

I – GENERALIDADES

Maurício Roberto Veronez
Diego Alfonso Erba
Adriane Brill Thum

Uma das primeiras inquietudes do homem foi conhecer o espaço no qual desenvolveria suas atividades. Determinar as formas e dimensões da Terra, bem como representá-la graficamente, foi uma necessidade, particularmente, a partir da conquista de novos territórios.

Ao longo dos anos, a evolução tecnológica tem atingido todas as áreas do conhecimento, e com particular ênfase as disciplinas envolvidas com a Mensuração. Isto é do interesse de profissionais da arquitetura, geologia, engenharia, agrimensura, cartografia, agronomia e tantas outras atividades profissionais que utilizam o mapeamento para desenvolver a maioria de seus projetos.

Muito antes de existirem a fotografia e as imagens de satélite, as primeiras medições eram realizadas por métodos rudimentares, utilizando instrumentos simples, mantendo sempre o objetivo de descrever a realidade física da área levantada mediante desenhos efetuados em um plano de representação.

Descrever lugares foi, então, uma das principais preocupações do homem, e esta necessidade abriu espaço para a criação e o desenvolvimento de uma nova área de estudo: a TOPOGRAFIA. Etimologicamente, a palavra é formada pela junção dos termos gregos *topos* e *graphein*.



Além da Topografia, pode-se destacar três outras ciências diretamente ligadas aos processos de levantamento e representação de parte da superfície terrestre: a Cartografia, a Geodésia e a Fotogrametria.

Define-se Cartografia como o conjunto de estudos e observações científicas, artísticas e técnicas que, a partir de resultados de observações diretas ou da exploração de documentos, elabora cartas, planos e outros modos de expressão, assim como a sua utilização. A carta, vista como um meio de transcrição gráfica dos fenômenos geográficos, constitui o objeto principal da Cartografia. O objetivo primordial é, portanto, a pesquisa de métodos, processos de elaboração e utilização de cartas, além do estudo exaustivo de seu conteúdo (ASSOCIAÇÃO CARTOGRÁFICA INTERNACIONAL, 1996 apud SILVA et al., 2001).

A Geodésia (do grego *geo* = terra, *daiein* = dividir) é uma ciência que tem por finalidade a determinação da forma e as dimensões da Terra. A ciência geodésica compreende o estudo das operações ou medições, assim como os métodos de cálculos aplicados para determinar a forma e as dimensões da Terra e o seu campo gravitacional (SILVA et al., 2001).

A Fotogrametria pode ser definida como a ciência, arte e tecnologia de obter informações confiáveis a partir de fotogramas aéreos ou terrestres. Divide-se em duas áreas de especialização: métrica e interpretativa. A fotogrametria métrica tem uma grande importância para área de mensuração, pois permite a determinação de distâncias, elevações, volumes etc; além de elaborar documentos cartográficos a partir de medidas realizadas nos fotogramas. A fotogrametria interpretativa tem por objetivo proporcionar o reconhecimento de alguns padrões de objetos (formas, comprimentos, tonalidades, texturas etc.), baseados em imagens fotográficas (WOLF & BRINKER, 1994).

Finalmente, a Topografia é definida como a ciência aplicada que tem como objetivo estudar e desenvolver métodos e instrumentos destinados a levantar e processar dados do terreno, a partir dos quais seja possível representar graficamente a realidade física em um documento cartográfico.

Na definição, podemos ver que há dois processos interdependentes, que constituem o fundamento dos trabalhos topográficos: o primeiro deles envolve questões métricas de medição e cálculo e o segundo, as questões de representação; surgindo, assim, duas áreas de estudo: a TOPOMETRIA e a TOPOLOGIA.

Na Topometria estudam-se os diferentes métodos e instrumentos disponíveis para a obtenção das posições de pontos topográficos, bem como os métodos de processamento e ajustamento das medições. Os pontos topográficos são aqueles que conformam o terreno ou a área de estudo sobre a qual será desenvolvido algum projeto.

O estudo da Topometria divide-se em: Planimetria e Altimetria.

A Planimetria tem por objetivo determinar as posições relativas dos pontos topográficos no plano de projeção, segundo um sistema de referência previamente estipulado (coordenadas x , y); a Altimetria estuda métodos e instrumentos destinados a quantificar as distâncias verticais (coordenada z) dos pontos. Existem ainda métodos e instrumentos que permitem medir simultaneamente as três coordenadas dos pontos topográficos, que constituem a área denominada Planialtimetria.

Para a representação da superfície física, a Topografia utiliza um plano sobre o qual cada ponto topográfico é ortogonalmente projetado. Este plano não tem existência física real, é uma abstração definida pelo topógrafo para poder representar as três dimensões espaciais do terreno. Podemos pensar que o plano corresponde à folha de papel utilizada para o desenho.

