

	TOPOGRAFIA I		
	Aula teórica 02: Topografia e Geodésia/Formas da Terra/Coordenadas/Sistemas de coordenadas		
	Prof. Dr. Alexandre Bernardino Lopes		

TOPOGRAFIA E GEODÉSIA/FORMAS DA TERRA/COORDENADAS/SISTEMAS DE COORDENADAS.

Conteúdo em vídeo.

Parte 1 - <https://www.youtube.com/watch?v=KAflsguZr3Y&feature=youtu.be>

Parte 2 - <https://www.youtube.com/watch?v=5e5T2is-99E&feature=youtu.be>

Parte 3 - <https://www.youtube.com/watch?v=12YaHTGicbw&feature=youtu.be>

Introdução

Esta aula introdutória tem como objetivo discutir brevemente elementos básicos de Geodésia, formas da Terra, tipos de coordenadas e sugestões de estudos complementares. Neste material são indicados *sites* com material de estudo e vídeos que podem auxiliar os estudos de temas ligados à Topografia.

Elementos de Geodésia

Geodésia é a ciência que estuda formas e dimensões da Terra, seu campo de gravidade e sua dinâmica.

Em termos práticos a geodésia aplicada se ocupa da determinação precisa da posição de pontos na superfície terrestre, determinação de altitudes e apoio ao mapeamento em geral.

Formas da Terra

A priori trataremos de três superfícies de referência fundamentais:

1. O elipsóide;
2. O geóide;
3. Superfície física.

Na Figura 01 são ilustradas as 3 superfícies.

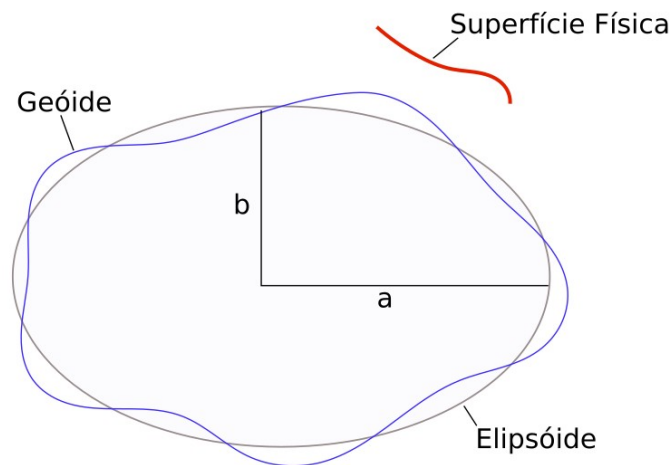


Figura 01 - Elipsóide , Geóide e Superfície Física

Elipsóide

O elipsóide é o modelo matemático da Terra que mais se aproxima da Terra real (Figura 02) e é usado como referência para o posicionamento global. Existem vários tipos de elipsóide, que são definidos por seus parâmetros, como o semi eixo maior (a), semi eixo menor (b) e o achatamento (f).

No Brasil adota-se o Elipsóide de Revolução GRS80, compatível com o Sistema de Referência Geocêntrico para las Américas (SIRGAS). Os valores dos parâmetros do elipsóide GRS80 são:

- $a = 6.378.137,00 \text{ m}$
- $f = 1/298,257222101$.

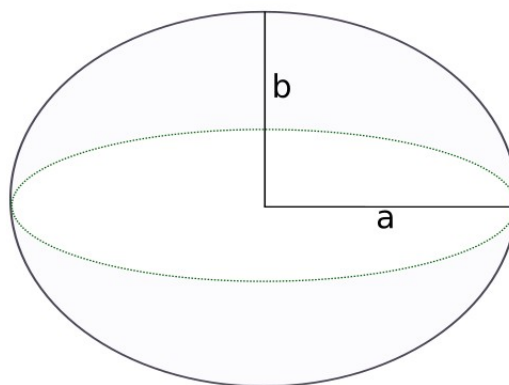


Figura 02- Elipsóide

Maiores informações sobre a caracterização do SIRGAS2000 é encontrada no documento disponibilizado pelo IBGE no *site*:

http://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_25fev2005.pdf

Geóide

O geóide é a superfície equipotencial que coincide com o nível médio dos mares não perturbados. Esta superfície é importante pois é a mais próxima da forma da Terra real.

