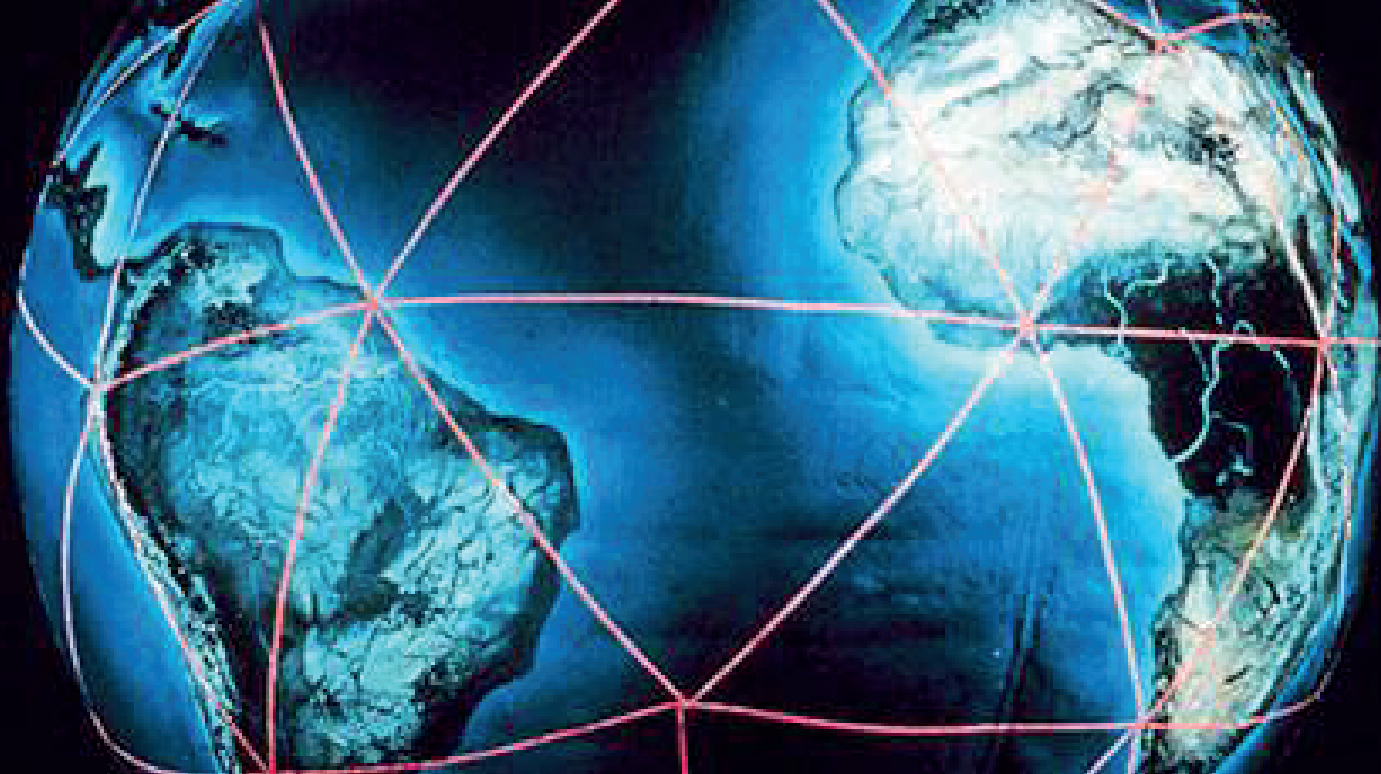




TÉCNICO EM **AGRIMENSURA**

Módulo III

Geodésia



INSTITUTO DE ENSINO PROFISSIONALIZANTE E TÉCNICO



Quadra 101, Conjunto 2, Lote 01, Sobreloja
Recanto das Emas, Brasília/DF

61 **3082.1060**

ineprotec.com.br

GEODÉSIA - I



Ficha Técnica

Tutor Responsável - Willen Wily

Capa / Diagramação - Gabriel Araújo Galvão

Elaboração - Brunna Francinete da Silva Cruz



Índice

Esboço Histórico	05
Introdução	08
Conceitos e Definições	10
Sistemas Geodésicos.....	15
Sistemas de Coordenadas em Geodésia.....	17
Sistemas de Projeções Cartográficas.....	19
Referências Bibliográficas.....	23

1. Esboço Histórico

A curiosidade do homem primitivo levou-o a se interessar pelo planeta em que vivia. Fenômenos que observava em torno de si, com temor ou medo, originaram várias superstições, ritos e cultos. Essas observações motivaram-no a uma melhor compreensão dos eventos e delas resultaram diversas culturas e civilizações, que por sua vez adquiriram profundidade admirável na compreensão de fenômenos naturais, esta deixada na forma de monumentos, templos e cidades. Esses fenômenos naturais estão frequentemente relacionados com a forma, as dimensões, o campo de gravidade da terra e suas variações temporais e, para entendê-los eram evocados alguns conhecimentos geodésicos.

Durante muitos séculos, os únicos meios disponíveis para o estudo da geometria da Terra foram observações ao Sol, à Lua, às estrelas e aos planetas, ou seja, observações astronômicas. Assim, as primeiras descobertas geodésicas basearam-se em conhecimentos astronômicos. Embora haja poucos registros históricos sobre as realizações geodésicas das civilizações antigas atualmente, há várias indicações de que elas realizaram observações muito precisas dos movimentos básicos da Terra.

1.1 AS PRIMEIRAS IDÉIAS SOBRE A FORMA DA TERRA

A história da geodesia começa realmente pelos primeiros relatos documentados na era grega. Naquela época a Geodésia era uma ciência que desafiava os intelectuais, fazendo com que alguns dos maiores nomes da história dedicassem a ela parte das suas energias.

“As primeiras ideias sobre a forma da Terra surgiram na época de Tales de Mileto” (625 – 547 a.C.), reconhecido como o fundador da trigonometria. Para ele a Terra tinha a forma de um disco e flutuava num oceano infinito. Já para seu contemporâneo, Anaximander de Mileto (611 – 545 a.C.) a terra tinha o formato de um cilindro orientado na direção este-oeste. Este foi o primeiro a utilizar o conceito de Esfera Celeste, ideia que atravessou os séculos e ainda hoje utilizada em Astronomia de Posição. Anaximenes (601 – 532 a.C.), discípulo de Anaximander discordava de tales dizendo que a terra flutuava num oceano finito, mantido no espaço por ar comprimido.

A ERA DA FORMA ESFÉRICA

A escola de Pitágoras (580 – 500 a.C.) foi a primeira a acreditar na esfericidade da terra, ideia que prevale-

ceu por dois milênios e meio. As primeiras alusões sobre a atração gravitacional provavelmente são de Aristóteles (384 – 322 a.C.), que também apresentou os primeiros argumentos plausíveis da esfericidade terrestre, que são:

- Contorno circular da sombra da Terra projetada durante os eclipses lunares.
- Diferença de horário na observação do mesmo eclipse entre observadores em dois meridianos diferentes.
- Variação do aspecto do céu estrelado com a latitude.

Com a aceitação da esfericidade terrestre, surgiram as coordenadas esféricas, usadas pela primeira vez por Dicaerchus (353 – 285 a.C.) no final do século III numa compilação atualizada do mapa-múndi que continha informações sobre o sul da Ásia conquistada por uma expedição militar de Alexandre Magnus. Os progressos em Astronomia nessa época estavam relacionados aos trabalhos de Aristarco (310 – 250 a.C.) sobre a determinação das distâncias e dimensões da Lua e do Sol. Cerca de meio século mais tarde, Eratóstenes (276 – 194 a.C.), considerado o precursor da Geodésia, realizou o primeiro trabalho realmente científico na determinação das dimensões da Terra. O método utilizado por Eratóstenes, exemplificado na figura 1.1, consistiu em medir o arco de meridiano “s” por observações geométricas e medir o ângulo “α” nas extremidades desse arco através de observações astronômicas. O cálculo do raio “R” terrestre a partir desses dados é obtido através de relações fundamentais da Geometria.

$$\frac{2\pi R}{s} = \frac{2\pi}{\alpha} \cdot R \frac{s}{\alpha}$$

Onde :

α = ângulo corresponde ao arco de meridiano, em radianos;

s = comprimento do arco de meridiano; e

R = raio da Terra.

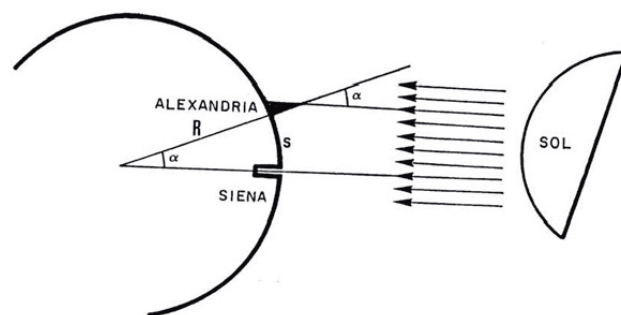


Figura 1.1

É fácil entender que quanto maior for o arco e mais precisa for à observação astronômica tanto mais preciso será o valor calculado para o raio terrestre. Eratóstenes sabia através de uma lenda que em Siena, atual Assuã, no solstício de verão o sol iluminava o fundo de um poço e, assim, situava-se próximo ao trópico de Câncer. A sua medição mostrou que em Alexandria, no mesmo horário, a direção da sombra de uma haste formava com a vertical um ângulo de $7^{\circ}12'$. Supondo Siena e Alexandria no mesmo meridiano, este correspondente ao ângulo central formado pelas duas verticais. A distância entre as duas cidades, conhecida na época de Eratóstenes, era 5000 estádios. Não se sabe ao certo se essa distância foi medida ou resultou da agrimensura realizada no Vale do Nilo. A distância zenital do Sol em Alexandria foi obtida por Eratóstenes com o auxílio de um gnômon e representa $1/50$ da circunferência. Admitindo-se para a estádia o comprimento de 157,5m, como lhe atribuem alguns autores (Fischer, 1975), obtêm-se para o comprimento da circunferência 39.375.000m e para o raio 6.266.726m. Considerando que Alexandria e Siena não estão no mesmo meridiano, que o sol naquela época não poderia iluminar exatamente o fundo de um poço na direção vertical em Siena e que o comprimento do arco foi medido por processos rudimentares, é surpreendente que o valor encontrado por Eratóstenes para o comprimento da circunferência seja muito próximo do que se conhece atualmente. O mérito de Eratóstenes está, sobretudo na metodologia utilizada, combinando observações astronômicas e geométricas para medir o raio terrestre. Hoje em dia os geodestas continuam utilizando o princípio idealizado por Eratóstenes, obviamente com instrumentos modernos para as medições de ângulos e distâncias, no posicionamento de alta precisão através da triangulação geodésica.