Conforme ilustração da Figura 1.1, os pontos topográficos estão distribuídos espacialmente ao longo da superfície terrestre e suas posições podem ser determinadas a partir de coordenadas. Há casos em que o conhecimento das posições dos pontos topográficos no plano de representação (A' , B' , C' e D') satisfaz as necessidades dos técnicos. Um exemplo é o mapeamento dos limites das parcelas territoriais que compõem o cadastro imobiliário de uma prefeitura. Porém, a maioria dos projetos de engenharia, tais como obras viárias, aeroportos, complexos habitacionais, canalizações, dutos etc., exige que sejam determinadas as posições espaciais (x , y , z) dos pontos topográficos (Figura 1.1).

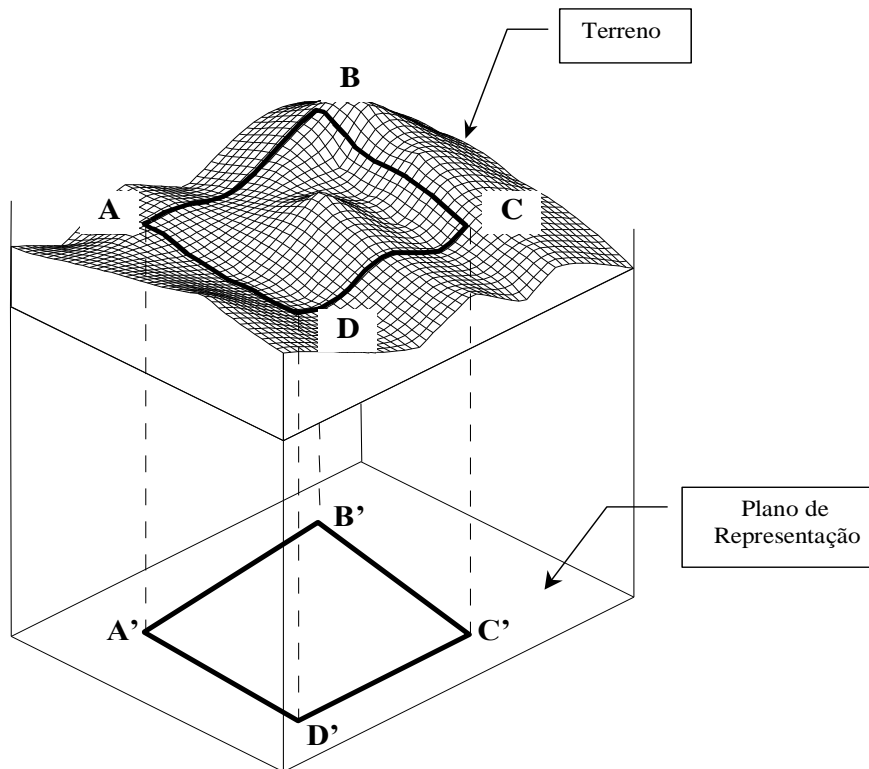


Figura 1.1 – Representação do terreno no plano topográfico

A necessidade de efetuar uma série de convenções que permitam representar de forma clara e compreensível o terreno fez surgir a Topologia, área específica da Topografia que tem como principal objetivo estudar as formas do relevo, estabelecendo modelos que o representem. Este conceito está intimamente relacionado ao Desenho Topográfico, o qual se ocupa de transferir para a planta todos os detalhes obtidos nos trabalhos topométricos.

Em termos operacionais, o estudo topológico da área a ser levantada deve preceder os trabalhos de campo, pois “entender o terreno” é fundamental para otimizar as tarefas de mensuração e conseguir objetividade na escolha dos pontos topográficos.

Na organização do estudo da Topografia, ainda há necessidade de diferenciar duas tarefas importantes que o profissional executa com objetivos diferentes: o levantamento e a locação.

O levantamento consiste na aplicação de métodos planimétricos, altimétricos ou planialtimétricos, com o objetivo de obter a posição de pontos topográficos que pertencem à área em estudo. Como mostra a Figura 1.1, os pontos que compõem o terreno delimitado por um polígono são infinitos e sua distribuição é contínua no espaço. Há a necessidade, então, de definir uma série de convenções que permitam, a partir da determinação das posições de alguns pontos topográficos, obter as posições dos demais, respeitando sempre os parâmetros de exatidão e de detalhamento estipulados para cada tipo de projeto.

A locação é o processo pelo qual é materializado no terreno o projeto que foi desenvolvido sobre a planta topográfica obtida no levantamento (Figura 1.2).

