

CAPÍTULO 5 - SISTEMAS GEODÉSICOS INTERNACIONAIS

Há mais de 40 anos, com o advento dos satélites artificiais, foi possível o desenvolvimento prático de sistemas de referência geocêntricos. Exemplo desses são: *World Geodetic System 1984* (WGS-84), *International terrestrial reference Frame* (ITRF_{yy}) e, como dito anteriormente, após o ano de 2000, ITRF_{yyyy}, sistemas que são utilizados pela comunidade internacional, sendo de grande valia neste estudo e mostrando que houve uma grande revolução na concepção de referenciais geodésicos com o desenvolvimento de sistemas de referência geocêntricos.

5.1 WORLD GEODETIC SYSTEM - WGS-84

Em 1978, foi iniciado o rastreamento dos primeiros satélites NAVSTAR, dando origem ao GPS. Mas só na segunda metade da década de 80 é que o GPS se tornou popular, quando foi aberto para o uso civil, já que foi criado para fins militares. Com o grande uso do sistema de navegação por satélites GPS que utiliza o *World Geodetic System 1984* (WGS-84) como referência nos levantamentos geodésicos, houve a necessidade de adoção de sistemas de referência geocêntricos. O sistema WGS-84 foi desenvolvido a partir de observações gravimétricas terrestres e observações a satélites, sendo representado por um elipsóide cuja posição, orientação e dimensões melhor se ajustam ao geóide de uma forma global. Os parâmetros geométricos do elipsóide WGS84 são idênticos aos do Sistema Geodésico de Referência 1980 - GRS80, com exceção do achatamento, que apresenta uma ligeira diferença desprezível do ponto de vista prático [COSTA, 1999]. O sistema foi definido atendendo às condições de um Sistema de Referência Terrestre Convencional (CTRS) para a época de 1984, tendo a seguinte conceituação [BLITZKOW, 2004]:

- Sistema cartesiano tridimensional com origem no centro de massa da Terra incluindo oceanos e atmosfera;
- Eixo Z, direção igual ao do Polo de Referência IERS (IRP), definido pelo *Bureau International de l'Heure* (BIH), época (1984,0) com base nas coordenadas adotadas pelas estações BIH.
- O plano XZ contém o meridiano de Greenwich;
- Eixo Y completa o sistema ortogonal dextrógiro.

O WGS-84 é a quarta versão do 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 [COSTA, 2004].

A rede terrestre de referência do WGS-84, foi originalmente estabelecida em 1987, utilizando-se em sua primeira realização coordenadas de 10 estações obtidas através de observações DOPPLER e efemérides precisas, de uma rede de 1591 estações determinadas pela Agência Cartográfica do departamento de Defesa dos EUA (DMA), que já foi a Agência Nacional de Mapas e Imagens (NIMA) e hoje é *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA). A melhoria na precisão do sistema WGS-84, se deve à adoção da técnica GPS para a geração de órbitas operacionais e parâmetros dos relógios dos satélites [MONICO, 2000].

Alguns refinamentos foram feitos para a melhoria do WGS-84. Em 29 de julho de 1994, foi feita uma nova realização, desta vez com 32 estações, sendo 10 do U.S. Department of Defense (DoD), correspondentes à rede de referência WGS-84 original, GPS, e mais 22 estações pertencentes à rede do *International GPS Service* (IGS), recebendo o nome de WGS-84 (G730) [MALYS & SLATER, 1994, Apud COSTA]. Alcançou-se então uma precisão de 10 cm nas coordenadas das estações permanentes. “G” indica que o refinamento foi feito usando-se GPS e “730” representa o número da semana GPS em que ocorreram as observações. Em 06 de janeiro de 1980, se iniciou a contagem das semanas GPS, sendo que o número da semana de cada ciclo varia de 0 a 1023, o que corresponde aproximadamente a 20 anos.