A triangulação foi utilizada pela primeira vez pelo astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546 – 1601) para estabelecer a ligação geodésica entre a ilha de Vem e as principais ilhas da Dinamarca. Como método de posicionamento, entretanto, a triangulação foi desenvolvida por Snélius (1591 – 1626), que também a usou na determinação do raio terrestre. Snélius desenvolveu uma cadeia formada por 33 triângulos com a qual obteve o comprimento de 9.660km para o comprimento de meridiano de um quadrante. Em 1660, surgiu a Academia de Ciências de Paris, tendo como um de seus objetivos principais a determinação do raio terrestre. A tarefa foi confiada a Picard (1620 – 1682) que, com base na triangulação desenvolvida entre Paris e Amiens, utilizando pela primeira vez

lunetas munidas de retículos, encontrou 10.009km para o comprimento de meridiano num quadrante. Este é o primeiro resultado realmente comparável com as medidas atuais tanto pela metodologia quanto pela precisão.

A ERA DA FORMA ELIPSOIDAL

O período decorrido entre Eratóstenes e Picard constitui a era esférica da geodésia, pois a Terra era considerada uma esfera e a determinação de suas dimensões consistia na determinação do raio a partir das observações.

A nova era se iniciou com as investigações teóricas de Newton (1642– 1727) e de seu contemporâneo Huygens (1629 – 1695) sobre a forma de equilíbrio hidrostático de um fluido em rotação. Ambos estavam convictos do achatamento polar da terra devido a sua rotação. Um dos argumentos experimentais de Newton, em favor de suas conclusões teóricas, foi o aumento do período nos relógios pendulares com o decréscimo da latitude, observado por Richter (1630 – 1696) e outros astrônomos na época. O achatamento polar, preconizado na teoria por Newton, estava em contradição com os trabalhos de Cassini (1625 – 1712) na medição de um arco de meridiano, que indicavam alongamento polar. Nesse trabalho Cassini prosseguiu com a triangulação de picar ao norte, até Dunquerque, e ao sul, até os Pirineus. Os resultados mostravam que o comprimento de um arco de meridiano decrescia junto com o aumento da latitude, o que indicava uma Terra alongada nos pólos. A contradição entre a teoria de Newton e as conclusões de Cassini originou a histórica polêmica entre as escolas que se formaram na Europa: os adeptos de uma Terra achatada e os adeptos de uma Terra alongada, vide figura 1.2. Para esclarecer essa contradição a Academia patrocinou a medição de dois arcos de meridianos: um próximo do equador, outro próximo ao ártico.

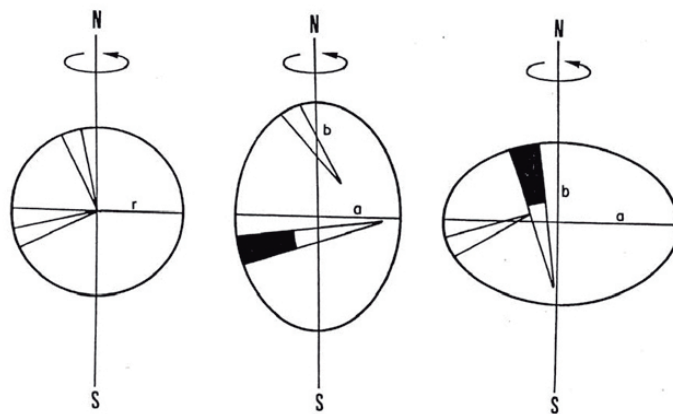


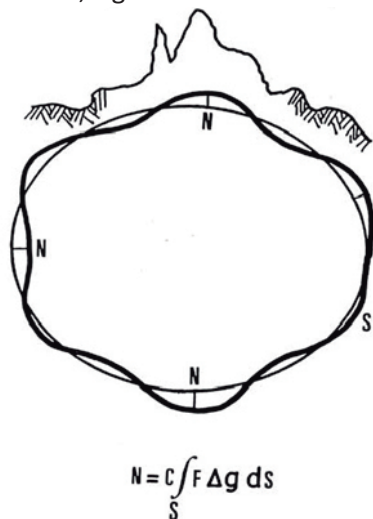
Figura 1.2

A expedição equatorial (1735 – 1744), formada por Bouguer, Godin, La Condamine e dois jovens oficiais espanhóis, foi enviada para o Peru, latitude 1°30' S. Este grupo mediu dois arcos de meridiano com aproximadamente 3° de amplitude e obteve num deles, para o arco de 1° o comprimento de 110.614m.

A expedição polar (1736 – 1737), formada inicialmente por Maupertuis, Camus, Célius e depois Clairaut, foi enviada para a Lapônia, latitude 66°20' N. Ao concluir os trabalhos, essa equipe obteve para o arco de 1° o comprimento de 111.948m o que confirmou a teoria de Newton sobre uma Terra achatada.

A ERA DA FORMA GEOIDAL

No início do século XIX vários cientistas de renome, tais quais Clairaut (1713 – 1765), Laplace (1749 – 1827), Gauss (1777 – 1855) e Bessel (1784 – 1846) lançaram as bases da nova teoria que atribui à Terra uma forma mais irregular e complexa do que aquela adotada pelo modelo elipsoidal. Inicialmente, surgiu a noção de superfícies equipotenciais e nos trabalhos de Clairaut e Laplace, depois surgiu a superfície equipotencial de nível zero (origem das altitudes) denominada superfície geoidal, proposta por Listing (1872). Os fundamentos teóricos para a apresentação do geóide foram desenvolvidos por Stokes (1819 – 1903) no seu famoso trabalho “On the Variation of Gravity and the Surface of the Earth”, no qual apresenta a fórmula para o cálculo das alturas geoidais a partir de anomalias gravimétricas, figura 1.3.



O diagrama mostra uma seção transversal da Terra com a superfície topográfica irregular no topo, a superfície geoidal (linha curva fechada) e a superfície elipsoidal (linha curva fechada mais interna). Pontos N e S são marcados na superfície geoidal. Abaixo do diagrama, a fórmula de Stokes é apresentada:

$$N = \frac{c}{g} \oint_S \Delta g \, ds$$

Figura 1.3.

O trabalho de Bruns (1878) denominado “The Earth’s Figure” representa o primeiro esforço direcionado

na integração de medidas geodésicas visando o posicionamento e a representação do campo de gravidade. Nessa época, Helmert (1843 - 1917) ocupava-se com a representação formal dos fundamentos matemáticos e físicos da Geodésia publicadas em seu livro “Mathematical and Physical Theory of Geodesy”. Em 1927, Vening Meinesz publicou as fórmulas para o cálculo das componentes do desvio vertical a partir de anomalias gravimétricas. Em 1945, surgiu o trabalho notável do geodesta soviético Molodenskii denominado “Basic Problems of Geodetic Gravimetry”, estabelecendo um novo meio de referência denominado quase-geóide.

Com o advento da era espacial em 1957 a geodésia passou a explorar as observações resultantes do rastreamento de satélites artificiais colocados em órbita da Terra tanto para o posicionamento quanto para o representação do campo de gravidade. A Geodésia por satélite, originada nessa época, pode ser dividida em três fases:

1) Desenvolvimento dos métodos Básicos: caracterizou-se basicamente pelo rastreamento ótico dos satélites e observação de direções através de câmaras fotográficas. Os resultados principais obtidos nessa fase foram a determinação dos coeficientes de baixo grau do geopotencial e os modelos terrestres obtidos pelo Smithsonian Astrophysical Observatory (SAO SE I e SAO SE II), e pelo Goddard Space Flight Center da NASA (Goddard Earth Models GEM). A Única rede global puramente geométrica foi implantada a partir de observações do satélite PAGEOS com câmara BC4.

2) Fase dos Projetos Científicos (1970 – 1980): várias técnicas de observação foram desenvolvidas e refinadas, particularmente no rastreamento de satélites através de raio laser e na altimetria por satélite. O sistema TRANSIT foi utilizado no posicionamento por geodestas explorando o efeito Doppler. Essa fase melhorou o posicionamento e proporcionou novos modelos terrestres (GEM10 e GRIM) mais precisos que os da fase anterior. As precisões das observações nessa fase possibilitaram a monitoração para estudos geodinâmica (rotação da Terra, movimentos dos polos, deformação crustal). O posicionamento através do rastreamento de satélites explorando o efeito Doppler foi intensamente utilizado em todo o mundo para a implantação e manutenção de redes geodésicas.