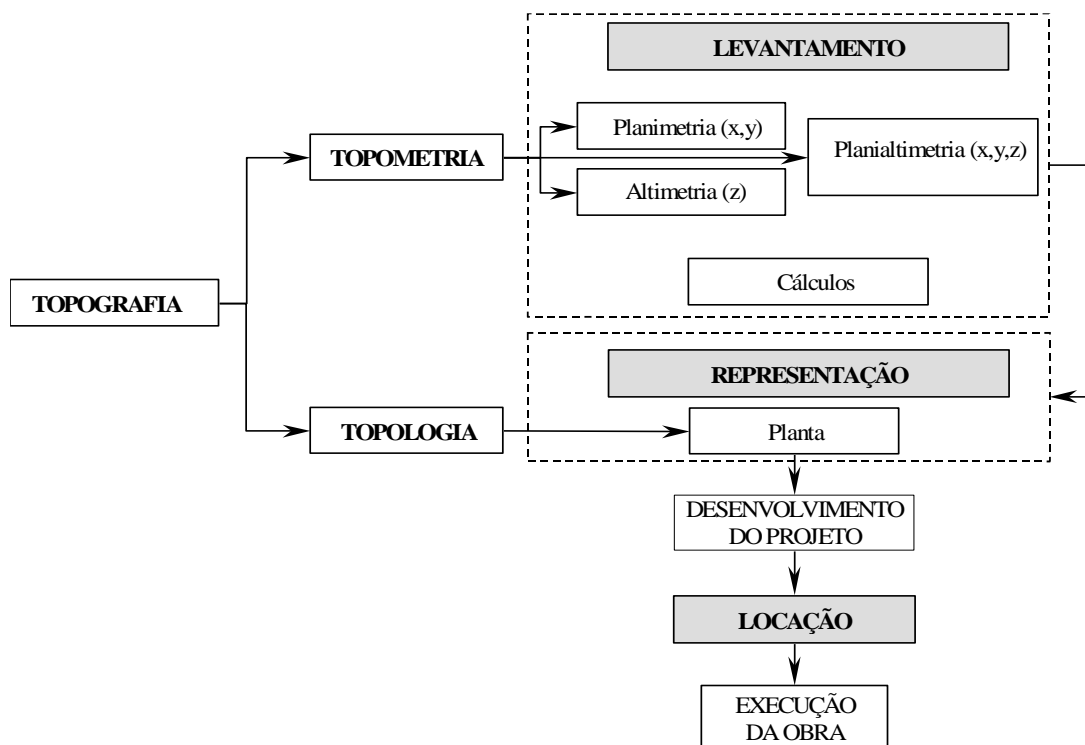


Figura 1.2 – Processo topográfico e aplicações dos documentos

Todas as considerações realizadas até aqui acerca da Topografia são rigorosamente aplicáveis sempre e quando as deformações decorrentes da projeção da superfície curva da Terra sobre um plano sejam desprezíveis. Sabendo que o objeto de estudo da Topografia são porções da superfície terrestre, cabe perguntar: até onde vai o campo de trabalho da Topografia? Ou, em outras palavras, até onde é válido utilizar um plano para representar a superfície do planeta Terra? As respostas a estes questionamentos encontram-se no Capítulo II.

1.1 - Forma e dimensão da Terra

A superfície da Terra é visivelmente irregular devido à presença de montanhas, depressões, vales, cerros e tantas outras formas de relevo. Porém, essas irregularidades são insignificantes se comparadas com



Figura 1.3 – A Terra como uma esfera

as dimensões do planeta, pois os aproximadamente 20 km que separam o ponto mais alto (monte Everest no Himalaia com quase 9 km de altitude) da profundidade máxima (fossa abissal de Marianas, no Oceano Pacífico, com 11 km) correspondem a menos de 0,3% do raio considerado médio da “esfera” terrestre. Isto se comprova ao observar uma fotografia do planeta, pois “olhando de longe” a superfície terrestre parece lisa e, à primeira vista, esférica. A Figura 1.3 ilustra a situação.

Para definir a forma do planeta, foi convencionalmente efetuar o prolongamento dos mares em calma, sob os continentes. A

superfície resultante recebeu o nome de Geóide. Contrariamente ao que se imagina, esta superfície não é regular. O Geóide é gerado por um líquido em repouso, e portanto perpendicular à direção da vertical em cada ponto topográfico, e as variações de intensidade e direção da gravidade implicam imperfeições dessa superfície, tal como mostra a Figura 1.4.

As irregularidades do Geóide não seguem uma lei matemática, sendo, portanto, impossível determinar uma fórmula que o descreva com exatidão. Assim, foi necessário efetuar inúmeros estudos para encontrar um ente matemático que se aproximasse dele e, conseqüentemente, pudesse ser utilizado como sistema de referência. Devido à complexidade de modelar matematicamente o Geóide, os geodestas concluíram que a forma física da Terra pode ser modelada por um Elipsóide de Revolução.

O Elipsóide é uma superfície de revolução gerada a partir da rotação de uma elipse em torno de um de seus dois semi-eixos (o maior ou o menor) e fica determinado quando seus parâmetros são conhecidos. A Figura 1.5 ilustra um Elipsóide de Revolução. Esses parâmetros provêm da elipse que o gerou, sendo eles: a = semi-eixo maior, b

= semi-eixo menor e α = achatamento = $\frac{a - b}{a}$.

O Elipsóide terrestre definido como global, e que mais se aproxima do Geóide, é geocêntrico e formado pela rotação da elipse em torno do eixo que passa pelos pólos Norte e Sul geográficos (Figura 1.5).

