

Conceitos Fundamentais Usados no Posicionamento Terrestre

Vilmar Cuchinski ¹
Genival Corrêa de Souza ²
Adriane Brill Thum ³
Maurício Roberto Veronez ³
Reginaldo Macedônio da Silva ⁴

Universidade do Vale do Rio Dos Sinos ¹
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Pós-Graduação em Georreferenciamento
Avenida Unisinos, n.º950, SÃO LEOPOLDO RS
Vilmarcuchinski@tcheturbo.com.br

Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS ²
Departamento de Tecnologia - Laboratório de Geotecnologias – GEOTEC
Br 116 – km 03 - Campus Universitário
44031-460 Feira de Santana BA
gcorrea@uefs.br

Universidade do Vale do Rio dos Sinos ³
Programa de Pós-Graduação em Geologia
Laboratório de Sensoriamento Remoto e Cartografia - LASERCA
Av. Unisinos, 950 - 93.022-000 São Leopoldo RS
veronez@euler.unisinos.br

Centro Universitário FEEVALE ⁴
Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas
Setor de Arquitetura e Urbanismo- Laboratório de Geoprocessamento
Rodovia RS 239, nº 2755 – 93352-000 Novo Hamburgo RS
macedonio@feevale.br

RESUMO : Não raro percebe-se entre alguns geomensores a dificuldade de compreensão dos conceitos de posição espacial, sistemas de coordenadas e sistemas de referência acarretando confusão e interpretações erradas na execução dos trabalhos de posicionamento. Atualmente, com o advento dos GPS e mais recentemente a vigência da lei 10.267, é imprescindível um pleno domínio dos conceitos envolvidos, sem o qual torna-se impossível um perfeito desenvolvimento dos trabalhos de georreferenciamento de imóveis rurais. Este trabalho apresenta, no ponto de vista dos autores, uma abordagem que se considera adequada para o ensino dos fundamentos do posicionamento na superfície terrestre nos cursos técnicos, de graduação para que os profissionais Geomensores tenham domínio dos conceitos básicos e dos sistemas de referência geodésica utilizados no posicionamento

Palavras chaves: Posicionamento, Sistema de Coordenadas, Sistema de referência, georreferenciamento.

ABSTRACT : Sometime the distinction among the concepts of position, coordinates systems and reference systems are not clear for the surveyors. Nowadays whit the advent of the GPS and the law 10.267 in Brazil as well, that concepts are extremely necessary for the georefer in rural cadastre. This work presents, in autors's point of view, a adequate manner to teaching the basics concepts for the earth positioning to the technical and graduate students. In addition it is presented topics related with the geodetic reference systems adopted in earth positioning.

Keywords: Positioning, Reference System, Coordinates system, Georefer.

1- Introdução

A grande maioria das tarefas executadas por Engenheiros Agrimensores, Engenheiros Cartográficos, Topógrafos e outros profissionais ligados aos levantamentos está relacionada com a determinação de coordenadas de pontos na superfície da terra, no mar e mesmo no ar. Desta forma, o conhecimento dos sistemas de referências utilizados para o posicionamento na superfície terrestre, suas características principais e relacionamento entre eles, é de fundamental importância para os profissionais desta área, sem o qual ele não conseguirá desempenhar a contento as suas atribuições.

O desconhecimento dos conceitos de posição, sistemas de coordenadas e sistemas de referência acarretam interpretações erradas na execução dos trabalhos de posicionamento. Atualmente, com o advento dos GPS e mais recentemente a vigência da lei 10.267, é imprescindível um pleno domínio dos conceitos envolvidos, sem o qual torna-se impossível um perfeito desenvolvimento dos trabalhos de georreferenciamento de imóveis rurais.