É a superfície referência da altitude ortométrica.

Atualmente existem inúmeros de modelos do campo de gravidade que podem ser obtido gratuitamente no *site*:

http://icgem.gfz-potsdam.de/tom_longtime

A Figura 03 mostra a forma da Terra a partir do campo de gravidade.

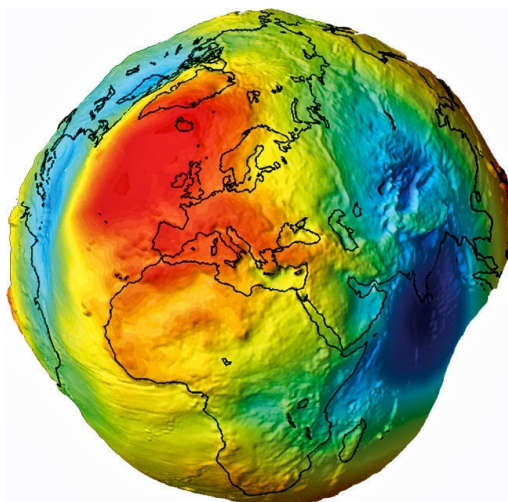


Figura 03 - Geóide

(Fonte: <http://deepearthscience.blogspot.com/2013/10/measuring-geoid-what-is-geoid.html>)

O IBGE disponibiliza o modelo geoidal MAPGEO2015, cujas informações e acesso ao produto podem ser obtidas no site:

<https://www.ibge.gov.br/geociencias/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html?=&t=o-que-e>

Superfície Física

A superfície física é a superfície da Terra e suas irregularidades. É a superfície onde nos encontramos e é objeto das medidas topográficas e geodésicas.

No site: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/> da EMBRAPA podemos obter o relevo do Brasil. A Figura 04 ilustra uma parcela do relevo do estado do Paraná.

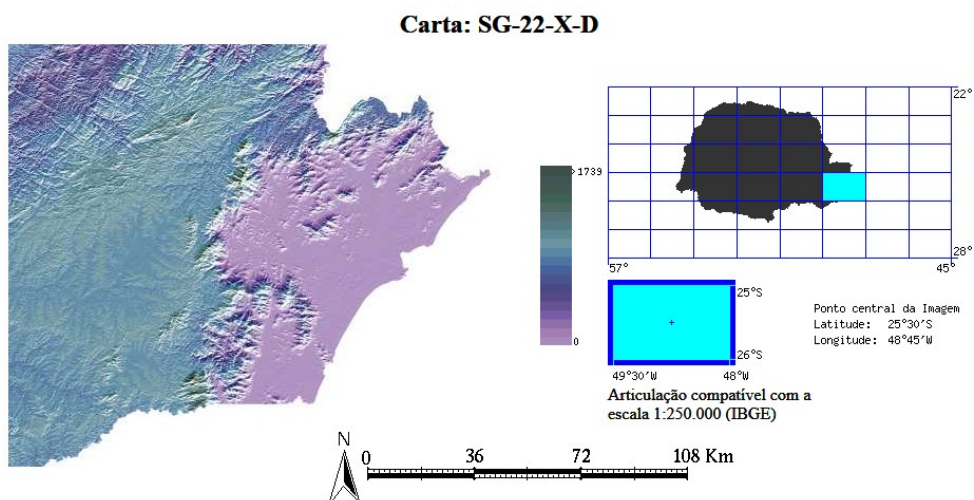


Figura 04 – Relevo da região da serra e litoral do Paraná

(Fonte: Embrapa: https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/pr/hth3/pr03_05.htm)

Relação elipsóide, geóide e a superfície física.