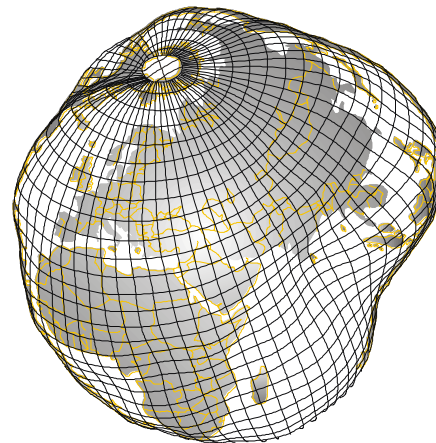


Figura 1.4 – Geóide mundial da NASA
(Silva et al, 2001)

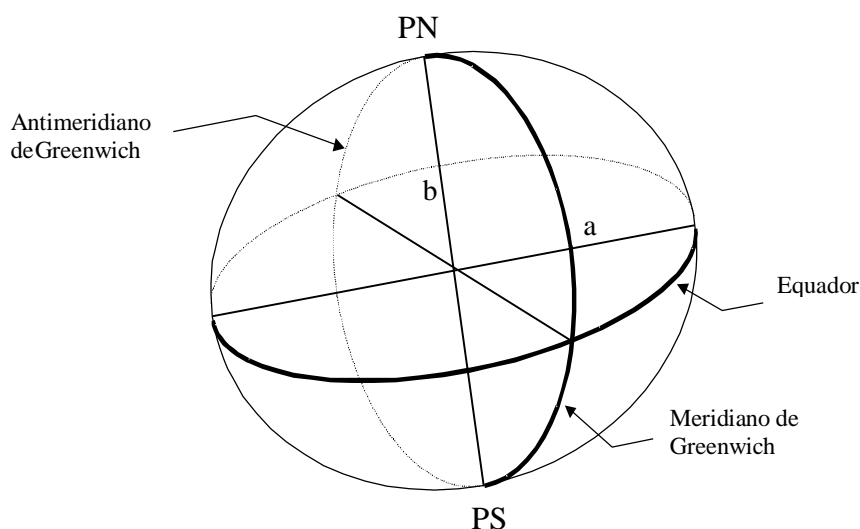


Figura 1.5 - Elipsóide

As diferenças existentes entre o Geóide e o Elipsóide têm peculiaridades em cada continente, em cada país, em cada porção da Terra. Desta maneira, existem diferentes elipsóides, os quais são posicionados para atender as necessidades de cada local, recebendo o nome Elipsóides Locais. O centro geométrico do Elipsóide Local (C.G.E) não coincide com o Centro de Massa da Terra - CMT. Já o Elipsóide Global é utilizado no posicionamento de pontos por satélites (Global Positioning System – GPS) e o seu centro geométrico coincide com o CMT. A Figura 1.6 ilustra as três superfícies: o Geóide, o Elipsóide Local e o Elipsóide Global.

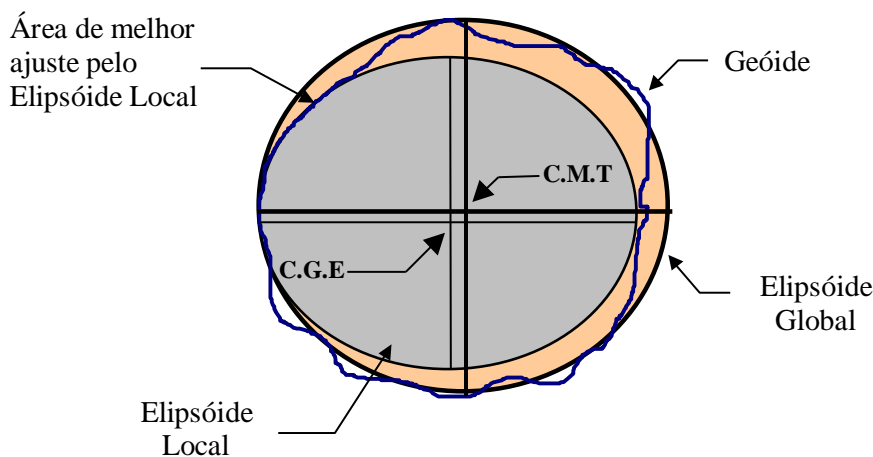


Figura 1.6 – Posicionamento relativo do Geóide, do Elipsóide Local e do Elipsóide Global

Assim, cada país, de acordo com a sua conveniência, adota um elipsóide próprio para elaboração de seus produtos cartográficos. No caso do Brasil, o elipsóide adotado oficialmente pelo órgão que rege as atividades de Cartografia e Geodésia é o chamado Elipsóide de Referência Internacional SAD-69 (South American Datum). Este elipsóide foi adotado como referência no Brasil desde 1979 e antes dessa data foi utilizado o chamado Elipsóide de Referência Internacional de Hayford.

A Tabela 1.1 ilustra os parâmetros definidores de alguns elipsóides utilizados no mundo, inclusive o SAD-69 e o Hayford.

