

SISTEMAS DE REFERÊNCIA

1. INTRODUÇÃO

2. SISTEMAS COORDENADOS E SUPERFÍCIES UTILIZADOS EM GEODÉSIA

2.1 Sistema de Coordenadas Cartesianas

2.2 Sistema de Coordenadas Geodésicas

2.3 Sistema de Coordenadas Planas

3. SISTEMAS DE REFERÊNCIA CLÁSSICOS

4. SISTEMAS DE REFERÊNCIA MODERNOS

5. MATERIALIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE REFERÊNCIA

6. SISTEMAS DE REFERÊNCIA GEODÉSICOS ADOTADOS NO BRASIL

6.1 Córrego Alegre

6.2 Astro Datum Chuá

6.3 SAD69

6.4 Procedimentos de Densificação do SAD69

6.5 SAD69 – realização 1996

6.5.1 O Problema das Distorções

6.5.2 O Efeito das Distorções em Diferentes Escalas de Cartas

7. WGS84

8. PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO ENTRE SAD69 E OUTROS SISTEMAS DE REFERÊNCIA

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de referência, são utilizados para descrever as posições de objetos. Quando é necessário identificar a posição de uma determinada informação na superfície da Terra são utilizados os Sistemas de Referência Terrestres ou Geodésicos. Estes por sua vez, estão associados a uma superfície que mais se aproxima da forma da Terra, e sobre a qual são desenvolvidos todos os cálculos das suas coordenadas. As coordenadas podem ser apresentadas em diversas formas: em uma superfície esférica recebem a denominação de coordenadas geodésicas e em uma superfície plana recebem a denominação da projeção às quais estão associadas, como por exemplo , as coordenadas planas UTM.

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

2. SISTEMAS COORDENADOS E SUPERFÍCIES UTILIZADOS EM GEODÉSIA

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

2.1 Sistema de Coordenadas Cartesianas

Um sistema coordenado cartesiano no espaço 3-D é caracterizado por um conjunto de três retas (x, y e z), denominados de eixos coordenados, mutuamente perpendiculares.

Ele associado à um Sistema de Referência Geodésico, recebe a denominação de Sistema Cartesiano Geodésico(CG) de modo que:

- O eixo X coincidente ao plano equatorial, positivo na direção de longitude 0°;
- O eixo Y coincidente ao plano equatorial, positivo na direção de longitude 90°;
- O eixo Z é paralelo ao eixo de rotação da Terra e positivo na direção norte.
- Origem :
Se está localizada no centro de massas da Terra (geocentro), as coordenadas são denominadas de geocêntricas, usualmente utilizadas no posicionamento à satélites, como é o caso do WGS84 (vide figura b).

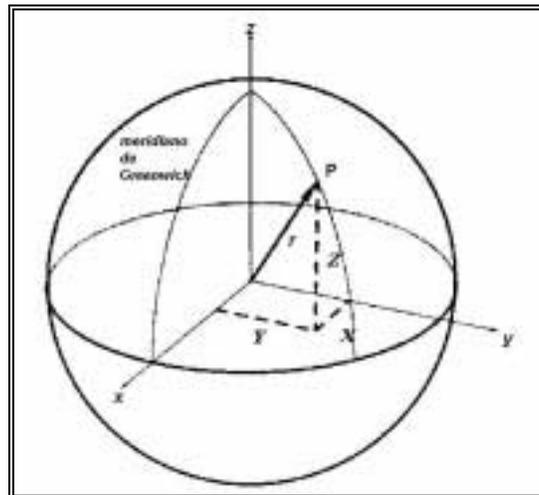


Figura b. Coordenadas cartesianas geocêntricas (X, Y, Z)