Quando do segundo refinamento, que foi um trabalho com o envolvimento das instituições: NIMA, NASA, *Goddard Space Fliggt Center* (GSFC) e *Ohio State University*, obteve-se como resultado o desenvolvimento de um novo modelo do campo gravitacional terrestre devido a uma enorme quantidade de dados de posicionamento preciso por satélites, observações terrestres de gravidade e observações altimétricas por satélite, sendo denominado *Earth Gravity Model* 1996 (EGM96) [NIMA, 1997, Apud COSTA], vindo a assumir o lugar do modelo gravitacional WGS-84, criado a mais de 10 anos. Como consequência, foi gerado um geóide global com maior precisão e sendo denominado WGS-84 (EGM96), possuindo uma precisão de 0,43 cm (1σ), globalmente [COSTA, 1999].

Em 29 de janeiro de 1997, na semana GPS nº 873, ocorreu mais uma realização da rede de referência WGS-84, a qual obteve uma precisão absoluta de 5 cm para as componentes das coordenadas destas estações, recebendo o nome de WGS-84 (G873). Essas diferenças no posicionamento após os refinamentos, são inferiores a 30 cm, o que pode ser desprezado na cartografia (em geral) ou na navegação.

Em 2000, com mais um refinamento e empregando-se aproximadamente 26 estações em sua realização, conseguiu-se chegar ao nível de precisão de 1 cm em relação ao

ITRF 2000, sendo essencialmente idêntico a este e recebendo a denominação de WGS-84 (G1150). A Tabela 5.1, mostra a evolução do WGS-84 desde seu início 1987 até o ano de 2000.

Tabela 5.1
Versões WGS-84

Versão	Sistema utilizado na materialização	Número de estações utilizadas na materialização	Modelos gravitacionais da Terra	Períodos de utilização
WGS-84	TRANSIT (NSWC 9Z-2)	10	WGS-84	1987 à 1994
WGS-84 (G730)	GPS	10	WGS-84	1994 à 1997
WGS-84 (G873)	GPS	12	EGM96	1997 à 2000
WGS-84 (G1150)	GPS	26	EGM96	A partir de 2000

Fonte: COSTA, 1999.

Os refinamentos do WGS-84, foram feitos com a intenção de aproximá-lo o mais possível do ITRF (sessão 5.3), por ser este o sistema mais preciso até hoje realizado. Quando se pensa em adoção de um sistema geocêntrico, se pensa logo em WGS-84, devido à sua utilização pelo GPS. Para fins cartográficos, a realização do WGS-84 pode ser considerada coincidente com o ITRF, uma vez que a diferença entre os dois é inferior a 1cm (Figura 5.1).

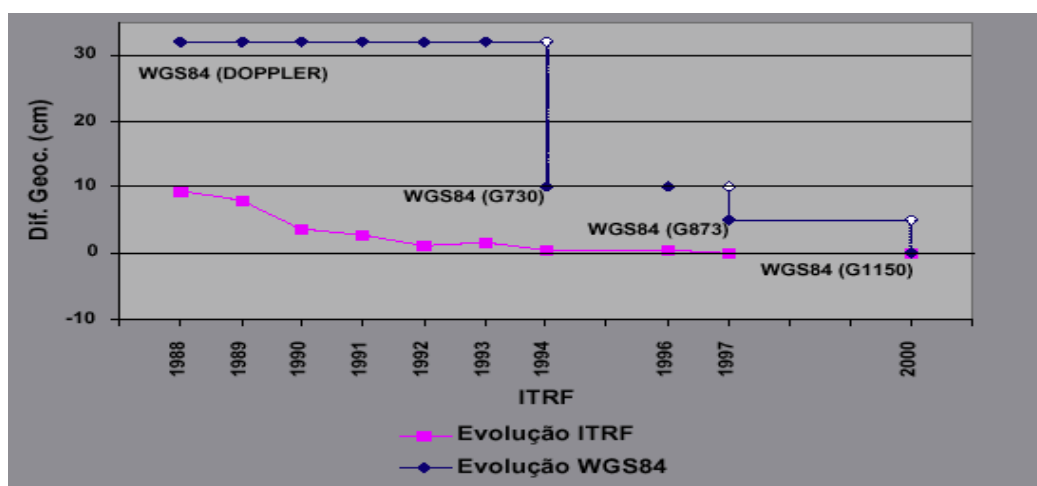


Figura 5.1 - Evolução do WGS-84 aproximando-se do ITRF ao longo do tempo

Fonte: Resolução de São Paulo GT2 (SIRGAS), 2003.

