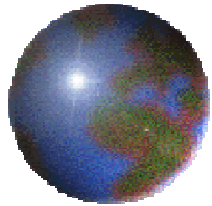


A light blue world map with a grid of latitude and longitude lines, serving as a background for the header text.

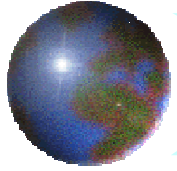
Universidade Federal do Paraná

Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura



GA119 - MÉTODOS GEODÉSICOS

Profa. Regiane Dalazoana



4 – Métodos baseados em Geodésia Espacial

4.1 – Métodos Celestes da Geodésia

4.1.1 – Órbitas normais ou keplerianas

4.1.2 – Parâmetros orbitais e posição de um satélite na órbita kepleriana

4.1.3 – Perturbações às órbitas normais

4.1.4 – Coordenadas Celestes e Terrestres de um satélite artificial

4.1.5 – Rastreo; Determinação de órbitas e posicionamento

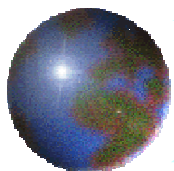
4.1.6 – O GNSS e serviços associados

4.1.7 – Posicionamento por ponto e relativo

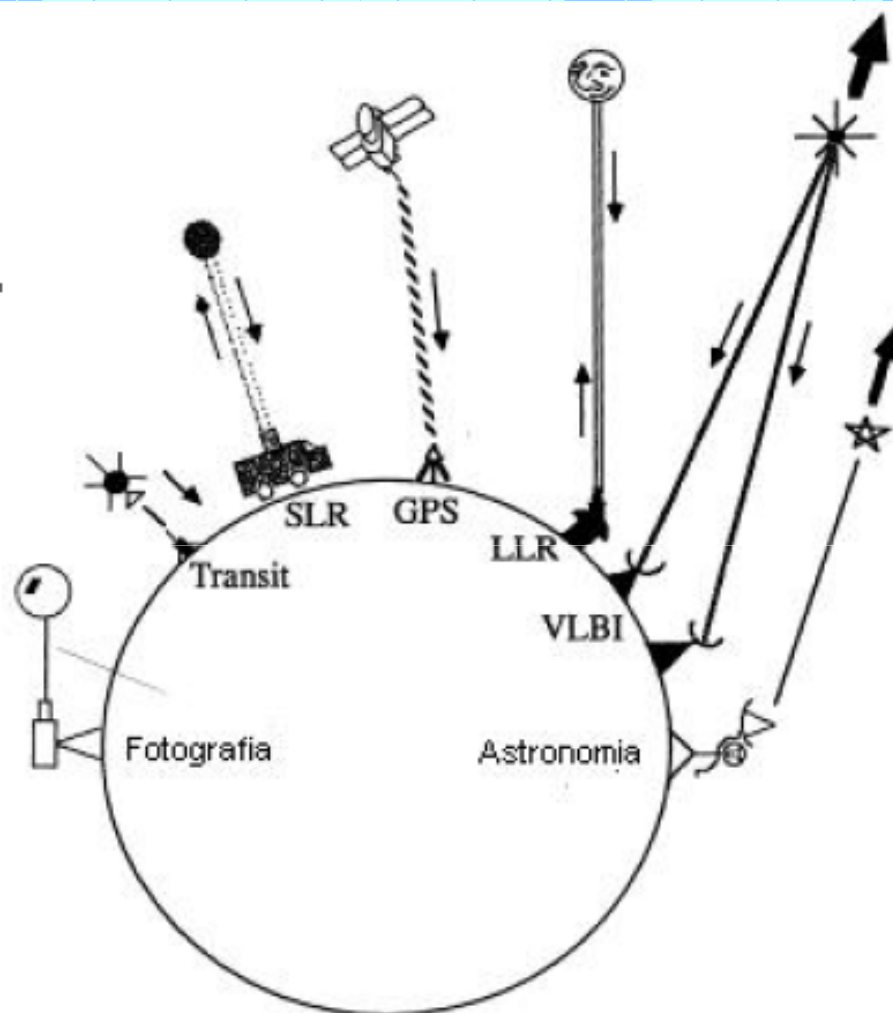
4.1.8 – Ajustamento de redes GNSS

4.1.9 – Integração de levantamentos GPS/Topográfico local e implicações - Instrumental, referenciais e transformações envolvidos

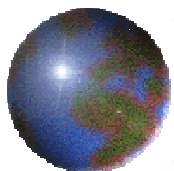
4.2 – Outras metodologias



4 – Métodos baseados em Geodésia Espacial

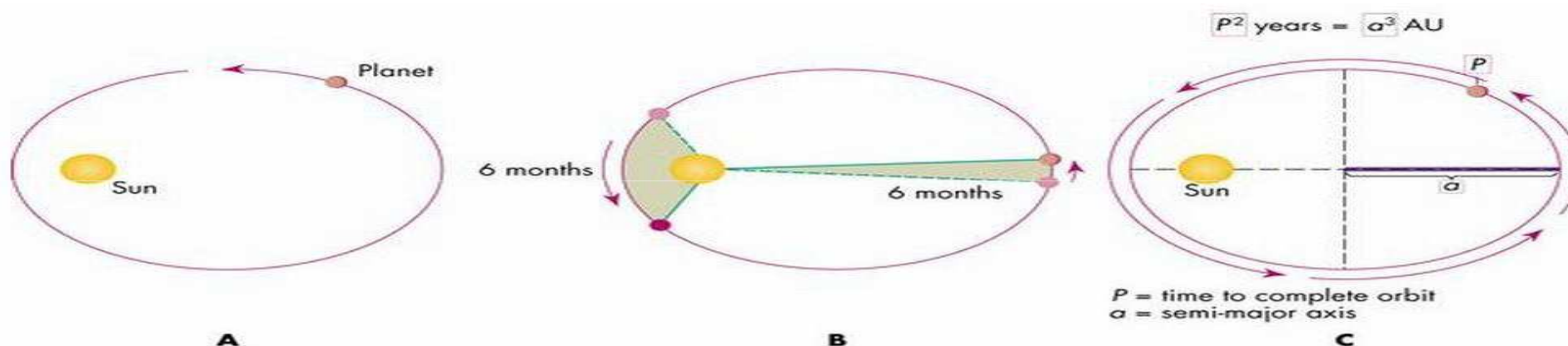


Técnicas utilizadas na Geodésia Espacial
Fonte: Wells (1987)



4.1.1 - Órbitas normais ou keplerianas

Órbita normal ou Kepleriana - É uma órbita teórica, onde considera-se que a Terra possui distribuição homogênea de massas, existindo apenas uma força de atração entre ela e o satélite.

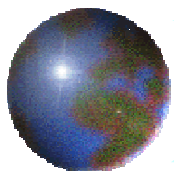


Fonte: cse.ssl.berkeley.edu/.../notes/review/math1.html

1ª Lei de Kepler ou Lei das órbitas - Os satélites artificiais descrevem órbitas elípticas das quais o centro de massa da Terra ocupa um dos focos.

2ª Lei de Kepler ou Lei das Áreas - O raio vetor do satélite descreve áreas iguais em tempos iguais ou seja é a relação das áreas com o tempo.

3ª Lei de Kepler ou Lei dos Períodos - O quadrado do período de revolução de um satélite artificial é proporcional ao cubo do semi eixo maior da órbita.