2.2 Sistema de Coordenadas Geodésicas

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

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

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

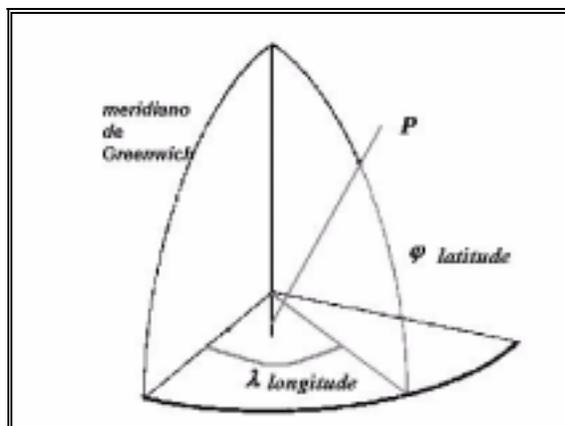


Figura a Latitude (φ) e longitude (λ) geodésicas

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

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

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

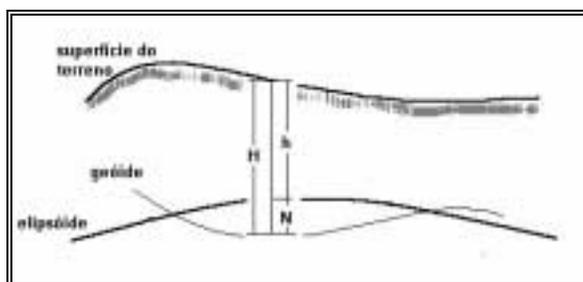


Figura c. superfícies do elipsóide e geóide

2.3 Sistema de Coordenadas Planas

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

3. SISTEMAS DE REFERÊNCIA CLÁSSICOS

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

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

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

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

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

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

4. SISTEMAS DE REFERÊNCIA MODERNOS

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

- (1) Adoção de uma plataforma de referência que venha a representar a forma e dimensões da Terra em caráter global. Estas plataformas de referência, os chamados Sistemas Geodésicos de Referência – SGR, conforme abordado anteriormente, estão fundamentados em um CTS (espaço abstrato), sendo portanto geocêntricos. Eles são

derivados de extensas observações do campo gravitacional terrestre a partir de observações a satélites, fornecendo assim, o fundamento preciso para a organização de toda informação pertinente à Terra [NIMA,1997]. Eles são definidos por modelos, parâmetros e constantes (ex: um sistema de coordenadas cartesianas geocêntrico - CTS e constantes do GRS80) [DGFI, 1998a]. De tempos em tempos é adotado um novo SGR pela International Union of Geodesy and Geophysics - IUGG, sendo este baseado nas últimas informações coletadas sobre o campo gravitacional terrestre. Atualmente o SGR adotado pela IUGG é o GRS80 [TORGE, 1996]. Além das constantes geométricas definidoras, os SGR modernos passam a ser definidos também por constantes físicas. Considerando a Terra um corpo com rotação e massa, a melhor aproximação física é definida através de quatro parâmetros, sendo eles: raio equatorial (o equivalente ao semi-eixo maior do elipsóide de referência), constante gravitacional geocêntrica GM (com ou sem atmosfera), o harmônico zonal de segunda ordem do potencial gravitacional da Terra (J_2), ou o achatamento terrestre (f) e a velocidade de rotação da Terra (ω). Estas constantes estão implicitamente relacionadas às órbitas dos satélites, que por sua vez são usadas para definir as coordenadas de pontos na superfície da Terra.

- (2) A materialização de um sistema de referência terrestre geocêntrico é dada da mesma forma que um DGH, ou seja, através das redes geodésicas. Entretanto, os métodos e procedimentos utilizados no estabelecimento de coordenadas são as técnicas espaciais de posicionamento, como por exemplo o VLBI (Very Long Baseline Interferometry), SLR (Satellite Laser Range) e o GPS. Estas técnicas possuem duas vantagens perante as outras terrestres. A primeira consiste no posicionamento 3D de uma estação geodésica, e a segunda é a alta precisão fornecida às coordenadas, surgindo como consequência uma quarta componente, associada à época de obtenção das coordenadas. Sendo assim, as coordenadas das estações que compõem a materialização de um sistema de referência terrestre geocêntrico, possuem quatro componentes, três de definição espacial e uma de definição temporal, eventualmente, as velocidades vem a descrever as variações dos valores das coordenadas com o tempo. Um exemplo prático de sistema de referência terrestre geocêntrico é o IERS Terrestrial Reference System (ITRS), o qual é realizado anualmente através do IERS Terrestrial Reference Frame (ITRF), uma rede de estações fiduciais implantadas por todo mundo, nas quais estão instalados sistemas de medidas SLR, LLR, VLBI e GPS.

5. MATERIALIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE REFERÊNCIA

O processo de estimativa das coordenadas dos pontos físicos com respeito a definição de um determinado referencial é acompanhado pelo cálculo de uma rede que relaciona os pontos levantados. O resultado, estabelecido através de um ajustamento de observações, é um conjunto de valores de coordenadas para as estações que constituem a materialização do SGR. Usualmente, é comum adotar uma única denominação para definição e materialização do sistema, como é o caso do SAD69. Deste modo, vários ajustamentos de redes geodésicas podem ser realizadas em um mesmo referencial definido com diferentes injunções, ou os mesmos dados podem ser ajustados com respeito a várias *definições*.

6. SISTEMAS DE REFERÊNCIA GEODÉSICOS ADOTADOS NO BRASIL

6.1 Córrego Alegre

A Rede Planimétrica do SGB foi submetida a vários ajustes, em função das necessidades que eram envolvidas, principalmente no que diz respeito à definição de Sistemas Geodésicos. Anterior a era dos computadores, estes ajustes eram feitos com calculadoras mecânicas ou até mesmo fazendo uso da tábua de logaritmos. Um dos ajustamentos de importância realizados nesta época foi o que definiu o Sistema Geodésico de Referência Córrego Alegre. Neste ajuste foi

adotado o método das equações de condições (método correlatos). A escolha do vértice Córrego Alegre para ponto datum, bem como, do elipsóide internacional de Hayford para superfície matemática de referência, foram baseadas em determinações astronômicas realizadas na implantação da cadeia de triangulação em Santa Catarina. Verificou-se, na ocasião, que os desvios da vertical na região tinham uma tendência para o leste, ou seja, constatando uma maior concentração de massas a oeste e deficiência das mesmas a leste, concluindo que o ponto datum a ser escolhido ficaria melhor situado na região do planalto. O posicionamento e orientação no ponto datum, vértice Córrego Alegre, foram efetuados astronômicamente.

Foram adotados os seguintes parâmetros na definição deste Sistema:

- Superfície de referência : Elipsóide Internacional de Hayford 1924.
semi-eixo maior : 6378388 metros.
achatamento : 1/297

- Ponto Datum : Vértice Córrego Alegre.

Coordenadas:

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

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

h = 683.81 metros

- Orientação elipsóide-geóide no ponto datum : $\xi=\eta=0$ (componentes do desvio da vertical)
N=0 metros (ondulação geoidal)

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

6.2 Astro Datum Chuá

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

6.3 SAD69

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

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

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

A triangulação foi a metodologia observacional predominante no estabelecimento das novas redes. Uma rede de trilateração HIRAN fez a ligação entre as redes geodésicas da Venezuela e Brasil. Outra melhoria a ser implementada diz respeito à forma do elipsóide de referência. Na época, a UGGI recomendou a utilização do GRS67, conduzindo, assim, à adoção desta figura no projeto SAD69, ao invés do Hayford. Escolhido o elipsóide de referência, era necessário fixar os parâmetros para o seu posicionamento espacial. No caso do SAD69 este posicionamento deu-se em termos de parâmetros topocêntricos no ponto origem Chuá: as componentes do desvio da vertical (ξ, η) e a ondulação geoidal (N), cujos valores foram determinados de forma a otimizar a adaptação elipsóide-geóide no continente.

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

- Superfície de referência : Elipsóide Internacional de 1967(UGGI67).
semi-eixo maior : 6378160 metros.
achatamento : 1/298.25
- Ponto datum : Vértice Chuá,
Coordenadas geodésicas:
latitude 19° 45' 41".6527 S
longitude 48° 06' 04".0639 W
Azimute (Chuá – Uberaba) 271° 30' 04".05
- Altitude ortométrica : 763.28
- Orientação elipsóide-geóide no ponto datum : $\xi=0.31$ $\eta=-3.52$ N=0 m