Na visão de Torge (1991), a Geodésia pode ser dividida em três grupos: Geodésia Global, Geodésia Local e levantamentos no plano topográfico. A geodésia Global é responsável pela determinação da figura da Terra e do seu campo gravitacional externo. A geodésia local estabelece as bases para determinação da superfície e campo gravitacional de uma região da terra, um país, por exemplo. Neste caso implanta-se um grande número de pontos de controle formando as redes geodésicas e gravimétricas que servirão de base para os levantamentos no plano topográfico. Os levantamentos no plano topográfico são responsáveis pelo detalhamento do terreno inclusive cadastro e levantamentos para engenharia. Alguns autores classificam a Topografia como Geodésia Inferior. Historicamente a distinção entre os métodos topográficos e métodos geodésicos sempre foi de fácil percepção. Nitidamente os métodos geodésicos diferiam dos métodos topográficos, tanto nos equipamentos quanto no ferramental teórico utilizado, uma vez que nos primeiros, a curvatura da terra e o campo gravitacional devem ser considerados e nos levantamentos topográficos a utilização de um plano é suficiente. Por exemplo: no âmbito da topografia corrente ou regular, para se medir uma distância da ordem de 100 m o geomensor poderia fazê-lo através de uma medição direta à trena sem a necessidade de qualquer tipo de correção ou procedimento que envolvesse conceitos da geodésia global, enquanto que no âmbito da geodésia uma distância da ordem de alguns quilômetros, por exemplo, ainda que pudesse ser medida à trena, necessitaria de procedimentos para eliminar erros sistemáticos e ainda reduções ao referencial geodésico utilizado, requerendo certamente o domínio de conceitos inerentes à teoria dos erros e à geodésia geométrica. Percebe-se que no caso da topografia o procedimento é muito mais "intuitivo" possibilitando inclusive que pessoas sem formação adequada desenvolvessem trabalhos para os quais não estavam preparados. Eram os famosos "picaretas" que tanto contribuíram para a desvalorização dos profissionais da geomensura.

O aparecimento dos sistemas de posicionamento por satélites, particularmente o sistema GPS, aproximaram os procedimentos utilizados para Geodésia e Topografia. Utiliza-se o GPS tanto para medir distâncias de 100 m como distâncias de 100 km. Nos dois casos para que o profissional possa trabalhar com segurança é necessário, além do domínio do próprio instrumento de medição que é o Sistema GPS, também o conhecimento dos conceitos relacionados com sistemas de coordenadas e sistemas de referência.

A rápida e surpreendente mudança nos métodos de posicionamento e medição, inclusive a integração cada vez mais efetiva da topografia clássica com os sistemas de posicionamento por satélites fez com que um grande contingente de profissionais da topografia clássica, por não estarem familiarizados com os fundamentos gerais do posicionamento geodésico, sentissem dificuldades de adequação aos novos procedimentos.

Este trabalho apresenta de forma clara e sucinta os conceitos relacionados com o posicionamento na superfície terrestre contribuindo para que os profissionais Geomensores tenham domínio dos elementos envolvidos na definição dos sistemas de referência geodésicos, os quais serão de fundamental importância nos trabalhos de georreferenciamento, visando, inclusive, a certificação de imóveis rurais, junto ao INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária). O trabalho apresenta ainda os sistemas de coordenadas utilizadas no posicionamento.

2 – Os Conceitos de Posição, Coordenada e Sistema de Referência.

No ponto de vista dos autores deste artigo, são três os conceitos fundamentais imprescindíveis para que o profissional da geomensura consiga utilizar com segurança o sistema de posicionamento global nos trabalhos de posicionamento.

O primeiro, o conceito de **Posição**, diz respeito à situação espacial de um corpo sendo um conceito que por estar relacionado com a nossa realidade imediata e ao nosso senso comum se torna bastante intuitivo. É fácil para qualquer um de nós percebermos quando um corpo muda de posição. Intuitivamente conseguimos perceber com base nos corpos situados à sua volta que houve um deslocamento e este fato nos leva a outra percepção, a de que a posição de um corpo é sempre definida em relação a um ou vários pontos

Utiliza-se uma medida ou várias medidas tais como distâncias e ângulos para expressar a situação espacial (posição) em relação a pontos de referência sendo que tais medidas são chamadas de coordenadas. Desta forma, a posição é sempre expressa por uma ou mais coordenadas em um determinado sistema de referência. Pode-se assim definir **coordenada** como sendo qualquer um dos membros de um conjunto que determina univocamente a posição de um ponto no espaço. O conjunto é formado por tantos membros quantas as dimensões do espaço considerado enquanto que um **Sistema de Referência** é o conjunto de elementos concretos ou abstratos intelectualmente organizado que serve para relacionar coisas entre si. É um sistema coordenado (no espaço físico ou abstrato) e é definido, segundo Castañeda (1986), como sendo uma relação de regras que especifica a posição de cada ponto do espaço através de um conjunto ordenado de números reais denominados coordenadas.

A propriedade mais importante de qualquer espaço é a sua dimensionalidade, que se mede pelo número de coordenadas necessárias à especificação do posicionamento de cada um dos seus pontos. Assim, uma reta representa uma dimensão no espaço. Portanto é necessário apenas uma coordenada para definir a posição de um ponto em uma reta, que pode ser, por exemplo, a distância D do ponto até uma referência ou origem pré-estabelecida (Figura 1).