Tabela 1.1 - Parâmetros definidores de alguns elipsóides

Elipsóide	a	b	α
BESSEL (1841)	6.377.397,155	6.356.078,963	1/299,1528128
CLARKE (1858)	6.378.249,145	6.356.514,870	1/293,465
HELMERT (1907)	6.378.200,000	6.356.818,170	1/298,30
HAYFORD (1909)	6.378.388,000	6.356.911,946	1/297,00
SAD-69	6.378.160,000	6.356.774,719	1/298,25
WGS-84 (1984)	6.378.137,000	6.356.752,314	1/298,257223563

Fonte: SEGANTINE, 1999.

De acordo com o exposto até aqui, há três superfícies de interesse da Topografia: a Física – aquela na qual o homem desenvolve suas atividades e constitui o objeto a ser descrito pela Topografia; o Geóide – superfície equipotencial de fundamental importância para os levantamentos altimétricos de grandes áreas; e o Elipsóide – que possui parâmetros conhecidos e se aproxima muito do Geóide. Estas duas últimas poderiam ser utilizadas como referência para determinar o posicionamento espacial dos pontos topográficos. A Figura 1.7 ilustra as principais superfícies utilizadas na mensuração.

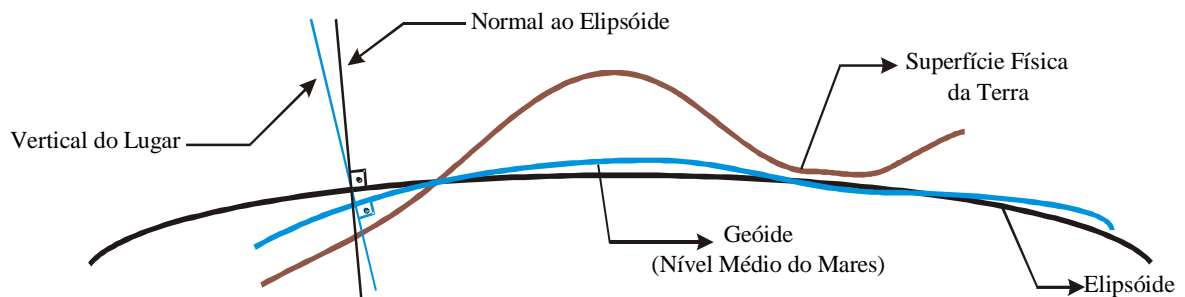


Figura 1.7 – Superfícies utilizadas na mensuração

1.2 - Sistemas de Coordenadas

Determinar as posições de pontos topográficos é a função da Topografia. Para que todos esses pontos tenham uma relação espacial, ou plana, é necessário definir um sistema de coordenadas. Coordenadas são valores lineares ou angulares que indicam a posição ocupada por um ponto em um sistema de referência.

1.2.1 - Coordenadas Geodésicas

O posicionamento de pontos sobre o Elipsóide se realiza mediante o sistema de Coordenadas Geodésicas, as quais correspondem a ângulos diedros, que têm como referência meridianos e paralelos. Os meridianos são seções elípticas que surgem da interseção de planos que contêm o eixo de rotação da Terra com o Elipsóide. Os paralelos são círculos resultantes da interseção de planos perpendiculares ao eixo de rotação com o Elipsóide. A Latitude Geodésica (ϕ) corresponde ao ângulo formado entre a normal do observador e o plano do Equador. A sua variação é de 0° a 90° no hemisfério norte e de 0° a -90° no hemisfério sul, tendo como origem o círculo máximo do Equador. A Longitude Geodésica (λ) corresponde ao ângulo diedro formado entre o meridiano de Greenwich e o meridiano do observador. A sua variação é de 0° a 180° a leste do citado meridiano e de 0° a -180° a oeste do mesmo. Assim, por cada ponto P da superfície terrestre passam um meridiano e um paralelo, os quais definem seu posicionamento. A Figura 1.8 ilustra a Latitude e a Longitude Geodésica de um determinado ponto P sobre a superfície do Elipsóide.

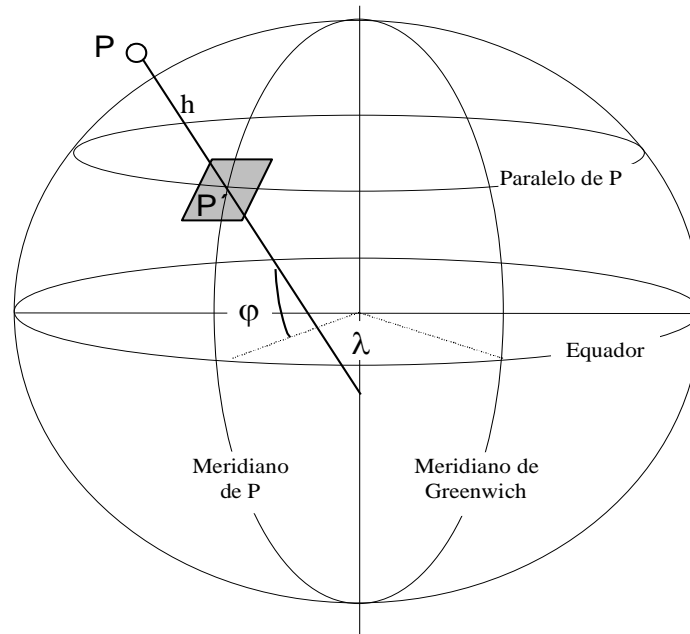


Figura 1.8 – Coordenadas Geodésicas

A terceira coordenada de P é dada pela distância vertical desde a superfície terrestre até a superfície de referência (Elipsóide) e denomina-se Altura Geométrica (h).