3) Fase Operacional (1980 em diante): as técnicas de posicionamento por satélite tornaram-se operacionais em Geodésia, Geodinâmica e nas aplicações rotineiras como levantamento de apoio básico para mapeamentos, navegação e etc. Os aspectos que mais se destacaram

nessa ase foram:

- O uso intensivo do posicionamento por satélite para e a substituição das técnicas convencionais, que começou com os primeiros resultados obtidos com o NAVSTAR Global Position System (GPS), proporcionando novas perspectivas para as mais diversas aplicações do posicionamento por satélite;
- A alta precisão obtida no posicionamento por satélite substituiu as técnicas astrométricas na monitoração da rotação da Terra, do polo e da crosta terrestre.

2. Introdução

Na segunda metade do século XX, a definição de Geodésia passou por três alterações que refletem a evolução científica e tecnológica do mundo moderno. Até a década de 1950, ela manteve-se na terminologia de Helmert (1880), que definiu a Geodésia como a ciência que estuda a forma e as dimensões da Terra. Mas, com o advento da era espacial, que se iniciou com o lançamento do primeiro satélite artificial em 1957, proporcionando informações globais do campo de gravidade até então desconhecidas dos geodestas, marcou uma nova fase da Geodésia que inclui na sua definição o estudo do campo de gravidade. Assim, na década de sessenta a Geodésia passou a ser definida como a ciência que estuda a forma, as dimensões e o campo de gravidade da Terra. Mas essa definição ainda não mensurava as variações temporais do posicionamento e do campo de gravidade que a instrumentação moderna podia detectar e a metodologia geodésica poderia estudar a partir da década de 1970. Isso levou os geodestas a uma nova modificação na qual a Geodésia recebeu a definição atual:

Geodésia é a ciência que estuda a forma, as dimensões, o campo de gravidade da Terra e suas variações temporais. Tal como ocorre com outras ciências, a Geodésia tem algumas subdivisões. A Geodésia clássica, por exemplo, pode, pode ser dividida em: Geodésia geométrica, Geodésia física, Geodésia matemática e Geodésia dinâmica. Mas, nos últimos tempos, surgiram novas aplicações e novas metodologias, originando várias especificações de Geodestas como, por exemplo, Geodésia Satélite, Geodésia inercial, Geodésia marinha, Geodésia espacial e até mesmo Geodésia vertical e Geodésia horizontal. Ainda que algumas designações pareçam razoáveis, a especificidade excessiva pode tornar-se inconveniente. Poderíamos chamar, por exemplo, o levantamento geodésico feito com teodolito de Geodésia teodolito? Por outro lado, se aceitar- mos a denominação Geodésia ver-

tical, por que não a Geodésia oblíqua? Nessa diversidade de Geodestas, não é surpreendente que muitos usuários e até mesmo geodestas estejam perdidos e confusos. Para alguns geodestas (Vanícek & Krakiwsky, 1986), a síndrome de tantas Geodestas tem reflexos na falta de interesse pela própria ciência. Além disso, não se pode negar que são os geodestas os maiores responsáveis por este estado de confusão conceitual. Seja como for, o fato é que em algumas partes do mundo a Geodésia está sendo mistificada, enquanto que em outras partes ela vem sendo considerada irrelevante. Nenhum destes extremos é salutar para uma ciência.

A solução para esses problemas pode ser alcançada atribuindo-se à Geodésia as suas funções primordiais. Isso pode ser feito ao mesmo tempo através de uma definição de Geodésia que seja ao mesmo tempo geral e concisa. Essa ideia (Vanícek & Krakiwsky, 1986) conduz a uma subdivisão em três disciplinas fundamentais, contidas na própria definição de Geodésia:

- O posicionamento;
- O campo de gravidade;
- As variações temporais de ambos.

Com essa divisão conceitual da Geodésia evita-se o aparecimento de subdivisões artificiais inúteis no contexto primordial da Geodésia como ciência.

O posicionamento de pontos na superfície terrestre constitui o objetivo principal da Geodésia, tal como a entende uma grande parte da comunidade. Os pontos podem ser posicionados individualmente ou como parte de redes constituídas por grandes quantidades de pontos. Estas alternativas conduzem ao posicionamento absoluto (onde a posição é definida a partir de um sistema de coordenadas) ou ao posicionamento relativo (onde a posição é definida a partir de outros pontos da rede). Mas, o posicionamento pressupõe o conhecimento da geometria do campo de gravidade para a redução das observações geodésicas, obtidas na superfície física da Terra (espaço físico), ao sistema de referência sobre o qual as posições são definidas (espaço geométrico). Isso significa que o conhecimento do campo de gravidade é imprescindível para a Geodésia.

As variações temporais que ocorreram no posicionamento de campos no campo de gravidade da Terra resultam das deformações relacionadas com as marés terrestres, as cargas crustais, as forças tectônicas, e outras forças que constituem fenômenos ainda desconhecidos. Enquanto a Geodésia estuda a geometria dessas deformações, a geofísica estuda suas causas e as implicações no conhecimento da estrutura e das propriedades físicas da Terra.

2.1 APLICAÇÕES DA GEODÉSIA

Durante séculos, o papel da Geodésia foi basicamente servir ao mapeamento, o que muitas pessoas ainda consideram como o seu objetivo principal. Mas, atualmente a restrição da Geodésia ao posicionamento de pontos para o controle do mapeamento é incorreta. Ainda que uma parte considerável dos dados fornecidos pela Geodésia esteja associada ao apoio cartográfico, uma parte igualmente considerável não está. Algumas aplicações geodésicas importantes são:

MAPEAMENTO

A implantação do apoio básico através de pontos de controle horizontais e verticais para a produção de mapas nacionais (pequenas escalas) ou municipais (grandes escalas) constituiu uma atividade geodésica imprescindível.

PROJETOS DE ENGENHARIA

A construção de grandes estruturas tais como barragens, pontes e fábricas envolvem o assentamento de componentes estruturais em locais pré-determinados. Para isso, são utilizadas as coordenadas vinculadas a pontos de controle. Muitas vezes são necessários estudos do movimento do solo e do nível da água antes e durante os trabalhos. A construção de barragens, túneis de água, projetos, entre outros envolve o conhecimento da forma das superfícies equipotenciais do campo de gravidade. A monitoração de estruturas e a determinação de superfícies são também trabalhos geodésicos.

ADMINISTRAÇÃO URBANA

Nas áreas urbanas, as obras realizadas pelo homem tais como serviços de utilidade pública devem ser definidos e documentados através de pontos de controle para futuras referências.

DEMARCAÇÃO DE FRONTEIRAS

A definição de fronteiras internacionais e nacionais é realizada através do posicionamento geodésico. Atualmente, tornou-se importante a rapidez e a precisão com que esses trabalhos são realizados nas demarcações de áreas para arrendamento mesmo nas regiões remotas e inóspitas como, por exemplo: na Região Ártica, no

Mar do Norte e selvas continentais. O posicionamento e a demarcação dessas fronteiras são mais econômicas através das redes de pontos, que constituem redes geodésicas

ECOLOGIA

Nas últimas décadas, vem sendo reconhecida a necessidade de estudos sobre os efeitos da ação do homem no meio em que vivemos. Um desses efeitos é a movimentação do solo causada pela remoção de recursos minerais (água, óleo, minério) ou depósitos subterrâneos de lixo. A monitoração desses movimentos de matéria também é uma aplicação geodésica importante.

ADMINISTRAÇÃO AMBIENTAL

A implantação de bancos de dados ambientais, visando um sistema integrado de informações para transporte, uso da Terra, serviços comunitários e sociais, cobranças de impostos, estatística populacional, entre outros, devem ter suas posições vinculadas a redes geodésicas.

GEOGRAFIA

Todas as informações posicionais usadas em Geografia são fornecidas pela Geodésia. Ainda que não seja necessário a alta precisão nas informações geométricas e posicionais, elas têm escalas global e por isso são fornecidas pela Geodésia.

2.2 RELAÇÃO DA GEODÉSIA COM OUTRAS CIÊNCIAS

As aplicações geodésicas atualmente transcendem o posicionamento de pontos para o apoio cartográfico e diversificam-se através de novas metodologias. A Geodésia se entrelaça com outras ciências na troca recíproca de informações. Por exemplo:

GEOFÍSICA

Historicamente, é a ciência que tem maior afinidade com a Geodésia. Em muitos temas, não há uma linha divisória perfeitamente nítida que separa uma da outra. Os estudos geofísicos relacionados com a deformação terrestre envolvem posicionamento e parâmetros geométricos de alta precisão, fornecidos pela Geodésia. As técnicas geodésicas vêm sendo usadas com sucesso

há mais de uma década na monitoração dos movimentos tectônicos (Savage e Burford, 1973) e nos estudos da Geodinâmica contemporânea (Vanicek, 1977).

O campo de gravidade é uma fonte de informações usadas tanto em Geodésia teórica como aplicada. Em Geofísica, os dados gravimétricos são importantes para estudar a distribuição da massa terrestre sobretudo na crosta e no manto. Em Geodésia, eles são usados no estudo da geometria do campo. Isto significa que ambas as ciências estão igualmente interessadas na medição e no processamento de dados do campo de gravidade (Gravimetria). As variações temporais do campo de gravidade fornecem informações sobre os movimentos verticais da crosta, atualmente estudados no contexto da Geodinâmica. A Geofísica, por sua vez, explica a reação física da Terra sob a ação de forças, as variações de densidade no seu interior e os efeitos da estrutura interna nos seus movimentos. Essas informações são necessárias na escolha de modelos matemáticos de interesse geodésico.