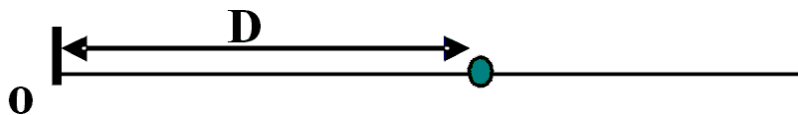
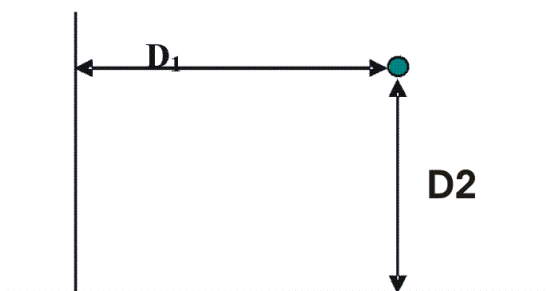
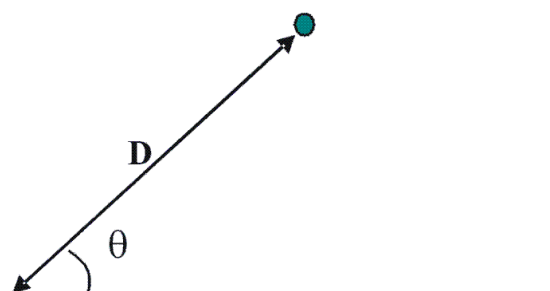


Figura 1 : Posição de um ponto numa reta

Um plano é definido por duas dimensões no espaço. Portanto, são necessárias duas coordenadas para definir a posição do ponto no plano (Figura 2).



Duas distâncias D_1 e D_2



Um ângulo (θ) e uma distância D

Figura 2: posição de um ponto no plano

Para representar um ponto no espaço (3 dimensões) são necessárias 3 coordenadas (Figura 3).

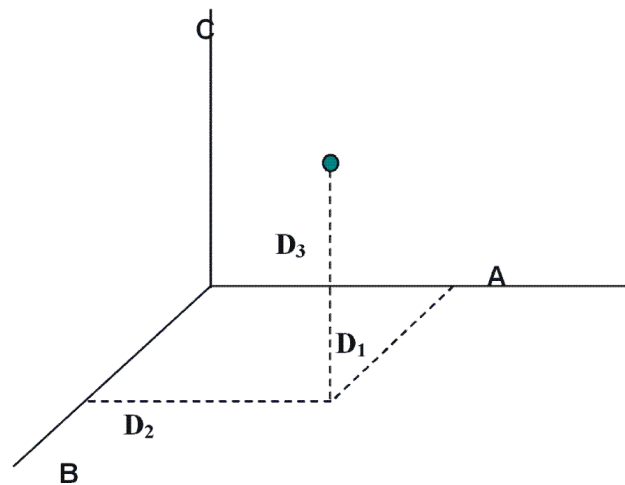


Figura 3 : Posição de um ponto no espaço

Quando temos que informar a posição de um ponto na superfície da terra naturalmente, por se tratar de um espaço tridimensional, temos que usar três coordenadas, por exemplo, Latitude, Longitude e Altitude.

O relacionamento entre os conceitos de posição, coordenadas e sistema de referência pode ser representado conforme o quadro abaixo:

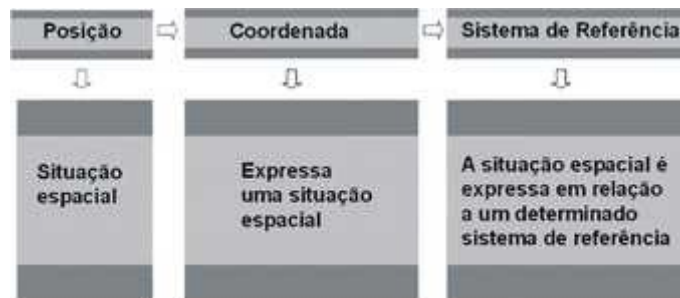


Figura 4 – Relação entre posição, coordenada e sistema de referência

3 – Sistemas de Referência e a Forma da Terra

Quando é necessário identificar a posição de um determinado ponto na superfície da terra utilizam-se sistemas de referência terrestres ou geodésicos. Um sistema de referência geodésico, constitui-se num referencial utilizado para definir posições de objetos na superfície da terra ou próximo dela e estão associados a uma superfície que mais se aproxima da forma da terra sobre a qual são desenvolvidos todos os cálculos das suas coordenadas.