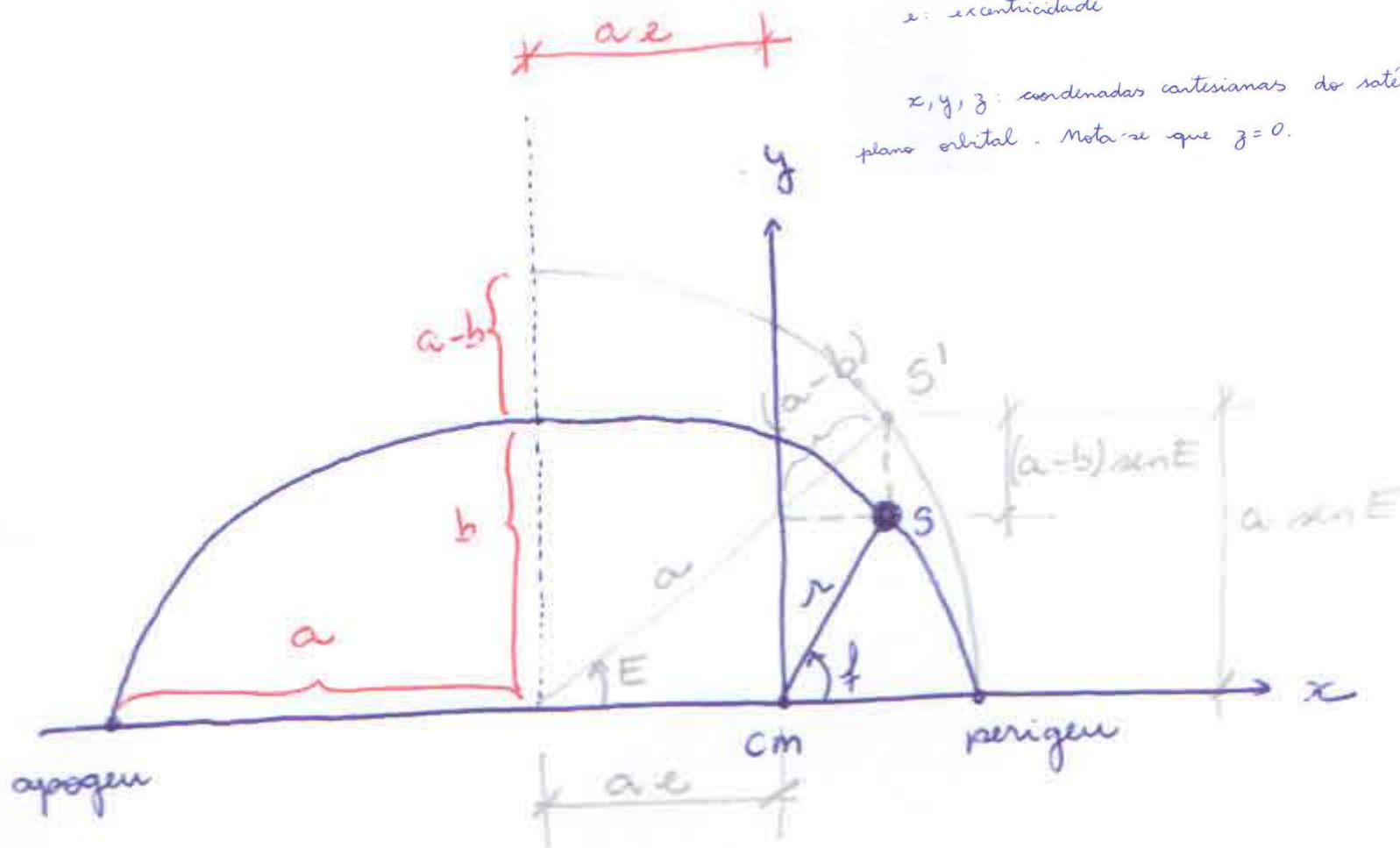


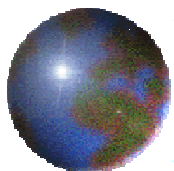
4.1.2 - Parâmetros orbitais e posição de um satélite na órbita kepleriana

a) Posição do satélite na órbita

f : anomalia verdadeira
 E : anomalia excêntrica
 r : raio vetor
 a : semi eixo maior
 b : semi eixo menor
 e : excentricidade

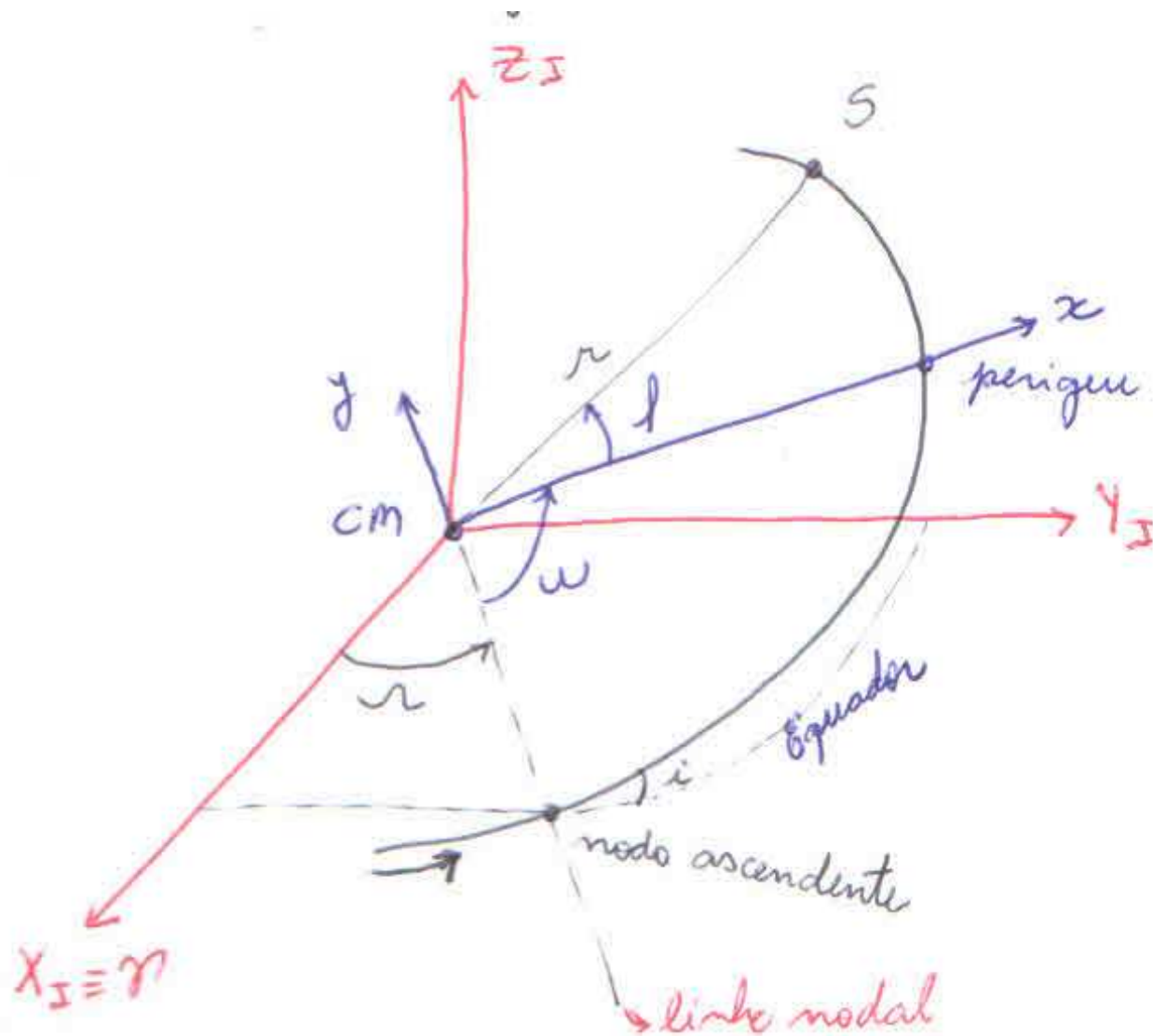
x, y, z : coordenadas cartesianas do satélite no sistema do plano orbital. Nota-se que $z = 0$.

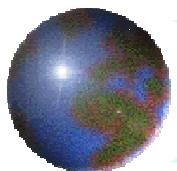




4.1.2 - Parâmetros orbitais e posição de um satélite na órbita kepleriana

b) Posição da órbita no espaço



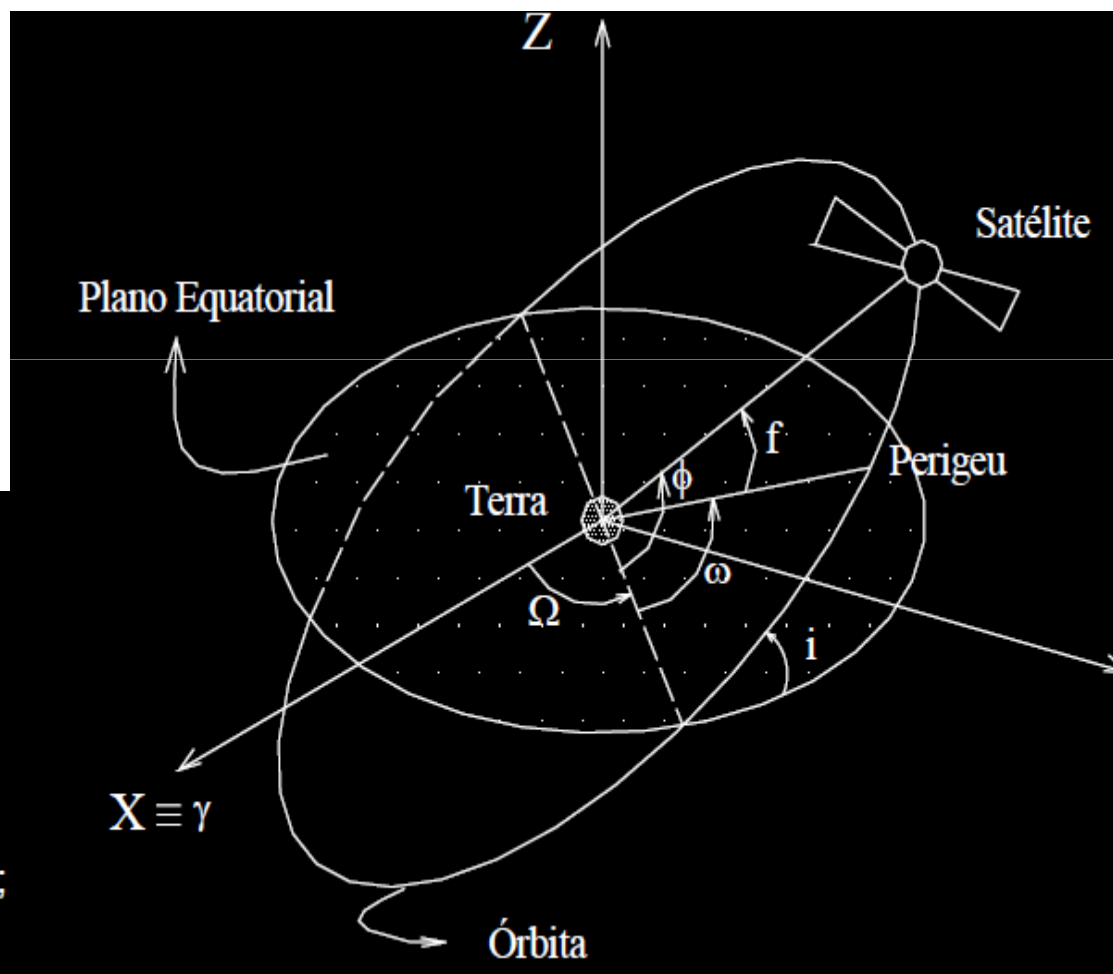


4.1.2 – Parâmetros orbitais e posição de um satélite na órbita kepleriana

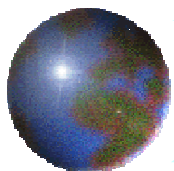
b) Posição da órbita no espaço

Elementos keplerianos

Ω	:	ascensão reta do nodo ascendente;
ω	:	argumento do perigeu;
i	:	inclinação do plano orbital;
a	:	semi-eixo maior da órbita;
e	:	excentricidade da órbita;
M	:	anomalia média.

