

GA 112 – FUNDAMENTOS EM GEODÉSIA

Cap 3 - Definição de Sistemas Geodésicos de Referência (SGRs) Modernos

Prática de Docência – Abril de 2018

Prof.^a Dr.^a Regiane Dalazoana

Doutorando: Eurico Nicacio (MSc)

[euriconicaciojr@gmail.com]

3 – DEFINIÇÃO DE SISTEMAS GEODÉSICOS DE REFERÊNCIA (SGRs) MODERNOS:

3.1 – Constantes Fundamentais e sua evolução;

3.2 – Rotação da Terra e sistemas de tempo;

3.3 – Sistemas de Referência celestes e terrestres convencionais;

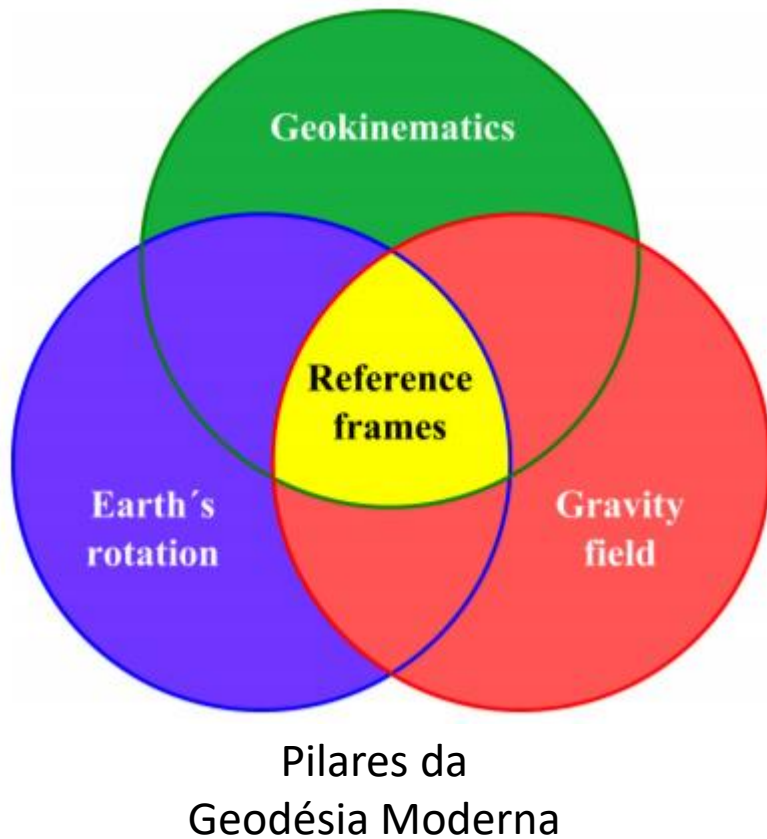
3.4 – Parâmetros de Orientação da Terra;

3.5 – Sistema Geodésico de Referência Internacional (ITRS); Sistema Geodésico de Referência Global (GGRS)

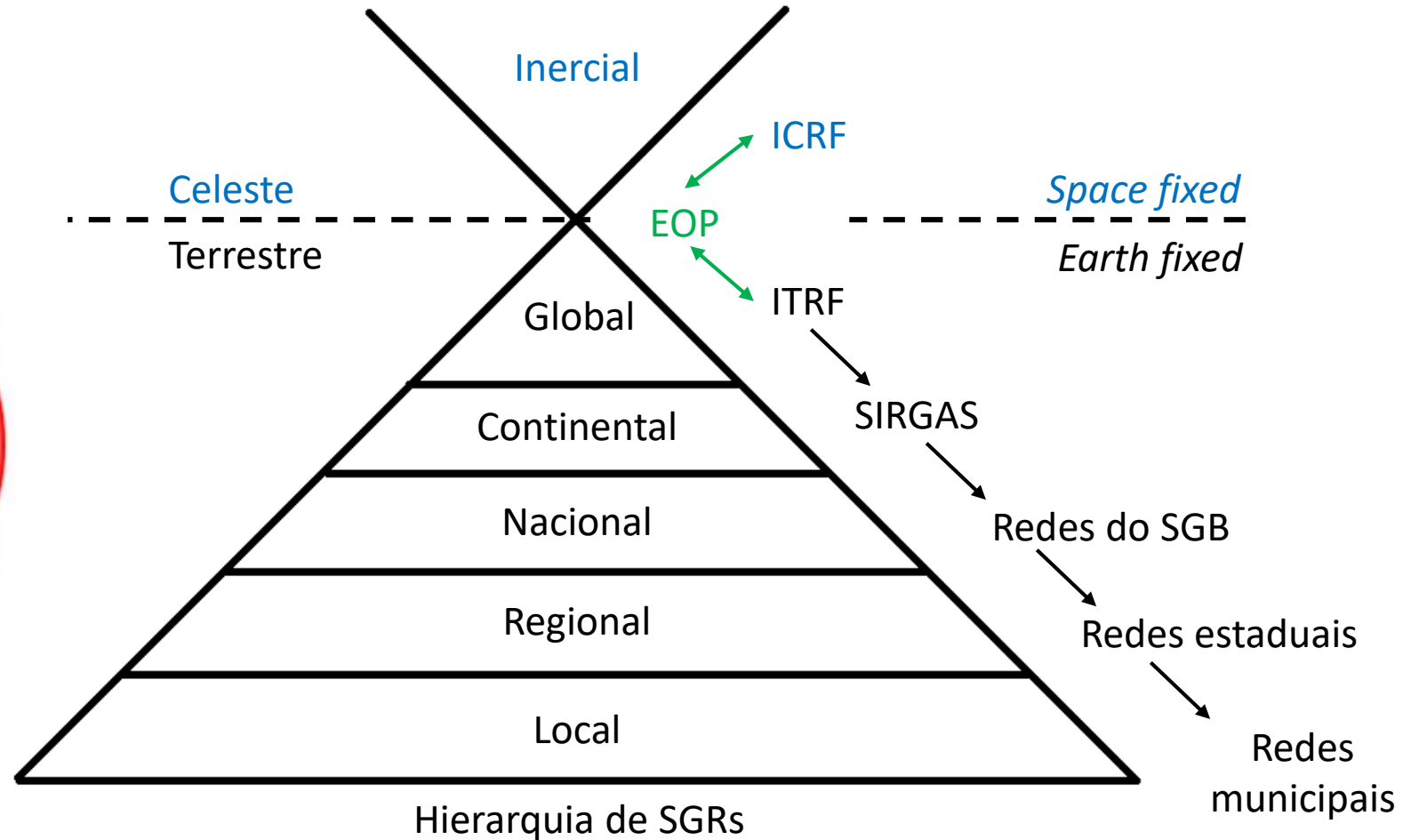
3.6 – Sistemas de referência associados com o campo da gravidade;

3.7 – Relação de Sistema Topográfico Local e SGRs geocêntricos.

Motivação



Pilares da
Geodésia Moderna



Elementos básicos de um SGR

Sistema de Referência (System)

- Constantes, convenções, modelos e parâmetros, que servem como a base necessária para representação matemática de quantidades geométricas e físicas;
- *e.g.* um sistema cartesiano tridimensional com origem no geocentro, orientação equatorial, escala métrica e que gira com a Terra; e
- O *International Earth Rotation and Reference Systems Service* (IERS) prepara a definição dos denominados sistemas de referência convencionais e sua implementação.

Rede de Referência (Frame)

- Elementos necessários para a realização/materialização de um sistema de referência;
- No caso dos referenciais celestes fixos, é essencialmente um catálogo de coordenadas de objetos celestes como estrelas ou quasares; e
- No caso de um referencial terrestre, é o catálogo de coordenadas de pontos (estações terrestres, observatórios), assim como suas velocidades.

Sistemas de Referência celestes e terrestres convencionais

A Geodésia trabalha, em essência, com dois sistemas de referência:

CELESTE

Supondo o espaço inercial, idealizou-se um sistema dito intermediário, com base em objetos espaciais considerados imóveis

Fornece as coordenadas de um objeto no espaço: estrelas; fontes de rádio extragalácticas – quasar; satélites.

TERRESTRE

Considerou-se um sistema solidário com a Terra, ou seja, com eixos girantes (acompanham a rotação terrestre)

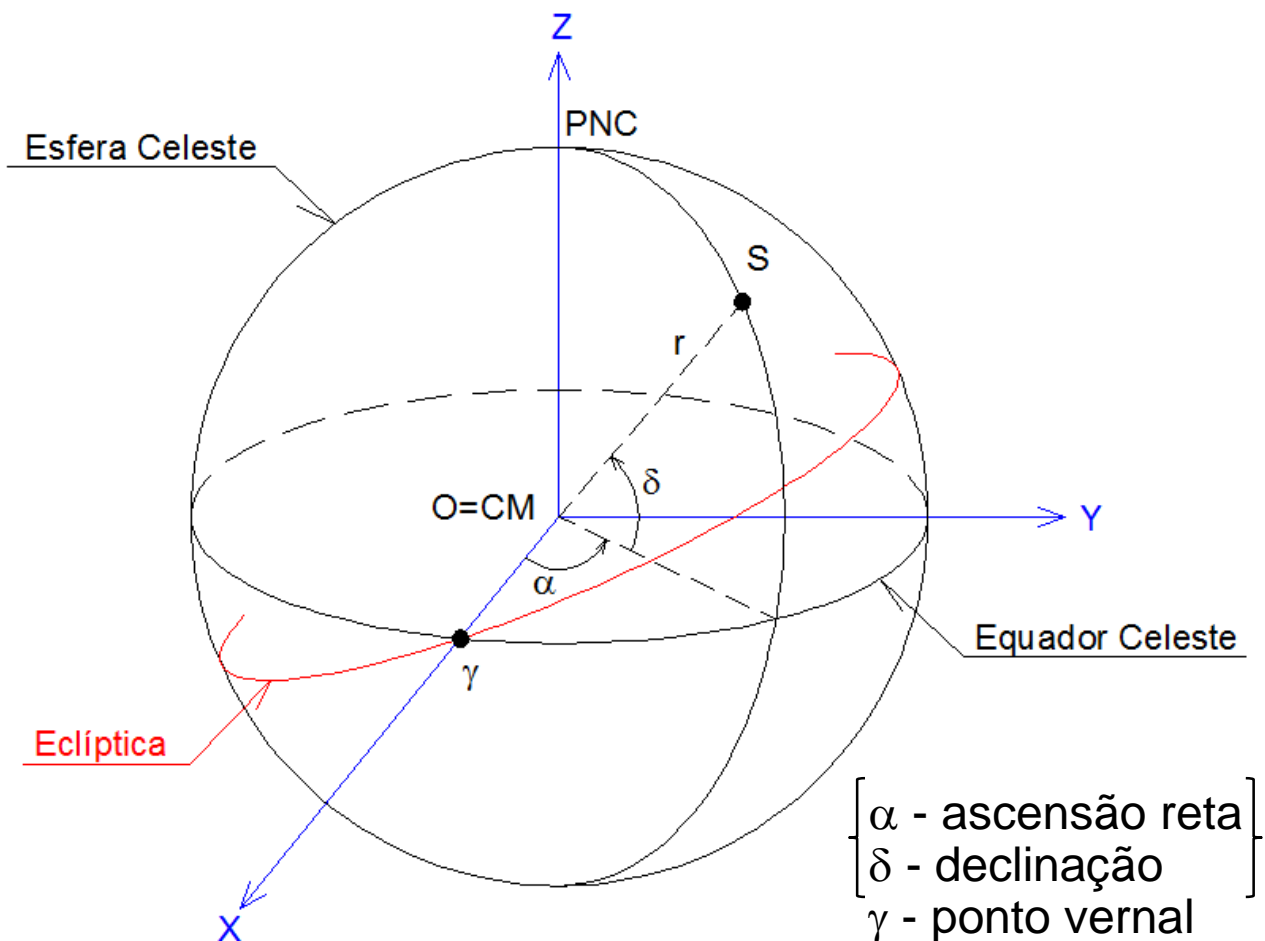
Fornece as coordenadas de um ponto na superfície da Terra.