CIÊNCIAS ESPACIAIS

A interação da Geodésia com as Ciências Espaciais ocorre de várias maneiras. Há interesse comum no conhecimento da geometria do campo gravitacional para a descrição do movimento orbital de veículos espaciais. O posicionamento das estações rastreadoras permanentes, por requerer alta precisão, é fornecido pela Geodésia. Por outro lado, as Ciências Espaciais vêm desenvolvendo poderosos sistemas de posicionamento através de satélites artificiais que ampliam as potencialidades da metodologia geodésica tradicional. A análise dos elementos orbitais dos satélites próximos da Terra fornecem atualmente a melhor representação global do campo de gravidade, incluindo o achatamento, e o rastreo de sondas distantes constitui a técnica mais apropriada para a determinação da massa terrestre.

ASTRONOMIA

É a ciência com a qual a Geodésia interage desde o seu nascimento. Ainda que a independência tenha diminuído nos últimos tempos, a Astronomia de posição ainda é uma aliada importante da Geodésia. No futuro certamente haverá maior interação através da Radio Astronomia e da monitoração da rotação da Terra.

OCEONOGRAFIA

É outra ciência com a qual a Geodésia compartilha interesses. Ambas estando envolvidas com o movimento da linha costeira. A Geodésia fornece aos oceanógrafos a altitude relativa nos marégrafos e seus movimentos verticais, o posicionamento de objetos marinhos incluindo navios e blocos de gelo. Entre os dados oceanográficos de interesse geodésico estão a dinâmica da superfície oceânica, as variações do nível médio do mar em relação à equipotencial do campo de gravidade, necessária na definição do DATUM vertical.

GEOLOGIA

O mapeamento geológico envolve tanto o apoio horizontal como o vertical, fornecidos pela Geodésia. Entre as informações de interesse para os geodestas, fornecidas pela Geologia, estão a morfologia e a estabilidade locais de diferentes formações geológicas. A estabilidade é um requisito imprescindível tanto na monumentação do apoio geodésico básico para o mapeamento como na instalação de observatórios.

3. Conceitos e Definições

A Geodésia tem como objetivos principais o posicionamento de pontos e a representação do campo de gravidade da Terra, incluindo as suas variações temporais. A complexidade da geometria e da distribuição da massa terrestre conduzem a utilização de dois modelos: o elipsoidal e o geoidal, vide figura 3.1.

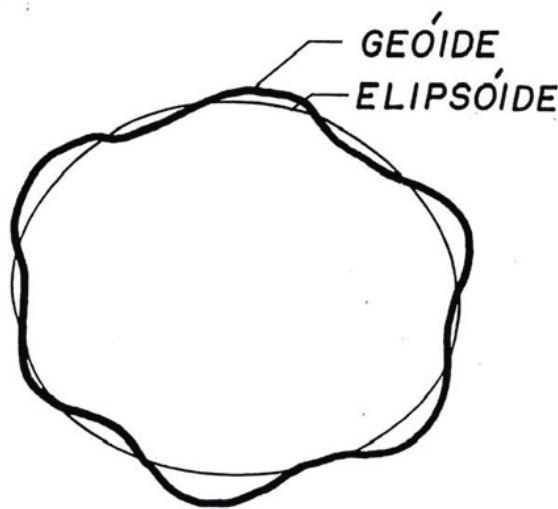


Figura 3.1

Isto significa que a determinação das coordenadas de pontos na superfície terrestre e a descrição do campo de gravidade externo envolvem três superfícies: a superfície física da Terra, a superfície geoidal e a superfície elipsoidal, exemplificadas na figura 3.2.

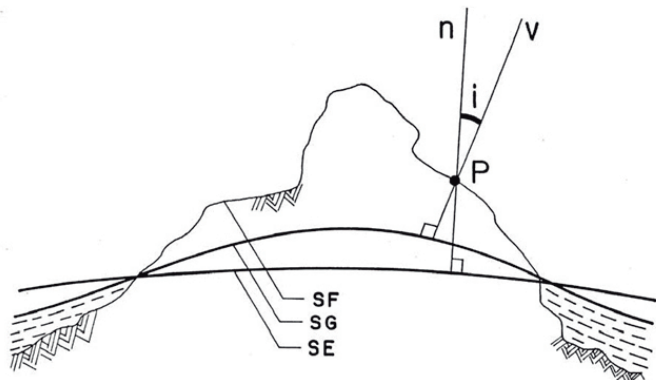


Figura 3.2

SUPERFÍCIE FÍSICA DA TERRA (SF)

É a superfície limitante do relevo topográfico continental ou oceânico. É sobre ela que são realizadas as medições geodésicas de distâncias, de ângulos, entre outras.

SUPERFÍCIE GEOIDAL (SG)

É a equipotencial que coincide com o nível médio dos mares não perturbados. Esta é a superfície que teoricamente passa pelos pontos de altitude nula, determinados pelos marégrafos.

SUPERFÍCIE ELIPSOIDAL (SE)

É a equipotencial limitante do elipsóide adotado. As observações geodésicas, obtidas na superfície física da Terra, são reduzidas à superfície elipsoidal para todos os cálculos geodésicos. A superfície geoidal proporciona a definição do geóide, que é um elemento importante em Geodésia.

GEÓIDE

É a forma geométrica limitada pela superfície geoidal.

VERTICAL DE PONTO (v)

É a linha de força do campo de gravidade da Terra real que passa pelo ponto. Na prática, a vertical é a tangente à linha de força no ponto considerado.

NORMAL DE UM PONTO (n)

É a linha de força do campo de gravidade da Terra normal ou teórica que passa pelo ponto. Na prática, a vertical é a tangente à linha de força no ponto considerado.

3.1 COORDENADAS CARTESIANAS GEOCÊNTRICAS

O sistema cartesiano geocêntrico (X,Y,Z), também conhecido como sistema terrestre convencional é representado na figura 3.3, e definido do seguinte modo:

- Origem **O** coincide com o centro de massa da Terra;
- Eixo **Z** orientado para o Conventional International Origin (CIO), conforme definição do International Service of Polar Motion (ISPM);
- Eixo **X** contido no plano do meridiano médio de Greenwich; e
- Eixo **Y** orientado a 90° do eixo **X**.

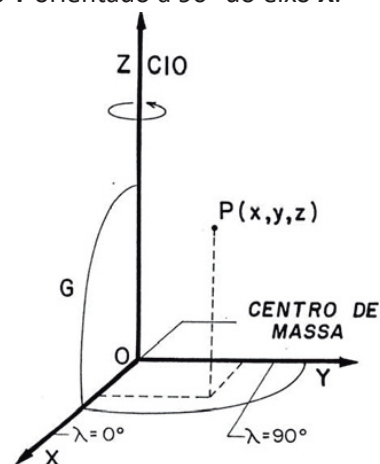


Figura 3.3

Neste sistema, as coordenadas (x, y, z) de um ponto da superfície terrestre são invariáveis para a Terra rígida e sem movimentos da crosta.

3.2 COORDENADAS ASTRONÔMICAS

O posicionamento geodésico convencional não pode ser dissociado das observações astronômicas. A

orientação de uma triangulação se faz através dos pontos nos quais se determinam as coordenadas astronômicas e o azimute de uma direção. A definição das coordenadas astronômicas envolve os conceitos de esfera celeste, paralelos e meridianos.

ESFERA CELESTE

É a esfera ideal de raio infinito centrada no geocentro, sobre a superfície da qual se projetam todos os astros, com girando aparentemente (devido à rotação da Terra) de leste para oeste, arrastando consigo todos os corpos celestes, figura 3.4.

Nas noites estreladas, temos dela uma impressão quase real quando assistimos ao espetáculo deslumbrante de uma abóbada negra, salpicada de pontos brilhantes, deslocando-se do nascente para o poente.

Os problemas nos quais se usa Astronomia de campo não envolvem a distância dos astros ao centro da esfera, envolvem apenas as direções segundo as quais eles são vistos, o que permite considerá-los a igual distância da Terra.

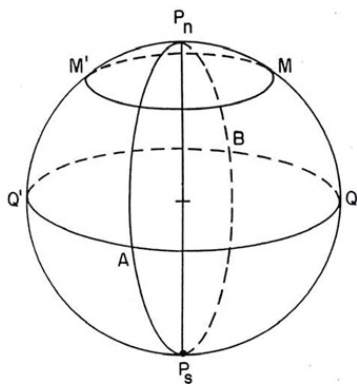


Figura 3.4

EIXO DO MUNDO

É a reta imaginária PnPs (figura 3.4) resultante do prolongamento do eixo de rotação da Terra, entorno do qual se processa o movimento aparente de rotação da esfera celeste.

POLOS CELESTES

São os dois pontos da esfera celeste (figura 3.4) diametralmente opostos definidos pelo eixo do mundo. Um é o polo norte Pn, boreal ou ártico, outro é o polo sul Ps, austral ou antártico.

Nenhum dos astros conhecidos materializa exatamente os polos. A estrela Umi (Polaris) é a que está mais próxima (1°) do polo norte e a estrela 6 Oct (6^a grandeza) é a que está mais próxima ($55'$) do polo sul.

EQUADOR CELESTE

É o círculo máximo QQ', determinado pelo plano perpendicular ao eixo do mundo (figura 3.4), dividindo a esfera celeste em dois hemisférios que recebem o nome do polo que contêm.

PARALELOS CELESTES

São círculos menores, determinados pelos planos perpendiculares ao eixo do mundo.

MERIDIANOS CELESTES

São círculos máximos determinados pelos planos que contêm o eixo do mundo (figura 3.4), PnAPsB e PnQP'sQ'.