1.2.2 – Coordenadas UTM

O Sistema de projeção Universal Transversal de Mercator (UTM) é resultado da modificação da projeção Transversa de Mercator (TM), que também é conhecida como projeção de Gauss Krüger. Esta projeção foi idealizada pelo belga Gerard Krämer (Mercator) a partir de modificações efetuadas na projeção Gauss, o sistema UTM utiliza como superfície de projeção 60 cilindros transversos e secantes à superfície de referência (Figura 1.9).

Cada cilindro é responsável pela representação de 6° de amplitude em longitude, contada a partir do anti-meridiano de Greenwich. O primeiro fuso UTM situa-se de forma intermediária entre os meridianos 180° e 174° W, ou seja, 177° . A Figura 1.10 ilustra a divisão dos fusos UTM em relação ao território brasileiro.

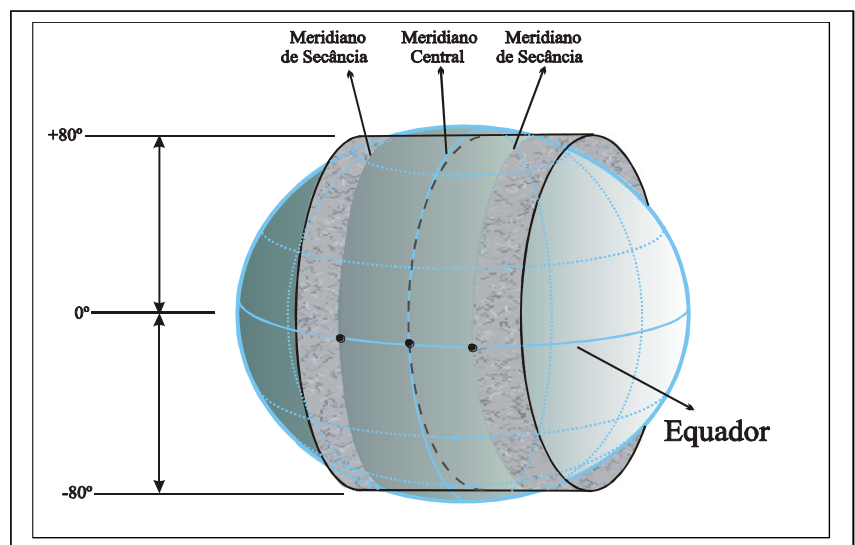


Figura 1.9 – Cilindro secante ao Elipsóide de Referência

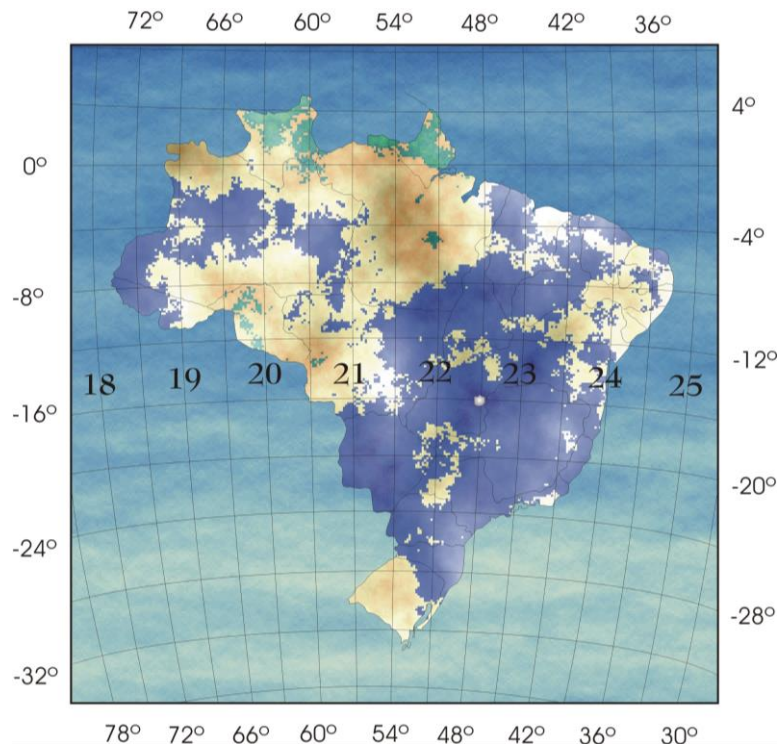


Figura 1.10 - Divisão dos fusos UTM no território brasileiro

Fonte: Adaptada de SILVA et al., 1999

Observa-se que os Meridianos Centrais estão localizados nas longitudes múltiplas de 6°, acrescidas de 3°. Sobre este meridiano, as distâncias apresentam-se deformadas segundo o coeficiente de deformação $K_0 = 0.9996$. Portanto, as distâncias no terreno serão reduzidas nessa região, à medida que se afasta do MC, para direita ou para esquerda. Esse coeficiente aumenta até atingir o valor $K_0=1$, sobre as linhas de secância do cilindro com o Elipsóide, onde não ocorrem deformações lineares. Afastando-se dos meridianos de secância, o coeficiente aumenta até atingir o valor máximo, próximo a 1,001 nos meridianos limites do fuso, onde as distâncias no terreno serão ampliadas. Este valor $K_0 = 1,001$ é calculado para as imediações da linha do Equador, sendo que em quaisquer outras latitudes ele tende a diminuir.