CCRS e CCRF

Definição

- CCRS [*Conventional Celestial Reference System*] ou CIS – [*Conventional Inertial Reference System*];
- Sistema não girante, eixos não girantes em relação às estrelas “fixas”;
- Baseia-se em uma definição cinemática, fazendo com que as direções dos eixos fiquem fixas em relação à matéria distante do universo;
- A origem deve estar no baricentro do sistema solar (*) e as direções dos eixos devem ser fixadas em relação aos quasares;
- O CCRS substituiu oficialmente o sistema FK5 em 1º de janeiro de 1998;
- É utilizado, por exemplo, no cálculo da órbita de satélites artificiais;

CCRS e CCRF



- Centro coincide com o centro de massa da Terra;
- X aponta para o ponto vernal médio numa determinada época;
- Z aponta para o Polo Norte Celeste médio na mesma época;
- Y torna dextrógiro;
- Também denominado de referencial equatorial ou uranográfico

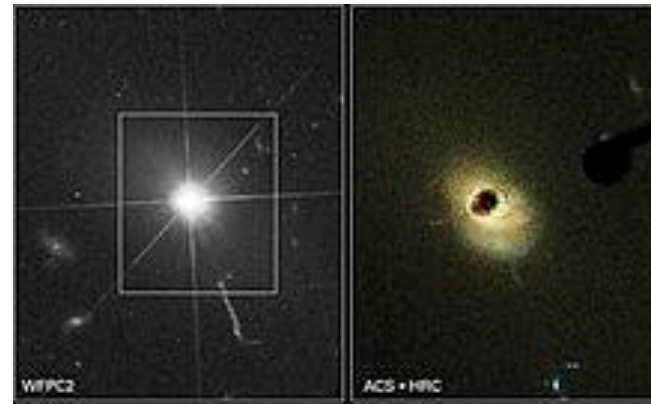
$$X = r \cos \delta \cos \alpha$$

$$Y = r \cos \delta \sin \alpha$$

$$Z = r \sin \delta$$

CCRS e CCRF

- O CCRS é materializado por uma rede de referência celeste (CCRF) definida pelas coordenadas precisas de objetos extragalácticos, principalmente quasares;
 - Quasar: “*quasi-stellar radio source*”;



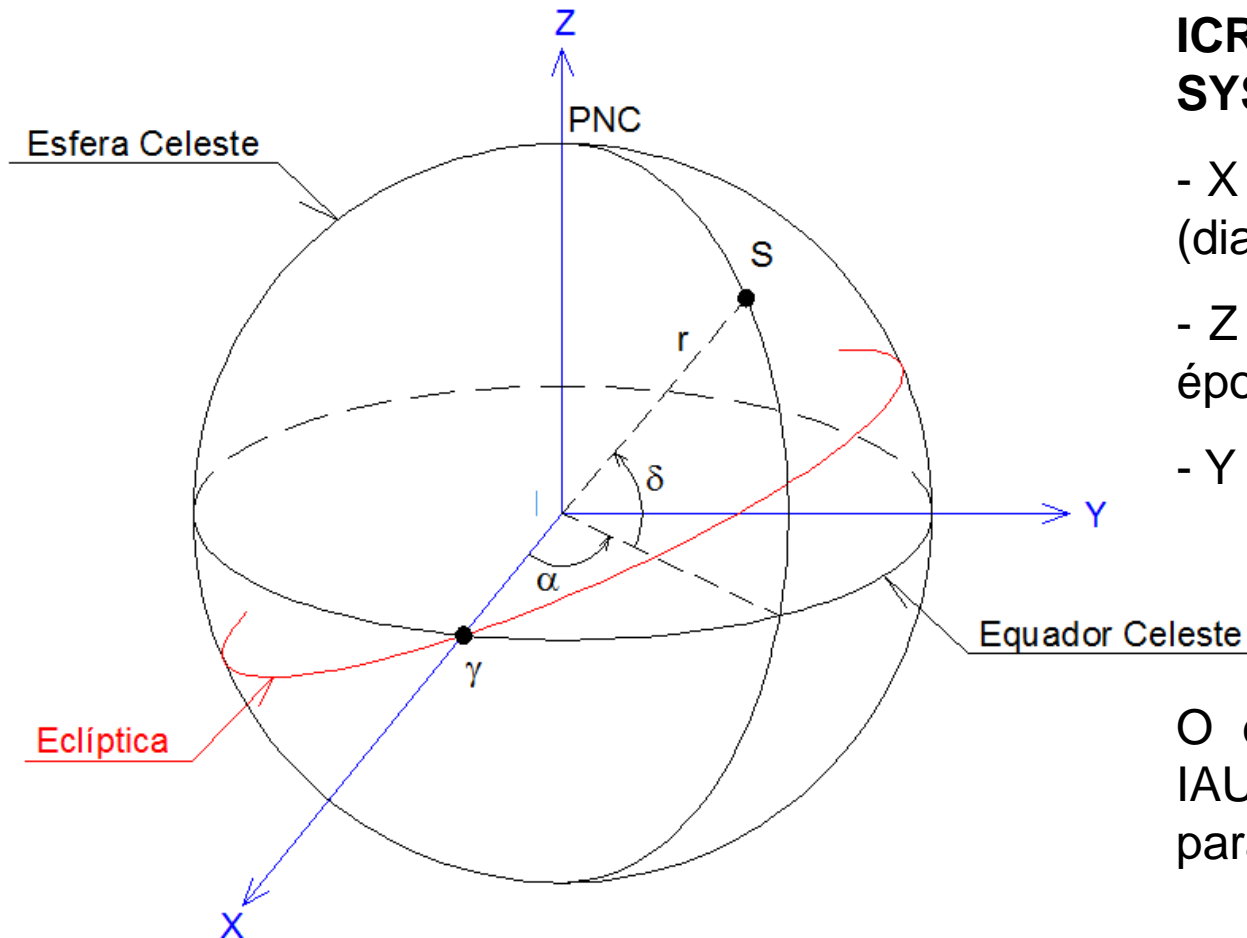
- Essas fontes estão tão distantes que seus movimentos adequados esperados devem ser insignificantemente pequenos; e
- As posições atuais são conhecidas como melhores que um miliarcsegundo [$\pi/648000000$], sendo a precisão máxima limitada principalmente pela instabilidade da estrutura das fontes em comprimentos de onda de rádio.

CCRS e CCRF [ICRS e ICRF]

ICRS – INTERNATIONAL CELESTIAL REFERENCE SYSTEM

- X aponta para o ponto vernal médio na época J2000.0 (dia juliano em 1/1/2000);
- Z aponta para o Polo Norte Celeste médio na mesma época;
- Y torna dextrógiro;

O estabelecimento do CRS era responsabilidade da IAU (União Astronômica Internacional), em 1988 passou para o IERS.



CCRS e CCRF [ICRS e ICRF]

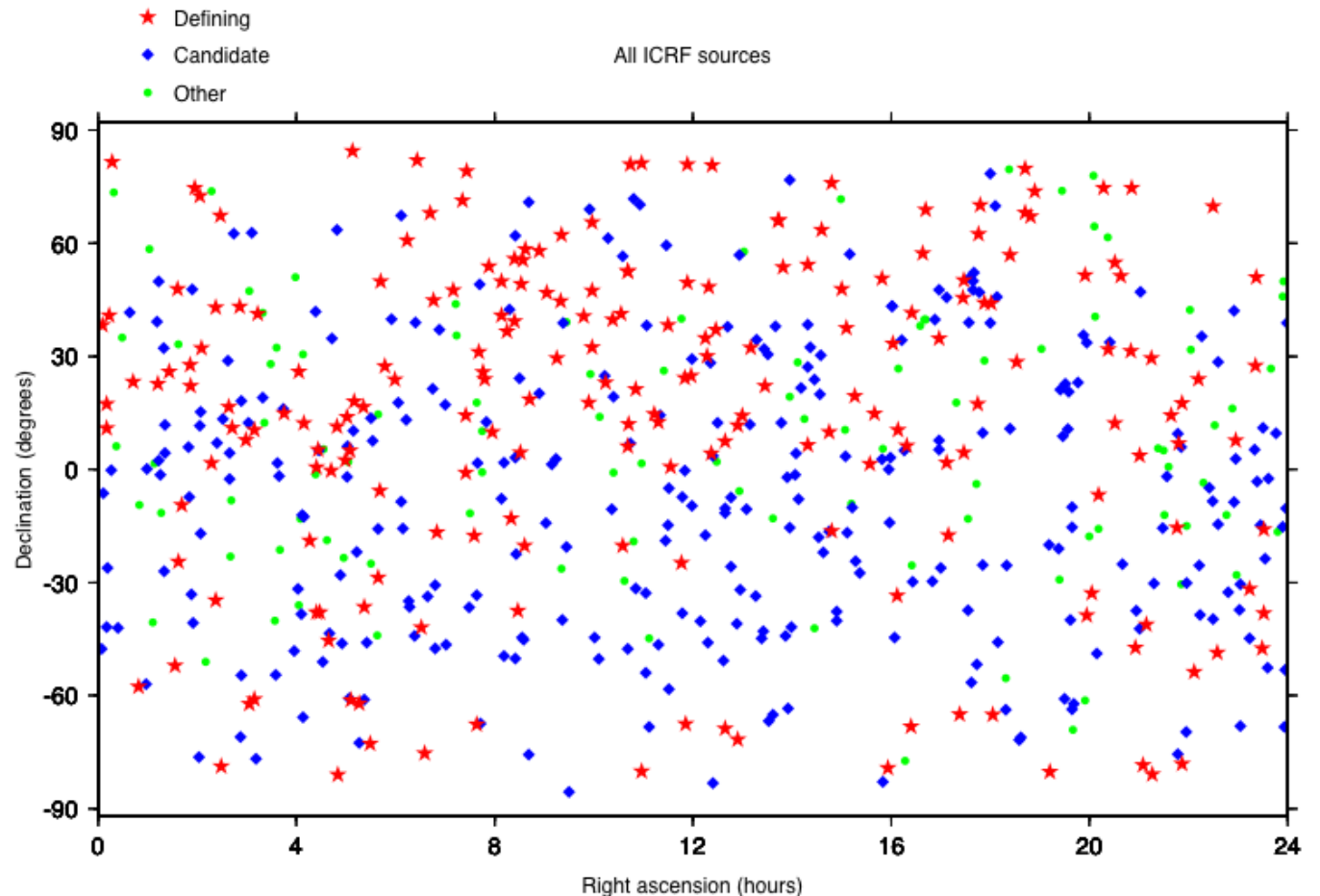
Realização

- O sistema é realizado por um catálogo de coordenadas equatoriais (ascensão reta e declinação) de estrelas (+ antigo) ou fontes extragalácticas (quasars) observadas por VLBI (+ atual);
- EXEMPLOS:
 - FK 5: catálogo de 1535 estrelas (incerteza de 20 a 30 mas)
 - **ICRF** (*International Celestial Reference Frame*):
 - Substituiu oficialmente o FK 5 em 1/1/1998;
 - Conjunto de coordenadas equatoriais de fontes de rádio extragalácticas (quasars) determinadas com VLBI;

CCRS e CCRF [ICRS e ICRF]

EXEMPLO 1: o ICRF1 (1998) é formado pelas coordenadas de 608 fontes de rádio na época 2000,0 (incerteza de 0,5 mas).