A relação entre o elipsóide e o geóide é mostrada na Figura 05

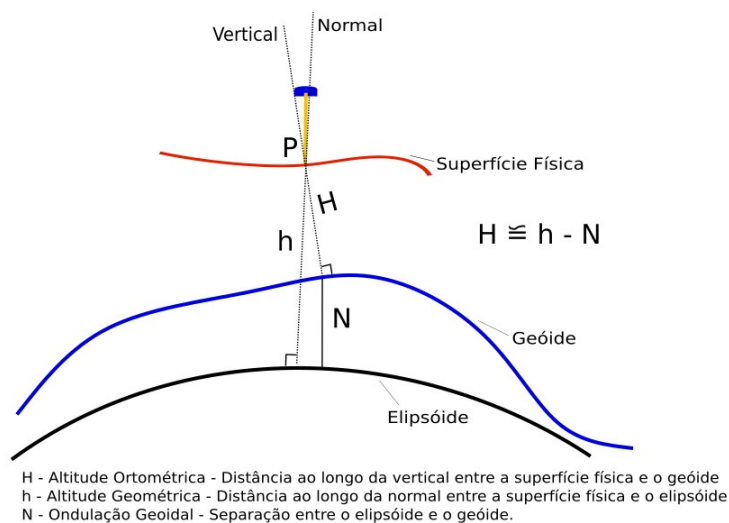


Figura 05 – Relação Geóide, Elipsóide e a Superfície Física.

Como pode ser observado na Figura 03 existe a seguinte relação entre as superfícies citadas:

$$H \simeq h - N \quad (1)$$

Sendo que a reta normal é perpendicular ao elipsóide e a vertical perpendicular ao geóide.

Para conhecer um pouco mais sobre geodésia assistir os vídeos:

1. https://www.youtube.com/watch?v=_Cj1vgmXr5M
2. <https://www.youtube.com/watch?v=W1ScSRZ6ZyU>
3. <https://www.youtube.com/watch?v=BCK5Zj--w7w>

Sistema Geodésico Brasileiro

O sistema Geodésico Brasileiro é composto pelas redes Altimétrica, Planimétrica e Gravimétrica, cujas informações podem ser encontradas no *site*:

<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica.html>

Para se obter dados das redes de referências mantidas pelo IBGE basta acessar o *site*:

<http://www.bdg.ibge.gov.br/appbdg/>

Coordenadas astronômicas, geodésicas, UTM e o plano topográfico.

Coordenadas astronômicas

Define-se como Latitude astronômica (Φ) de um ponto o ângulo que a vertical deste ponto forma com sua projeção equatorial, convencionalmente as latitudes são positivas no hemisfério norte e negativas no hemisfério sul. A longitude astronômica de um ponto (λ) é definida como o ângulo plano que mede o diedro formado pelo meridiano de origem (meridiano de Greenwich) e pelo meridiano astronômico do ponto (plano definido pela vertical do lugar e uma paralela ao eixo

de rotação). Já o Azimute astronômico de uma direção é o ângulo entre o meridiano astronômico do ponto e a direção (GEMAEL, 1999). A Figura 06 ilustra o sistema de coordenadas astronômicas.

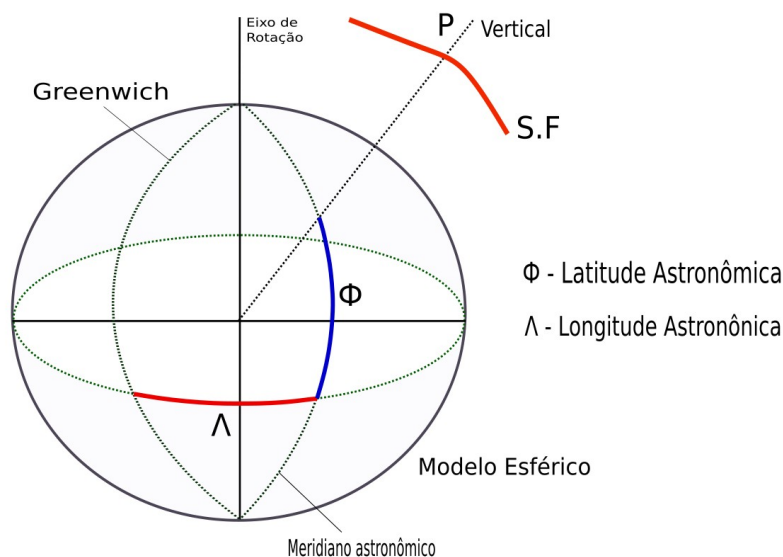


Figura 06 – Coordenadas astronômicas.