MERIDIANO LOCAL

É um caso particular do meridiano celeste, já que contêm a vertical do lugar.

MERIDIANO MÉDIO DE GREENWICH (MG)

É o meridiano cuja direção é a média das direções de 77 (paralelos à direção da CIO) e forma ângulos fixos com os meridianos (plano paralelo à CIO e à vertical do ponto) de 77 observatórios (Bomfort, 1980).

As coordenadas astronômicas são definidas na esfera celeste termos dos elementos fundamentais, figura 3.5.

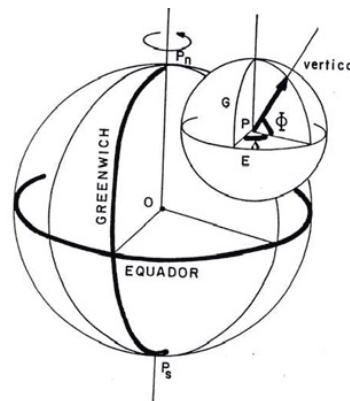


Figura 3.5.

LATITUDE ASTRONÔMICA DE UM PONTO (Φ)

É o ângulo que a vertical desse ponto forma com a sua projeção sobre o plano do equador (origem). Por convenção, a latitude astronômica é positiva no hemisfério norte e negativa no hemisfério sul.

LONGITUDE ASTRONÔMICA DE UM PONTO (Λ)

É o ângulo do diedro formado pelo meridiano médio de Greenwich (origem) e pelo meridiano local (do ponto). Por convenção, a longitude astronômica é positiva contada por este e negativa se contada por oeste de Greenwich.

3.3 COORDENADAS GEODÉSICAS

As coordenadas geodésicas são definidas sobre um elipsoide de revolução, adotado como modelo matemático da Terra. Como não se conhece a posição do centro de massa da Terra, não é possível estabelecer a coincidência dos eixos de rotação. Mas, é necessário impor a condição de paralelismo entre o eixo de rotação do modelo e o eixo de rotação médio da Terra. Tem-se, então, a latitude e a longitude geodésicas (figura 3.6) definidas do seguinte modo:

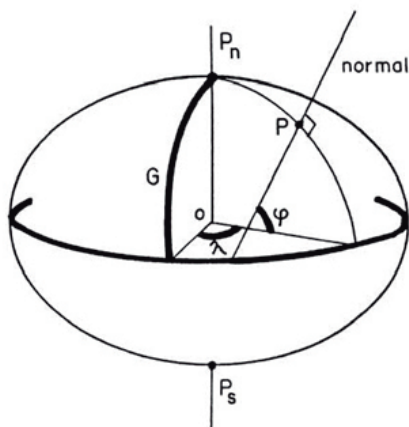


Figura 3.6

LATITUDE GEODÉSICA DE UM PONTO (ϕ)

É o ângulo formado pela normal que passa pelo ponto e a projeção sobre o plano do equador. Por convenção, a latitude geodésica é positiva no hemisfério norte e negativa no hemisfério Sul.

LONGITUDE GEODÉSICA DE UM PONTO (λ)

É o ângulo do diedro formado pelo meridiano médio de Greenwich e o meridiano do ponto. Por convenção, a longitude é positiva contada por leste e negativa contada por oeste de Greenwich.

DIFERENÇA ENTRE AS COORDENADAS ASTRONÔMICAS E GEODÉSICAS DE UM PONTO

As coordenadas astronômicas definem posições de ponto sobre o geóide enquanto que as coordenadas geodésicas definem posições de ponto sobre o elipsoide. Para o posicionamento de pontos sobre a superfície física da Terra, são necessárias ainda a altitude ortométrica (H), a altitude geométrica (h) e a altura geoidal (N).

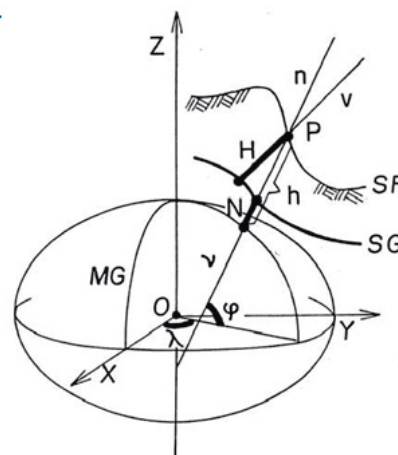


Figura 3.7

ALTITUDE ORTOMÉTRICA DE PONTO (H)

É a distância, contada sobre a vertical entre o ponto considerado e o geóide. Por convenção, a altitude ortométrica é positiva acima da superfície geoidal e negativa abaixo dela.

ALTITUDE GEOMÉTRICA DE UM PONTO (h)

É a distância, contada sobre a normal entre o ponto considerado e o elipsóide.

ALTURA GEOIDAL DE UM PONTO (N)

É a distância, contada sobre a normal, entre as superfícies geoidal e elipsoidal. Por convenção a altura geoidal é positiva acima da superfície elipsoidal e negativa abaixo dela.

AZIMUTE DA DIREÇÃO ENTRE DOIS PONTOS (A)

É o ângulo que o meridiano do ponto forma com a direção convencionada entre esses pontos. Na figura 3.7, A₁₂ representa o azimuth da direção 1.2, contada do norte por leste, A₂₁ representa o azimuth da direção 2.1, ou contra-azimute da direção 1.2. Convém observar que não há uma convenção plenamente adotada na origem do azimuth. O usuário ao consultar a literatura deve identificar a convenção adotada pelo autor.

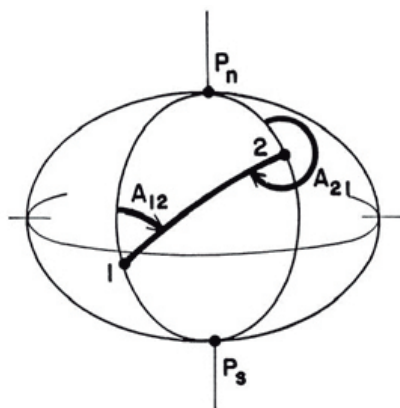


Figura 3.8

3.4 RELACÕES ENTRE COORDENADAS ASTRONÔMICAS E GEODÉSICAS

Como a deformação do geóide em relação ao elipsóide é relativamente pequena, (a altura geoidal, em valor absoluto, não ultrapassa 100m), e a inclinação entre as superfícies geoidal e elipsoidal é moderada (em todos os pontos a superfície geoidal é convexa), pode-se esperar que as diferenças entre as coordenadas astronômicas e a geodésicas sejam também pequenas. Isso realmente ocorre e pode ser facilmente verificado. A inclinação entre as superfícies geoidal e elipsoidal num ponto, denominado desvio da vertical, é representado através das componentes meridianas e primeiro vertical, figura 3.9.

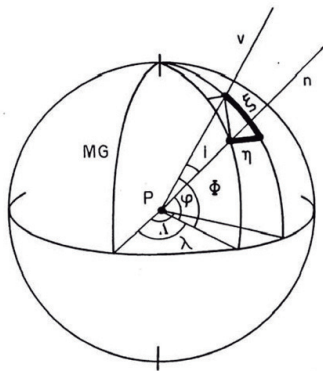


Figura 3.9

COMPONENTE MERIDIANA DO DESVIO DA VERTICAL (ξ)

É a diferença entre a latitude astronômica e a latitude geodésica desse ponto.

$$\xi = \Phi - \varphi \quad (3.1)$$

Onde :

ξ = componente meridiana do desvio da vertical no ponto;

Φ = latitude astronômica do ponto; e

φ = latitude geodésica do mesmo ponto.

COMPONENTE PRIMEIRO VERTICAL DO DESVIO DA VERTICAL (η)

É a diferença entre a longitude astronômica e a longitude geodésica, multiplicada pelo cosseno da latitude geodésica.

$$\eta = (\Lambda - \lambda) \cos \varphi \quad (3.2)$$

Onde :

η = componente meridiana do desvio da vertical no ponto;

Λ = longitude astronômica do ponto;

λ = longitude geodésica do ponto; e

φ = latitude geodésica do mesmo ponto;

A componente do primeiro vertical pode também ser expressa a partir dos azimuths astronômico e geodésico da mesma direção.

$$\eta = (A_a - A_g) \cos \varphi \quad (3.3)$$

Onde :

η = componente meridiana do desvio da vertical no ponto;

A_a = Azimute astronômico do ponto;

A_g = Azimute geodésico do ponto; e

φ = latitude geodésica do mesmo ponto;

Comparando as equações 3.2 e 3.3 obtém-se a equação de Laplace (3.4) para azimuth:

$$A_g = A_a - (\Lambda - \lambda) \cos \varphi \quad (3.4)$$

Onde :

A_g = Azimute geodésico do ponto;

A_a = Azimute astronômico do ponto;

φ = latitude geodésica do mesmo ponto;

Λ = longitude astronômica do ponto;

λ = longitude geodésica do ponto; e

φ = latitude geodésica do mesmo ponto;

Esta expressão permite transformar um azimute astronômico em azimute e longitude independente das componentes do desvio da vertical.

