

# Sistemas de Referência

## **1. Sistemas de Referência Terrestre Ideal:**

∴ Espaço euclidiano afim munido de uma base ortogonal fixa à Terra, de escala unitária e origem no centro de massa da Terra.

## **2. Sistemas de Referência Terrestre Convencional:**

a) Sistema de eixos ortogonais fixo à Terra, cujo eixo principal é paralelo ao eixo de rotação, com origem próxima do centro de massa da Terra e escala próxima da unidade;

b) A sua concretização é feita com base na medição de grandezas físicas (constante geopotencial – GM, velocidade de rotação da terra, velocidade da luz e/ou unidades de comprimento e de tempo), na medição de grandezas geométricas e em algoritmos de cálculo.

# Sistemas de Referência

## **3. Sistemas de Coordenadas:**

a) Conjunto de grandezas variáveis que definem a posição de um ponto no espaço relativamente ao sistema de referência definido (sistema de eixos);

b) Podem ser: cartesianas (tridimensionais – x,y,z) ou elipsoidais (geodésicas -  $\phi, \lambda, h$ ).

## **4. Referencial**

∴ Materialização (rede de vértices geodésicos) que define no espaço terrestre o sistema de referência terrestre convencional. O referencial é uma concretização física do sistema de referência que permite definir a relação de posicionamento (relativo e absoluto) no espaço terrestre, ao passo que um sistema de referência é fictício, resulta de uma definição matemática (conjunto de parâmetros).

# Os movimentos da Terra

## 1. Movimentos Absolutos no espaço

- a) Movimento da galáxia no espaço
- b) Movimento do sistema solar dentro da galáxia
- c) Movimento de revolução em torno do Sol
- d) Movimento de rotação em relação ao seu eixo
- e) Perturbações na direcção dos eixos – precessão e nutação.

∴ **Estes movimentos são determinados em relação a sistemas de referência celestes fixos no espaço (matéria mais longínqua do universo – quasares);**

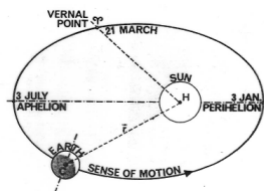
∴ **Porque um sistema de referência é baseado na cinemática do movimento dos corpos, só os três últimos movimentos interessam à definição do sistema de referência terrestre.**

∴ **Um sistema de referência terrestre acompanha a Terra no seu movimento diurno no espaço;**

# Os movimentos da Terra

## 1.1 Movimentos Anual da Terra

Numa descrição do movimento anual, as dimensões da Terra e dos restantes corpos celestes podem ser desprezáveis, quando comparadas com as dimensões do Sistema Solar. Nestas condições, aplicam-se as seguintes três leis de Kepler:

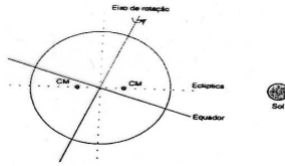


- a) A órbita da Terra é uma elipse, com um dos focos ocupado pelo Sol (H)
- b) O Planeta move-se, na sua órbita, percorrendo áreas iguais em períodos iguais:
- c) É constante a razão entre os quadrados dos períodos orbitais (T) e o cubo do semieixo maior (a) da respectiva órbita:  $T^2/a^3 = \text{const}$ .

# Os movimentos da Terra

## 1.2 Rotação Diária da Terra

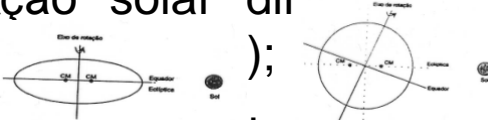
- a) as dimensões da Terra já não podem ser desprezadas
- b) a Terra é considerado um corpo rígido (eixo de rotação  $\equiv$  eixo de máxima inércia)
- c) ao mesmo tempo que se move em translação, gira em torno de um eixo que passa pelo seu centro de massa (*giroscópio*)
- d) O equador – plano primário perpendicular ao eixo de rotação, tem inclinação variável em relação à eclíptica – plano de translação ou da órbita da terra ( $\approx 23^\circ$ )