Os corpos vinculados a terra encontram-se sujeitos a uma força que resulta da força de atração e da força centrífuga decorrente do movimento de rotação da terra. Esta força resultante é chamada de gravidade. Se unirmos todos os pontos de um mesmo potencial gravitacional teremos uma superfície chamada de equipotencial. Considerando que as águas do oceano que se movimentam de forma livre e homogêneas estando sujeito apenas à força da gravidade, ao atingirem o estado de equilíbrio materializam uma superfície de nível do campo gravitacional e, portanto, uma superfície equipotencial (Torge,1991). Se imaginarmos a interconexão dos oceanos através dos continentes, ignorando os efeitos de fricção, marés, ventos, etc., uma superfície equipotencial no nível médio dos mares deverá ser formada. Esta superfície é

chamada de geóide. Apesar da idealização o geóide existe e pode ser medido (Schoefield,1993).

Embora o potencial gravitacional seja o mesmo em toda a superfície e mais suave que a superfície física da terra, ele ainda contém muitas irregularidades não sendo possível a sua definição matemática. As irregularidades do geóide são devidas as anomalias de massa no interior da terra.

Sendo o Geóide uma superfície irregular e de modelagem matemática extremamente difícil, em seu lugar utiliza-se uma superfície elipsóidica. Desta forma utiliza-se um elipsóide de revolução para representar a forma real da terra. Considerando um elipsóide global, o desvio máximo para o geóide da ordem de 100m (Vanicek&Krakivsky, 1986). Um elipsóide de revolução é um sólido resultante da rotação de uma elipse em torno do seu eixo menor e é definido pelo seu “semi-eixo maior e achatamento.

Embora o elipsóide seja um conceito e não uma realidade física, ele representa uma superfície regular para a qual fórmulas podem ser deduzidas para o cálculo de distância elipsoidal, azimutes e coordenadas elipsoidais.

Diferentes países tem adotado elipsóides locais que melhor se adequam a sua situação particular. A figura abaixo apresenta um modelo do geóide elaborado por pesquisadores do GFZ e sua relação com um elipsóide (linha pontilhada).

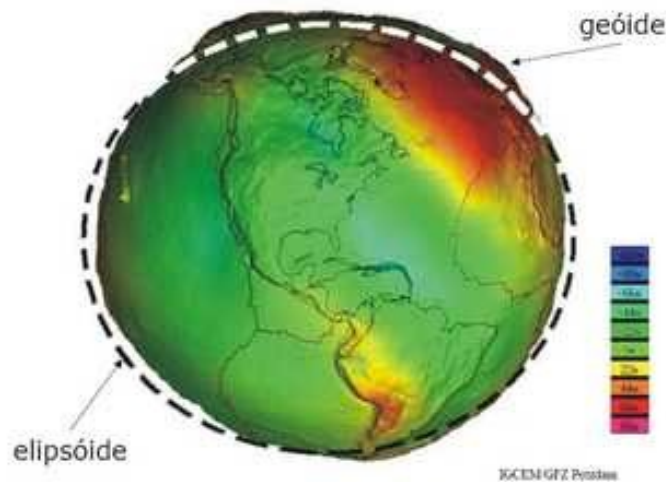


Figura 5 - Geóide e Elipsóide.

Fonte:http://www.ibge.gov.br/seminario_referencial_geocentrico/

4. Sistemas de Coordenadas Utilizadas no Posicionamento Terrestre

As coordenadas dos sistemas de referência geodésicos, usualmente são apresentadas em três formas: cartesianas, geodésicas(elipsoidais) e planas.

4.1 - Sistema de Coordenadas Cartesianas

O sistema de coordenadas cartesianas, está associado a um sistema de referência geodésico (CG) de modo que;

- O eixo X coincide com o plano equatorial, positivo na direção de longitude 0°;
- O eixo Y coincide com o plano equatorial, positivo na direção de longitude 90° W;
- O eixo Z, é paralelo ao eixo de rotação da terra e positivo na direção norte;

A origem do sistema é o centro do elipsóide adotado nos vários sistemas de referência. Se o sistema é geocêntrico, a origem coincide com o centro de massa da terra conforme mostra a Figura 6;



Figura 6. Coordenadas cartesianas geocêntricas

Os sistemas Geocêntricos são utilizados no posicionamento de satélites, como o WGS84. A tendência atual é que todos os países passem a utilizar um sistema geocêntrico como é o caso do Brasil que adotou oficialmente também o SIRGAS. (IBGE,2006).