Coordenadas geodésicas

A latitude geodésica (φ) de um ponto é o ângulo que a normal forma com sua projeção equatorial. A longitude geodésica (λ) é definida como o ângulo formado pelo diedro do meridiano geodésico (paralelo ao de Greenwich) e o meridiano do ponto. A distância entre os pontos P e P' é a altitude geométrica (h). A Figura 07 ilustra o sistema de coordenadas geodésicas.

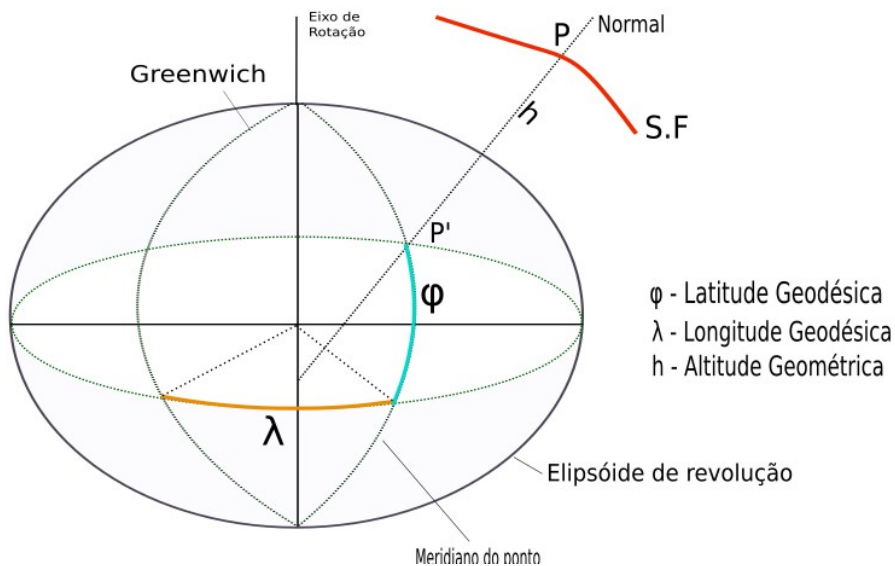


Figura 07 - Coordenadas Geodésicas

Coordenadas UTM

Embora projeções cartográficas não seja objeto desta disciplina é conveniente abordar sucintamente o tema, pois este tipo de coordenadas é muito utilizada em levantamentos GNSS (*Global Navigation Satellite System*) que por sua vez pode ser utilizado em levantamentos topográficos. Para saber mais sobre GNSS acessar: <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss>

A projeção UTM (*Universal Transversa de Mercator*) consiste na representação plana da Terra (elipsoide de revolução) a partir de um cilindro (superfície de projeção) transverso ao eixo de rotação terrestre (Figura 08).

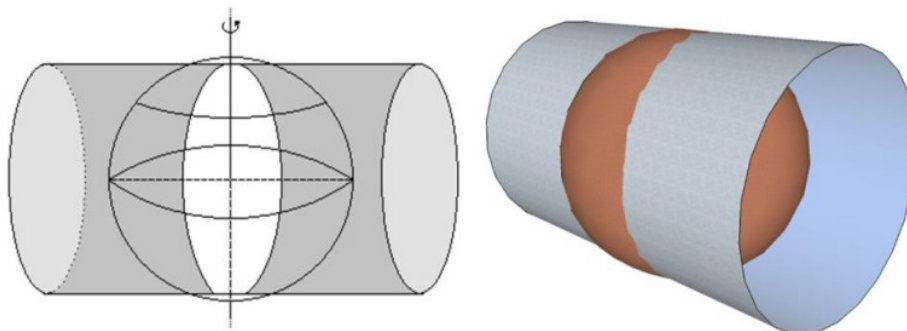


Figura 08 – Projeção UTM.
(Fonte: SAMPAIO & BRANDALIZE, 2018)