Os vértices de uma triangulação onde se realiza a medições de azimute e longitude são chamados Pontos de Laplace e proporcionam a orientação da rede

3.5 RELAÇÃO ENTRE COORDENADAS CARTESIANAS E GEODÉSICAS

Além das coordenadas geográficas (astronômicas e elipsoidais) a Geodésia usa as coordenadas geocêntricas e locais. As coordenadas cartesianas geocêntricas do ponto P sobre o elipsóide de referência, figura 3.10, em função das elipsoidais são expressas por:

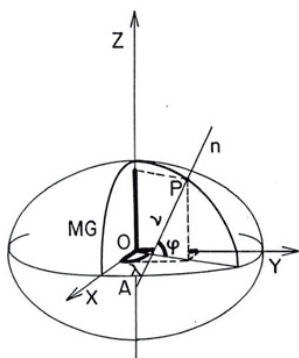


Figura 3.10

$$\begin{aligned} x &= v \cos \varphi \cos \lambda \\ y &= v \cos \varphi \sin \lambda \\ z &= v (1 - e^2) \sin \varphi \end{aligned} \quad (3.5)$$

Onde:

v = grande normal; e

e = primeira excentricidade

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (3.6)$$

onde

a e b são parâmetros do elipsóide

$$v = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \quad (3.7)$$

As coordenadas de um ponto sobre a superfície física da Terra são obtidas diretamente através da altitude geométrica (figura 3.7)

$$\begin{aligned} x &= (v + h) \cos \varphi \cos \lambda \\ y &= (v + h) \cos \varphi \sin \lambda \\ z &= [v (1 - e^2) + h] \sin \varphi \end{aligned} \quad (3.8)$$

A (3.8) as coordenadas cartesianas de um ponto (x, y, z) da superfície física a partir das suas coordenadas geodésicas (φ, λ, h) . A transformação inversa, isto é, a determinação das coordenadas geodésicas a partir das cartesianas não admite uma representação analítica simples. Mas, as coordenadas geodésicas podem ser obtidas facilmente pelo método iterativo.

A latitude aproximada (φ_0) é obtida inicialmente pela expressão (Heiskanen & Moritz, 1967)

$$\varphi_0 = \arctg \frac{z}{P(1 - e^2)} \quad (3.9)$$

Com (φ_0) obtém-se a altitude geométrica aproximada (h_0)

$$h_0 = \frac{P}{\cos \varphi_0} - v \quad (3.10)$$

onde:

$$P = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (3.11)$$

Na segunda iteração, calcula-se (φ_1) :

$$\varphi_1 = \arctg \left[\frac{z}{P} \left(1 - \frac{v_0}{v_0 + h_0} \right) \right] \quad (3.12)$$

e:

$$h_1 = \frac{P}{\cos \varphi_1} - v_1 \quad (3.13)$$

Repetindo este procedimento até que a diferença entre os valores obtidos entre duas iterações sucessivas torne-se desprezível, obtêm-se Φ e h . A longitude λ pode ser expressa analiticamente em função das coordenadas cartesianas. Isso completa as fórmulas para a transformação entre coordenadas cartesianas e geodésicas.

$$\lambda = \arctg \left(\frac{y}{x} \right) \quad (3.14)$$

4. Sistemas Geodésicos

Um Sistema Geodésico se caracteriza pela definição de um elipsóide de referência, de um datum e do desvio da vertical do lugar. O Datum é fixa determinado pelos parâmetros iniciais: coordenadas geodésicas de um

ponto georeferenciado (que pode ser um vértice de um triângulo), uma base geodésica (lado do triângulo) e azimuth desta base. As coordenadas fixam o ponto no elipsóide de referência. A base, por sua vez, fornece a escala, enquanto que o azimuth orienta o sistema. A vertical, determinada pela direção do fio de prumo sobre a superfície física da Terra, pode não coincidir com a normal ao elipsóide. Haverá um desvio, denominado de desvio da vertical, conforme ilustra a Figura 5.1. Ressalta-se também, que o centro do elipsóide de referência pode não coincidir com o centro de massa da Terra.

Um elipsóide de referência pode ser definido ou arbitrado. Observando-se a Figura 5.1 poder-se-á identificar as superfícies de referência a ser adotada pelos geodestas, podendo ser o Esferóide ou o Elipsóide de Revolução para realizar os cálculos geodésicos. A forma geométrica do elipsóide de revolução é a que mais se aproxima do Geóide, sendo a que oferece resultados mais exatos. Na América do Norte e Central se usa o Elipsóide de Clark, enquanto que na América do Sul o Elipsóide de Hayford ainda é usado. No Brasil, ainda existem mapas com base neste elipsóide.

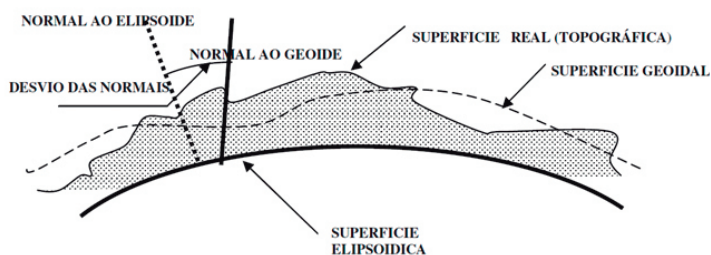


Figura 5.1

4.1 SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO - SGB

Caracterização do Sistema.

O Elipsóide de Referência Internacional de 1967 define a forma geométrico-matemática do planeta Terra, adotado no Brasil desde 1969 (SAD 69). A altimetria encontra-se referenciada à superfície equipotencial que contém o nível médio do mar na Baía de Imbituba, em Santa Catarina (a superfície média do mar é definida a partir de observações da variação do nível do mar no mareógrafo ali instalado).

É da responsabilidade do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE fixar as diretrizes e bases da Cartografia Brasileira e dar outras providências e, para tal, estabelecer um sistema planialtimétrico único de pontos geodésicos de controle, materializados no terreno

para servir de base ao desenvolvimento de trabalhos de natureza geodésica e cartográfica.

A Figura 4.1 ilustra a placa de bronze que é colocada numa base de concreto, identificando o denominador do marco geodésico, implantado no território brasileiro.



Figura 4.1 Referência de nível do marco geodésico pertencente ao SGB

4.2 REDES DE REFERÊNCIA

Uma Rede de Referência Geodésica consiste em um conjunto de pontos materializados através de marcos, com coordenadas planimétricas e/ou altimétricas, referenciadas a uma única origem, o Sistema Geodésico Brasileiro – SGB, implementado, administrado e mantido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), possibilitando a amarração de plantas e mapas e suas atualizações a uma mesma referência. É a materialização de um sistema geodésico de referência.

O IBGE trata as redes de referência independentes: planimétrica, altimétrica e gravimétrica. Isso se deu pelas dificuldades em sua implantação original, onde a planimétrica de forma geral era executada através de triangulação e a altimétrica por nivelamento. As triangulações exigiam visadas longas (de 5 a 30km) e para isso os vértices eram implantados nos topos dos morros sem urbanização. Já o nivelamento exigia visadas curtas (máximo de 50m) e buscava-se implantar RNs próximos das vilas, povoados e cidades, onde a necessidade era mais emergente. Hoje com o

posicionamento via satélite a situação mudou e no futuro deveremos ter estas redes totalmente integradas.



Figura 4. 1 Rede de Triangulação implantada entre os anos 1940 e 1980

4.3 ESPECIFICAÇÕES GERAIS DO SGB

- Parâmetros do Elipsóide – Forma Geométrica da Terra

Semi-eixo maior (a) = 6.378.160,000m

Achatamento (f) = 1/298,25

- Orientação:

Geocêntrica - Eixo de rotação paralelo ao eixo de rotação da Terra. Plano meridiano de Greenwich como início das longitudes.

Topocêntrica - Vértice Chuá, da cadeia de triangulação do paralelo 20° Sul.

Sendo: $\varphi = 19^\circ 45' 41,6527''$ Sul (Latitude)

$\lambda = 48^\circ 06' 04,0639''$ WGr. (Longitude)

Azimute (α) = $271^\circ 30' 04,05''$ SWNE, para o Vértice UBERABA.

Desvio da vertical (η) = 3,59"

Um sistema geodésico, assim definido, é denominado de regional, tendo em vista que o centro do elipsóide de referência não coincide com o centro de massa da Terra, sendo o elipsóide ajustado a uma rede geodésica de pontos, tendo no Vértice Chuá seu vínculo básico (datum planimétrico).

5. Sistemas de Coordenadas em Geodésia

As posições dos pontos na superfície terrestre são definidas por meio de linhas de referência, denominadas de coordenadas, que ao se cruzarem em ângulos estabelecidos, os definem naquele lugar.

Os principais sistemas de coordenadas são três: coordenadas esféricas, coordenadas retangulares e coordenadas polares.

Em Cartografia trabalha-se com os seguintes sistemas de coordenadas:

- Coordenadas Geodésicas,
- Coordenadas Cartesianas,
- Coordenadas Plano-retangulares - UTM

5.1 SISTEMA ELIPSOIDAL DE COORDENADAS (GEODÉSICO)

Para que o posicionamento de um ponto sobre o Elipsóide de Referência seja determinado de maneira única, foram estabelecidas linhas de referência que permitem que isto possa ser efetivado. As Figuras 5.1 e 5.2 mostram a superfície de referência elipsoidal, as linhas de referência desenhadas sobre ela e a identificação da posição de um ponto situado sobre a superfície terrestre mediante suas coordenadas geodésicas.

As linhas desenhadas no sentido Norte/Sul são denominadas de meridianos enquanto que as linhas desenhadas no sentido Leste/Oeste são denominadas de paralelos. Estas linhas formam um sistema denominado de Sistema de Coordenadas Geodésico, cuja origem é um ponto situado sobre o meridiano que passa por Greenwich (na Inglaterra) e sobre a linha do Equador. As coordenadas definidas do sistema são denominadas de latitudes e longitudes geodésicas.