O sistema de coordenadas cartesiano proporciona um simples e bem definido método para definir posição, mas nem sempre é conveniente para definir alturas. Como a ordenada Z é vertical a partir do plano equatorial e a altura elipsoidal (h) é normal a superfície de referência do elipsóide, um incremento em h não produzirá um igual incremento em Z (exceto nos polos).

O crescimento do uso dos satélites tem tornado importante o estudo do sistema de coordenadas cartesianas e sua transformação para coordenadas elipsoidais.

4.2 - Sistema de Coordenadas Geodésicas

Como já foi dito, deve-se adotar uma superfície que sirva de referência, tendo-se assim uma concordância das coordenadas na superfície esférica da terra, através de uma figura geométrica regular, chamada elipsóide, que é muito próximo das dimensões da terra, permitindo assim, através de um sistema coordenado, posicionar espacialmente as diferentes entidades topográficas, e as coordenadas são denominadas de Latitude e Longitude geodésicas. http://www.ibge.gov.br/sevidor_arquivos_geo/sisref.pdf. A latitude geodésica (elipsoidal) (φ) é o ângulo que descreve a inclinação da normal no plano equatorial do elipsóide. A longitude geodésica (elipsoidal) (λ) é o ângulo no plano equatorial, entre o plano que contem o meridiano zero (Greenwich) e o plano meridiano que passa pelo ponto P. A altura h do ponto P sobre o elipsóide é chamada de altura elipsoidal. Como o elipsóide tem conceitualmente uma superfície regular, nunca dois pontos teriam as mesmas coordenadas, como no sistema astronômico. As coordenadas elipsoidais podem ser usadas para calcular azimutes e distância elipsoidal. Este é o sistema de coordenadas utilizado na geodésia clássica para determinar a posição em um elipsóide de referência (Figura 7)

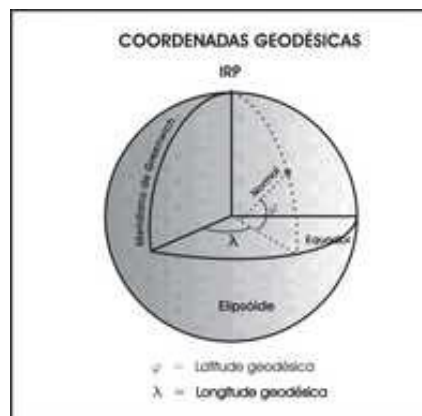


Figura 7- Coordenadas Geodésicas

As relações matemáticas entre os sistemas Cartesiano e Geodésico podem ser obtidas em bibliografia especializada

4.3 - Sistema de Coordenadas Planas UTM

Sistema de coordenadas planas é um conjunto de coordenadas, num sistema de referência geodésico, representadas no plano, através das componentes Norte e Leste, são muito utilizadas em confecções de mapas representando as feições de uma superfície curva em um plano, através de fórmulas matemáticas chamadas de projeções, no Brasil a projeção mais utilizada é a UTM (Universal Transversa de Mercator).(http://www.ibje.gov.br/sevidor_arquivos_geo/sisref.pdf).

Na projeção UTM, as coordenadas planas da superfície terrestre, são obtidas a partir do uso de um sistema de projeção, através do qual se estabelece uma relação pontual e unívoca entre a superfície de referência, esférica, e a superfície do desenho, plana. Trata-se, portanto, de obter as coordenadas planas E, N a partir de um ponto de coordenadas (ϕ_g , λ_g) da superfície esférica. A elevação usada é a altitude ortométrica. Dentre os sistemas de coordenadas plano retangulares, a projeção UTM é o sistema mais utilizado na mensuração.

A projeção UTM, originada a partir da Projeção Conforme de Gauss, foi usada pela primeira vez, em larga escala, pelo serviço de cartografia do Exército Americano(US Army Map Service – MAS), durante a Segunda Guerra Mundial. A sua principal vantagem, é que ela permite representar grandes áreas da superfície terrestre, sobre um plano, com poucas deformações e com apenas um grupo de fórmulas. Trata-se de uma cilíndrica conforme, que pode ser visualizada como um cilindro secante à superfície de referência, orientado de forma que o eixo do cilindro esteja no plano do equador. O cilindro secante possui um diâmetro menor do que o diâmetro da superfície de referência. A área de projeção compreende apenas uma parcela da superfície de referência. Essa área é denominada fuso ou zona. Cada fuso é representado pelo número do fuso ou pela longitude do seu meridiano central. Detalhes da projeção UTM podem ser vistos em referências especializadas.