O Sistema de coordenadas UTM consiste na divisão da Terra em 60 fusos (considerando os meridianos) de 6° cada. Estes fusos são resultados do cilindro transversal secante e são numeradas (1 a 60) a partir do meridiano de Greenwich de oeste para leste. A projeção cobre entre as latitudes 80° S a 80° N, sendo que as calotas polares são projetadas a partir de outro tipo de projeção.

Na Figura 09 é mostrada a divisão de fusos no Brasil.

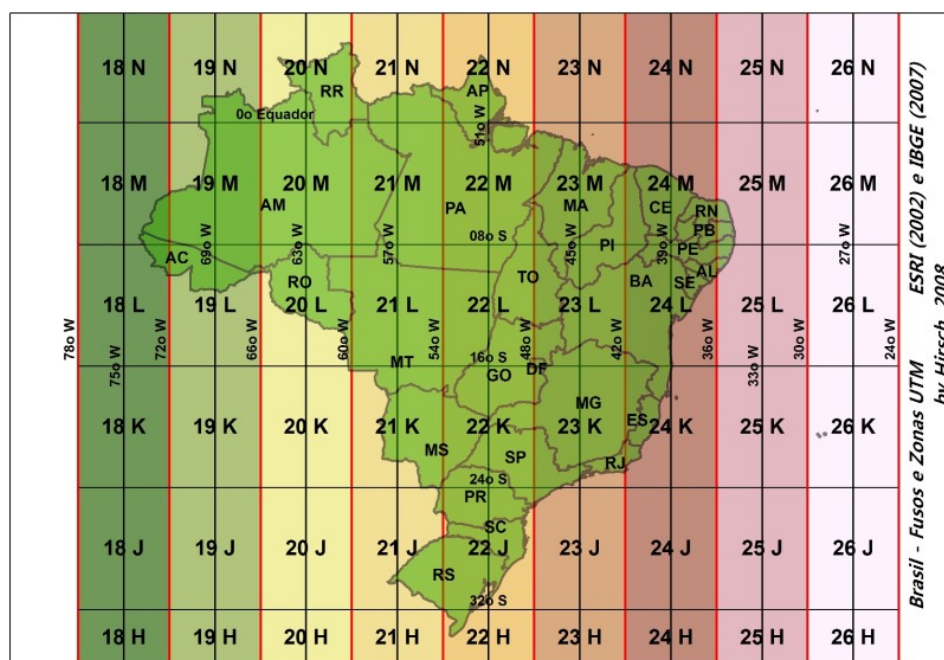


Figura 09 – Divisão de fusos no Brasil.
(Fonte: HIRSCH, 2008)

Como se trata de um sistema de projeção, existem distorções e por este motivo este sistema apresenta algumas limitações no âmbito da Topografia, ou seja, em muitas aplicações as coordenadas UTM não são convenientes, sendo necessário sistema de coordenadas locais como o PTL (Plano Topográfico Local), cuja norma reguladora é a NBR 14166.

Na Figura 10 é ilustra as características de um fuso, com suas distorções de escala (k).

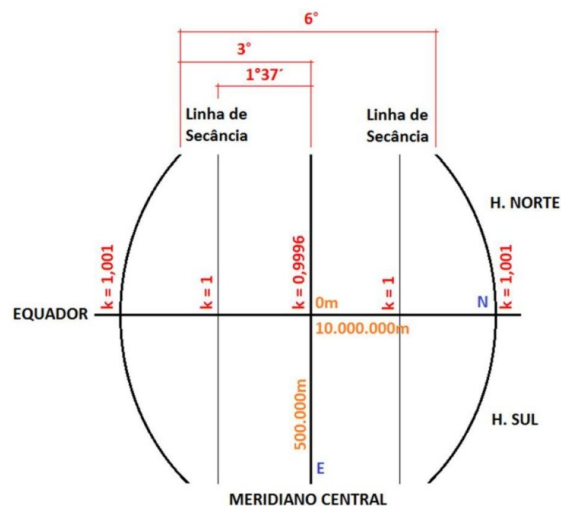


Figura 10 – Características de um fuso UTM
(Fonte: SAMPAIO & BRANDALIZE, 2018)