# Os movimentos da Terra

## 1.3 Precessão

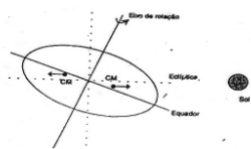
- a) Os centros de massa dos hemisférios sofrem forças de gravitação solar diferentes (“efeito de atracção”);



- b) Devido ao movimento de rotação esses centros de massa sofrem também uma força centrífuga;

# Os movimentos da Terra

## 1.3 Precessão



e) A componente da força resultante perpendicular ao equador provoca um torque que tende a levar os dois planos a coincidência

f) O torque resulta, simultaneamente, de a Terra possuir um bojo equatorial e do plano do equador não coincidir com o plano da eclíptica;

g) Se a Terra não tivesse movimento de rotação em torno do seu eixo, então o torque resultante faria com que o plano equatorial viesse a coincidir com o plano da eclíptica;

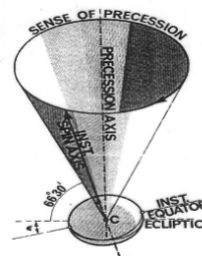
h) Se o giroscópio é tal que o seu C.M. se move num plano, então o eixo de precessão (ou cone de precessão) é perpendicular a esse plano;

# Os movimentos da Terra

## 1.3 Precessão

i) É por vezes designada por precessão luni-solar, porque o Sol e a Lua provocam a parte principal do torque;

j) A orientação do eixo de rotação da Terra não é fixa no espaço, ele move-se, vagarosamente e de modo quase uniforme, descrevendo a superfície dum cone perpendicular ao plano da eclíptica;



l) O ciclo dura cerca de 25800 anos e designa-se por Ano Platónico

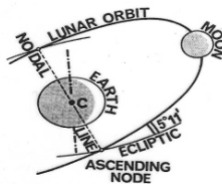
m) A precessão geral é o efeito conjunto da precessão luni-solar e da precessão planetária.

# Os movimentos da Terra

## 1.4 Nutação

a) É uma variação periódica no torque externo (precessão), provocada pela elipticidade da órbita da Lua e pela variação do seu plano em relação à eclíptica;

b) Esta perturbação tem como resultado um outro movimento do eixo de rotação, designado por *nutação forçada* ou simplesmente *nutação*, e que se sobrepõe ao movimento da precessão;



# Os movimentos da Terra

## 1.4 Nutação

c) O cone da nutação é muito mais estreito que o da precessão, o ângulo no vértice é de  $18.42''$  (o da precessão é de  $47^\circ$ );

d) O período da nutação é de 18,6 anos;

e) A nutação também influencia o movimento do ponto vernal, mas o seu efeito é muito pequeno

f) Os movimentos descritos são as componentes principais do torque luni-solar, mas existem outras periodicidades bem definidas devido às posições variáveis do Sol e da Lua;

g) Outros períodos:

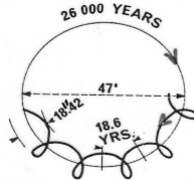
- Semianual, com amplitude de  $0.5''$

- bimensal, com amplitude  $0.1''$

# Os movimentos da Terra

## 1.5 Movimento conjunto

- ∴ A posição e orientação da Terra no espaço, em qualquer instante, é resultante de todos os movimentos descritos;
- ∴ Todos estes movimentos têm um efeito directo nas observações astronómicas e nas observações dos satélites, efectuadas a partir da Terra.



# Os movimentos da Terra

## 2. Movimentos Relativos

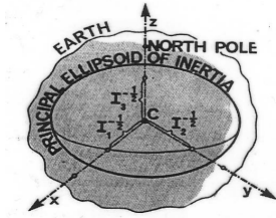
- a) Movimento do Pólo ou Nutação Livre da Terra
- b) Variação da Rotação da Terra

- ∴ Estes movimentos são determinados em relação a um sistema de referência fixo à Terra (sistema geocêntrico com eixos do elipsóide principal de inércia);
- ∴ Para um corpo rígido, este sistema de coordenadas estaria rigidamente ligado ao corpo;
- ∴ Para um corpo não rígido, com é o caso da Terra, a posição do sistema, em qualquer instante, é dada pela distribuição das massas no interior do corpo.