Cada um dos 60 cilindros possui seu próprio sistema de referência, tendo como origem a interseção das linhas do Equador com o Meridiano Central de cada fuso. As abcissas no sistema UTM denominam-se coordenadas E (leste) e assumem o valor 500.000,00 m no MC (convencionalmente atribuído). À direita de MC, as coordenadas são crescentes ($> 500.000,00$ m), e à esquerda, decrescentes ($< 500.000,00$ m).

Quanto às ordenadas, atribui-se a denominação N (norte). Partem do Equador para o norte com valores crescentes a partir de 0,00 m e para o sul com valores decrescentes a partir de 10.000.000,00 m. Observa-se que um ponto p de coordenadas $E = E_p$ e $N = N_p$ pode ser representado em qualquer um dos 60 cilindros, de tal forma que, além da informação de suas coordenadas (E, N), é necessário também informar o número do fuso ou o valor do Meridiano Central (Figura 1.11).

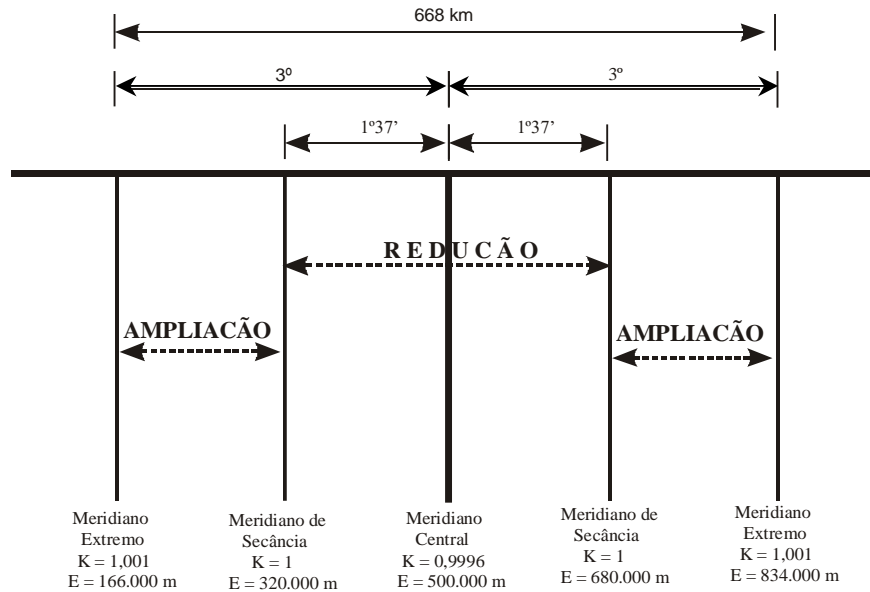


Figura 1.11 – Deformações no sistema UTM

Um fuso UTM representa os paralelos como linhas retas horizontais e os meridianos como arcos, com concavidade voltada para o MC. Este último é o único meridiano representado como uma linha reta. A malha de coordenadas UTM é definida por linhas verticais e horizontais, que se interceptam segundo ângulos retos. Então, na superposição dos reticulados, apenas o MC coincide com um dos eixos coordenados UTM.

O ângulo formado entre uma linha paralela ao MC e uma linha N-S (transformada de meridiano), dá-se o nome de Convergência Meridiana, representada pela letra gama (γ) e ilustrada na Figura 1.12.

Devido à convergência dos meridianos perto dos pólos, o sistema UTM se limita a representar regiões compreendidas entre as latitudes de 80° N e 80° S.