Para aprofundar os estudos sobre coordenadas UTM recomenda-se o livro: SAMPAIO, T. V. M.; BRANDALIZE, M. C. B. Cartografia geral, digital e temática – Volume I. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 2018. Disponível no site: <http://www.prppg.ufpr.br/site/ppggeografia/wp-content/uploads/sites/71/2018/03/cartografia-geral-digital-e-tematica-b.pdf>

A NBR 13133 trata do Sistema de projeção *Universal Transversa de Mercator* na página 6.

Plano Topográfico

A porção de terra compreendida em até no máximo 30 km pode ser simplificada como plana. Esta simplificação é conveniente para facilitar os cálculos topográficos.

A NBR 13133, nas páginas 05 e 06 mostra as características do Sistema de projeção topográfica (ou Sistema Topográfico Local), sendo admitido um plano de aproximadamente 80 km:

“ a) As projetantes são ortogonais à superfície de projeção, significando estar o centro de projeção localizado no infinito.

b) A superfície de projeção é um plano normal a vertical do lugar no ponto da superfície terrestre considerado como origem do levantamento, sendo seu referencial altimétrico o referido Datum vertical brasileiro.

c) As deformações máximas aproximadas inerentes à desconsideração da curvatura terrestre e à refração atmosférica são:

$$\Delta l \text{ (mm)} = - 0,001 \text{ } l^3 \text{ (km)}$$

$$\Delta h \text{ (mm)} = + 78,1 \text{ } l^2 \text{ (km)}$$

$$\Delta h' \text{ (mm)} = + 67 \text{ } l^2 \text{ (km)}$$

Onde:

Δl = deformação planimétrica devida à curvatura da Terra, em mm.

Δh = deformação altimétrica devida à curvatura da Terra, em mm.

$\Delta h'$ = deformação altimétrica devida ao efeito conjunto da curvatura da Terra e da refração atmosférica, em mm.

l = distância considerada no terreno, em km.

d) O plano de projeção tem a sua dimensão máxima limitada a 80 km, a partir da origem, de maneira que o erro relativo, decorrente da desconsideração da curvatura terrestre, não ultrapasse 1:35000 nesta dimensão e 1:15000 nas imediações da extremidade desta dimensão.

e) A localização planimétrica dos pontos, medidos no terreno e projetados no plano de projeção, se

dá por intermédio de um sistema de coordenadas cartesianas, cuja origem coincide com a do levantamento topográfico;

f) O eixo das ordenadas é a referência azimuthal, que, dependendo das particularidades do levantamento, pode estar orientado para o norte geográfico, para o norte magnético ou para uma direção notável do terreno, julgada como importante.”

A Figura 11 ilustra a relação entre as superfícies de referência e o plano topográfico.