4.4 - Sistema Topográfico Local

Segundo a NBR 14166, é um sistema de representação, em planta, das posições relativas de pontos de um levantamento topográfico com origem em um ponto de coordenadas geodésicas conhecidas, onde todos os ângulos e distâncias de sua determinação são representados em verdadeira grandeza, sobre o plano tangente à superfície de referência (elipsóide de referência) do sistema geodésico adotado, na origem do sistema, no pressuposto que haja, na área de abrangência do sistema, a coincidência da superfície de referência com a do plano topográfico tangente, sem que os erros, decorrentes da abstração da curvatura terrestre, ultrapassem os erros inerentes às operações topográficas de determinação dos pontos do levantamento. (Ver figura 8).

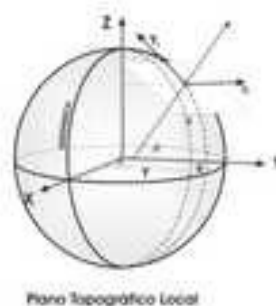


Figura 8 – Plano Topográfico Local

A localização planimétrica dos pontos medidos no terreno é definida por um sistema cartesiano com as seguintes características:

- a) origem do sistema no ponto de tangência com a superfície de referência adotado pelo Sistema Geodésico Brasileiro-SGB;
- b) o eixo X coincide com a linha meridiana (norte-sul) geográfica no ponto de tangência, com orientação

- para o norte geográfico;
- c) o eixo X é orientado positivamente para leste;
 - d) para se evitar valores negativos para as coordenadas, a estas são adicionados as constantes 150.000 e 250.000 respectivamente para a abscissa (X) e para a ordenada (Y);
 - e) as coordenadas deverão ser corrigidas por um fator de elevação (c), que tem o objetivo de elevar o plano do horizonte local à altitude ortométrica (H) média da área de abrangência do sistema.

5 - Alturas

As superfícies mais utilizadas em geodésia, com referência as altitudes, são o Geóide e o elipsóide. Como definido no item 3, o Geóide, é a superfície equipotencial, que melhor se aproxima do nível médio dos mares, em relação aos continentes.

Altitude elipsoidal é a altitude referida ao elipsóide, através do GPS. As altitudes referidas ao geóide são denominadas de altitudes ortométricas, que se obtém através de nivelamento geométrico. A ondulação geoidal é a diferença entre o geóide e o elipsóide. É muito importante o conhecimento da ondulação geoidal para se fazer a redução das altitudes obtidas por GPS por que todo sistema de altitude utilizado no Brasil se refere ao geóide.

Os sistemas de posicionamento por satélites definem a posição em coordenadas cartesianas X,Y e Z as quais são transformadas para geodésicas ϕ , λ e h , com base em determinado elipsóide de referência. O valor h é a altura elipsoidal que não tem relação com a gravidade e, portanto, raramente é utilizado para finalidades práticas. É necessário transformar a altura elipsoidal (h) para altura ortométrica (H) como se verifica na Figura 9.

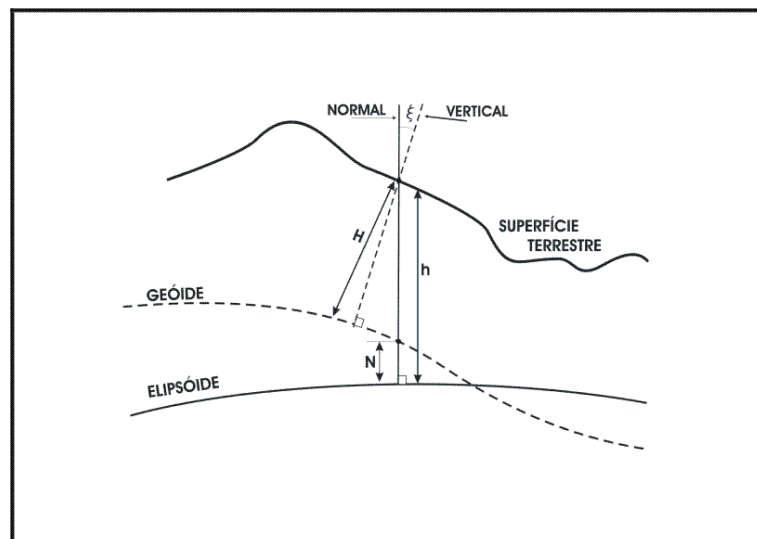


Figura 9 – relação entre altura elipsoidal e altura ortométrica

Como se vê na figura acima, $h = N + H \cos \xi$. O ângulo “ ξ ” é sempre menor que 60° e pode ser ignorado. Temos então que $h \approx N + H$. O erro por essa simplificação é de 0,4mm na pior das hipóteses (Schofield, 1983).