Fonte: <http://hpiers.obspm.fr/icrs-pc/>



CCRS e CCRF [ICRS e ICRF]

EXEMPLO 1: o ICRF1 (1998);

Fonte: <http://hpiers.obspm.fr/icrs-pc/>

Coordinates of the 212 defining sources in ICRF										
ICRF Designation (1)	IERS Des. (2)	Inf. (3)	Right Ascension			Declination			Uncertainty	
			J2000.0			J2000.0			R.A.	Dec.
			X	S	H	h	m	s	o	'
ICRF J000557.1+382015	0003+380		0	5	57.175409	38	20	15.14857	0.000041	0.00051
ICRF J001031.0+105829	0007+106		0	10	31.005888	10	58	29.50412	0.000032	0.00068
ICRF J001033.9+172418	0007+171		0	10	33.990619	17	24	18.76135	0.000021	0.00035
ICRF J001331.1+405137	0010+405	2 1	0	13	31.130213	40	51	37.14407	0.000026	0.00034
ICRF J001708.4+813508	0014+813		0	17	8.474953	81	35	8.13633	0.000121	0.00026
ICRF J004204.5+232001	0039+230		0	42	4.545183	23	20	1.06129	0.000036	0.00060
ICRF J004959.4-573827	0047-579		0	49	59.473091	-57	38	27.33992	0.000047	0.00053
ICRF J011205.8+224438	0109+224	*	1	12	5.824718	22	44	38.78619	0.000027	0.00049
ICRF J012642.7+255901	0123+257		1	26	42.792631	25	59	1.30079	0.000030	0.00054
ICRF J013305.7-520003	0131-522		1	33	5.762585	-52	0	3.94693	0.000049	0.00081

EXEMPLO 2: o ICRF2 (2009) é formado pelas coordenadas de 3414 fontes de rádio na época 2000,0.

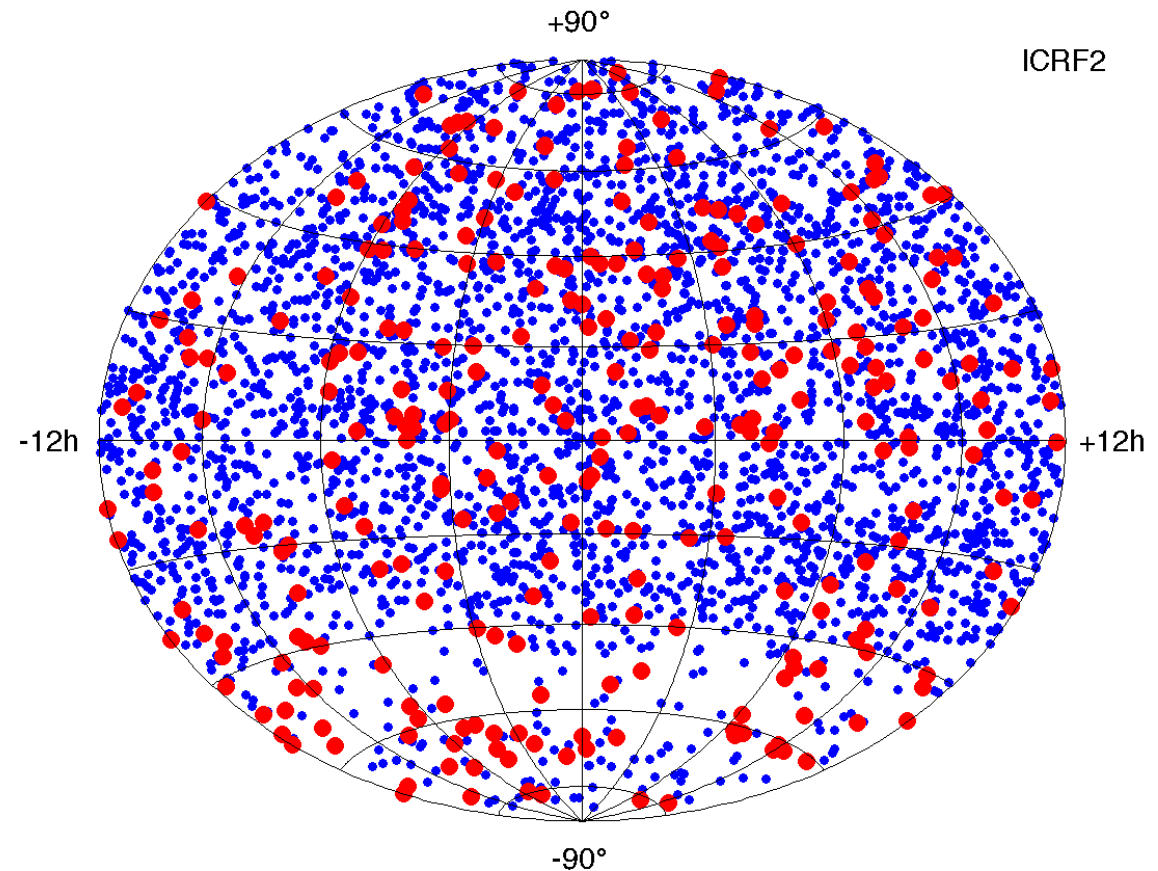
CCRS e CCRF [ICRS e ICRF]

EXEMPLO 2: o ICRF2 (2009) é formado pelas coordenadas de 3414 fontes de rádio na época 2000,0.

- 30 anos de observações VLBI;

- “... ICRF2 is found to have a noise floor of only $\approx 40 \mu\text{as}$, some 5–6 times better than ICRF1, and an axis stability of $\approx 10 \mu\text{as}$, nearly twice as stable as ICRF1.”

Fonte: <http://hpiers.obspm.fr/icrs-pc>



CTRS e CTRF

Definição

- Um CTRS (*Conventional Terrestrial Reference System*) é definido pelo conjunto de todas as convenções, algoritmos e constantes que fornecem a origem, escala e orientação desse sistema e sua evolução temporal;
- Desde 1970, existe uma recomendação da IAG de que os referenciais sejam orientados de acordo com o convencional;

Realização

- Um CTRF (*Conventional Terrestrial Reference Frame*) é definido como um conjunto de pontos físicos com coordenadas precisamente determinadas em um sistema de coordenadas específico como a realização de um TRS ideal.
- Atualmente, distinguem-se dois tipos de redes, nomeadamente dinâmicas e cinemáticas, dependendo se um modelo dinâmico é ou não aplicado no processo de determinação destas coordenadas;

CTRS e CTRF [ITRS e ITRF]

Antecedentes Gerais:

- Um *Terrestrial Reference System* - TRS é um sistema de referência espacial co-rotacional com a Terra no seu movimento diurno no espaço;
- As posições dos pontos unidos à superfície sólida da Terra têm coordenadas que se submetem a pequenas variações com o tempo, devido aos efeitos geofísicos (*e.g.* deformações tectônicas ou de marés);
- Uma rede de referência terrestre (*Terrestrial Reference Frame* -TRF) é um conjunto de pontos físicos com coordenadas determinadas com precisão num sistema de coordenadas específico (cartesiano, geográfico, mapas, etc.) vinculado a um sistema de referência terrestre. Tal TRF diz-se que é uma realização do TRS.
- Um exemplo de um TRS é o ITRS, com sua correspondente realização ITRF.
- O ITRF é o marco de referência geodésico mais preciso utilizado hoje em dia. Foi estabelecido pelo IERS.

Sistemas de Referência Celestes e Terrestres Convencionais

CELESTE

TERRESTRE



Parâmetros de orientação da Terra (EOP) que descrevem as variações ou irregularidades no movimento de rotação da Terra



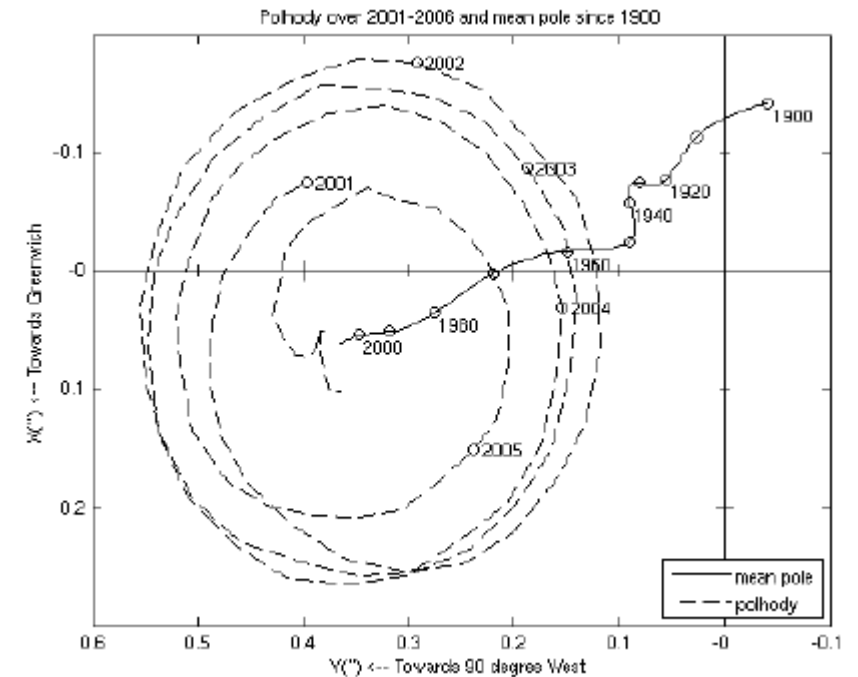
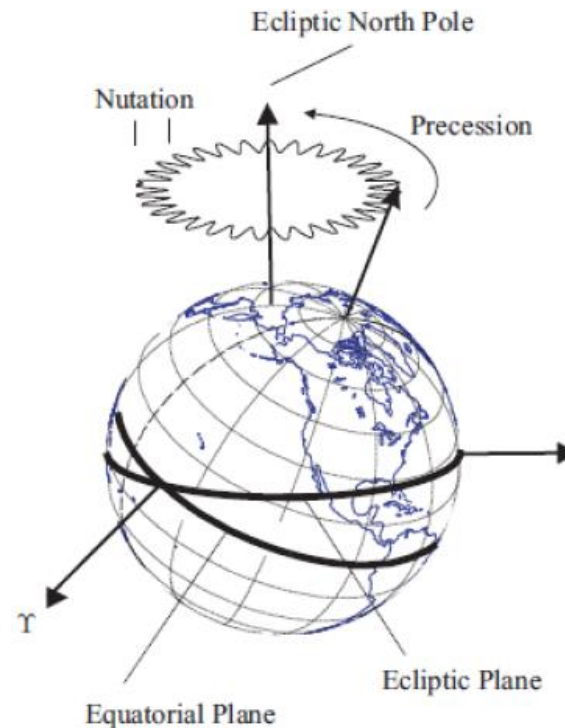
Por quê?