6.4 Procedimentos de Densificação do SAD69

A rede planimétrica continental do SAD69 foi ajustada pela primeira vez na década de 60. Neste ajustamento, cadeias de triangulação de vários países tiveram seus dados homogeneizados, adotando-se o mesmo tratamento. Em função da extensão da rede e das limitações computacionais da época, fez-se necessário dividir o ajustamento por áreas. Optou-se, então, pelo método de ajustamento conhecido por “piece-meal”, no qual uma vez ajustada uma determinada área, as estações das áreas adjacentes, comuns à ajustada, são mantidas fixas, de modo que cada estação da rede só tenha um par de coordenadas correspondente. Este procedimento foi mantido pelo IBGE no processo de densificação da rede planimétrica após a conclusão do ajustamento em SAD69. Esta metodologia de densificação foi uma das causas do acúmulo de distorções geométricas (escala e orientação) na rede planimétrica. Em alguns trechos da rede as reduções das observações geodésicas ao elipsóide foram aplicadas através de dados obtidos por mapas geoidais pouco precisos, pois eram os únicos existentes na época. Outro fato que não pode ser ignorado é a diversidade de instrumentos e métodos utilizados no decorrer do estabelecimento da rede, tornando complexa a análise da precisão das coordenadas das estações.

Tendo em vista todos os fatos abordados, aliados aos avanços tecnológicos emergentes, constatou-se a necessidade de um reajustamento da rede, desta vez de forma global, abrangendo todas observações disponíveis até então.

Como o SAD69 é o referencial oficialmente adotado no Brasil, neste reajustamento foram mantidos os mesmos parâmetros definidores e injunções iniciais do primeiro ajustamento. Sendo assim, forçosamente deve-se manter a mesma denominação para o sistema de referência SAD69 na sua nova materialização após o reajustamento.

6.5 SAD69 – realização 1996

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

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

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

Tabela d. Observações utilizadas no ajustamento da materialização original do SAD69 e na materialização de 1996

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

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

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

Tabela e. Valores médios dos desvios padrão das coordenadas após o reajustamento.

6.5.1 O Problema das Distorções

O reajustamento de uma rede geodésica causa a mudança das coordenadas das estações como resultado combinado de dois efeitos:

- (1) O impacto da mudança do referencial (definição/origem). Este é um efeito que não altera a forma da rede e pode ser estimado através da transformação de similaridade, desde que o relacionamento entre a definição dos referenciais novo e antigo seja conhecida em termos das translações, rotações e escala.
- (2) O impacto da inclusão de novas observações e uma metodologia de ajustamento mais rigorosa altera a geometria (forma) da rede. No caso da rede brasileira, esta mudança permitiu detectar distorções existentes antes do processo de reajustamento. Estas distorções não podem ser estimadas através de uma simples transformação de similaridade.

A estimativa das distorções de uma rede requer a análise das diferenças entre as coordenadas de suas estruturas antiga e nova. Na Figura 1 são apresentadas informações importantes para uma análise inicial sobre o comportamento das diferenças entre as coordenadas antigas e novas, ao longo da rede planimétrica, estas diferenças estão representadas na forma vetorial, para uma melhor visualização do seu comportamento no contexto nacional. Na Figura m elas são quantificadas segundo o espaçamento de 30 segundos.

O que ocorreu com o reajustamento da rede planimétrica brasileira é um exemplo típico do efeito (2). Como mencionado anteriormente, os parâmetros definidores do SAD69 foram mantidos, cabendo somente a alteração na quantidade de estações/observações e metodologia de ajustamento.