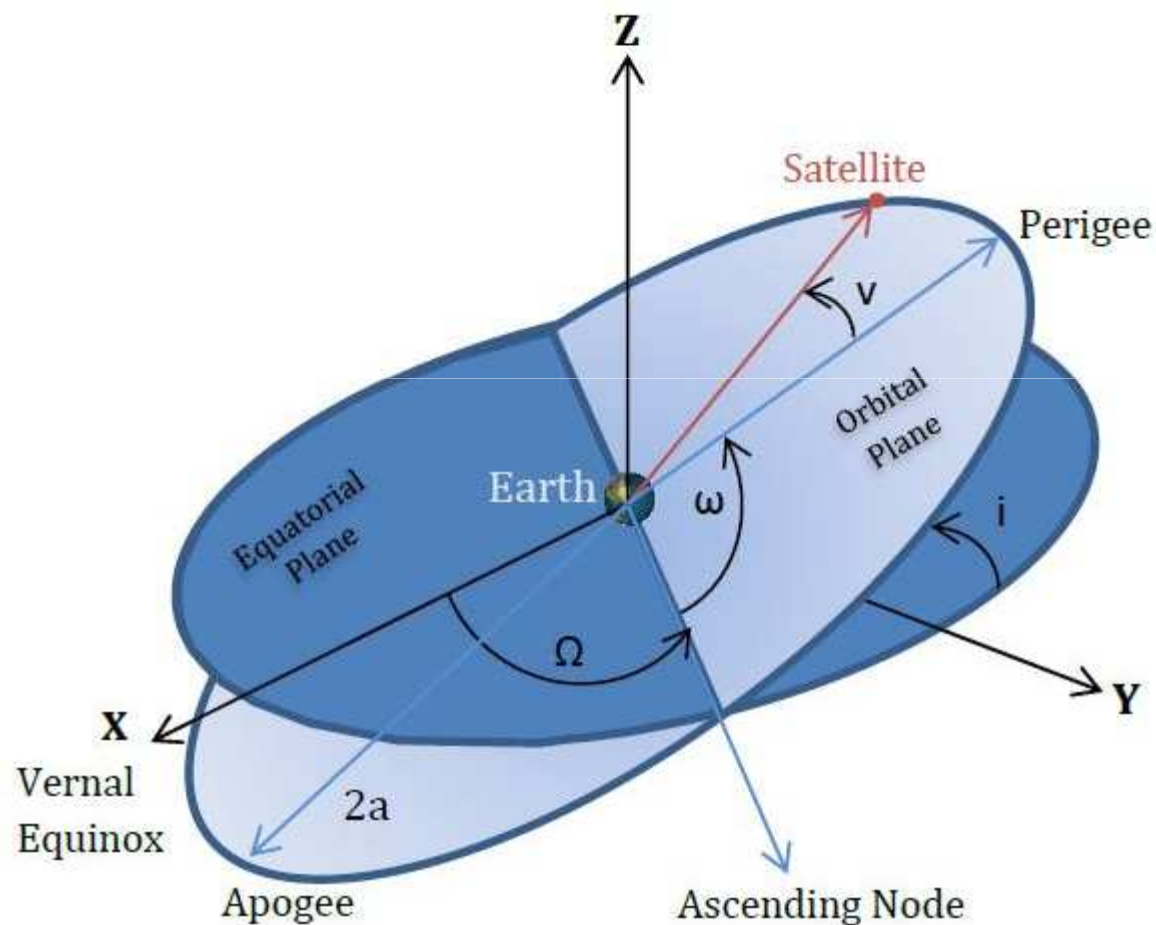


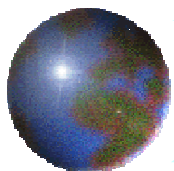
Fonte: GARNÊS, 2010



4.1.2 - Parâmetros orbitais e posição de um satélite na órbita kepleriana

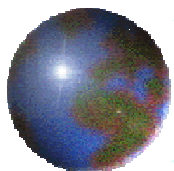
b) Posição da órbita no espaço



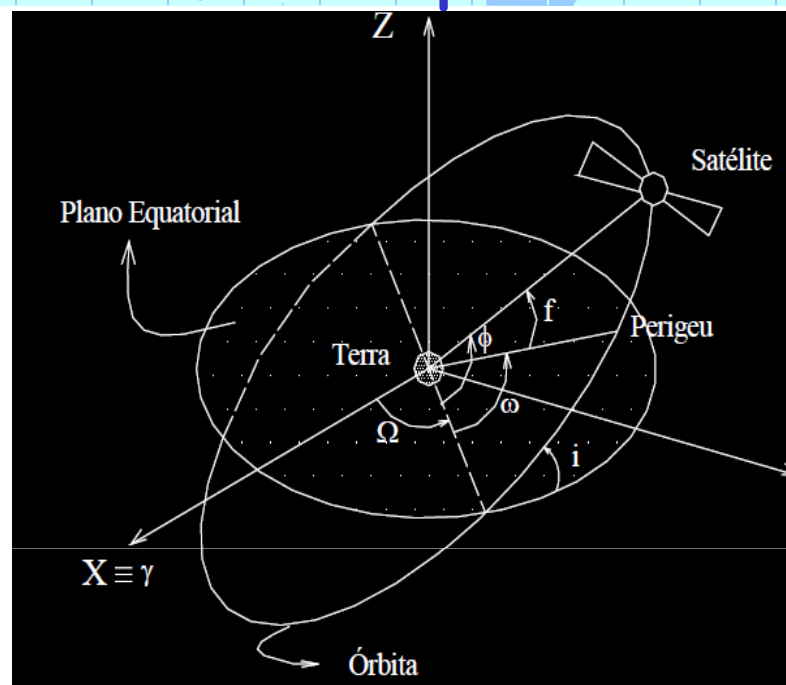


4.1.2 - Parâmetros orbitais e posição de um satélite na órbita kepleriana

Símbolo	Elementos Orbitais	Definição
a	Semi eixo maior da órbita	Forma e tamanho da órbita
e	Excentricidade	
i	Inclinação da órbita	Posição do plano orbital no espaço
Ω	Ascensão reta do nodo ascendente	
ω	Argumento do perigeu	Orientação da elipse no plano orbital
f ou	Anomalia Verdadeira	Posição do satélite na órbita
E ou	Anomalia Excêntrica	
M ou	Anomalia Média	
T_o	Tempo de passagem do satélite pelo perigeu	

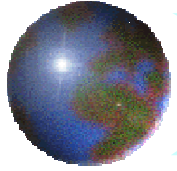


4.1.2 - Parâmetros orbitais e posição de um satélite na órbita kepleriana



A posição do satélite na órbita pode ser descrita por : f (anomalia verdadeira), ou E (anomalia excêntrica), ou M (anomalia média), ou T_0 (tempo de passagem pelo perigeu)

No caso das órbitas normais, f é o único elemento que é função do tempo, os outros são constantes. Como na realidade as órbitas não estão sujeitas às condições de órbitas normais, todos os elementos keplerianos são função do tempo devido às várias forças perturbadoras que agem sobre o satélite



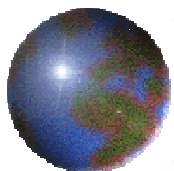
4.1.2 - Parâmetros orbitais e posição de um satélite na órbita kepleriana

Relação entre as anomalias:

$$\operatorname{tg} f = \frac{(1 - e^2)^{1/2} \operatorname{sen} E}{\cos E - e}$$

$$M = E - e \operatorname{sen} E \quad \longrightarrow \quad \text{Equação de Kepler}$$

$$M = 2\pi \frac{\text{tempo de passagem pelo perigeu}}{\text{período orbital}}$$



4.1.2 - Parâmetros orbitais e posição de um satélite na órbita kepleriana

Elementos das mensagens de navegação:

Arquivo RINEX com dados de Navegação

Satélites encontrados

2 4 5 7 9 13 24 26 27 2 4 5 7 9 13 24 26 27 8

PRN

2

TOC (Época)