- *Projeção de um ponto sobre a superfície de referência elipsoidal*

Considera-se, simultaneamente, a latitude e a longitude de um ponto na superfície terrestre. A cada latitude corresponde um paralelo e a cada longitude, um meridiano. O ponto de encontro dos dois determina a posição do ponto P1 sobre a superfície de referência. Porém, o ponto P1 é na verdade a projeção do ponto P sobre a superfície de referência, isto porque o ponto P encontra-se sobre a superfície real (topográfica). A normal PP1 é denominada de altitude elipsoidal do ponto (H). Os três parâmetros são, portanto, as coordenadas geodésicas do

ponto P (Latitude, Longitude, Altura elipsoidal).

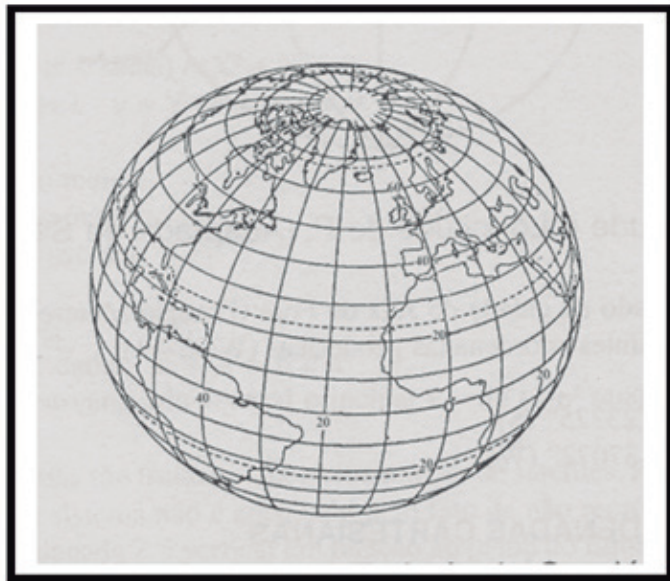


Figura 5.1 - Superfície de referência geodésica

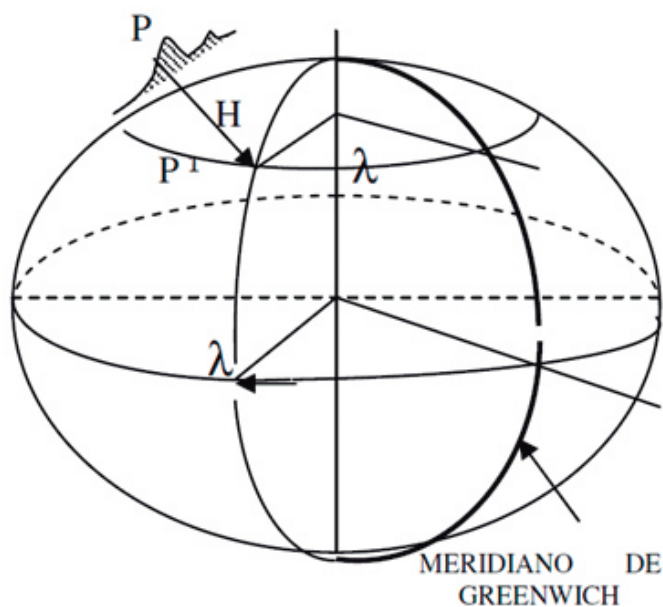


Figura 5.2 - Apresenta a longitude de um ponto P situado sobre a superfície de referência (Longitude Oeste)

5.2 SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA - DATUM HORIZONTAL

Para um bom ajuste, cada país ou região adotou um elipsoide de referência diferente e que melhor ajustou às suas dimensões. Ao utilizar um elipsoide numa determinada posição, cria-se uma nova superfície, ou seja, um novo Datum.

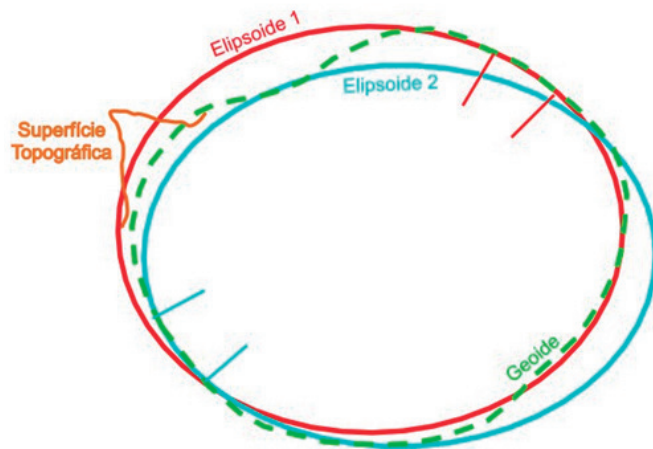


Figura 5.3 Sistemas geodésicos

Para a definição de um Datum é necessário conter 3 elementos:

- Contém a forma e tamanho de um Elipsoide
- Contém a posição do elipsoide relativa ao geóide

Topocêntrico: vértice na superfície terrestre que serve para a amarração do elipsoide ao geóide

Geocêntrico: amarrado ao centro de massa da terra (recomendado pela UGGI)

- Contém os parâmetros de conversão para o Datum Internacional WGS-84 (World Geodetic System of 1984)

Delta X, Delta Y, Delta Z

Rotação e escala

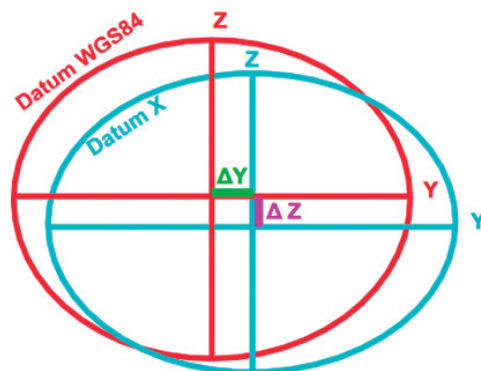


Figura 5.4 Ilustração do Datum X em relação ao WGS84

O referencial planimétrico ou *Datum* Horizontal Oficial no Brasil é o **SIRGAS-2000** (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas de 2000) desde 25/02/2005. Nos 10 anos seguintes, ou seja, até 25/02/2015 os usuários poderiam utilizar concomitantemente o SAD-69

(South American Datum of 1969), mas deveriam adequar e ajustar suas bases de dados, métodos e procedimentos ao novo sistema.

<i>Datum</i>	Elipsoide	Tipo	Raio Equatorial semi-eixo maior <i>a</i>	Raio Polar semi-eixo menor <i>b</i>	<i>f</i>	ΔX	ΔY	ΔZ
Córrego Alegre	Hayford	Topocêntrico	6378388	6356912,00000	1/297	-205,57	+168,77	-4,12
SAD69/1996	UGGI-67	Topocêntrico	6378160	6356774,71920	1/298,25	-66,87	+4,37	-38,52
SAD69/2005	UGGI-67	Topocêntrico	6378160	6356774,71920	1/298,25	-67,35	+3,88	-38,22
WGS84(G1150)	WGS84	Geocêntrico	6378137	6356752,31425	1/298,257223563	0,00	0,00	0,00
SIRGAS2000	GRS80	Geocêntrico	6378137	6356752,31414	1/298,257222101	0,00	0,00	0,00
Astro Chuá	Hayford	Topocêntrico	6378388	6356912,00000	1/297	-143,87	243,37	-33,52

Tabela 1: Parâmetros de transformação de sistema geodésico

6. Sistemas de Projeções Cartográficas

6.1 TIPOS DE PROJEÇÃO

Projeção Cartográfica é a técnica de projetar a superfície da Terra, admitida como esférica ou elipsóidica, em um plano. A projeção cartográfica é definida por um Modelo da Superfície Terrestre (Datum) e pelo plano de projeção. O problema da cartografia consiste na tentativa de representar a superfície terrestre, modelada como esfera ou elipsoide, no plano. Esses modelos são superfícies não-desenvolvíveis, ou seja, não é possível sua perfeita planificação.

Portanto, qualquer sistema projetivo apresenta distorções de formas, de áreas, de ângulos ou de distâncias. O tipo de projeção adotado em um mapa deve ser aquele que melhor conservar propriedades de interesse do usuário.

Projeção Plana



Projeção Cônica



Projeção Cilíndrica

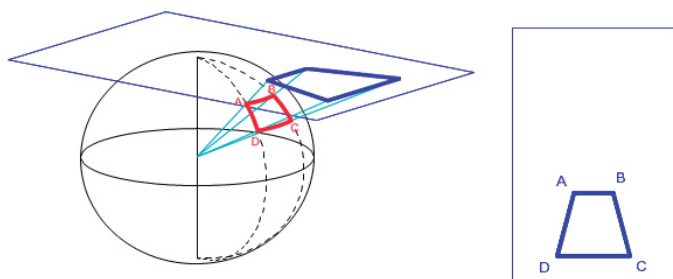


Figura 6.1. Projeções cartográficas De acordo com o tipo de projeção

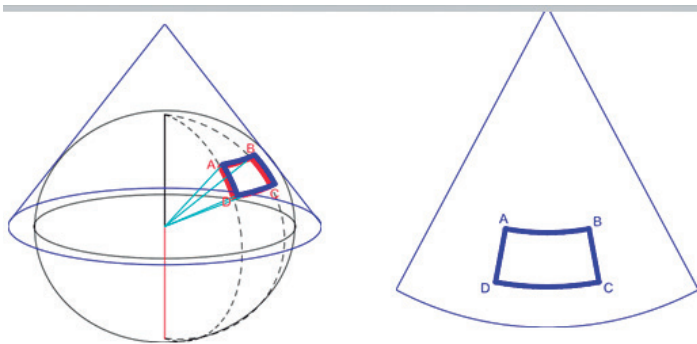
Classificamos elas em:

- Equidistante: sem deformações lineares em uma ou algumas direções
- Equivalente (equiárea): sem deformações de área (dentro de certos limites)
- Conforme (ortomórfica): sem deformações de ângulos (dentro de certos limites)
- Afilática: não conserva propriedades, mas minimiza as deformações em conjunto.