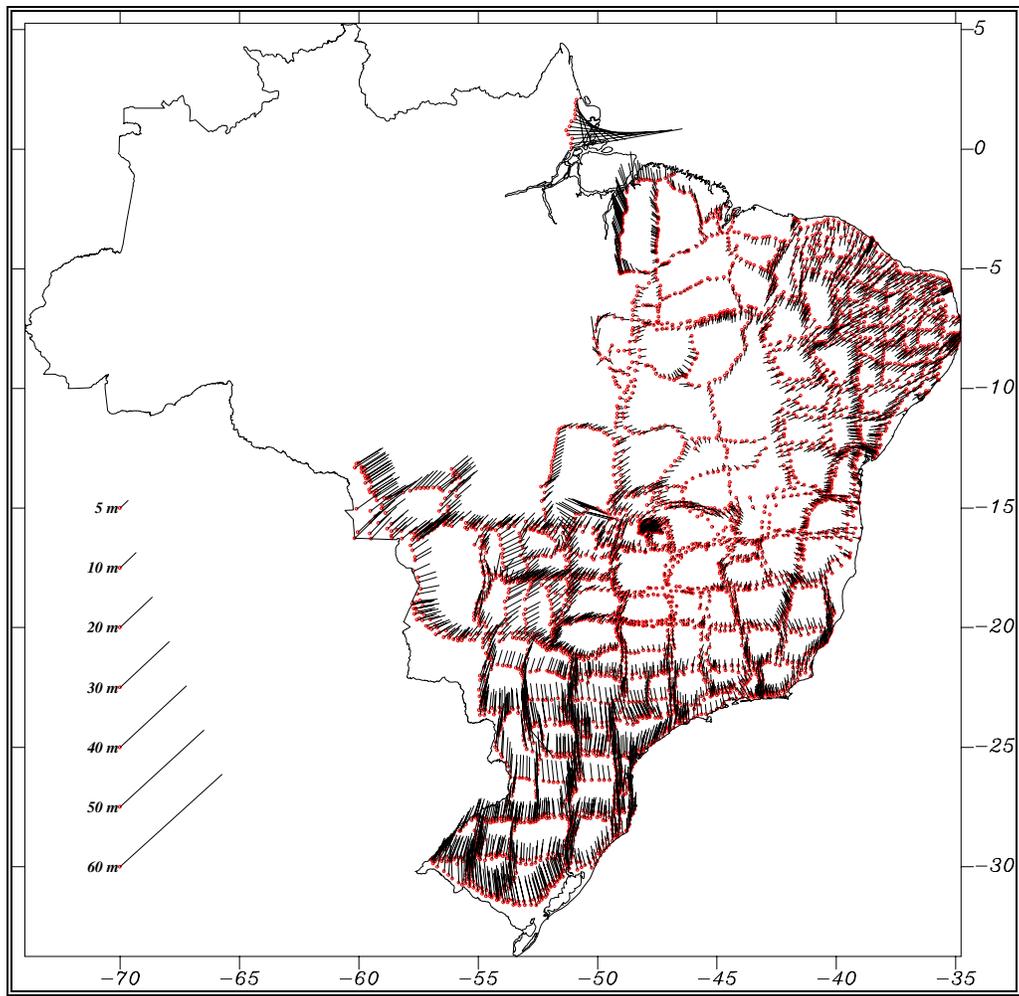


Figura 1. Representação, na forma vetorial, da diferença entre as coordenadas horizontais das materializações original e 1996 do SAD69).