98 7 15 20 0 0

a_0 (s)

-0,000509411096573

a_1 (s/s)

-4,2064129957E-12

a_2 (s/s²)

0

AODE (s)

156

Crs (metros)

57,21875

dn (rad/s)

5,08164024214E-9

M0 (rad)

2,36700531143

Cuc (rad)

2,82563269138E-6

e (excentricidade)

0,0181368992198

Cus (rad)

6,50063157082E-6

A1/2 (metros^{1/2})

5153,66857529

Toe (s)

331200

Cic (rad)

-1,02445483208E-7

Ω (rad)

-0,60425063671

Cis (rad)

-3,61353158951E-7

i_0 (rad)

0,938240039269

Crc (metros)

240,59375

w (rad)

-2,27060454569

Ω DOT (rad/s)

-8,25034365993E-9

IDOT (rad/s)

2,2643800348E-10

Codes on L2 Channel

0

GPS Week (número)

966

L2 P data flag

0

ISA-acuracia (metros)

7

ISH (saúde)

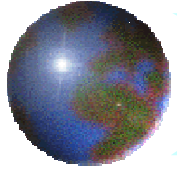
0

TGD (retardo de grupo)

-2,32830643654E-9

AODC (s)

156

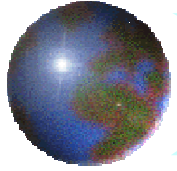


4.1.3 – Perturbações às órbitas normais

Os satélites que orbitam a Terra têm suas órbitas perturbadas por diversos fatores: atrito atmosférico, pressão de radiação solar, efeito térmico (deformações nos satélites), albedo (luz refletida pela Terra), marés terrestres, perturbações gravitacionais, perturbações eletromagnéticas, entre outras.

A Geodésia considera que as órbitas dos satélites podem ser separadas em uma parte regular (órbita normal ou kepleriana) e a parte das perturbações.

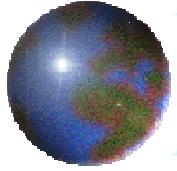
As perturbações são traduzidas na forma de alterações nos elementos orbitais, fazendo com que o movimento real do satélite seja diferente da órbita normal.



4.1.3 – Perturbações às órbitas normais

A determinação precisa da posição do satélite requer a consideração de várias forças perturbadoras. As perturbações são causadas principalmente pela não esfericidade do potencial gravitacional; atração da Lua e do Sol; pressão de radiação solar e outras de menor intensidade.

Muitas destas forças são calculadas, outras requerem modelagem e continuam sujeitas a pesquisas.



4.1.3 – Perturbações às órbitas normais

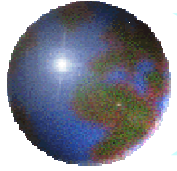
APLICAÇÃO

Os satélites artificiais são entendidos como “pontos” com coordenadas conhecidas na esfera celeste quando suas órbitas são determinadas.

Conhecer de forma precisa a posição dos satélites, ou seja, considerar as coordenadas do satélite como quantidades conhecidas é importante para o posicionamento. Exemplo: o IGS fornece órbitas precisas para os satélites GPS.

Para determinação da posição de um objeto na superfície terrestre, o usuário deve ter acesso às posições e ao sistema de tempo dos satélites:

- Posição instantânea
 - Efemérides transmitidas
- Posição não instantânea, mas com alta acurácia
 - Efemérides precisas (pós-processadas)



4.1.3 – Perturbações às órbitas normais

Classificação das perturbações:

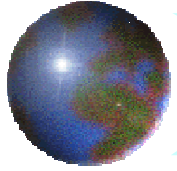
Quanto ao período

Seculares
Longo período
Curto período

Quanto as causas

Gravitacionais: Achatamento terrestre, heterogeneidade das massas, atração luni-solar, marés, efeitos relativistas

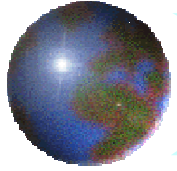
Não gravitacionais: atrito na atmosfera, pressão de radiação solar, efeitos eletromagnéticos



4.1.3 – Perturbações às órbitas normais

Gravitacionais:

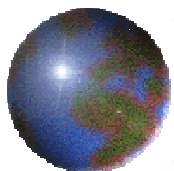
- Heterogeneidade das massas: alterações no campo da gravidade da Terra devido à distribuição não homogênea das massas; não uniformidade da densidade da litosfera e variações temporais do campo da gravidade
- Atração luni-solar: conjugação das forças exercidas por estes astros sobre o satélite, a resultante varia de instante a instante
- Marés: causam redistribuição de massas, alterando o campo da gravidade
- Efeitos relativistas: variação da massa do satélite devido à variação da velocidade orbital



4.1.3 – Perturbações às órbitas normais

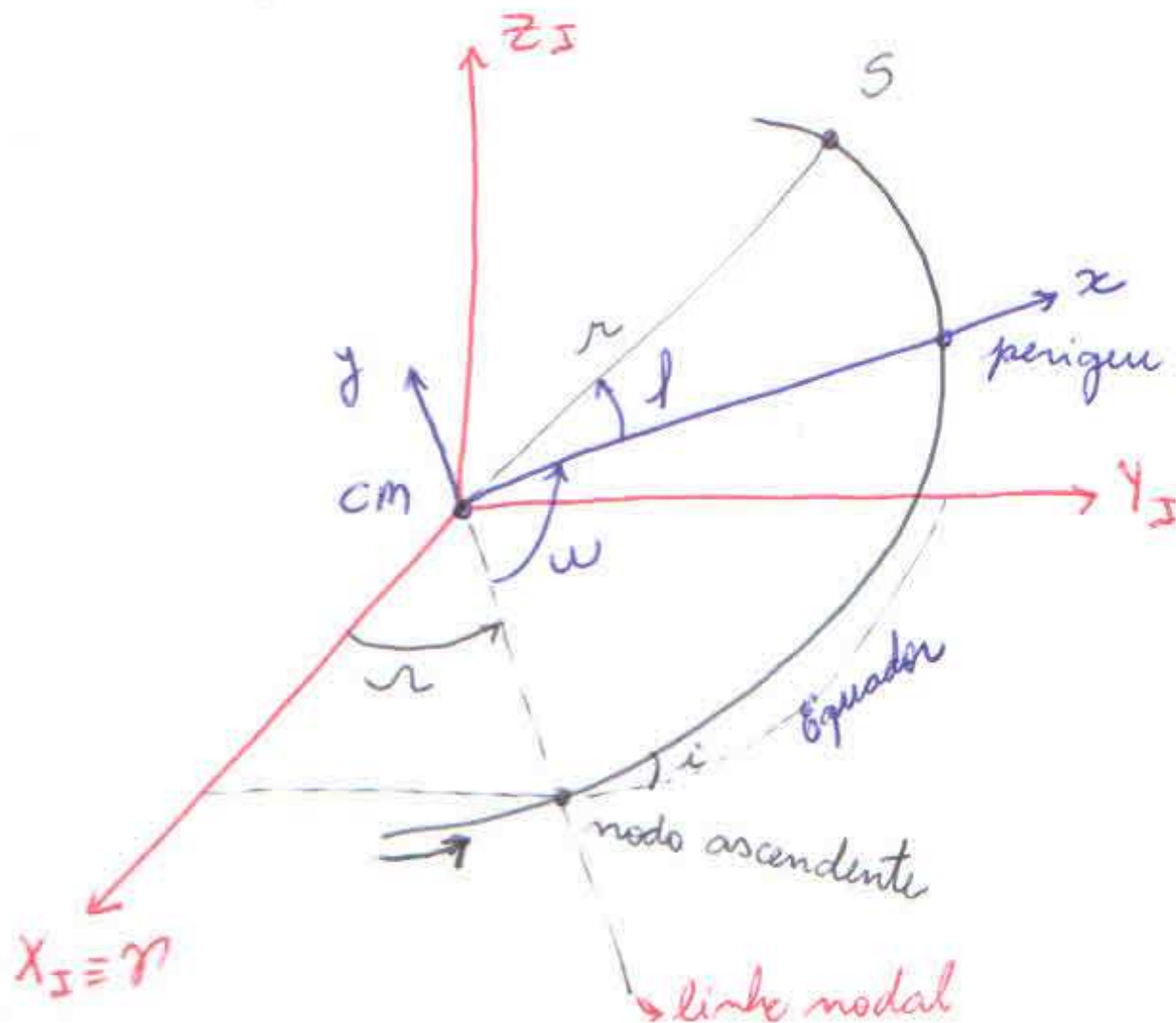
Não Gravitacionais:

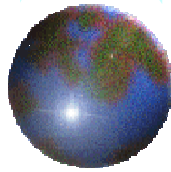
- Atrito atmosférico: força que se opõe ao movimento do satélite
- Efeitos eletromagnéticos: interação eletromagnética do satélite com o campo magnético da Terra
- Pressão de radiação solar: o satélite está sujeito à radiação direta e indireta do Sol. É resultante do impacto de fótons emitidos pelo Sol na superfície do satélite



4.1.4 - Coordenadas Celestes e Terrestres de um satélite artificial

a) Relação entre as coordenadas celestes $(X, Y, Z)_I$ e as coordenadas no plano orbital (x, y, z)



