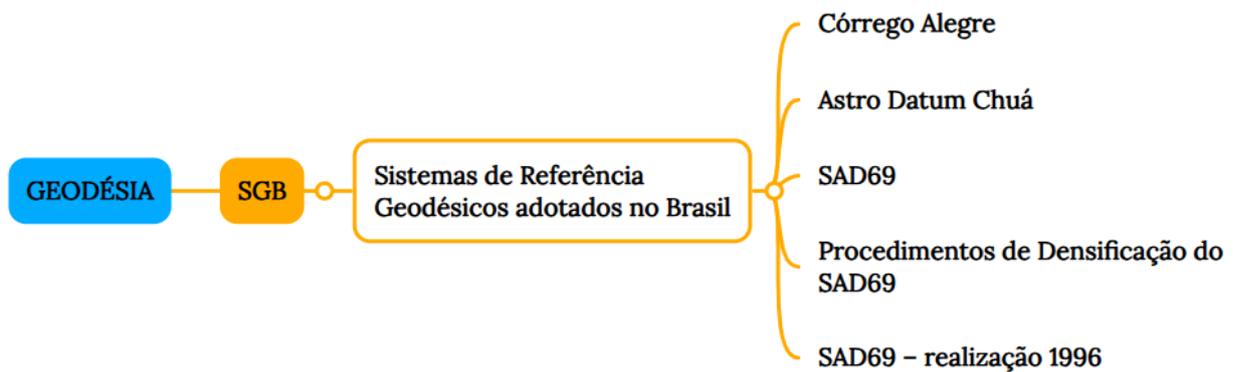
A evolução tecnológica propiciou o melhoramento dos diversos SGR's existentes, tanto no aspecto de definição quanto no de realização do sistema (a definição do SGR caracteriza-se por um conjunto de convenções junto a um elipsoide ajustado às dimensões da Terra e devidamente orientado, já por realização entende-se um conjunto de pontos implantados sobre a superfície física da Terra com coordenadas conhecidas). Sob este ponto de vista, tanto as instituições e empresas voltadas à produção cartográfica quanto os usuários de dados georreferenciados utilizam informações baseadas nos diferentes sistemas de referência e suas realizações que coexistem no Brasil.

Logo, é de extrema importância o conhecimento das características e restrições de cada um destes sistemas.

Sessões Especiais

MAPA DE ESTUDO





SÍNTESE DIRETA

1. INTRODUÇÃO

- Definição clássica da **Geodésia**: ciência que estuda a forma e dimensões da Terra.
- O problema geodésico como questão geométrica e definição de sistemas de coordenadas.
- Diferença entre:
 - ✓ **Superfície Topográfica** (terreno real).
 - ✓ **Geoide** (superfície equipotencial do campo gravitacional terrestre).
- Importância das **coordenadas geodésicas** para os **Sistemas de Informação Geográfica (SIG)**.

2. CONCEITOS, HISTÓRIA E OBJETIVOS DA GEODÉSIA

- **Termo Geodésia:**
 - ✓ Usado pela primeira vez por Aristóteles.
 - ✓ Origem na divisão da terra para proprietários.
- **Definição clássica de Helmert:**
 - ✓ Estudo da forma, superfície e campo gravitacional da Terra.
- **Objetivo da Geodésia:**
 - ✓ Fornecer referência geométrica para diversas aplicações (cartografia, navegação, engenharia, planejamento urbano, programas espaciais).
- **História da Geodésia:**
 - ✓ **Época Antiga e Idade Média:** Surgimento com agrimensores romanos e gregos (Heron de Alexandria, Eratóstenes).
 - ✓ **Época Moderna:** Invenção da triangulação por Snellius (1617).

- ✓ **Século XX:** Avanços com uso de satélites e computação.

3. COORDENADAS E SUPERFÍCIES EM GEODÉSIA

- **Sistemas de Coordenadas:**
 - ✓ **Cartesianas:** Definidas por três eixos perpendiculares (X, Y, Z).
 - ✓ **Geodésicas:** Latitude e longitude referenciadas ao elipsoide.
 - ✓ **Planas:** Representação bidimensional para mapas (exemplo: UTM).
- **Superfícies de Referência:**
 - ✓ **Geoide:** Representação equipotencial próxima ao nível do mar.
 - ✓ **Elipsoide:** Modelo matemático aproximado da Terra.