# Os movimentos da Terra

## 2.1 Movimento do Pólo

- a) Designa-se por Movimento do Pólo o movimento do pólo celeste instantâneo em relação a um ponto de referência fixo na crosta terrestre;
- b) É uma nutação que não decorre de um torque externo, mas acompanha todos os movimentos de giróscópio;

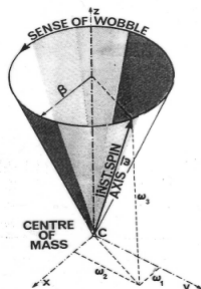


- c) Resulta da falta de coincidência entre o eixo da figura (de máxima inércia) e o eixo de rotação da Terra;
- d) Resulta ainda, de uma redistribuição permanente de massas no interior e exterior da Terra, como resultado de processos geofísicos e meteorológicos.

# Os movimentos da Terra

## 2.1 Movimento do Pólo

- e) Do conjunto de equações diferenciais que relacionam os momentos de inércia ( $I_1, I_2, I_3$ ) e as velocidades angulares ( $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ ) e respectivas derivadas, obtêm-se duas equações diferenciais que descrevem um movimento harmónico simples (periódico):



$$\begin{cases} \dot{w}_1 + \frac{\partial I_3 - I_1}{\partial t} \frac{\dot{\theta}}{I_1} m^2 w_1 = 0 & \dot{w}_1 = b \cos \frac{\partial I_3 - I_1}{\partial t} m t + y \frac{\dot{\theta}}{\theta} \\ \dot{w}_2 + \frac{\partial I_3 - I_1}{\partial t} \frac{\dot{\theta}}{I_1} m^2 w_2 = 0 & \dot{w}_2 = b \sin \frac{\partial I_3 - I_1}{\partial t} m t + y \frac{\dot{\theta}}{\theta} \end{cases}$$

em que:  $\beta$  e  $\psi$  são constantes arbitrárias e  $\mu = \omega_3 = \text{const}$ .

- f) O eixo instantâneo de rotação descreve, assim, um cone circular em torno do eixo principal de inércia polar da Terra.

- g) As constante  $\beta$ ,  $\psi$  e  $\mu$  são determinadas a partir de observações

# Os movimentos da Terra

## 2.1 Movimento do Pólo

h) Como o eixo instantâneo faz um ângulo ( $\beta$ ) muito pequeno com o eixo de inércia,  $\omega_3$  é praticamente igual à velocidade angular  $\omega$ :

$$\omega_3 = \mu \cong \omega = 2\pi/1 \text{ dia Sideral};$$

i) Sendo a frequência da nutação livre  $f = ((I_3 - I_1)/I_1) \mu$ , o seu período é dado por

$$P = 2\pi \frac{I_1}{(I_3 - I_1)\mu}$$

j) Tomando o achatamento dinâmico por:  $H^{-1} = \frac{I_1}{(I_3 - I_1)} = 305$

vem o período  $P = 305$  dias siderais, o chamado *período de Euler*;

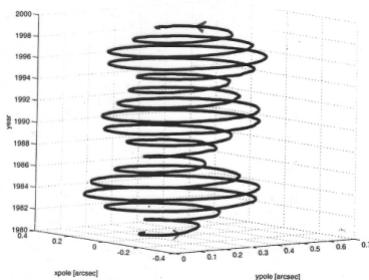
k) Com as primeiras observações, no final do século XIX, descobriu-se que o período real era cerca de 40% mais longo do que o período de Euler;

l) O seu período é, actualmente, de cerca de 435 dias solares e é designado por *período de Chandler*.