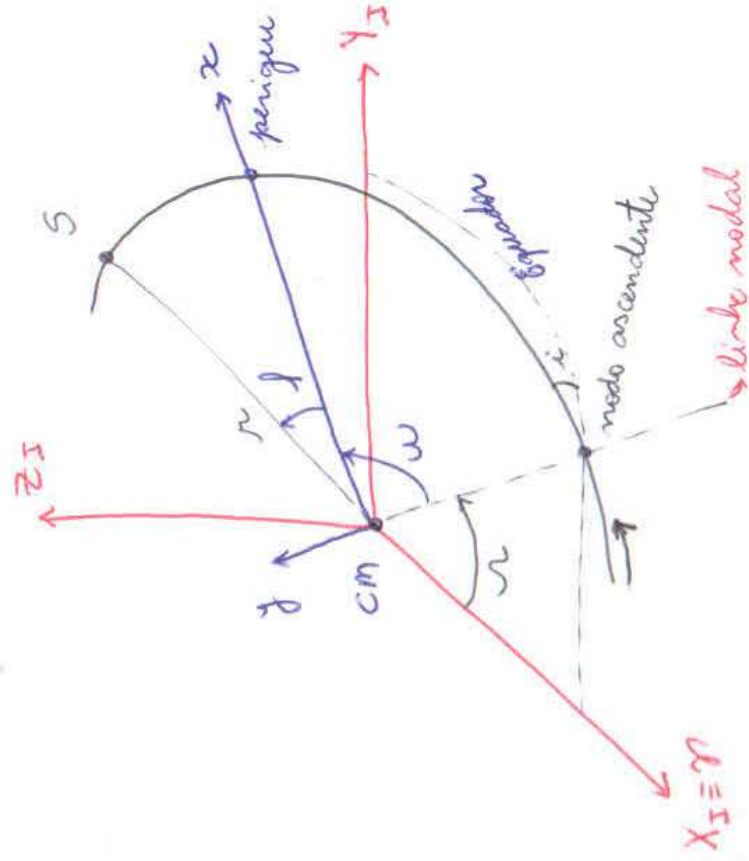


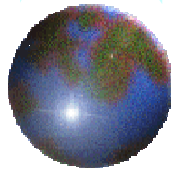
$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}^{\text{sat}} = R_3(-\Omega) R_1(-i) R_3(-\omega) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}^{\text{ref}}$$

3^a gira-se o referencial (x, y, z) em torno de z de um ângulo $(-\omega)$, então $x \equiv x_I$

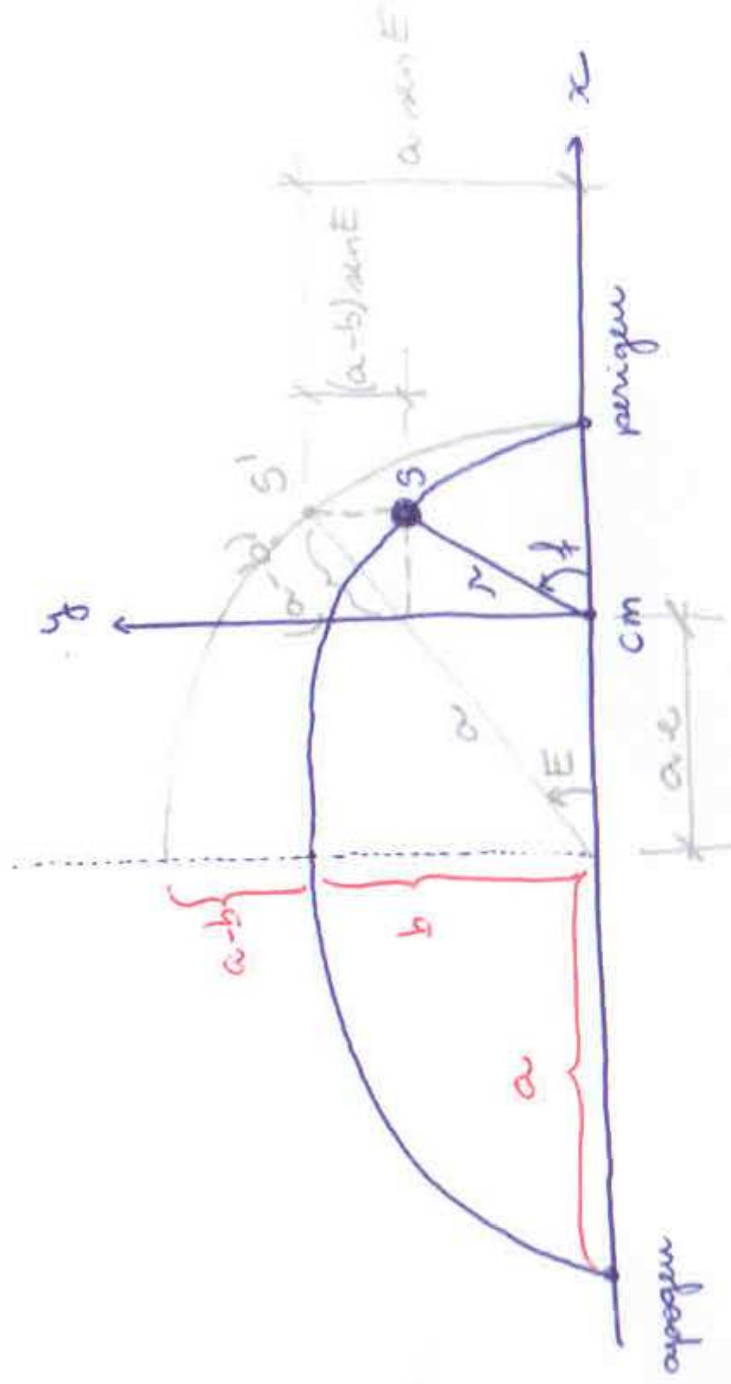
2^a gira-se o referencial (x, y, z) em torno de x de um ângulo $(-i)$ então $z \equiv z_I$

1^a gira-se o referencial (x, y, z) em torno de y de um ângulo $(-\Omega)$ então $x \equiv x_I$; $y \equiv y_I$ e $z \equiv z_I$.





axe



Da figura que representa a posição do satélite na órbita
pode-se escrever que

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}^{\text{sat}} = r \begin{bmatrix} \cos f \\ \sin f \\ 0 \end{bmatrix}$$



$$r = r_{\text{sen}} f = b_{\text{sen}} E = a \sqrt{1 - e^2} \cdot \text{sen } E$$

long

$$= \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}^{\text{set}} = \begin{bmatrix} a(\cos E - e) \\ a\sqrt{1-e^2} \cdot \sin E \\ 0 \end{bmatrix}$$

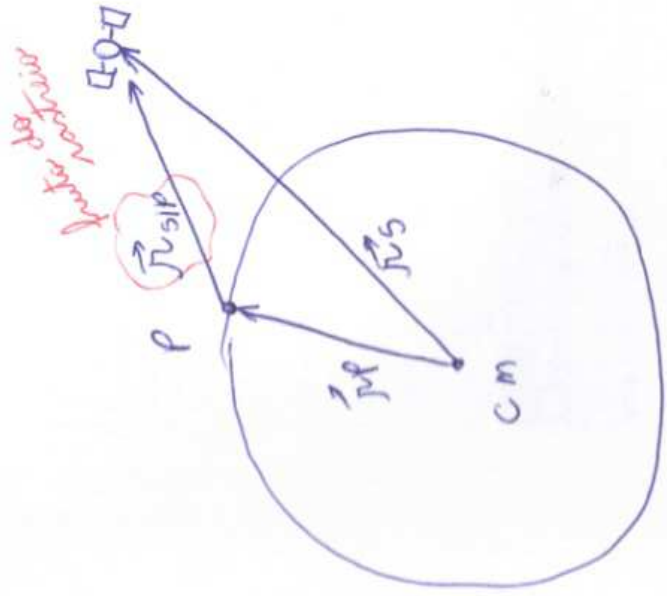
→ descreve as coordenadas do satélite no plano orbital em função dos elementos keplerianos

↳ logo conhecendo-se os elementos Keplerianos tem-se as coordenadas do satélite no referencial do plano orbital

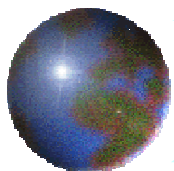
O referencial $(X, Y, Z)_I$ (equatorial, celeste) é um sistema "inercial", independente do movimento de rotação da Terra, porém não se presta ao posicionamento de pontos na S.F. da Terra. Estes pontos devem ser representados num sistema de referência terrestre $(X, Y, Z)_G$ devido a