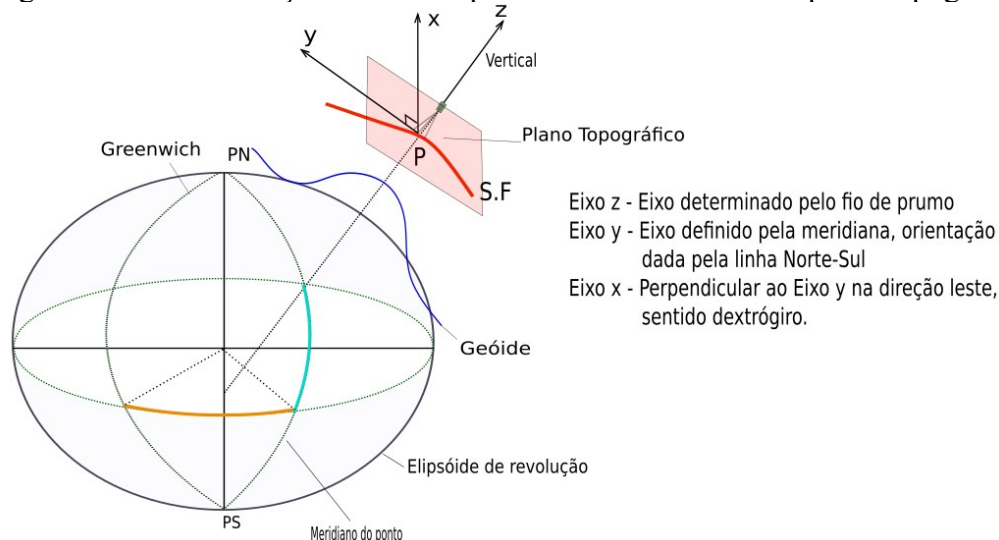


Figura 11 – Superfícies de referência e plano topográfico.

Sistemas de coordenadas

Para a determinação de coordenadas dos pontos medidos na Topografia é importante que se conheça os sistemas de coordenadas, assim serão revistos conceitos básicos de coordenadas cartesianas, esféricas e polares.

Sistema de coordenadas cartesianas

No sistema de coordenadas cartesianas, que pode ser bidimensional (X,Y) ou tridimensional (X,Y,Z) é caracterizado pelo cruzamento perpendicular do eixo X com o eixo Y no primeiro caso e o cruzamento dos eixos X,Y e Z mutuamente perpendiculares no segundo caso. A Figura 12 mostra o sistema de coordenadas cartesianas tridimensional e a coordenada de um ponto P.

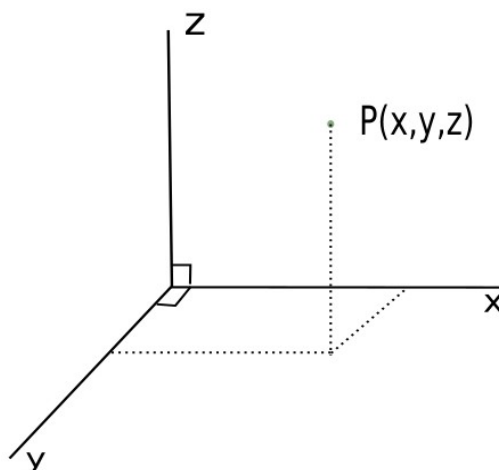


Figura 12 – Sistema de coordenadas cartesianas

Sistema de coordenadas esféricas.

No sistema de coordenadas esféricas a posição de um ponto no espaço tridimensional pode ser determinada por uma distância R entre a origem e o ponto considerado e os ângulos α e β , conforme mostra a Figura 13.

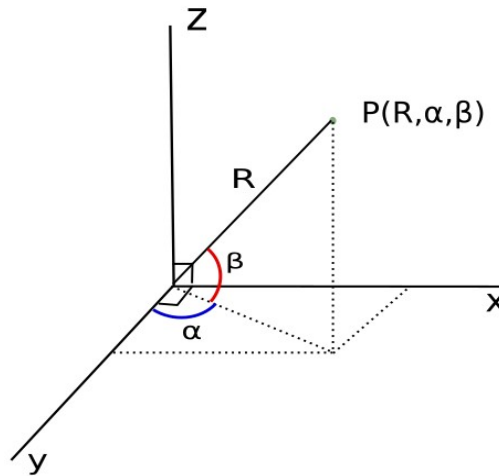


Figura 13 – Sistema de coordenadas polares.

Matematicamente a coordenada de um ponto P e R, α e β é expresso por:

$$\begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} = R * \begin{vmatrix} \cos \beta * \sin \alpha \\ \cos \beta * \cos \alpha \\ \sin \beta \end{vmatrix} \quad (2)$$

Coordenadas polares na topografia

No sistema de coordenadas polares podemos descrever um ponto no espaço com um ângulo de rotação e uma distância entre o ponto e a origem do sistema.