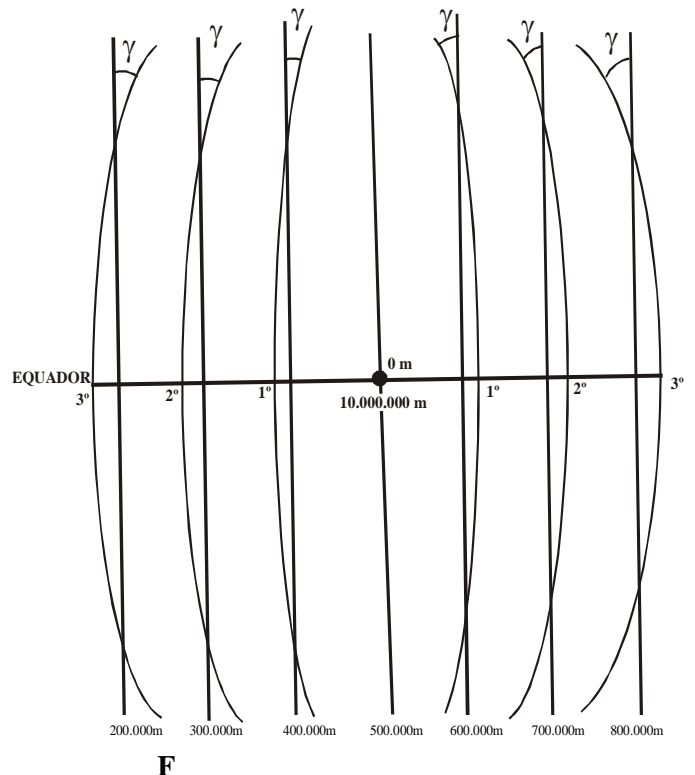


Figura 1.12 – Convergência meridiana

1.2.3 – Coordenadas Retangulares e Polares

É a Cartografia, por meio do estudo das projeções, que se ocupa de transformar Coordenadas Geográficas em Coordenadas Planas. No caso da Topografia, que trabalha com áreas reduzidas, as

coordenadas dos pontos topográficos podem ser calculadas diretamente em relação a um sistema de Coordenadas Planas como o sistema retangular ou polar, desconsiderando-se a curvatura terrestre.

No sistema de Coordenadas Retangulares (também chamadas de Coordenadas Cartesianas), a posição de cada ponto “P” fica perfeitamente identificada mediante um par de números que indicam as distâncias de suas projeções em cada eixo (x_p e y_p) até a origem “0” do sistema. No sistema de Coordenadas Polares, utilizam-se também duas dimensões para posicionar um ponto no plano, porém, neste caso, uma delas é angular e a outra linear (α , d_{op}). A Figura 1.13 ilustra o problema.

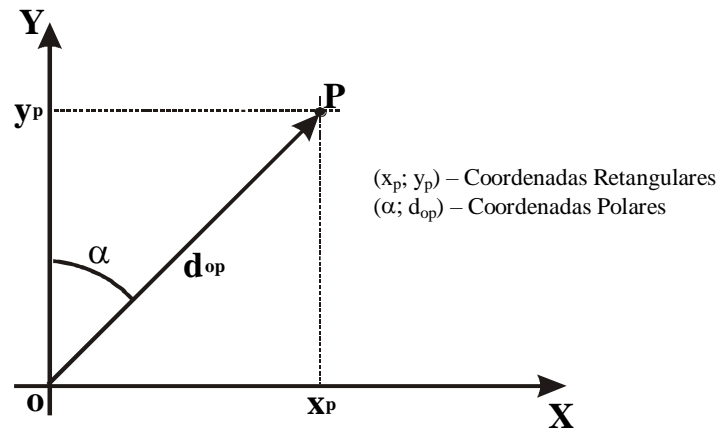


Figura 1.13 - Sistema de Coordenadas Retangulares e Polares

1.2.4 - Relação entre os sistemas de coordenadas

Tal como se pode observar na Figura 1.13, funções trigonométricas simples permitem relacionar os dois sistemas de Coordenadas Planas.

Sendo o triângulo OPy_p retângulo, é possível determinar as Coordenadas Retangulares em função das polares mediante as relações (1.1), (1.2). De forma similar, é possível obter Coordenadas Polares em função das retangulares a partir das equações (1.3) e (1.4).

$$x_p = d_{op} \cdot \text{sen}(\alpha) \quad [1.1]$$

$$y_p = d_{op} \cdot \text{cos}(\alpha) \quad [1.2]$$

$$d_{op} = \sqrt{(x_p - x_0)^2 + (y_p - y_0)^2} \quad [1.3]$$

$$\alpha = \text{arctg} \left(\frac{x_p - x_0}{y_p - y_0} \right) \quad [1.4]$$

Estas relações são de grande utilidade quando se realizam os cálculos topométricos.

1.3 - Referências Bibliográficas

SEGANTINE, P. C. L. (1999). GPS – Sistema de Posicionamento Global. Setor Gráfico da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 3ª edição, São Carlos – SP. 181p.

SILVA, I., ERWES, H., SEGANTINE, P. C. L. (1999). Apostila do IV Curso de Atualização em Topografia e GPS (segundo a NBR 13.133). Apostila não publicada, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SILVA, I., ERWES, H., SEGANTINE, P. C. L. (2001). Introdução à Geomática. Setor Gráfico da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos – SP. 100p.

WOLF, PAUL R., BRINKER, RUSSEL C. (1994). Elementary Surveying. 9th. Edition, Harper Collins College Publishers, New York, NY. 760p.

=====