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_G = R_2(-x_p) R_1(-y_p) R_3(GAST) \cdot N \cdot P \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_I$$

correção devido a nutação

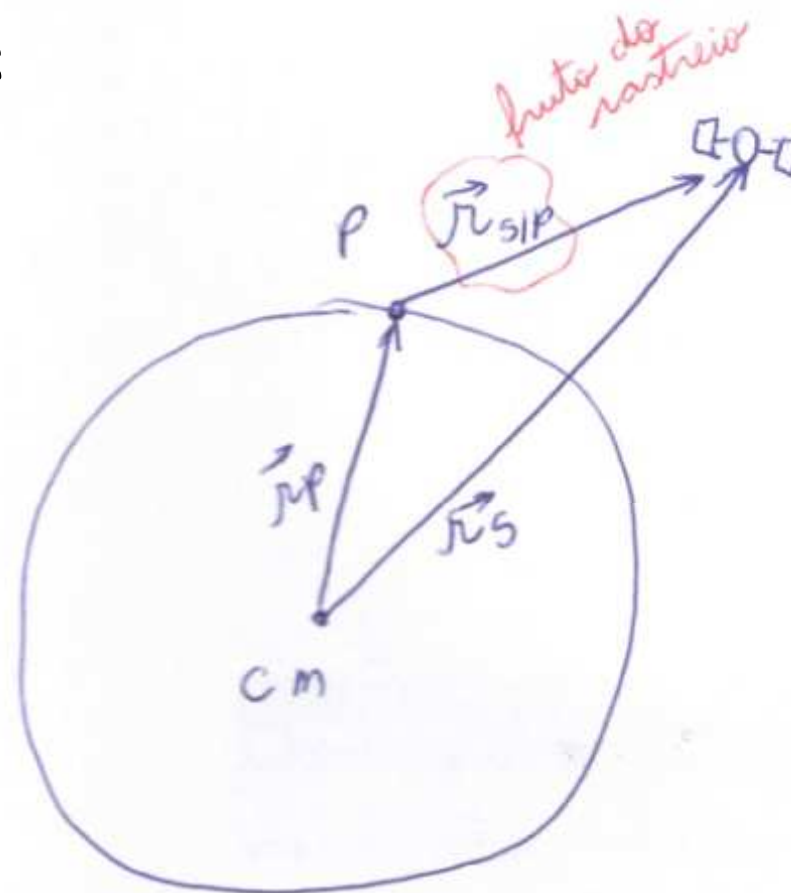


hora sidereal aparente de Greenwich
(relativa às posições instantâneas do pólo e ponto vernal)



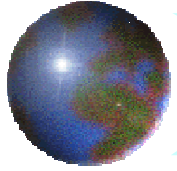
4.1.5 - Rastreo: Determinação de órbitas e posicionamento

Princípio básico do rastreo:



O rastreo possibilita o posicionamento do ponto na S.F. da Terra se a órbita do satélite for conhecida.

Se a órbita for desconhecida, pode ser determinada a partir de um ponto com coordenadas conhecidas.



4.1.6 – O GNSS e serviços associados

O GNSS (Global Navigation Satellite System) envolve:

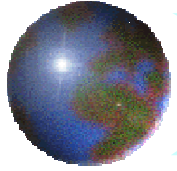
GPS, GLONASS, Galileo e Beidou/Compass

SBAS : Satellite Based Augmented System
Aumento (Augmentation) do GPS/Galileo (WAAS,
EGNOS, Gagan, MSAT)

SACCSA (Solución de Aumentación para Caribe,
Centroamérica y Sudamérica) ...

GBAS : Ground Based Augmented System.

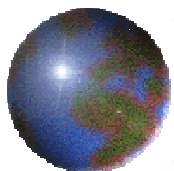
Alta acurácia com informações de integridade e
disponibilidade (indispensável para a aviação civil)



4.1.6 – O GNSS e serviços associados

O GNSS pode ser dividido em 3 segmentos:

- Segmento espacial (engloba os satélites e estrutura dos sinais)
- Segmento de controle (responsável pelo monitoramento e controle dos satélites, sistema de tempo, predição da órbita, atualização das mensagens de navegação)
- Segmento dos usuários (está associado aos receptores para as mais variadas finalidades civis e militares)



4.1.6 – O GNSS e serviços associados

Quanto as constelações:

GPS (EUA) – totalmente operacional (min 24 satélites)

GPS STATUS

GPS ALMANAC

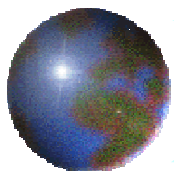
REAL-TIME GPS MONITORING

EVALUATION OF CHARACTERISTICS

GPS CONSTELLATION STATUS, 17.11.16

Total satellites in constellation	32 SC
Operational	31 SC
In commissioning phase	-
In maintenance	1 SC
In decommissioning phase	-

<https://www.glonass-iac.ru/en/GPS/>



4.1.6 – O GNSS e serviços associados

Quanto as constelações:

GLONASS (Rússia) - em modernização

55° 54' 44" N, 37° 48' 29" E

55° 47' 01" N, 37° 37' 50" E

РУС ENG

INFORMATION AND ANALYSIS CENTER
FOR POSITIONING, NAVIGATION AND TIMING



MAIN

GLONASS SCC

GLONASS

GPS

NEWS

ARCHIVE

GUIDE

FEEDBACK

ABOUT IAC

UTC+3: 16:59:45

GLONASS STATUS

EPHEMERIS

MONITORING

DAILY MONITORING

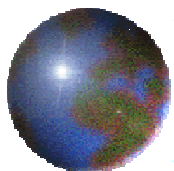
VISIBILITY ZONE CALCULATION

INTEGRAL AVAILABILITY

GLONASS CONSTELLATION STATUS, 17.11.2016

Total satellites in constellation	27 SC
Operational	23 SC
In commissioning phase	-
In maintenance	1 SC
Under check by the Satellite Prime Contractor	-
Spares	2 SC
In flight tests phase	1 SC

<https://www.glonass-iac.ru/en/GLONASS/>



4.1.6 – O GNSS e serviços associados

Quanto as constelações: GALILEO (Europeu)

GALILEO CONSTELLATION STATUS

June 2016

Satellites	Mission Name	Launch Dates	Satellite names	Status
Sat. 19				In testing at ESTEC
Sat. 18				In testing at ESTEC
Sat. 17				In testing at ESTEC
Sat. 16				In testing at ESTEC
Sat. 15				In testing at ESTEC
Sat. 14	Galileo Sat 13 & 14	24.05.2016	GSAT-211	In-Orbit Test ongoing
Sat. 13			GSAT-210	
Sat. 12	Galileo Sat 11 & 12	17.12.2016	GSAT-209	Operational status on www.gsc-europa.eu/system-status/Constellation-Information
Sat. 11			GSAT-208	
Sat. 10	Galileo Sat 9 & 10	11.09.2015	GSAT-206	
Sat. 9			GSAT-205	
Sat. 8	Galileo Sat 7 & 8	27.03.2015	GSAT-204	
Sat. 7			GSAT-203	
Sat. 6	Galileo Sat 5 & 6	22.08.2014	GSAT-202	
Sat. 5			GSAT-201	
Sat. 4	IOV-2	12.10.2012	GSAT-104	
Sat. 3			GSAT-103	
Sat. 2	IOV-1	21.10.2011	GSAT-102	
Sat. 1			GSAT-101	
GIOVE-B		27.04.2008		Retired
GIOVE-A		28.12.2005		Retired

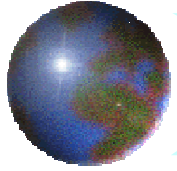
http://esamultimedia.esa.int/docs/technology/Constellation_status.pdf



4.1.6 – O GNSS e serviços associados

Fonte: Monico, 2013

Parâmetros	GLONASS	GPS	Galileo	Compass
Núm. de satélites nominal/atual	24/24	24/32	30/2+2	35/12
Planos orbitais	3	6	3	3/3/1
Inclinação	64.8°	55°	56°	55,5°
Altitude (MEO)	19100 km	20233 km	23600 km	21500 km
Frequências (MHz)	L1: 1597-1617 L2: 1240-1260	L1:1575,42 L2: 1227,60 L5: 1176,45	E1: 1575,42 E5B: 1207 E5A: 1176	B1: 1575,42 B2:1191,795 B3:1268,52
Período	11,25 h	12,0 h	14,1 h	12,6 h
Rastreamento	Repete-se a cada 8 dias	Repete-se a cada 12 horas siderais	Repete-se a cada 10 dias	Repete-se a cada xx dias
C/A Code	511 kbits/sec	1023 kbits/sec	1023 kbits/sec	1023 kbits/sec
P Code MHz	5.11	10.23	10,23	10,23
Efemérides	P,V,T	Kepleriano	Kepleriano	Kepleriano
Identificação dos satélites	FDMA/CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Almanaque	Kepleriano	Kepleriano	Kepleriano	Kepleriano



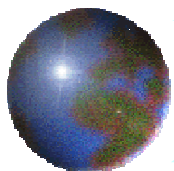
4.1.6 – O GNSS e serviços associados

Observáveis básicas: o que é de fato medido?