Os corpos celestes não participam da rotação da Terra

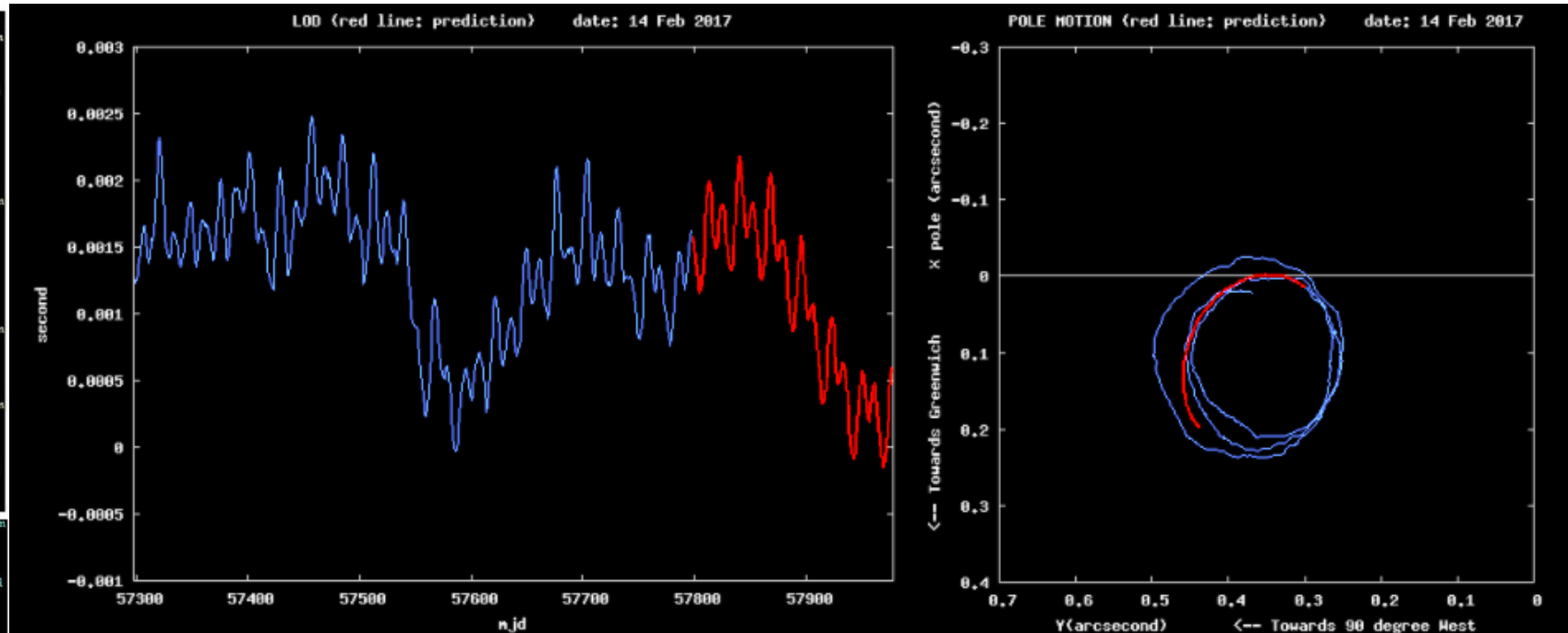
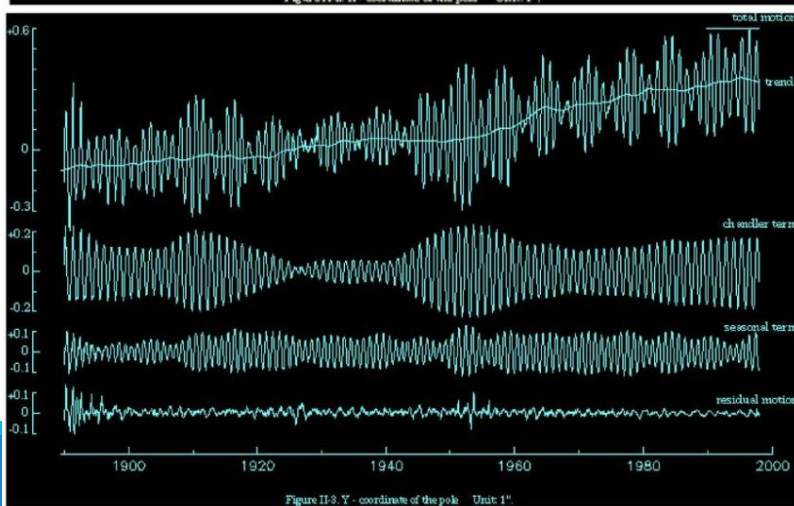
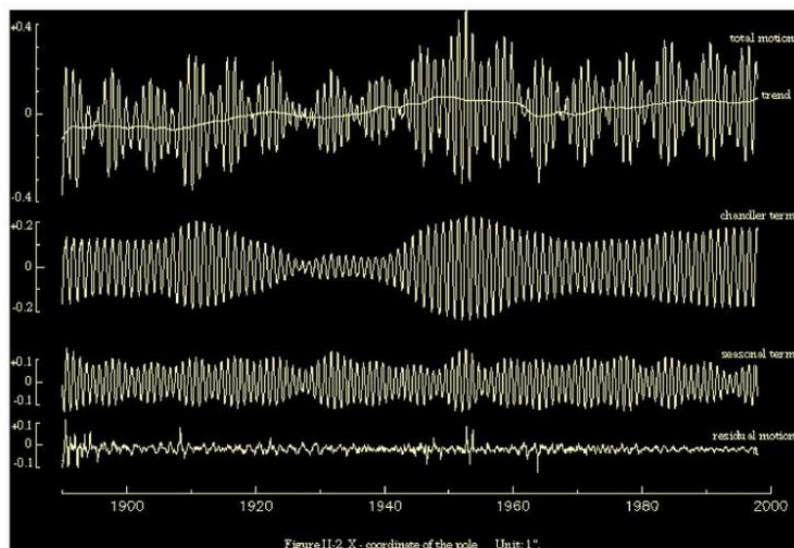
Parâmetros de Orientação da Terra (EOP)

A relação entre os referenciais celeste e terrestre é efetivada pelos parâmetros de orientação da Terra (EOP – *Earth Orientation Parameters*), que são:

- x_P
 - y_P
 - Precessão e nutação;
 - TU1;
- Coordenadas do polo;



Parâmetros de Orientação da Terra (EOP)



Fonte: <http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/>

Parâmetros de Orientação da Terra (EOP)

A relação entre os referenciais celeste e terrestre é efetivada pelos parâmetros de orientação da Terra (EOP – *Earth Orientation Parameters*), que são:

- x_p
 - y_p
- } Coordenadas do polo;
- Precessão e nutação;
 - TU1;

- A posição do eixo de rotação da Terra não é fixa no espaço, principalmente devido aos movimentos de precessão e nutação;
- A precessão é o movimento circular lento, do eixo de rotação com relação ao espaço inercial, com um período de cerca de 26.000 anos;
- A nutação é o movimento mais rápido sobreposto à precessão, e é constituído por um número de oscilações que varia desde um período de 14 dias a 18,6 anos;
- Ambos os movimentos são previsíveis com um grau elevado de precisão;
- “... *Universal Time UT1 is the time of the earth clock, which performs one revolution in about 24h.*”

Parâmetros de Orientação da Terra (EOP)

A relação entre os referenciais celeste e terrestre é efetivada pelos parâmetros de orientação da Terra (EOP – *Earth Orientation Parameters*), que são:

- x_p
- y_p
- Precessão e nutação;
- TU1;

BULLETIN B 338
1 April 2016

Contents are described in ftp://hpiers.obspm.fr/iers/bul/bulb_new/bulletinb.pdf

1 - DAILY FINAL VALUES OF x , y , UT1-UTC, dX , dY
Angular unit is milliarcsecond (mas), time unit is millisecond (ms).
Upgraded solution from February 1 2011 - consistent with ITRF 2008.

DATE (0 h UTC)				MJD	x mas	y mas	UT1-UTC ms	dX mas	dY mas	x err mas	y err mas	UT1 err ms	X err mas	Y err mas
Final values														
Mean formal error					0.041	0.037	0.0053	0.021	0.019					
2016	2	2	57420		-4.751	301.342	24.9958	-0.154	-0.069	0.042	0.038	0.0046	0.018	0.019
2016	2	3	57421		-5.725	302.649	23.8016	-0.163	-0.072	0.042	0.038	0.0046	0.019	0.019
2016	2	4	57422		-6.418	304.497	22.6308	-0.165	-0.081	0.042	0.038	0.0047	0.019	0.020
2016	2	5	57423		-7.481	306.466	21.4306	-0.168	-0.089	0.042	0.038	0.0049	0.019	0.020
2016	2	6	57424		-8.646	308.134	20.1501	-0.170	-0.098	0.042	0.038	0.0050	0.020	0.020
2016	2	7	57425		-9.564	309.799	18.7256	-0.172	-0.106	0.042	0.038	0.0052	0.020	0.020
2016	2	8	57426		-9.602	311.455	17.1286	-0.175	-0.114	0.042	0.038	0.0053	0.020	0.020
2016	2	9	57427		-9.695	313.158	15.3216	-0.177	-0.122	0.042	0.038	0.0054	0.020	0.020

Parâmetros de Orientação da Terra (EOP)

O relacionamento entre os dois sistemas (celeste e terrestre) é feito por meio de uma sequência de rotações:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_G = R_2(-x_P)R_1(-y_P)R_3(GAST)NP \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_C$$

- x_P e y_P são as coordenadas do pólo, com origem no CIO;
- $GAST$ (*Greenwich Apparent Sideral Time*)
- N e P representam correções devido a nutação e precessão;

Parâmetros de Orientação da Terra (EOP)

Lembrando – Matrizes de rotação

$$R_1(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad R_2(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$R_3(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ITRS e ITRF

O ITRS (*IERS Terrestrial Reference System*), onde IERS é a sigla para *International Earth Rotation and Reference System Service*), é definido através de um conjunto de convenções da IAG (*International Association of Geodesy*) e da IAU (*International Astronomical Union*) para o estabelecimento do que se denomina a vanguarda científica dos sistemas de referência terrestres convencionais.

Definição:

- Origem: centro de massa da Terra incluindo o oceano e a atmosfera;
- Escala: o metro;
- Orientação: Coincidente com o sistema *Bureau Internationale de l'Heure* (BIH) 1984 ($\pm 3\text{mas}$);
- Evolução: condição *No Net Rotation* (NNR) com respeito à crosta;
- Elipsoide: *Geodetic Reference System* 1980 (GRS80).