O termo N é a separação geóide-elipsóide ou altura geoidal. A precisão da altura ortométrica ou altitude obtida através de sistemas de posicionamento por satélite depende, portanto, da precisão com que se obteve a altura geoidal.

Um grande esforço está sendo despendido hoje no Brasil para aumentar o número de estações gravimétricas permitindo assim uma melhor modelagem do geóide no território brasileiro melhorando a exatidão nas determinações de altitudes com o uso do Sistema GPS. A Figura 10 apresenta o mapa geoidal do Brasil conforme Blitzkow et al em http://www.ibge.gov.br/seminario_referencial_geocentrico/portugues/index

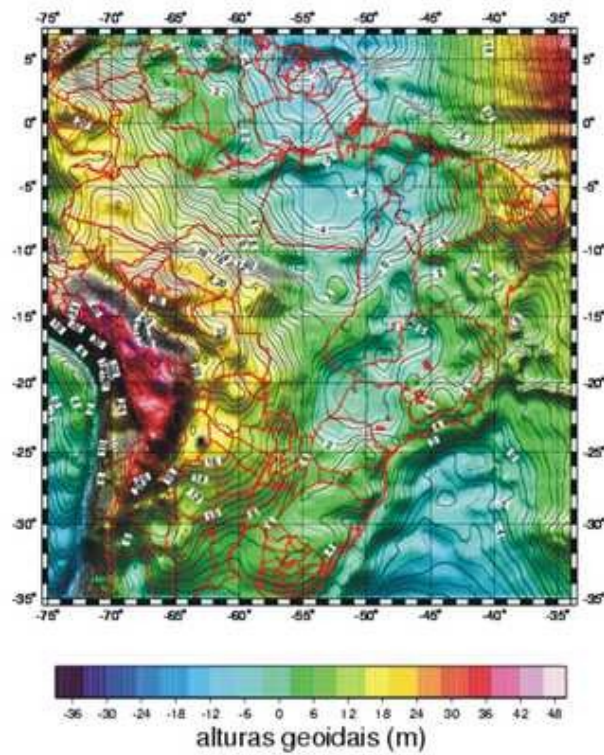


Figura 10: Mapa geoidal do Brasil

O IBGE disponibiliza na sua homepage um programa para o cálculo imediato da ondulação geoidal em qualquer ponto do Brasil a partir das coordenadas geodésicas. O programa chama-se Mapgeo (Figura 11) e está disponível sem qualquer custo.

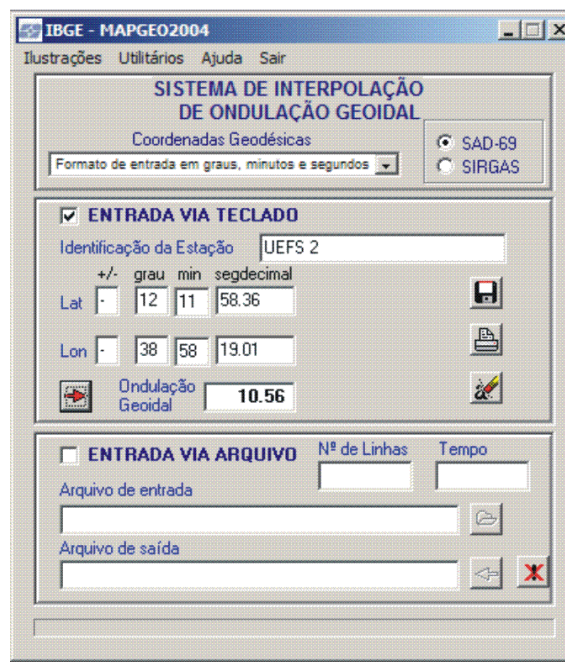


Figura 11- Tela principal do Programa Mapgeo

6 - Mudança de Datum

Trata-se na realidade de uma mudança de sistema de referência. É um procedimento muito importante e freqüente nas atividades dos geomensores.

A transformação entre sistemas cartesianos (Figura 12) requer a definição de 7 parâmetros:

- Translação da origem, representadas pelas variações ΔX , ΔY , ΔZ (três parâmetros);
- Rotação sobre os eixos θ_x , θ_y e θ_z . θ_x e θ_y alteram a direção do eixo Z e θ_z o meridiano de origem (três parâmetros);
- Mudança de escala (1 parâmetro).