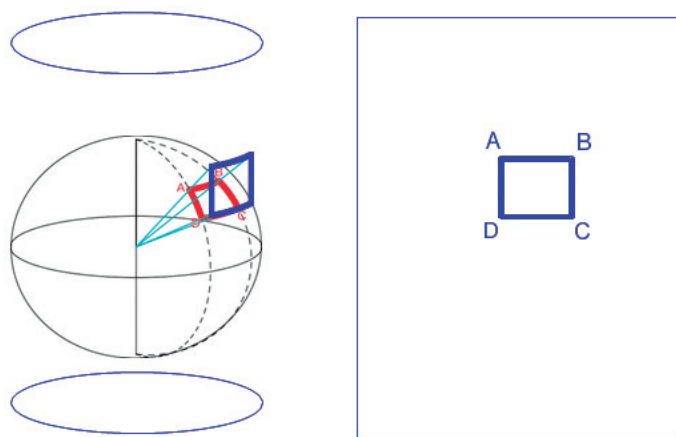
Vamos analisar a projeção plana. Imaginemos então um retângulo em campo já projetado sobre o elipsoide, conforme a figura a seguir. Observe que em campo, quem estiver sobre os pontos A, B, C ou D, irá ver em campo um retângulo, pois as direções serão uma reta aparente (acompanhando a curvatura terrestre) e os ângulos internos são 90° . Ao ser projetado este retângulo sobre a projeção plana, os ângulos e as distâncias se deformam, sendo apresentado um trapézio. Esta mudança de forma geométrica pode trazer grandes problemas se a base for utilizada para um projeto, por exemplo.



Analisando o mesmo retângulo na projeção cônica, teremos outras deformações, tanto na distância com em ângulos também. Observe que direções aparentemente retas ficam bem curvas na projeção cônica. Este efeito também é prejudicial quando trabalhamos com topografia.



Na projeção Cilíndrica, não temos a deformação angular, o que mantém a forma geométrica. O retângulo em campo continua sendo um retângulo na projeção. A deformação ocorre nas distâncias e consequentemente nas áreas. Mas observe que a forma geométrica é mantida. Isso permite que esta projeção seja utilizada para projetos, pois o elemento projetado manterá suas características em campo.



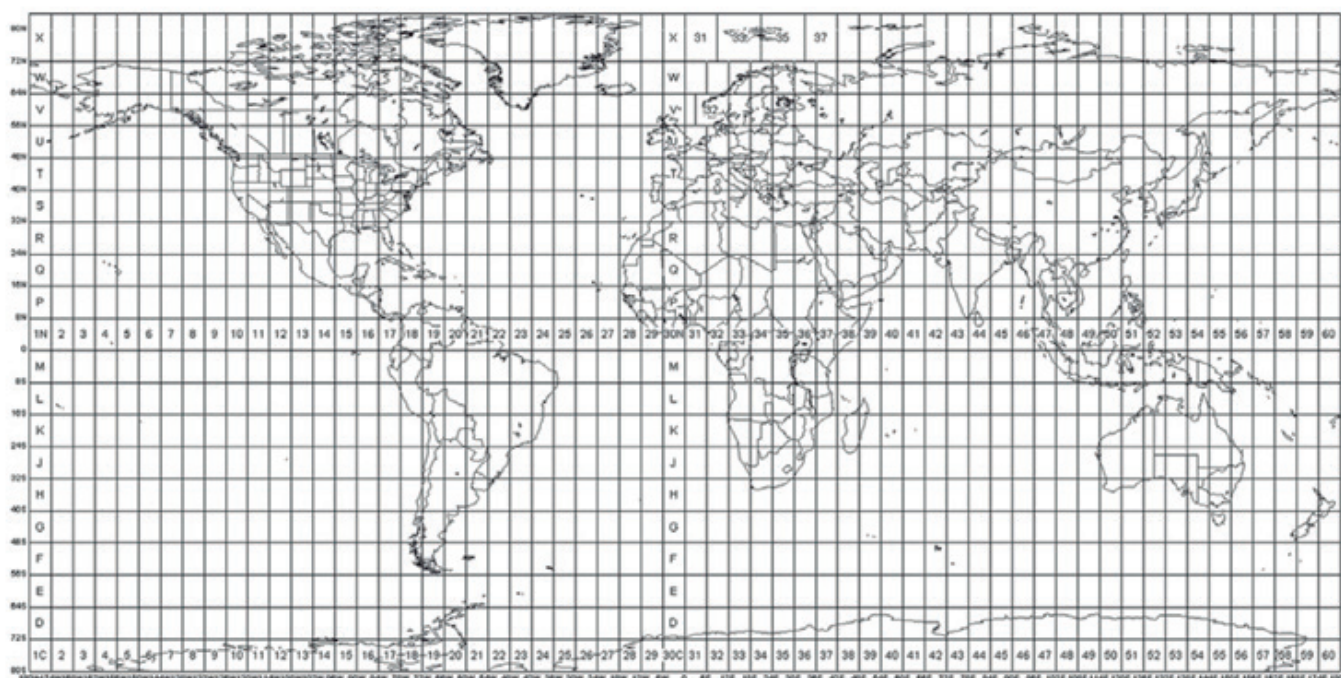
6.2. SISTEMAS DE PROJEÇÃO TM (TRANSVERSA DE MERCATOR)

TM (Transversa de Mercator)

Gerhard Kremer Mercator (1512-1594) matemático e cartógrafo belga, é o autor das projeções TM, atualmente considerado o pai da Cartografia Moderna. Foi o introdutor do uso de projeção cilíndrica e também da confecção de mapas para navegação. Somente em 1950 foi adotado a formatação do sistema como é hoje.

Vários sistemas de projeções, como o Gauss (1822), Gauss Krüger (1920) e Gauss Tardi foram desenvolvidos com base em estudos de Mercator. Recomendado pela União Geodésica e Geofísica Internacional.

O sistema de projeção UTM é o sistema mais utilizado para a confecção de mapas. É o recomendado pela UGGI (União de Geodésia e Geofísica Internacional). Sua amplitude é de 6° de longitude, formando um conjunto de 60 fusos UTM no recobrimento terrestre total. Os Fusos são numerados a partir do Anti-meridiano de Greenwich (longitude -180°) e de oeste para leste.



No Brasil temos o fuso 18 passando pela ponta do Acre até o fuso 25 passando por Fernando de Noronha.



FUSO	MC
18	75°W
19	69°W
20	63°W
21	57°W
22	51°W
23	45°W
24	39°W
25	33°W

RTM (Regional Transversa de Mercator)

O Sistema RTM possui amplitude de 2° , formando um conjunto de 180 fusos RTM no recobrimento terrestre total. Cada Fuso é mapeado separadamente no Hemisfério Sul e no Hemisfério Norte. Os Fusos são numerados a partir do Anti-meridiano de Greenwich (longitude -180°) e de oeste para leste.

Em Santa Catarina temos o fuso 64 passando pelo Extremo Oeste até o fuso 66 passando pelo Litoral.

Em casos de áreas abrangidas por 2 fusos tem-se 2 soluções:

1) trabalhar como 2 mapeamentos distintos, caso a área seja muito grande, pois os fusos mapeados não são contíguos

2) extrapolar o fuso em até $10'$ na tentativa de abranger toda a área, que no Equador $10'$ equivalem a aproximadamente 18km;

Os limites de atuação dos fusos na latitude são 80°S e 80°N . Além destes limites a RTM não é indicada.

LTM (Local Transversa de Mercator)

Sistema utilizado no Brasil para projetos, mas esta definição não tem sustentação técnica. Sua amplitude é de 1° , formando um conjunto de 360 fusos LTM no recobrimento terrestre total. Cada Fuso é mapeado separadamente no Hemisfério Sul e no Hemisfério Norte. Os Fusos são numerados a partir do Anti-meridiano de Greenwich (longitude -180°) e de oeste para leste.

Em Santa Catarina temos o fuso 127 passando pelo Extremo Oeste até o fuso 132 passando pelo Litoral

Em casos de áreas abrangidas por 2 fusos tem-se 2 soluções:

1) trabalhar como 2 mapeamentos distintos, caso a área seja muito grande, pois os fusos mapeados não são contíguos

2) extrapolar o fuso em até $5'$ na tentativa de abranger toda a área, que no Equador $5'$ equivalem a aproximadamente 9km;

Os limites de atuação dos fusos na latitude são 80°S e 80°N . Além destes limites a LTM não é indicada.

7. Referências Bibliográficas

NELSI, Cogô de Sá. Departamento de Geofísica. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências atmosféricas. Universidade de São Paulo. Elementos de Geodésia. Disponível em < <https://social.stoa.usp.br/geografia/apostila-elementos-da-geodesia-1.pdf> >.

ROVANE, Marcos de França; Adolfo Lino de Araújo; Flavio Boscatto. Apostila de Geodésia. Instituto Federal de Santa Catarina. Disponível em < http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/agrimensura/files/2018/03/GEODESIA_APOSTILA_2018_01_mar-1.pdf >

FONTES, Luiz Carlos. Universidade Federal da Bahia, UFBA. Apostila de Fundamentos de Geodésia. Disponível em < <http://www.topografia.ufba.br/fundamentos%20de%20geodesia.pdf> >