ITRS e ITRF

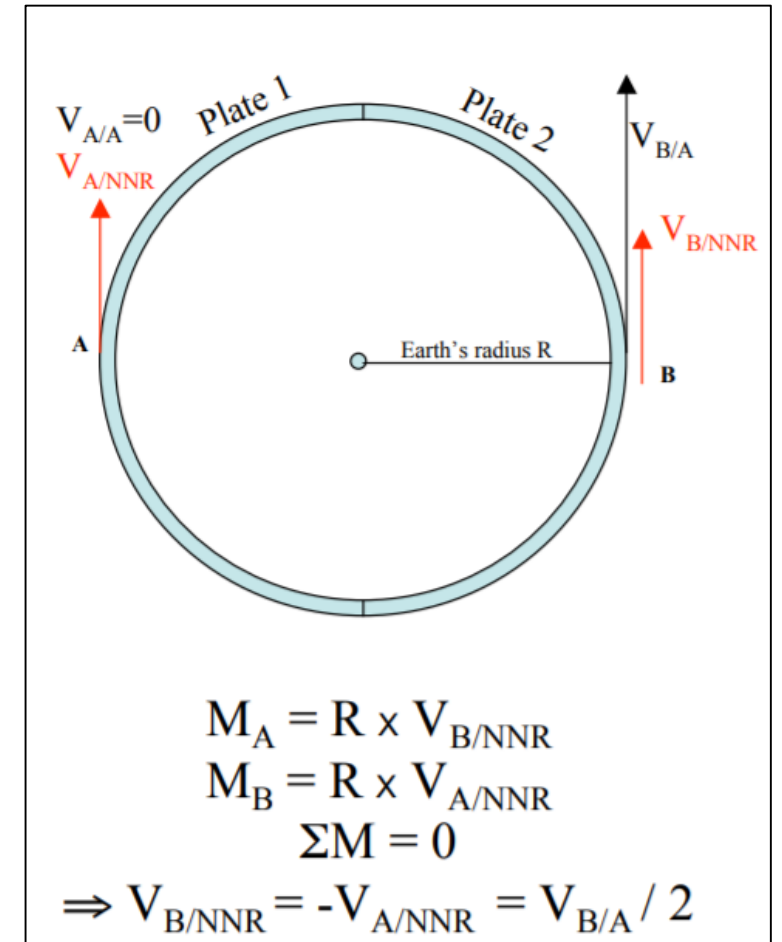
Obs.: *No Net Rotation* (NNR)

- A condição NNR implica condicionar o momento angular de todas as placas tectônicas é nulo (minimizar a energia cinética) em toda a Terra:

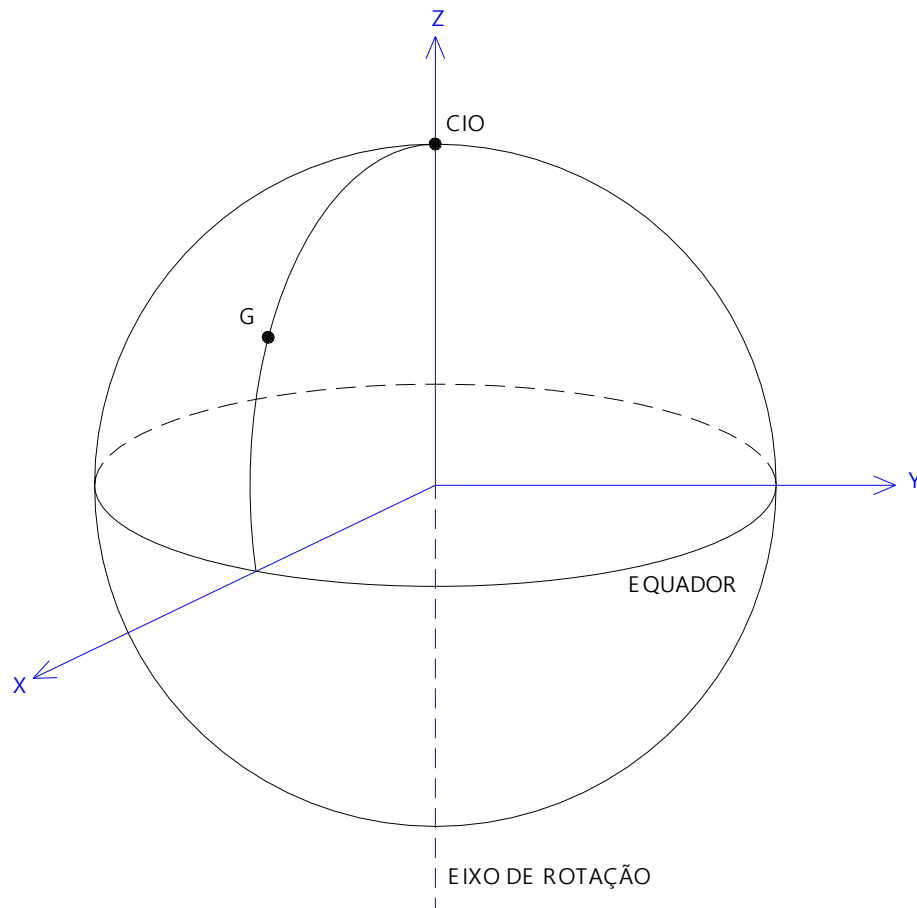
$$h = \int_{crust} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} dm = 0$$

Onde dm é um elemento de massa e \dot{x} , \dot{y} e \dot{z} são as velocidades em x , y e z respectivamente.

- *Representing velocities without referring to a particular plate;*
- *The NNR condition has no impact on relative plate velocities;*
- *It is an additional condition used to define a reference for plate motions that is not attached to any particular plate.*



ITRS e ITRF



Definição:

- EOP determinados com VLBI, fornecem a orientação dos eixos no espaço;
- Centro de massa com SLR;
- Posição relativa entre as estações com GNSS (principalmente), PRARE, DORIS e LLR.

ITRS e ITRF

Realização

- Denominada de ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*);
- É feita por meio do conjunto de coordenadas, velocidades e suas respectivas precisões de um grupo de estações determinadas com técnicas espaciais (por exemplo: VLBI, SLR, GPS e DORIS);

VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*)



SLR (*Satellite Laser Ranging*)



ITRS e ITRF

A realização do ITRS é resumida como:

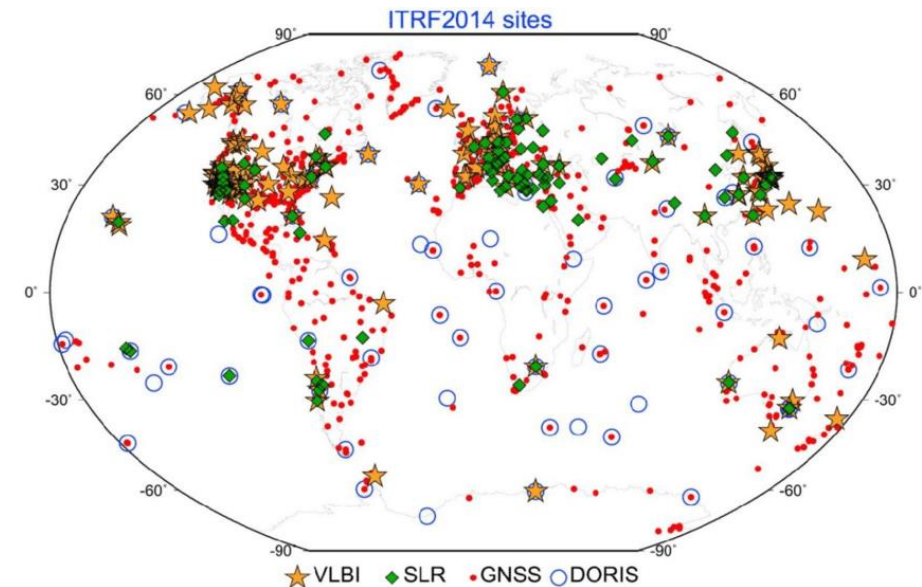
- As Coordenadas x_{t_0} e velocidades v_{t_0} , na época t_0 , de um grande número de estações, equipadas com ao menos uma das técnicas (VLBI, SLR, GNSS e DORIS).
- Três centros de combinação ITRS são estabelecidos: *Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut* (DGFI), *Institute Géographique National* (IGN), e o *National Resources Canada* (NRCan);
- As diferentes realizações são denominadas $ITRF_{yyyy}$, onde o índice $yyyy$ representa o ano;
- Os parâmetros de transformação entre realizações anuais são publicadas nas convenções do IERS; e
- A transformação entre diferentes realizações obedece rigoroso procedimento matemático.

ITRS e ITRF

Evolução de equipamentos e maior período de dados => atualizações do ITRF

- ITRF88
- ITRF89
- ITRF90
- ITRF91
- ITRF92
- ITRF93
- ITRF94 (vínculo da 1ª campanha SIRGAS, época 1995,4)
- ITRF96
- ITRF97

- ITRF2000 (vínculo da 2ª campanha SIRGAS, época 2000,4)
- ITRF2005
- ITRF2008
- ITRF2014



ITRS e ITRF – Realizações ITRF

EXEMPLO: ITRF97

- Combinação de 19 soluções individuais, de 19 instituições diferentes:

- 4 VLBI;
- 5 SLR
- 6 GPS
- 3 DORIS
- 1 combinada

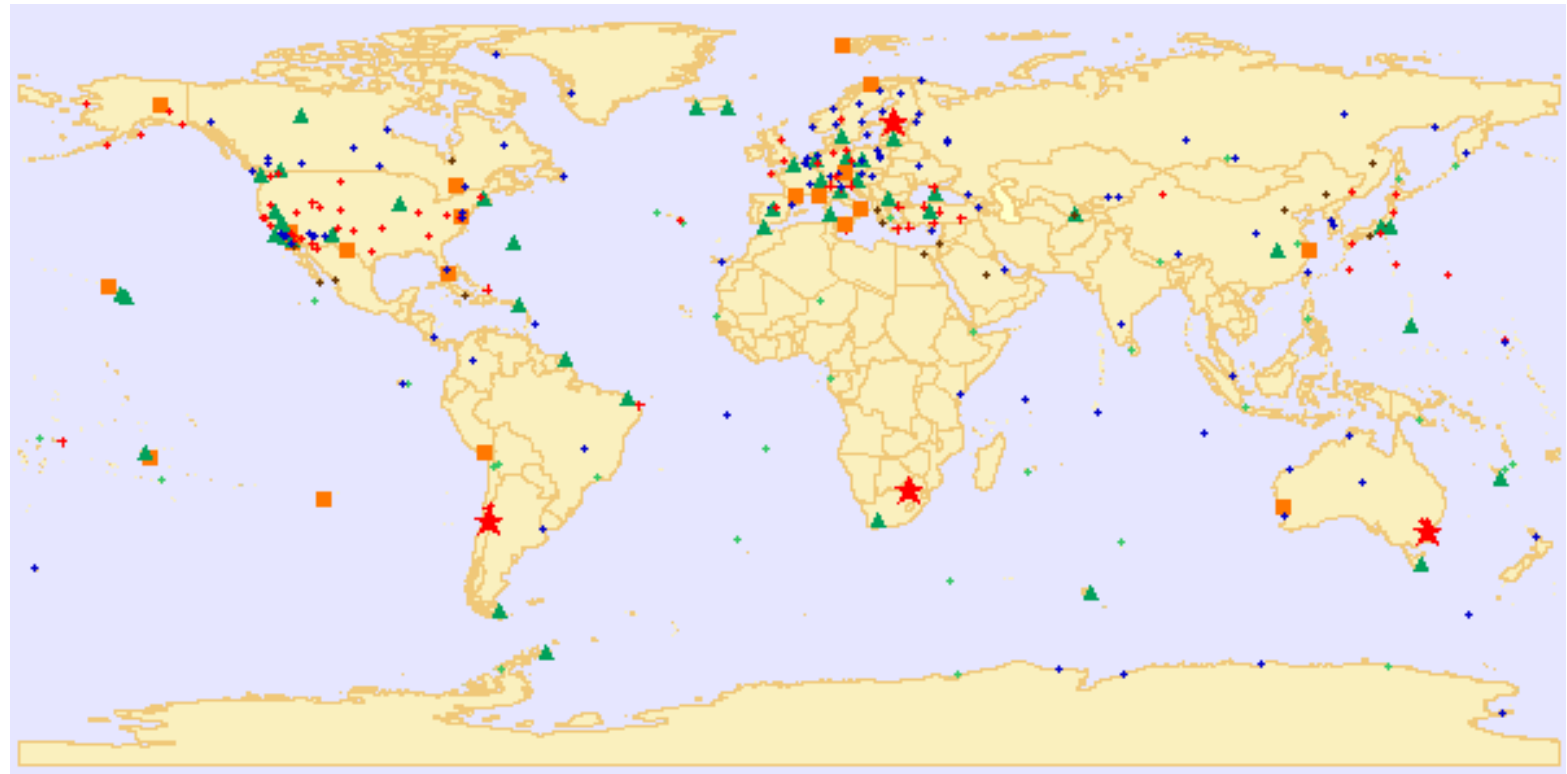
- Solução para 550 estações de observação em 325 lugares;