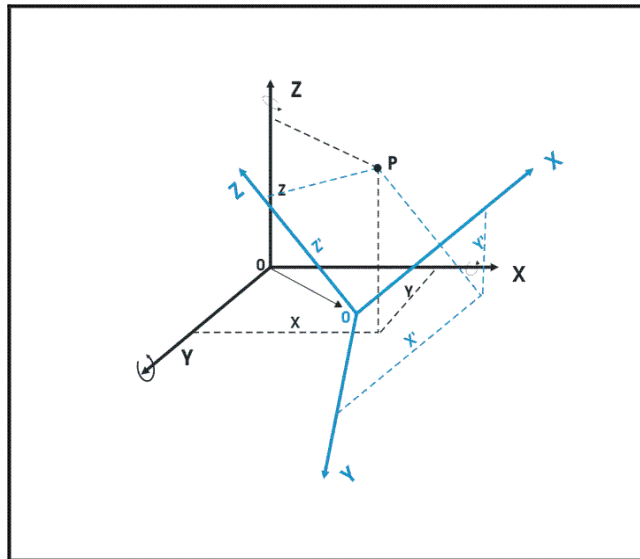


Figura 12- Mudança de Datum.

Existindo paralelismo entre os Sistemas a transformação se resume à aplicação dos parâmetros de translação da origem ΔX , ΔY , ΔZ , conforme mostra a Figura 13.

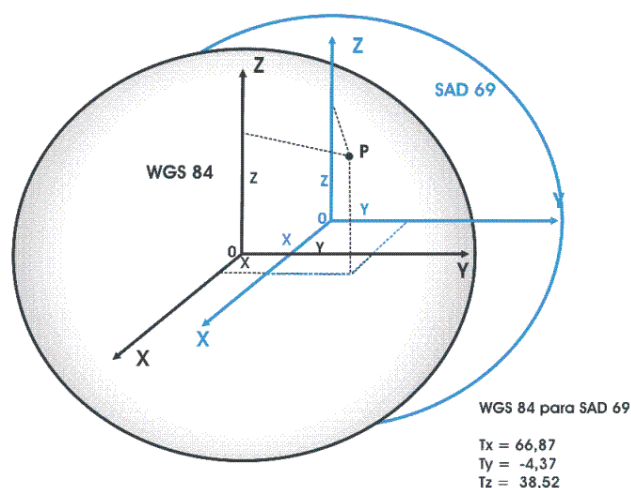


Figura 13 – Mudança de Datum entre sistemas paralelos

As transformações também podem ser feitas diretamente entre sistemas elipsoidais de mesma orientação

6 - Conserações Finais

Este trabalho apresentou os conceitos fundamentais utilizados no posicionamento terrestre necessários para que os profissionais da geomensura possam desempenhar com segurança e rigor técnico as suas atividades.

Avalia-se que profissionais que desconheçam os fundamentos do posicionamento terrestre certamente ficarão fora de um mercado que, embora extremamente especializado, se configura como extremamente promissor. De acordo com a conceituada Revista Nature o mercado de geotecnologias é um dos três mais promissores junto com a nanotecnologia e biotecnologia nos próximos anos.

É importante chamar a atenção para o novo sistema de referência já implantado no Brasil o qual pode ser utilizado em concomitância com o SAD69. Sistema geocêntrico, obtido através de rastreamento de satélites, o SIRGAS é uma densificação do ITRF (International Reference Frame) 2000. Após o último refinamento, o WGS84(1150), pode ser considerado coincidente com o ITRF2000 a nível de 1cm.

Salienta-se que, com a adoção do SIRGAS, ainda que o SAD 69 continue em vigor, é importante que todas as instituições e profissionais da mensuração optem pela adoção do novo referencial, garantindo a unicidade e integridade dos levantamentos.

7 - Referências Bibliográficas

Castañeda, R. March.: *Ensaio para determinação de parâmetros de transformação entre o SAD-69 e o NSWS-9Z2*. 180p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. 1982.

Schofield, W. – *Engineering surveying* – fourth edition. Oxford, Butterworth-Heinemann Ltd. 1993

Souza, G. C.: *Sistemas de Referência*. Apostila do Curso de Especialização em Georreferenciamento-não publicada. UNISINOS. São Leopoldo- RS, 2004.

Torge, W. - *Geodesy* –Berlin, New York: de Gruyter.1991.

Vanicek, P.; Krakiwsky, E. J.; - *Geodesy: the concepts*. Second Edition. Amsterdam. North-Holland. 1986.