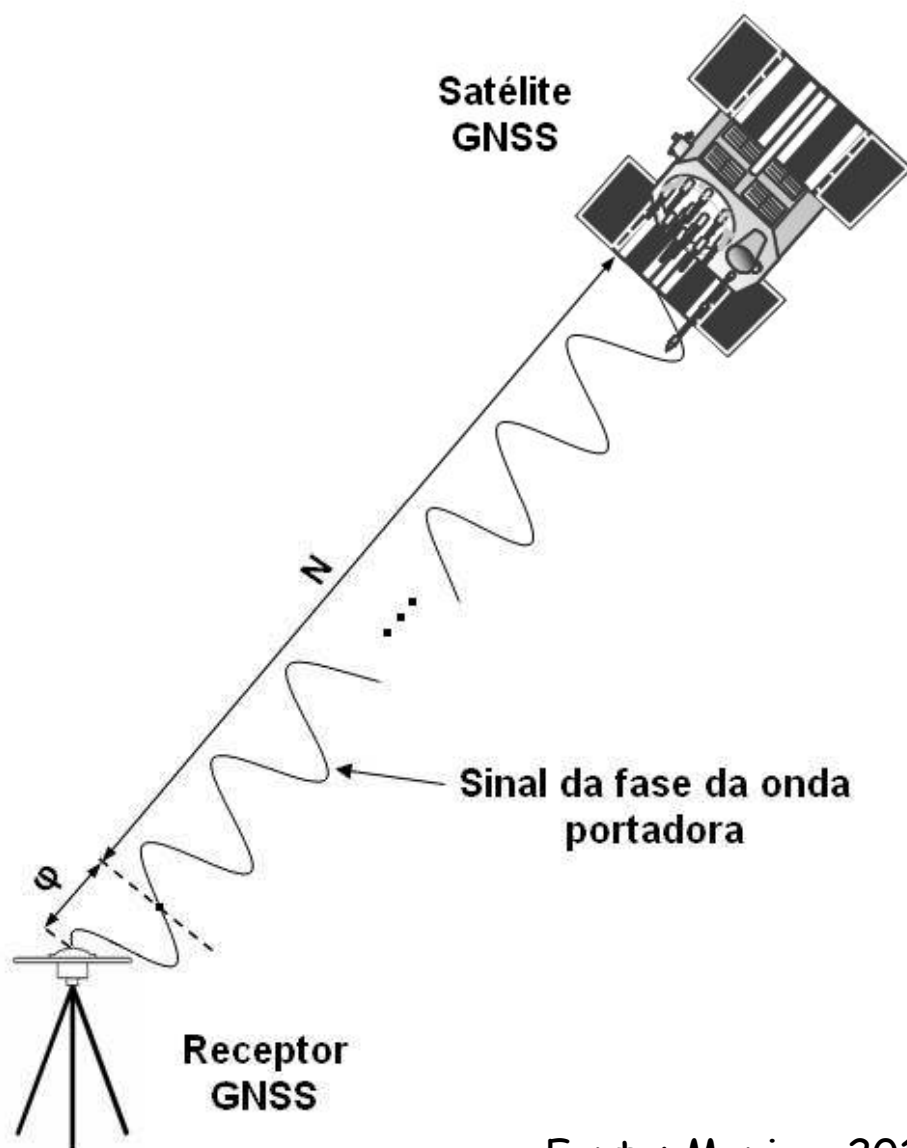
- fase de batimento da onda portadora (L1, L2 & L5);
- pseudo-distância (C/A, L2C, L5C);

A precisão da medida da fase (poucos mm) é muito melhor que a da pseudo-distância (1 m?)

A fase, no entanto, é ambígua: Não se sabe, a priori, o número inteiro de ciclos entre as antenas do receptor e do satélite - incógnita a solucionar ...

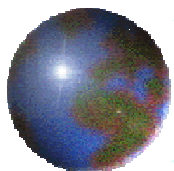


4.1.6 – O GNSS e serviços associados



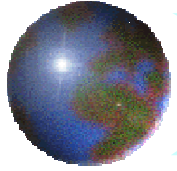
Medida da Fase da onda portadora/Pseudodistância

Fonte: Monico, 2013



4.1.6 – O GNSS e serviços associados

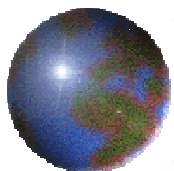
FONTES	EFEITOS
Satélite	Erro na posição orbital Erro do relógio Relatividade Atraso de hardware
Propagação do sinal	Refração troposférica Refração ionosférica Perdas de ciclos Sinais refletidos/Multicaminho
Receptor/ Antena	Erro do Relógio Erro entre canais Centro de fase da antena Ruído Atraso do hardware
Estação, erros e efeitos	Erros nas coordenadas Marés terrestres Movimento do Pólo Carga dos oceanos Pressão da atmosfera



4.1.7 – Posicionamento por ponto e relativo

As técnicas de posicionamento podem ser classificadas quanto:

- O movimento da antena: Estático ou Cinemático
- Disponibilidade das coordenadas: Tempo Real ou Pós-Processado
- Utilização ou não de uma estação de Referência: Posicionamento relativo ou por ponto, respectivamente.



4.1.7 – Posicionamento por ponto e relativo

Crítérios para posicionamento

Existência ou não de um ponto com coordenadas conhecidas para ser utilizado como referência

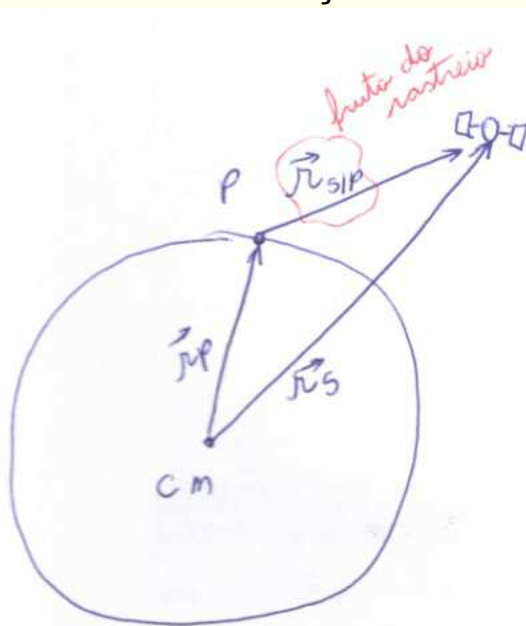
Por ponto – sem ponto de referência
Relativo – com ponto de referência

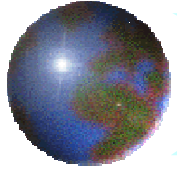
Tipo de observação

Distância obtida pelo código
Distância obtida pela portadora (fase)
Distância obtida pela combinação de ambas

Tempo empregado na observação

Longo tempo de observação
Curto tempo de observação
Tempo Real

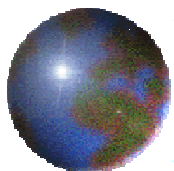




4.1.7 – Posicionamento por ponto e relativo

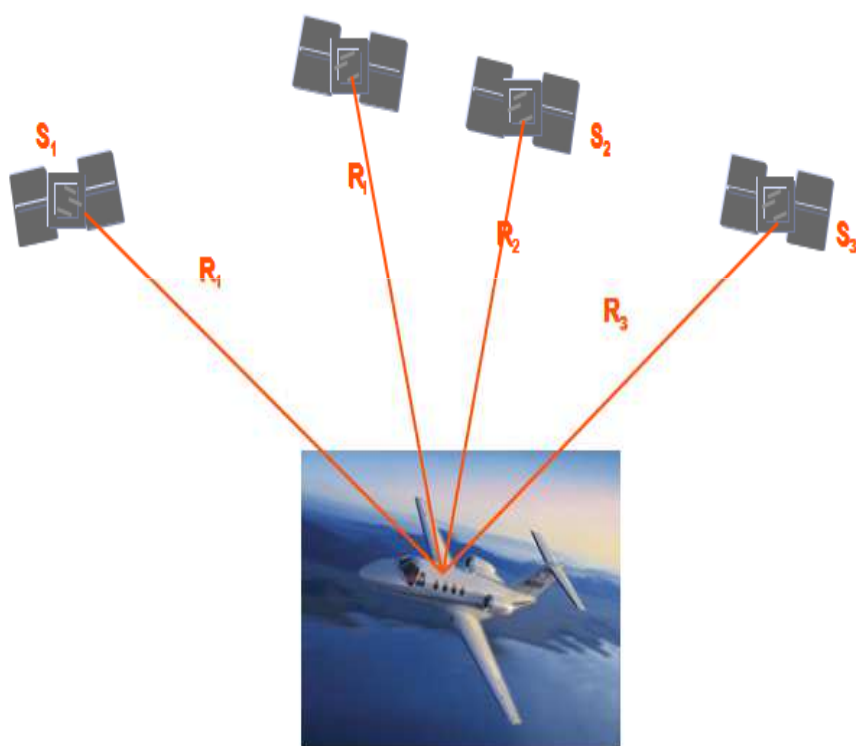
Posicionamento Por Ponto (Absoluto ou Autônomo) - Com apenas um receptor

- Simples (utiliza efemérides transmitidas, referencial vinculado ao WGS84)
- PPP - por ponto preciso (efemérides precisas e correções dos relógios dos satélites, referencial vinculado ao ITRF)