Azul – 1 técnica

Verde – 2 técnicas

Laranja – 3 técnicas

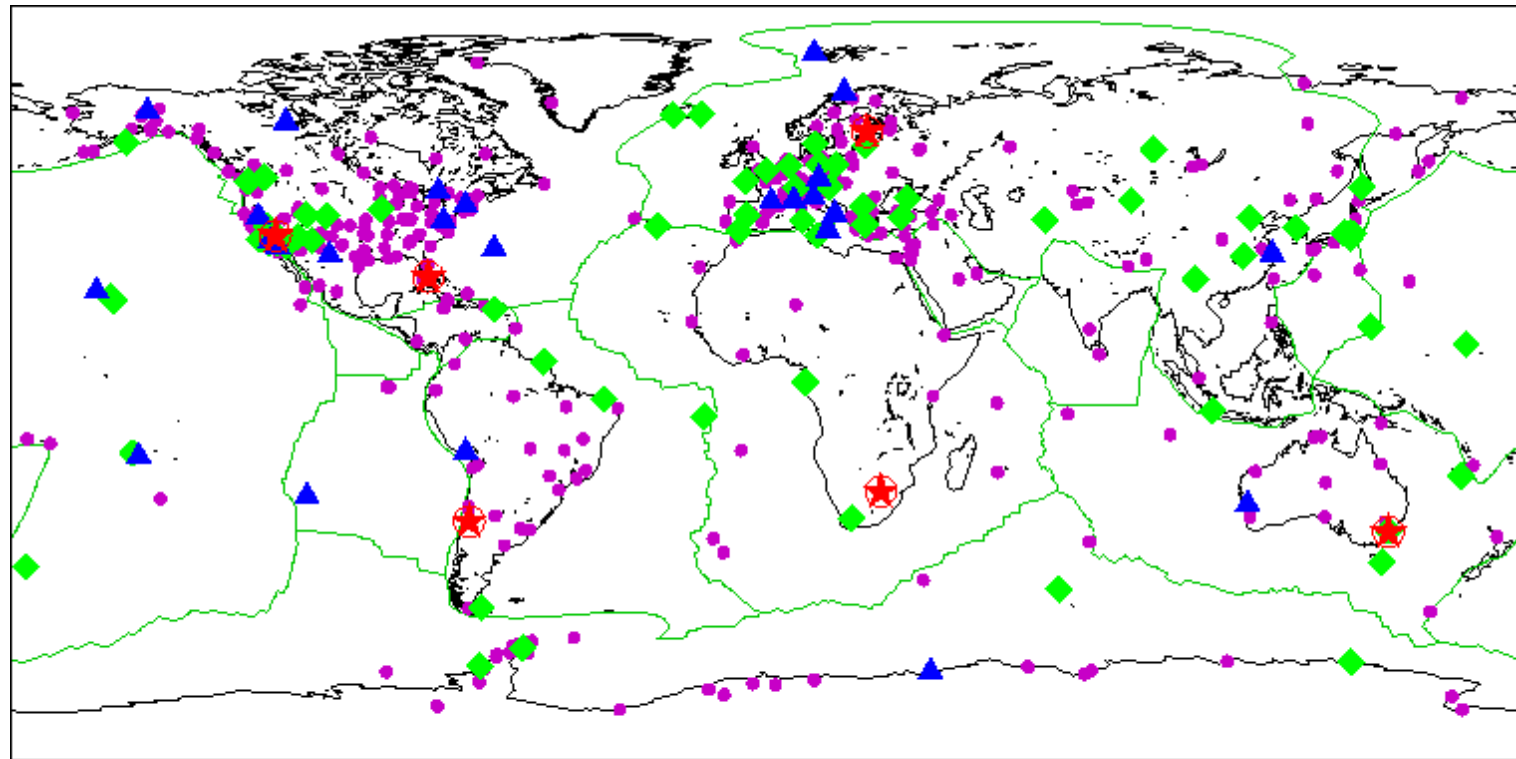
Vermelho – 4 técnicas



ITRS e ITRF – Realizações ITRF

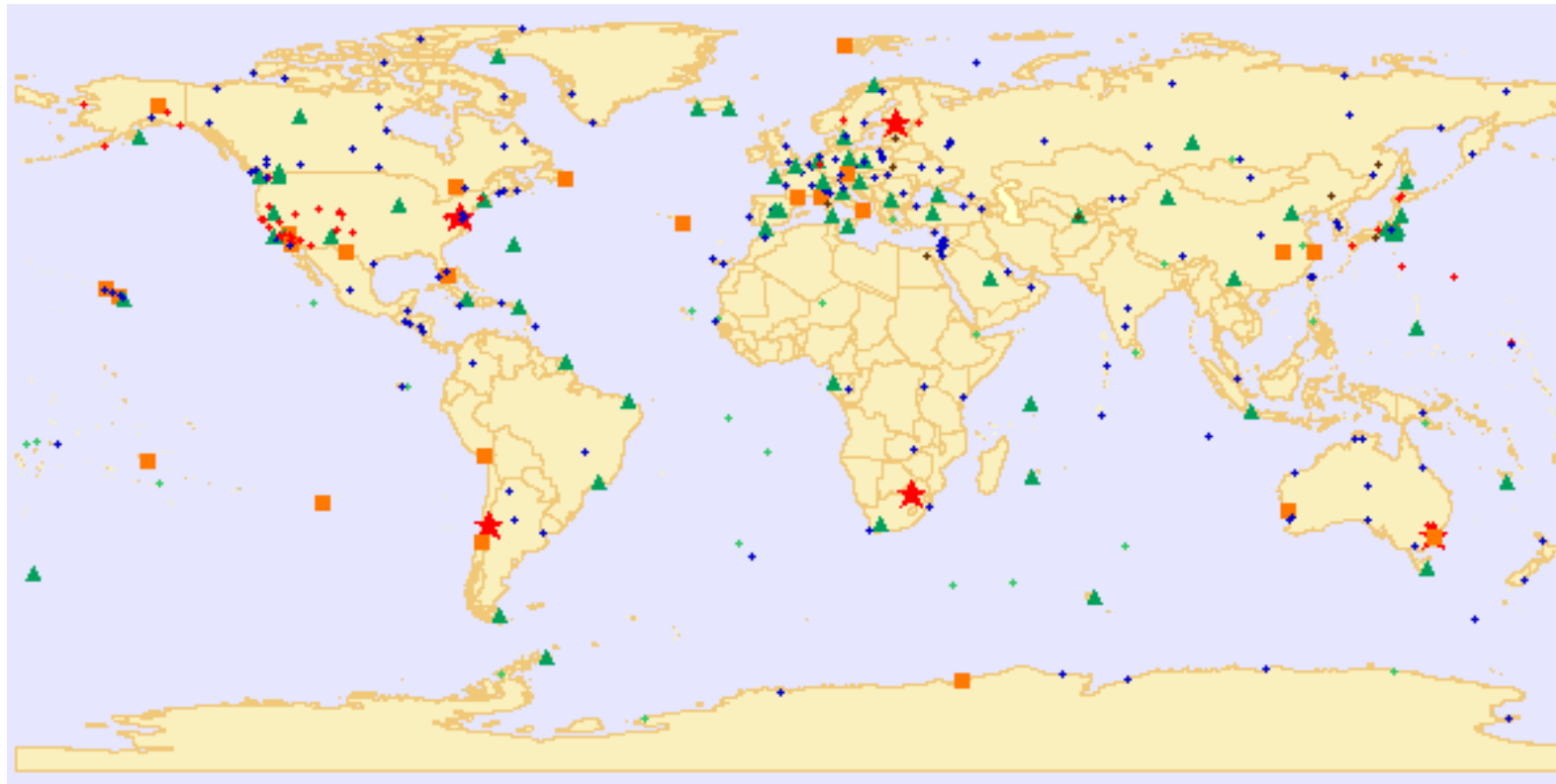
EXEMPLO: ITRF2000

- Combinação de 20 soluções individuais
 - 3 VLBI;
 - 7 SLR;
 - 6 GPS;
 - 2 DORIS;
 - 1 combinada;
 - 1 LLR.
- Solução em 447 lugares (coord + velocidades);
- Redes de densificação SIRGAS, EUREF (solução GPS).