5.2 INTERNATIONAL TERRESTRIAL REFERENCE SYSTEM - ITRS

O ITRS é um exemplo de CTRS definido por um conjunto de modelos e definições globais [BOUCHER & ALTAMIMI, 1996 apud COSTA, 1999].

Segundo o IERS, uma rede de referência é a materialização prática do sistema feita por um conjunto de coordenadas de estações estimadas através de técnicas espaciais de posicionamento, recebendo a denominação de ITRF_{yy}.

Anualmente, o IERS fornece valores atualizados para este sistema de referência, através de novas materializações.

A definição de um ITRS é a mesma utilizada pelo WGS-84, sendo que com relação às constantes físicas e geométricas, apenas o achatamento difere do WGS-84, porque o elipsóide de referência recomendado para o ITRF no cálculo das coordenadas geodésicas é o GRS80 [McCARTHY, 1996 apud COSTA, 1999].

A partir de um conjunto de coordenadas cartesianas e velocidades das estações, bem como uma completa matriz de Variância-Covariância (MVC) destes parâmetros, se materializa o ITRS [BOUCHER & ALTAMIMI, 1997 apud COSTA, 1999]. Estes parâmetros são produzidos a partir da combinação de um conjunto de coordenadas e velocidades determinadas através das mais precisas técnicas espaciais de posicionamento, tais como: VLBI, SLR, LLR, GPS e DORIS, provenientes dos vários centros de análises.

5.3 INTERNATIONAL TERRESTRIAL REFERENCE FRAME - ITRF

A materialização inicial feita pelo IERS em 1988 recebeu a denominação de ITRF-0 (Tabela 5.2), onde foi adotada origem, orientação e escala do Bureau International de l'Heure Terrestrial System 1987 (BTS87). A primeira materialização do ITRS, publicada no IERS *Annual Reporter* 1988, foi o ITRF88, seguindo a mesma origem, orientação e escala do ITRF-0. Seus parâmetros de posição (Coordenadas e Velocidades) foram concebidos a partir da combinação de um conjunto de técnicas de posicionamento espacial, tais como: *Very Long Baseline Interferometry* (VLBI), *Satellite Laser Range* (SLR), *Lunar Laser Range* (LLR), e Doppler. Anualmente o IERS, vem estabelecendo versões atualizadas deste sistema de referência através de novas realizações. As duas soluções subseqüentes foram ITRF89 e ITRF90. Para estas realizações não foram estimados campo de velocidades em suas soluções, sendo utilizado um modelo de movimento de placas chamado *Absolute Model 0* (AMO-2) para corrigir a evolução do tempo no ITRS. Em 1991, incluiu-se observações GPS ao sistema e, em 1994, a inclusão das observações oriundas da *técnica Doppler Orbitography and Radiolocation Integrated by Satellite* (DORIS). Neste mesmo ano, com o estabelecimento do *International GPS Service* (IGS), o ITRF ficou acessível aos usuários do mundo todo, através

das órbitas (rápidas e combinadas), dos erros dos relógios dos satélites GPS e das coordenadas/velocidades das estações da rede global IGS.

O ITRF97, realização ITRS feita em 1997, possuía mais de 500 estações em 314 localidades, proporcionando uma cobertura global. A nível de definição não existem diferenças entre 94 e 97, a não ser na quantidade de estações e metodologia de ajustamento.

O ITRF2000, é a última realização do ITRF feita em 2000, no qual foram empregadas aproximadamente 800 estações em sua realização.