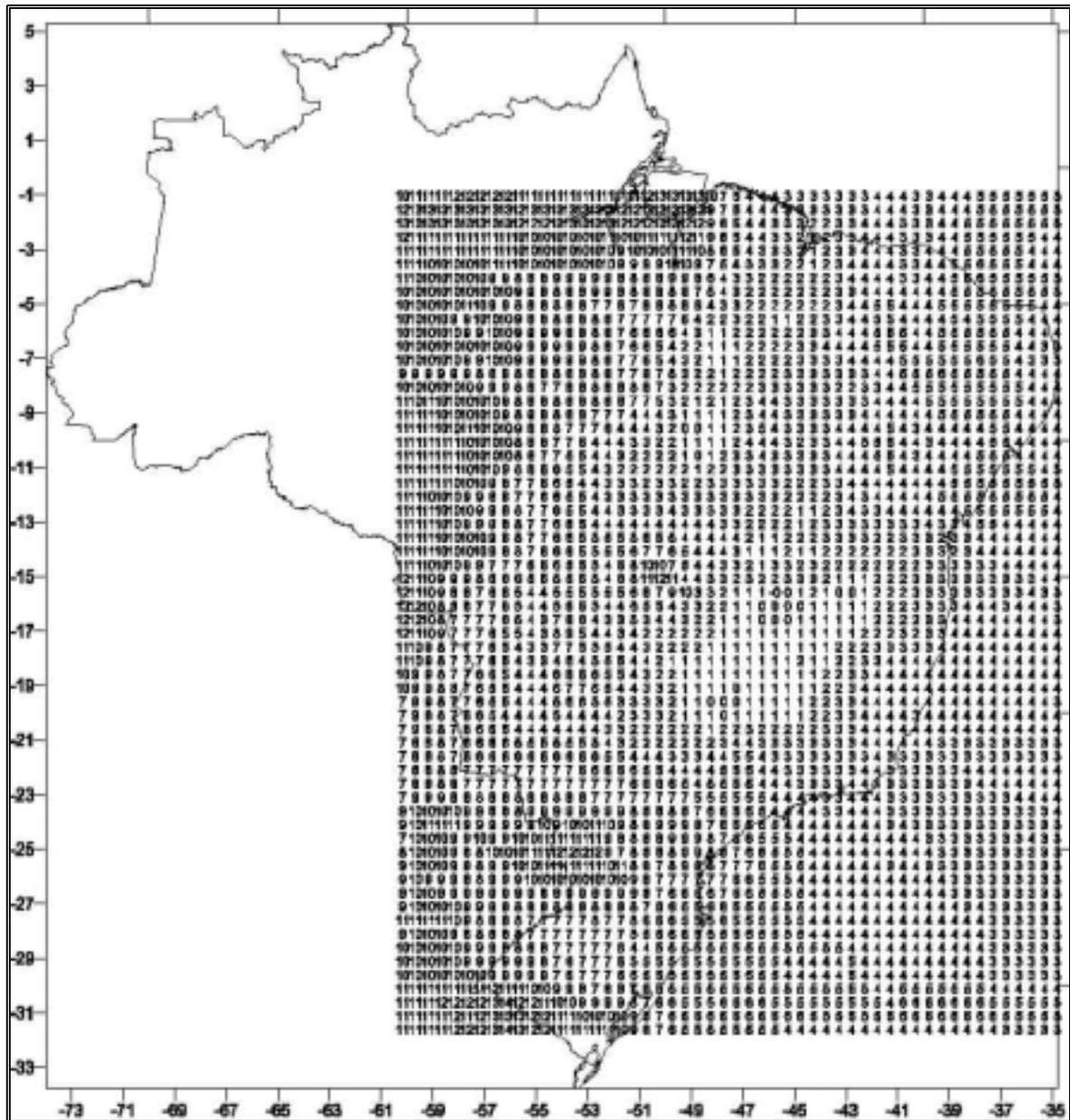


Figura m: Diferenças em metros entre SAD69 e SAD69 – realização 1996, espaçamento 30' X 30'

6.5.2 O Efeito das Distorções em Diferentes Escalas de Cartas

Questionamentos surgem quando a base cartográfica é referida à materialização original do SAD69 e existe a necessidade de se lançar nessa base novas coordenadas (materialização 1996). Como foi visto na seção anterior, o que ocorre são diferenças provenientes de duas materializações distintas, assim denominadas por distorções. Estas diferenças, por sua vez, não têm um comportamento sistemático e homogêneo, o que dificulta ainda mais o estabelecimento de um procedimento para que possam ser estimadas. Além disso, a rede reajustada faz parte da estrutura de alta precisão, o que na maioria das vezes não é a estrutura que serviu diretamente de apoio a um determinado mapa. De qualquer forma, pretende-se aqui, analisar o erro decorrente das distorções da rede em diversas escalas de mapas. As distorções aparecem no mapa como um deslocamento, que será significativo conforme a sua escala e a sua localização geográfica. Na tabela *m* são apresentados os deslocamentos máximos -15 metros -, em várias escalas de mapas,

que variam de 1:1000000 a 1:1000. Através desta tabela constata-se que os deslocamentos correspondentes às distorções máximas são negligenciáveis até a escala de 1:50000.

ESCALA 1:	Deslocamento em mm
1000000	0.02
500000	0.04
250000	0.08
100000	0.15
50000	0.3
25000	0.6
10000	1.5
5000	3.0
2000	7.5
1000	15.0

Tabela m: Efeito das distorções em diferentes escalas considerando a distorção máxima - 15m - , segundo a escala da carta.

7. WGS84

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

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

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

O primeiro refinamento foi obtido através de uma nova materialização do sistema, desta vez com 32 estações (10 estações DoD correspondentes à rede de referência WGS84 original (GPS) e mais 22 estações pertencentes a rede IGS) [SWIFT,1994]. Esta solução recebeu a denominação de WGS84 (G730) (época de referência 1994,0) e foi utilizada nas órbitas operacionais dos satélites GPS de 29 junho de 1994 à 29 de janeiro de 1997. A letra G significa que neste refinamento foi utilizada a técnica GPS e '730' se refere a semana GPS desta solução.

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

Na TABELA 2 pode ser visto em linhas gerais as diferenças entre as versões do WGS84.

TABELA 2

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

8. PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO ENTRE SAD69 E OUTROS SISTEMAS DE REFERÊNCIA

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

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

Os parâmetros definidores (elipsóide e estação origem) de cada sistema são:

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