# Os movimentos da Terra

## 2.1 Movimento do Pólo

m) A figura 3D mostra a evolução periódica do movimento do pólo, no qual se constata o período de Chandler (ligeiramente superior a 1 ano), bem como, uma periodicidade no ângulo  $\beta$  de abertura do cone;



n) A posição média do eixo instantâneo (pólo instantâneo) entre os anos 1900-1905 resultou na chamada *Origem Convencional Internacional* (CIO) que define um sistema de eixos convencional fixo à Terra;

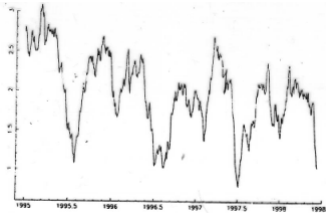


# Os movimentos da Terra

## 2.2 Variação da Rotação da Terra

- a) A Terra executa aproximadamente 366.2564 rotações (dias siderais) por cada revolução em torno do Sol (ano sideral);
- b) Inicialmente pensava-se que a velocidade de rotação era constante, mas à medida que as observações se tornaram mais precisas, e com o aparecimento dos relógios atômicos (1955), começaram-se a detectar variações;
- c) A duração média do dia (*Length of the Day - LOD*), determinada astronômicamente, é de 86400s de Tempo Atômico Internacional (TAI);
- d) As variações do dia  $\Delta LOD$  (excesso de duração do dia) relaciona-se com as variações da velocidade de rotação da Terra  $\Delta\omega$ :

$$\frac{\Delta LOD}{LOD} \equiv \frac{\Delta\omega}{\omega}$$

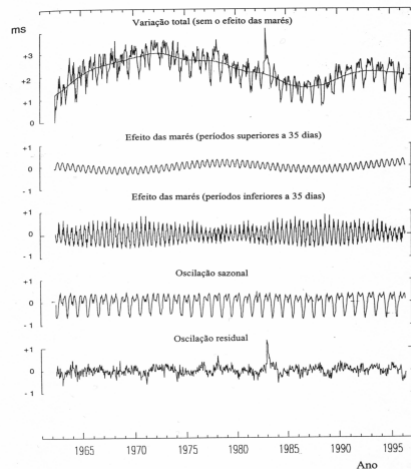


# Os movimentos da Terra

## 2.2 Variação da Rotação da Terra

- e) Presentemente são conhecidos 3 tipos de *flutuações da velocidade de rotação*: **secular, periódico e irregular**;
- f) **Abrandamento contínuo** (secular) – devido ao atrito provocado pelas marés, com acréscimo de 1,4 ms por século na duração do dia;
- g) **Variações periódicas** (secular) – devido à transferência de momento angular entre a Terra sólida e a interligação manto-núcleo, com um período de uma década e amplitude de 5 ms;
- h) **Variações de curto período** (bianuais, anuais e sazonais) – devido à transferência de momento angular entre a atmosfera e a Terra sólida, com amplitude até vários milissegundos. A variação anual é a de maior amplitude, cerca de 25 ms.

# Os movimentos da Terra



# Os movimentos da Terra

BULLETIN B 223

5 september 2006

Contents are described in the Explanatory Supplement available at  
<http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/>

1 - EARTH ORIENTATION PARAMETERS (IERS evaluation).  
 The values in this section are samplings of section 2 given at five-day intervals.

Date	MJD	x	y	UT1R-UTC	UT1R-TAI	dPsi	dEpsilon
2006		"	"	s	s	0.001"	0.001"
(0h UTC)							

Final Bulletin B values.

JUL	3	53919	0.12895	0.29745	0.192536	-32.807464	-59.4	-5.1
JUL	8	53924	0.12816	0.29218	0.189034	-32.810966	-61.0	-6.0
JUL	13	53929	0.12559	0.28547	0.186990	-32.813010	-60.6	-5.7
JUL	18	53934	0.12169	0.28079	0.185280	-32.814720	-62.4	-5.8
JUL	23	53939	0.11882	0.27664	0.183246	-32.816754	-62.3	-6.1
JUL	28	53944	0.11635	0.27223	0.182186	-32.817814	-63.0	-5.3
AUG	2	53949	0.11139	0.27035	0.181219	-32.818781	-64.2	-5.7

# Os movimentos da Terra