4. SISTEMAS DE REFERÊNCIA EM GEODÉSIA

- **Principais sistemas utilizados:**
 - ✓ **SAD69:** Utilizado na América do Sul, substituído pelo **SIRGAS2000**.
 - ✓ **WGS84:** Sistema global utilizado no GPS.
 - ✓ **SIRGAS2000:** Adotado oficialmente no Brasil, compatível com WGS84.
- **O que é um Datum?:**
 - ✓ Modelo matemático teórico que define o ponto de referência para medições geográficas.
 - ✓ Exemplos: NAD27, NAD83, SAD69, WGS84.

5. SGR BRASILEIRO (SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA)

- **Principais sistemas de referência adotados no Brasil:**
 - ✓ **Córrego Alegre:** Primeiro sistema geodésico brasileiro.
 - ✓ **Astro Datum Chuá:** Utilizado como referência para a criação do SAD69.
 - ✓ **SAD69:** Ajustado para melhor adaptação ao geoide sul-americano.
 - ✓ **SIRGAS2000:** Sistema geocêntrico adotado oficialmente no Brasil.

6. PROCEDIMENTOS DE DENSIFICAÇÃO DO SAD69

- **Ajustes na rede geodésica:**
 - ✓ Necessidade de subdivisão do Brasil em áreas de ajuste devido às limitações computacionais da época.
 - ✓ Acúmulo de distorções geométricas devido a métodos antigos de densificação.
- **Reajustamento em 1996:**

- ✓ Inclusão de observações de GPS para maior precisão.
- ✓ Ajuste global utilizando novas técnicas computacionais.
- ✓ desenhos.

MOMENTO QUIZ

1. Sobre geodésia é **CORRETO** afirmar:

- a) Coordenadas geodésicas constituem o vínculo natural entre os diferentes sistemas de projeção cartográfica, mas que não ficam disponíveis num Sistema de Informação Geográfica (SIG).
- b) 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.
- c) SIG é uma sigla muito utilizada em geodésia, a qual significa: Sistema de Informação Geodésica.
- d) Para fins práticos, a geodésia pode ser definida como um sistema de ordenadas.
- e) As informações armazenadas na base de dados de um SIG não se referem usualmente a uma certa projeção cartográfica.

2. O que utilizamos para descrever as posições de objetos?

- a) Os sistemas de bússola.
- b) Os sistemas lunares.
- c) Os sistemas solares.
- d) Os sistemas de referência.
- e) Os sistemas de reflexos.

3. Um sistema coordenado cartesiano no espaço 3-D é caracterizado por um conjunto de três retas (x, y e z), denominados de eixos coordenados, mutuamente perpendiculares. Ele, associado a um Sistema de Referência Geodésico, recebe a denominação de Sistema Cartesiano Geodésico (CG).

Sobre esses eixos coordenados é **INCORRETO** afirmar:

- a) O eixo X coincidente ao plano equatorial, positivo na direção de longitude 0° .
- b) O eixo Y coincidente ao plano equatorial, positivo na direção de longitude 90° .
- c) O eixo Z é paralelo ao eixo de rotação da Terra e positivo na direção norte.
- d) A origem desses eixos está localizada no centro de massas da Terra (geocentro), as coordenadas são denominadas de geocêntricas, usualmente utilizadas no posicionamento à satélites.
- e) Os eixos X, Y e Z são paralelos a linha do equador.

6. Dos exemplos abaixo assinale a alternativa que NÃO corresponde a um Sistema de Referência Geodésica:

- a) SAD69.
- b) WGS84.
- c) SIRGAS2000.
- d) Datum73.
- e) SIGMA2020.

7. Quais dos exemplos abaixo NÃO corresponde a um instrumento geodésico?

- a) Baliza.
- b) Bússola.
- c) Câmara métrica.
- d) Câmara aereofotogramétrica.
- e) Câmera fotográfica.

Gabarito

QUESTÃO	ALTERNATIVA
1	B
2	D
3	E
4	E
5	E

Referências

FONTANA, Sandro. GPS. Editora Mercado Aberto. 2009.

MONICO, João Francisco Galera. Posicionamento pelo GNSS - Descrição, Fundamentos e Aplicações. 2ª ed. Editora UNESP. 2008.

RAMOS, Djacir. Geodésia na Prática. 4ª ed. Editora UFPR. 2006.

GEMAEL, Camil. Introdução a Geodésia Física. 1ª ed. Editora UFPR. 1999.

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.

GEMAEL, C.. *A Evolução da geodésia*, Revista Brasileira de Cartografia, No 46/1995.

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.



OBRIGADO!
CONTINUE ESTUDANDO.



Ineprotec