ITRS e ITRF – Realizações ITRF

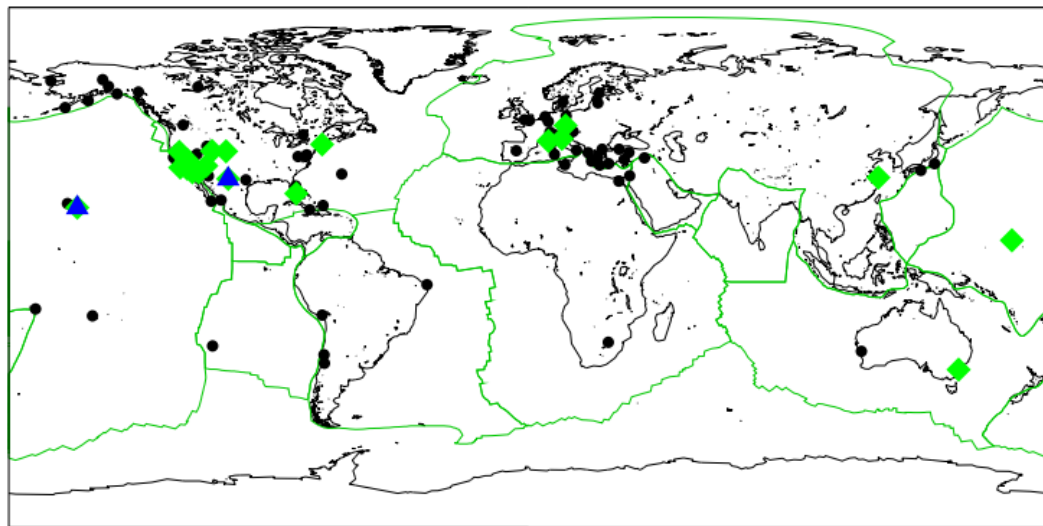
EXEMPLO: ITRF2005



Azul – 1 técnica
Verde – 2 técnicas
Laranja – 3 técnicas
Vermelho – 4 técnicas

ITRS e ITRF – Realizações ITRF

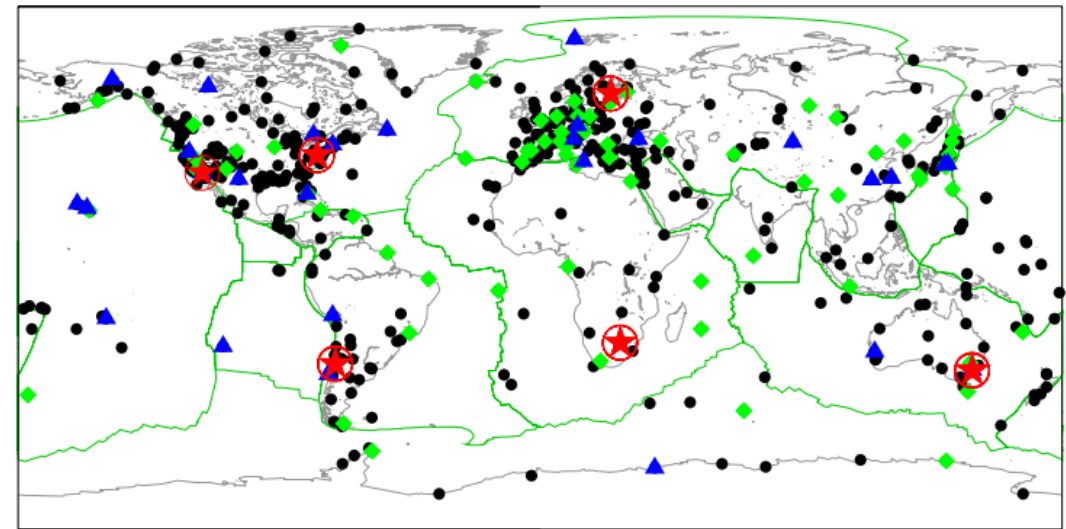
EXEMPLO: ITRF88 x ITRF2008



•1
Co-located techniques --> 20

◆2

▲3
2



•1
Co-located techniques --> 71

◆2

▲3
28

★4
6

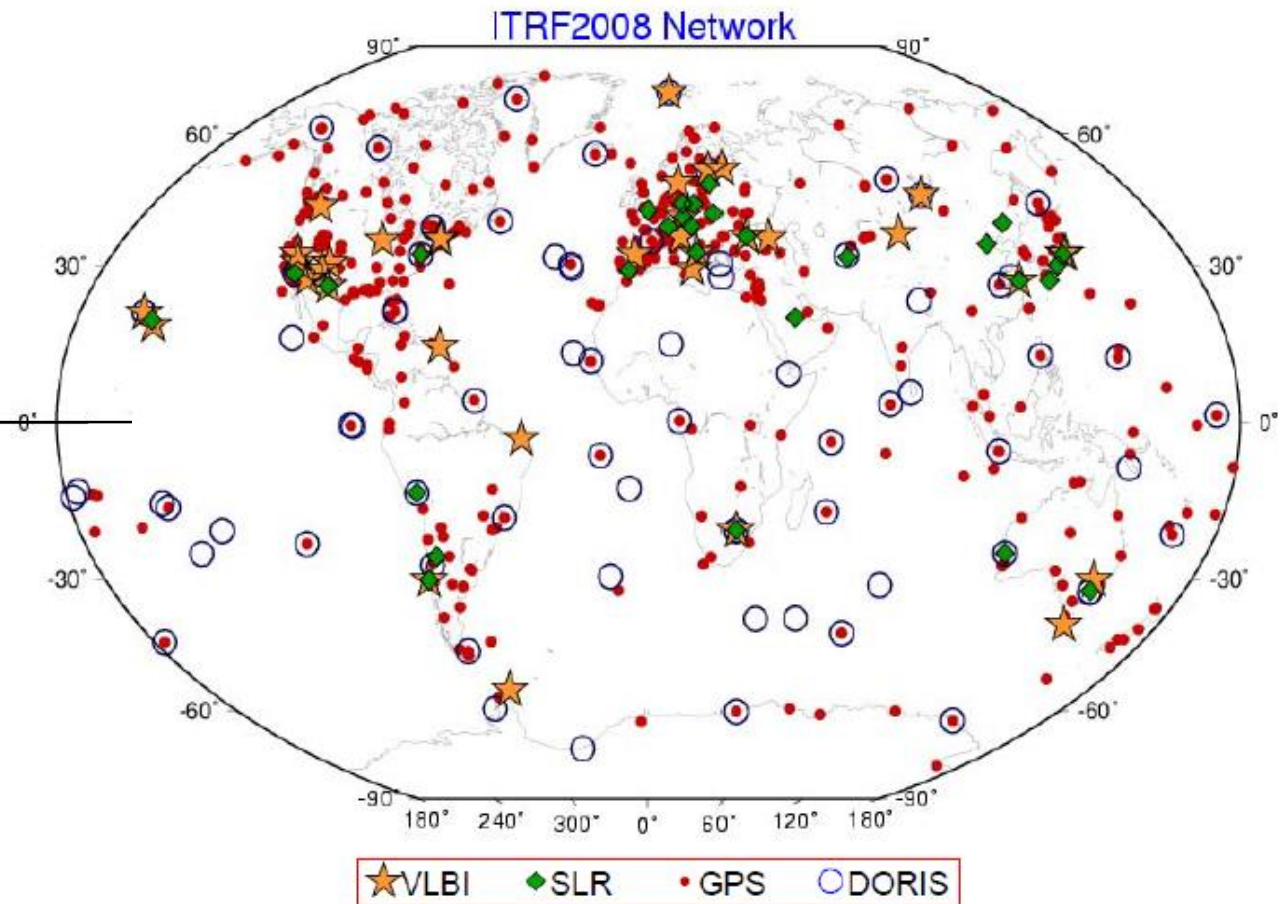
920 estações em 579 lugares

ITRS e ITRF – Realizações ITRF

920 estações em 579 lugares

461 sites North

118 sites South



ITRS e ITRF

Entre as diferentes realizações do ITRF são gerados parâmetros de transformação (transformação de Helmert ou de similaridade) [7 ou 14 parâmetros]

- três translações (representam a variação na posição do centro de massa);
- três rotações;
- um fator de escala; e
- respectivas variações temporais (sfc).

Transformation parameters from ITRF2014 to past ITRFs.

SOLUTION	Tx	Ty	Tz	D	Rx	Ry	Rz	EPOCH
UNITS----->	mm	mm	mm	ppb	.001"	.001"	.001"	
RATES	Tx	Ty	Tz	D	Rx	Ry	Rz	
UNITS----->	mm/y	mm/y	mm/y	ppb/y	.001"/y	.001"/y	.001"/y	
ITRF2008	1.6	1.9	2.4	-0.02	0.00	0.00	0.00	2010.0
rates	0.0	0.0	-0.1	0.03	0.00	0.00	0.00	
ITRF2005	2.6	1.0	-2.3	0.92	0.00	0.00	0.00	2010.0
rates	0.3	0.0	-0.1	0.03	0.00	0.00	0.00	
ITRF2000	0.7	1.2	-26.1	2.12	0.00	0.00	0.00	2010.0
rates	0.1	0.1	-1.9	0.11	0.00	0.00	0.00	
ITRF97	7.4	-0.5	-62.8	3.80	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF96	7.4	-0.5	-62.8	3.80	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF94	7.4	-0.5	-62.8	3.80	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF93	-50.4	3.3	-60.2	4.29	-2.81	-3.38	0.40	2010.0
rates	-2.8	-0.1	-2.5	0.12	-0.11	-0.19	0.07	
ITRF92	15.4	1.5	-70.8	3.09	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF91	27.4	15.5	-76.8	4.49	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF90	25.4	11.5	-92.8	4.79	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF89	30.4	35.5	-130.8	8.19	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF88	25.4	-0.5	-154.8	11.29	0.10	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	

Transformação entre realizações ITRF

O modelo matemático utilizado para transformação das coordenadas do sistema de referência de origem (o) para o sistema de referência destino (d) pode ser dado por meio da equação matricial:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_d = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_o + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -R_z & R_y \\ R_z & D & -R_x \\ -R_y & R_x & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_o \quad (I)$$

$[X \ Y \ Z]_d^T$: vetor das coordenadas cartesianas geocêntricas no sistema de referência destino;

$[X \ Y \ Z]_o^T$: vetor das coordenadas cartesianas geocêntricas no sistema de referência origem;

$[T_x \ T_y \ T_z]^T$: vetor das translações;

R_x, R_y, R_z : rotações diferenciais em torno dos eixos X, Y, Z, respectivamente, dadas em radianos;

e

D: fator diferença de escala, adimensional.

Transformação entre realizações ITRF

Na utilização da equação (I), é necessário que os sete parâmetros de transformação estejam na mesma época de referência das coordenadas das estações no sistema origem. A atualização dos parâmetros pode ser realizada por meio da equação a seguir:

$$\mathbf{p}(t_0) = \mathbf{p}(t_k) + \dot{\mathbf{p}} \cdot \Delta t \quad (\text{II})$$

$\mathbf{p}(t_0) = [T_X(t_0) \ T_Y(t_0) \ T_Z(t_0) \ D(t_0) \ R_X(t_0) \ R_Y(t_0) \ R_Z(t_0)]^T$: parâmetros de transformação atualizados para a época (t_0) de referência das coordenadas no sistema origem;

$\mathbf{p}(t_k) = [T_X(t_k) \ T_Y(t_k) \ T_Z(t_k) \ D(t_k) \ R_X(t_k) \ R_Y(t_k) \ R_Z(t_k)]^T$: vetor dos parâmetros de transformação disponibilizados na época (t_k);

$\dot{\mathbf{p}} = [\dot{T}_X \ \dot{T}_Y \ \dot{T}_Z \ \dot{D} \ \dot{R}_X \ \dot{R}_Y \ \dot{R}_Z]^T$: vetor das variações temporais (rates) dos parâmetros de transformação;

$\Delta t = (t_0 - t_k)$: intervalo de tempo decorrido entre a época de referência dos parâmetros e a época de interesse;

t_0 : época para qual serão atualizados os parâmetros; e

t_k : época de referência dos parâmetros.

Transformação entre realizações ITRF

Exemplo 1: transformar as coordenadas dadas a seguir, referentes à estação RBMC BRAZ, localizada em Brasília-DF, de ITRF2005 para ITRF2000. São dados, também, as velocidades e os parâmetros de transformação.

Sistema de ref.	X	Y	Z
Epoca	V_x	V_y	V_z
ITRF2005	4115014,083	-4550641,541	-1741444,022
2000	0,0002	-0,0046	0,0124


Transformation Parameters between ITRF2005 and ITRF2000

14 transformation parameters between ITRF2005 and ITRF2000 have been estimated and listed in Table 1, using 70 stations listed in Table 2 and located at sites shown on Figure 2.

	T1	T2	T3	D	R1	R2	R3
	mm	mm	mm	10-9	mas	mas	mas
	0.1	-0.8	-5.8	0.40	0.000	0.000	0.000
+/-	0.3	0.3	0.3	0.05	0.012	0.012	0.012
Rates	-0.2	0.1	-1.8	0.08	0.000	0.000	0.000
+/-	0.3	0.3	0.3	0.05	0.012	0.012	0.012

Transformação e

Exemplo 1: transformar as coordenadas localizada em Brasília-DF, de ITRF2000 parâmetros de transformação.