Tabela 5.2
VERSÕES DO ITRF E SUAS PARTICULARIDADES

Versão (época de referência)	Número de soluções utilizadas						Modelo de Movimento de Placas	Número de Estações
	VLBI	SLR	LLR	GPS	DORIS	Multi- * Technique		
ITRF - 0 (1988,0)	2	2	-	-	-	-	AMO-2	
ITRF-88 (1988,0)	6	5	4				AMO-2	
ITRF-89 (1988,0)	4	6	2				AMO-2	
ITRF-90 (1988,0)	4	7	2				AMO-2	121
ITRF-92 (1988,0)	5	6	3	6			NNR NUVEL1A	152
ITRF-93 (1993,0)	6	4	4	1			NNR NUVEL1A	157
ITRF-94 (1993,0)	4	2	-	3	3	-	NNR NUVEL1A	201
ITRF-96 (1997,0)	4	2	-	8	3	1	NNR NUVEL1A	290
ITRF-97 (1997,0)	4	5	-	6	3	1	NNR NUVEL1A	314
ITRF2000 (2000)	3	7	1	6	2	1	NNR NUVEL1A	385

Fonte: COSTA, 1999.

Fazendo uma comparação entre o WGS-84 e o ITRF, pode-se verificar que:

- O WGS-84 utiliza coordenadas do ITRF em algumas de suas estações, o que demonstra o objetivo claro de se aproximar o WGS-84 do ITRF.
- O WGS-84 (G1150) empregou aproximadamente 26 estações em sua realização, enquanto o ITRF2000 aproximadamente 800.
- O WGS-84 é mais para aplicação prática, as velocidades das estações não estão disponíveis. Já no ITRF, as soluções incluem estimativas de velocidades para as estações, o que permite estimar a variação temporal das coordenadas em procedimentos onde se

busca precisões científicas, atendendo portanto, tanto a aplicações práticas como científicas.

- O WGS-84 é gerenciado pelo órgão americano *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA), o que significa dizer que a comunidade científica não tem acesso às suas atividades. Já o ITRF é desenvolvido pelo *International Earth Rotation Service* (IERS), que faz parte da estrutura da *International Association of Geodesy* (IAG), tendo ampla participação internacional, inclusive do Brasil.

Com a facilidade proporcionada pelo Serviço Internacional de GPS (IGS) na obtenção de soluções ITRF, com o uso de seus produtos mais o uso popular do GPS, estimulou-se a densificação do ITRF em sistemas de referência regionais a serem implementados em várias partes do mundo. Como exemplo, a *European Reference Frame* (EUREF) e o SIRGAS.

A dificuldade de integração entre os antigos referenciais utilizados é igual em qualquer parte do mundo. Isto levou a comunidade internacional a uma convergência global de diretrizes e objetivos. Na década de 80, EUA e Canadá adotaram um novo referencial, e hoje ambos já estão na segunda versão do referencial geocêntrico. Diferenças de até 2m foram encontradas entre as duas versões, o que já se esperava, devido ao fato de serem usados na primeira versão, injunções de observações Doppler e com fundamentos no WGS-84 original; já na segunda versão, usou-se o ITRFyy fundamentado no Geodetic Reference System of 1980 (GRS 80), sendo a diferença entre o WGS-84 original e o atual, da ordem do metro.

Quando trabalhos são realizados em escalas topográficas, esse fato não é muito importante devido a serem estas diferenças desprezíveis. Em escalas cadastrais, são diferenças perceptíveis e esses países tiveram que desenvolver ferramentas que possibilitassem a transformação entre as duas versões.

Na Europa quase todos os países estão usando sistemas baseados no sistema de referência ITRF, exceto alguns como a Rússia e a Iugoslávia. Na América do Norte o ITRF é introduzido no Canadá e nos EUA, sendo que o referencial NAD 83 continua a ser usado. Na Austrália, o ITRF é introduzido e usado com aproximadamente 20 estações permanentes incluindo aproximadamente 5 na Antártica. Na Ásia, alguns países introduziram o ITRF, sendo que o Japão tem a rede a mais densa, com aproximadamente 1000 estações permanentes, assim como a China, a Indonésia e a Malásia. Na África existem poucas estações do GPS [I Seminário sobre Referencial Geocêntrico no Brasil, 2000].