No caso da topografia a localização dos pontos no espaço são definidas pelos ângulos podem (rumos e azimutes) e as distâncias medidas em campo. Na Figura 14 é mostrada um exemplo de como os ângulos e distâncias são usadas na topografia para a determinação das coordenadas dos pontos.

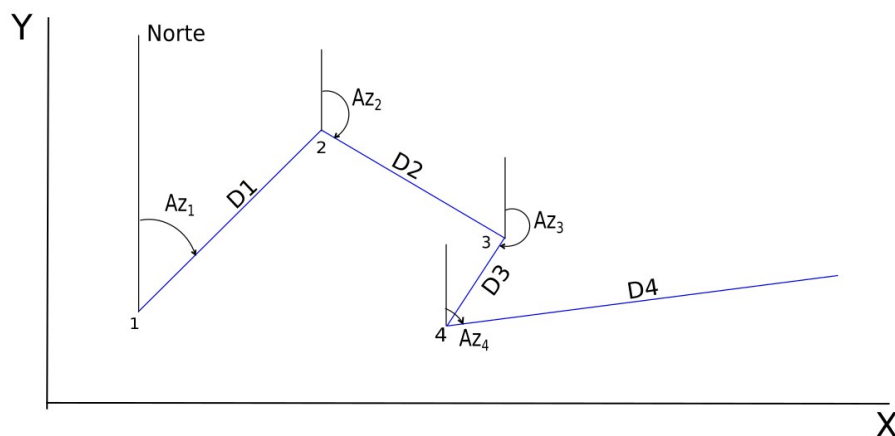


Figura 14 – Uso do azimuth e distância na determinação das coordenadas de pontos.

As coordenadas do ponto 1 devem ser conhecidas, e as coordenadas dos demais pontos n são dadas por:

$$X_n = X_{(n-1)} + D_{(n-1)} * \sin(Az_{(n-1)}) \quad Y_n = Y_{(n-1)} + D_{(n-1)} * \cos(Az_{(n-1)}) \quad (3)$$

onde n corresponde a sequência de pontos, $n = 1, 2, 3, \dots, n$.

Revisão de trigonometria

Para a resolução de problemas de topografia é fundamental que o discente revise todos os conceitos de trigonometria:

- O triângulo retângulo;
- Lei dos senos;
- Lei dos cossenos;
- Relações trigonométricas.

Existem várias plataformas digitais que podem ser acessadas para revisão dos assuntos, como as plataformas:

- IMPA: <https://portaldabimem.ipma.br/index.php/modulo/ver?modulo=71#>
- Khan Academy: https://pt.khanacademy.org/search?page_search_query=Trigonometria

Estes *sites* também podem ser usados para revisão de outros assuntos como geometria plana

Bibliografia

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 13133: Execução de levantamento topográfico – procedimento. Rio de Janeiro, 1994.

ABNT. NBR 14166: Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento. Rio de Janeiro, ago. 1998.

EMBRAPA – Informações disponíveis no site: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/> . 2020.

HIRSCH, A. Brasil: fusos e zonas UTM. 10.13140/RG.2.2.15089.79205. 2008

SAMPAIO, T. V. M.; BRANDALIZE, M. C. B. Cartografia geral, digital e temática – Volume I. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 2018.

GEMAEL C. Introdução à geodésia física. Curitiba: UFPR; 1999.

Sites

http://geofit.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_25fev2005.pdf

<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica.html>

http://icgem.gfz-potsdam.de/tom_longtime

<http://www.bdg.ibge.gov.br/appbdg/>

<http://icgem.gfz-potsdam.de/home>

<http://labsim.unipampa.edu.br/redegeo/>

<https://portaldaobmep.impa.br/index.php/modulo/ver?modulo=71#>

https://pt.khanacademy.org/search?page_search_query=Trigonometria

<https://www.ibge.gov.br/geociencias/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html?=&t=o-que-e>

<https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss>

Aplicativos

https://play.google.com/store/apps/details?id=contatorogerio.redegeo_v3&hl=pt_BR

<https://apps.apple.com/br/app/redegeo/id1498458251>