International Terrestrial Reference Frame

ITRF

ITRS and ITRF

ITRF NEWS

General concepts

Splinter meeting

ITRF Products

ITRF solutions

Search by DOMES number :

ITRF2000 datum definition

SCALE AND RATE : weighted average of the following VLBI and SLR solutions

- VLBI: GIUB, GSFC, SHA
- SLR: CGS, CRL, CSR, DGFI, JCET

ORIGIN (translations and rates) : weighted average of SLR solutions (CGS, CRL, CSR, DGFI, JCET)

ORIENTATION : insured upon a selection of ITRF sites with high geodetic quality

- Rotations: ITRF97 at 1997.0 epoch
- Rotation rates: No Net Rotation w.r.t. NNR-NUVEL1A

Sistema de ref.	X	Y	Z
Epoca	V_x	V_y	V_z
ITRF2005	4115014,083	-4550641,541	-1741444,022
2000	0,0002	-0,0046	0,0124

Transformation Parameters between ITRF2005 and ITRF2000

14 transformation parameters between ITRF2005 and ITRF2000 have been estimated and listed in Table 1, using 70 stations listed in Table 2 and located at sites shown on Figure 2.

	T1	T2	T3	D	R1	R2	R3
	mm	mm	mm	10 ⁻⁹	mas	mas	mas
	0.1	-0.8	-5.8	0.40	0.000	0.000	0.000
+/-	0.3	0.3	0.3	0.05	0.012	0.012	0.012
Rates	-0.2	0.1	-1.8	0.08	0.000	0.000	0.000
+/-	0.3	0.3	0.3	0.05	0.012	0.012	0.012

Passo 1: atualizar os parâmetros de transformação e as coordenadas da época 2000 para a época 1997.

Coordenadas:

$$\begin{bmatrix} X_{ITRF05} \\ Y_{ITRF05} \\ Z_{ITRF05} \end{bmatrix}_{1997} = \begin{bmatrix} 4115014,083 \\ -4550641,541 \\ -1741444,022 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,0002 \\ -0,0046 \\ 0,0124 \end{bmatrix} (1997 - 2000) = \begin{bmatrix} 4115014,082 \\ -4550641,527 \\ -1741444,059 \end{bmatrix}$$

Translações:

$$\begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix}_{1997} = \begin{bmatrix} 0,0001 \\ -0,0008 \\ -0,0058 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,0002 \\ 0,0001 \\ -0,0018 \end{bmatrix} (1997 - 2000) = \begin{bmatrix} 0,0007 \\ -0,0011 \\ -0,0004 \end{bmatrix}$$

Fator de escala:

$$[s]_{1997} = 0,4 \times 10^{-9} + 0,08 \times 10^{-9} (1997 - 2000) = 0,16 \times 10^{-9}$$

Transformação entre realizações ITRF

Exemplo 1: transformar as coordenadas dadas a seguir, referentes à estação RBMC BRAZ, localizada em Brasília-DF, de ITRF2005 para ITRF2000. São dados, também, as velocidades e os parâmetros de transformação.

Sistema de ref.	X	Y	Z
Epoca	V_x	V_y	V_z
ITRF2005	4115014,083	-4550641,541	-1741444,022
2000	0,0002	-0,0046	0,0124

Transformation Parameters between ITRF2005 and ITRF2000

14 transformation parameters between ITRF2005 and ITRF2000 have been estimated and listed in Table 1, using 70 stations listed in Table 2 and located at sites shown on Figure 2.

	T1	T2	T3	D	R1	R2	R3
	mm	mm	mm	10 ⁻⁹	mas	mas	mas
	0.1	-0.8	-5.8	0.40	0.000	0.000	0.000
+/-	0.3	0.3	0.3	0.05	0.012	0.012	0.012
Rates	-0.2	0.1	-1.8	0.08	0.000	0.000	0.000
+/-	0.3	0.3	0.3	0.05	0.012	0.012	0.012

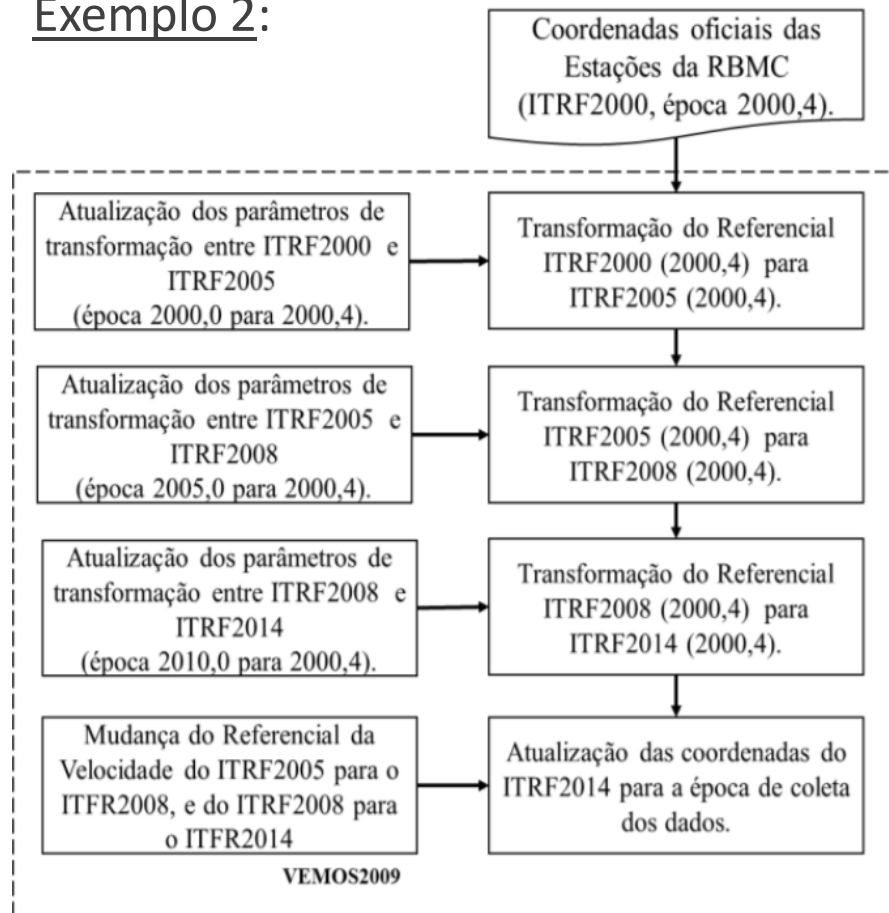
Passo 2: realizar a transformação entre as realizações do ITRF.

$$\begin{bmatrix} X_{ITRF00} \\ Y_{ITRF00} \\ Z_{ITRF00} \end{bmatrix}_{1997} = \begin{bmatrix} 4115014,082 \\ -4550641,527 \\ -1741444,059 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,0007 \\ -0,0011 \\ 0,0004 \end{bmatrix} + 0,16 \times 10^{-9} \times I \times \begin{bmatrix} 4115014,082 \\ -4550641,527 \\ -1741444,059 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} X_{ITRF00} \\ Y_{ITRF00} \\ Z_{ITRF00} \end{bmatrix}_{1997} = \begin{bmatrix} 4115014,083 \\ -4550641,529 \\ -1741444,059 \end{bmatrix}$$

Transformação entre realizações ITRF

Exemplo 2:



Atualização dos parâmetros de transformação:

$$\begin{pmatrix} T_X(t) \\ T_Y(t) \\ T_Z(t) \\ S(t) \\ e_X(t) \\ e_Y(t) \\ e_Z(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_X(t_0) \\ T_Y(t_0) \\ T_Z(t_0) \\ S(t_0) \\ e_X(t_0) \\ e_Y(t_0) \\ e_Z(t_0) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \dot{T}_X \\ \dot{T}_Y \\ \dot{T}_Z \\ \dot{S} \\ \dot{e}_X \\ \dot{e}_Y \\ \dot{e}_Z \end{pmatrix} (t - t_0) \quad (1)$$

Transformação entre sistemas de referência:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_d = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{t_0} + \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} S & -\varepsilon_Z & \varepsilon_Y \\ \varepsilon_Z & S & -\varepsilon_X \\ -\varepsilon_Y & \varepsilon_X & S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{t_0} \quad (2)$$

Atualização das coordenadas:

$$\begin{aligned} X(t) &= X(t_0) + V_X(t - t_0) \\ Y(t) &= Y(t_0) + V_Y(t - t_0) \\ Z(t) &= Z(t_0) + V_Z(t - t_0) \end{aligned} \quad (3)$$

GGRS - *Global Geodetic Reference System*

- A Assembleia Geral das Nações Unidas aprovou a resolução sobre o Referencial Geodésico Global (GGRF) para o Desenvolvimento Sustentável, em 26 de Fevereiro de 2015;
- O GGRF inclui a geometria, campo da gravidade da Terra, e orientação da Terra com respeito ao referencial celeste;
- O GGRF é um Referencial Geodésico Integrado, incorporando o ITRF e o ICRF, o futuro Referencial Internacional de Altitudes (*International Height Reference Frame* - IHRF), e a nova rede global de gravidade absoluta (IGSNn) de acordo com as resoluções No. 1 e No. 2 da IAG 2015, respectivamente.



The creation of the subcommittee started last year, when United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management (UN-GGIM) decided to elevate the Global Geodetic Reference Frame (GGRF) Working Group to a permanent Subcommittee on Geodesy. On the 4th August this year the UN-GGIM seventh session in New York endorsed the terms of reference and formally established the first permanent UN-GGIM Subcommittee on Geodesy.

GGRS e GGRF

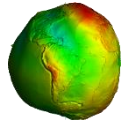
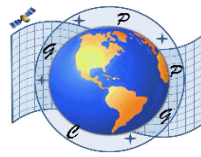
Definição:

- Para o ponto físico P , o geopotencial $W_P = W(\vec{X})$ é avaliado na coordenada \vec{X} do ITRS;
- A unidade de tempo é o segundo e a unidade de comprimento é o metro ambos no SI;
- A altitude física é a diferença $-\Delta W_P$ entre o geopotencial W_P no ponto P e o geopotencial de referência $W_0 = 62.636.853,4 \text{ m}^2 \text{s}^{-2}$;
- O vetor de gravidade \vec{g} é o gradiente do potencial do campo de gravidade da Terra;
- Geometria e gravidade são funções implícitas do tempo;
- São necessários parâmetros fundamentais e convenções para o uso de modelos, por exemplo, o sistema de maré e procedimentos;
- O ICRS, baseado numa definição cinemática, é um sistema quase inercial. O ICRS fornece a base celeste para o GGRS;
- A relação entre o ITRS e o ICRS é descrita pelos EOP.

GGRS e GGRF

Pressupostos para o GGRF:

- A rede de pontos terrestres é global, com densificação nacional e regional da infraestrutura geodésica. Esta rede de estações GGRF tipicamente compreende:
 - observatórios geodésicos fundamentais que empregam todas as técnicas geodésicas espaciais colocalizadas com instrumentos gravimétricos, permitindo a ligação entre \vec{X} , W e g ;
 - Outras estações geodésicas que incluam também marégrafos de referência, pontos de referência de altitude e pontos gravimétricos colocalizados, sempre que for possível com instrumentos geodésicos espaciais.
- Todas as estações GGRF devem:
 - funcionar continuamente, a longo prazo, para assegurar a estabilidade do GGRF;
 - ser equipadas com tecnologia de observação de ponta, para produzir medições de quantidades geodésicas;
 - ser monitoradas continuamente para detectar deformações superficiais da Terra; e
 - Conectados a *data* verticais para relacionar com precisão suas diferenças de geopotencial para unificação.



Dúvidas/perguntas?

Doutorando: Eurico Nicacio (MSc)

[euriconicaciojr@gmail.com]