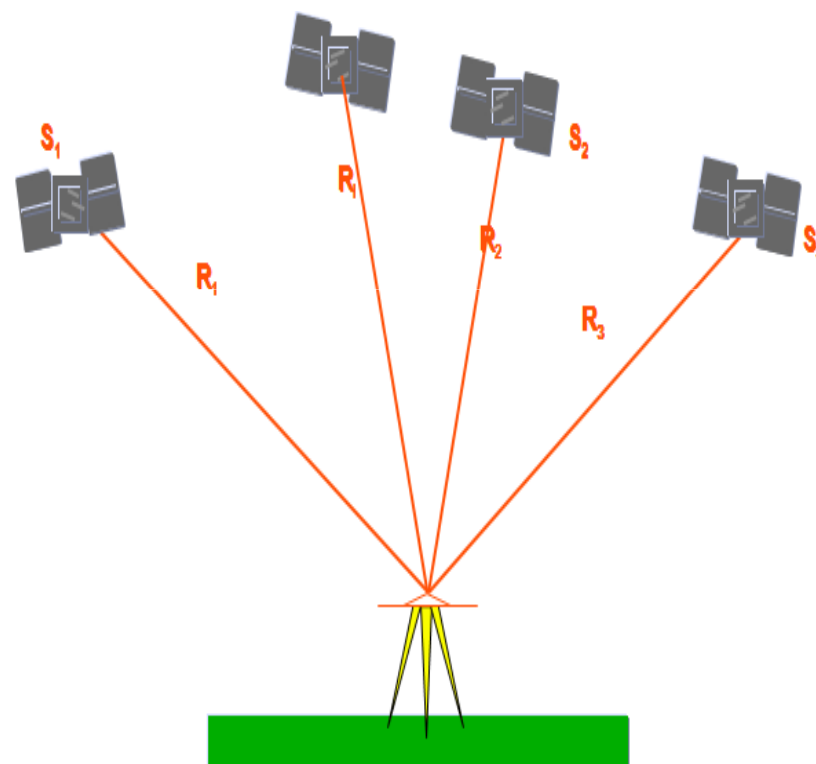


4.1.7 – Posicionamento por ponto e relativo

Posicionamento Por Ponto (Absoluto ou Autônomo) - Com apenas um receptor

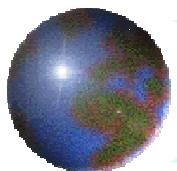


Cinemático



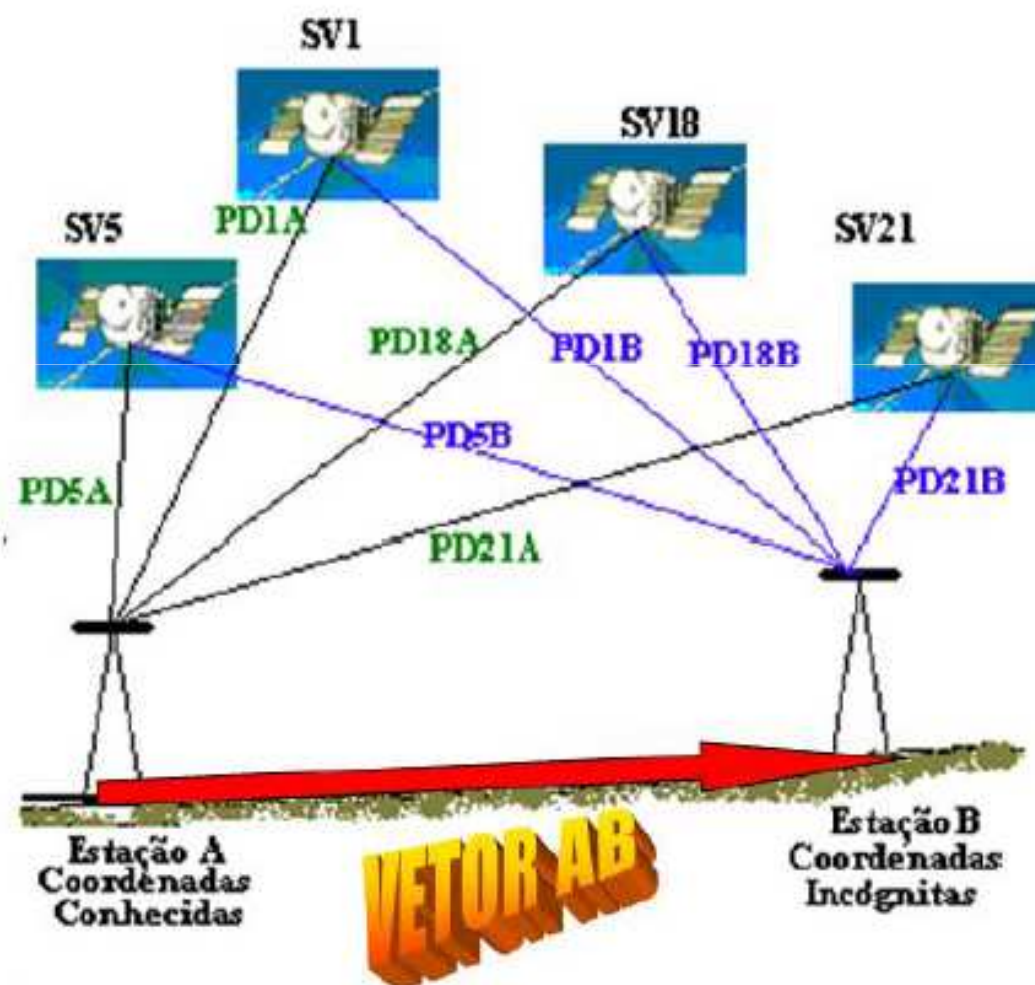
Estático

Fonte: Monico, 2013

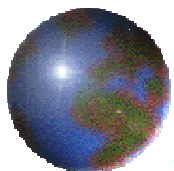


4.1.7 – Posicionamento por ponto e relativo

Posicionamento relativo - Com dois ou mais receptores -
estático

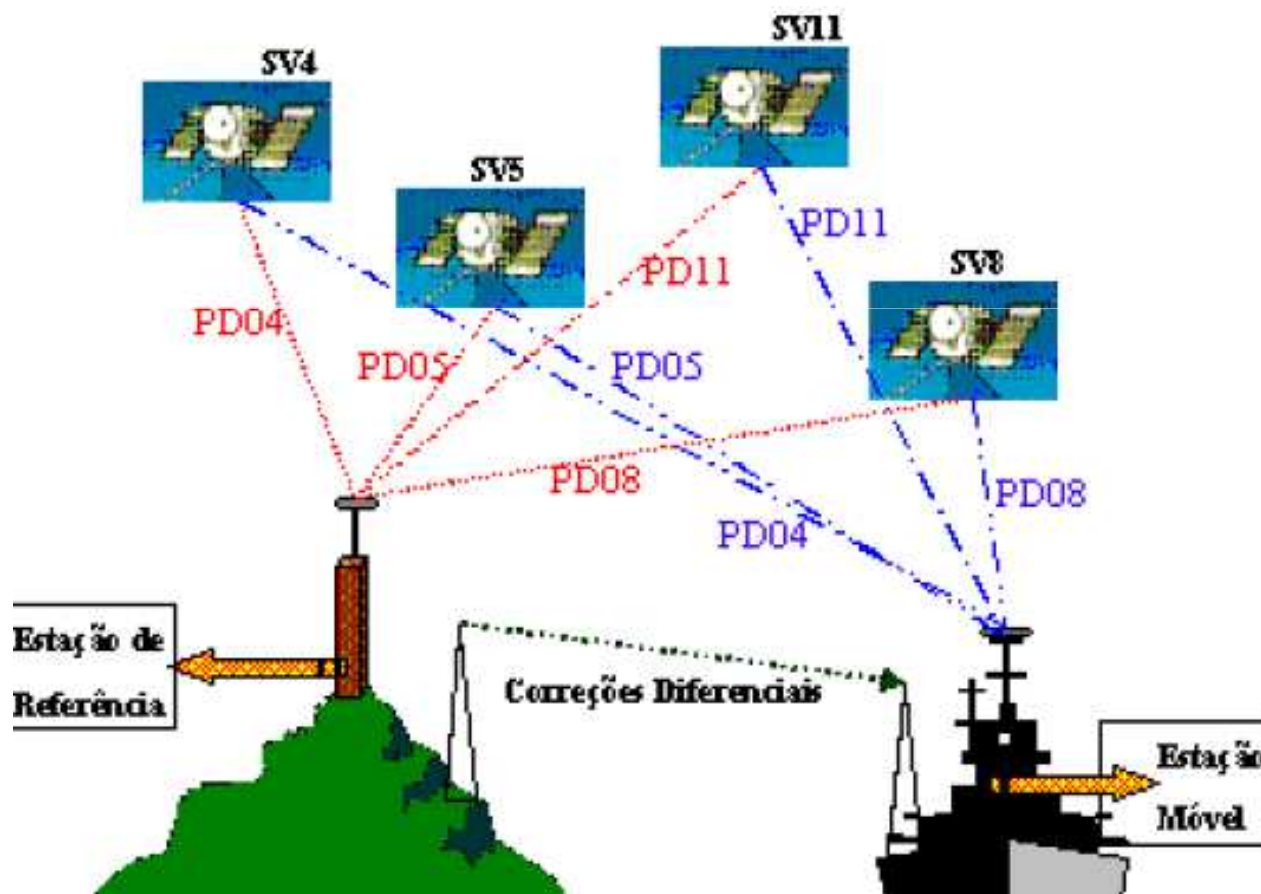


Fonte: Krueger, 2012

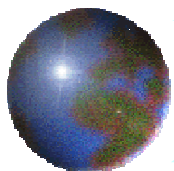


4.1.7 – Posicionamento por ponto e relativo

Posicionamento relativo - cinemático em tempo real, exemplo
RTK (real time kinematic)

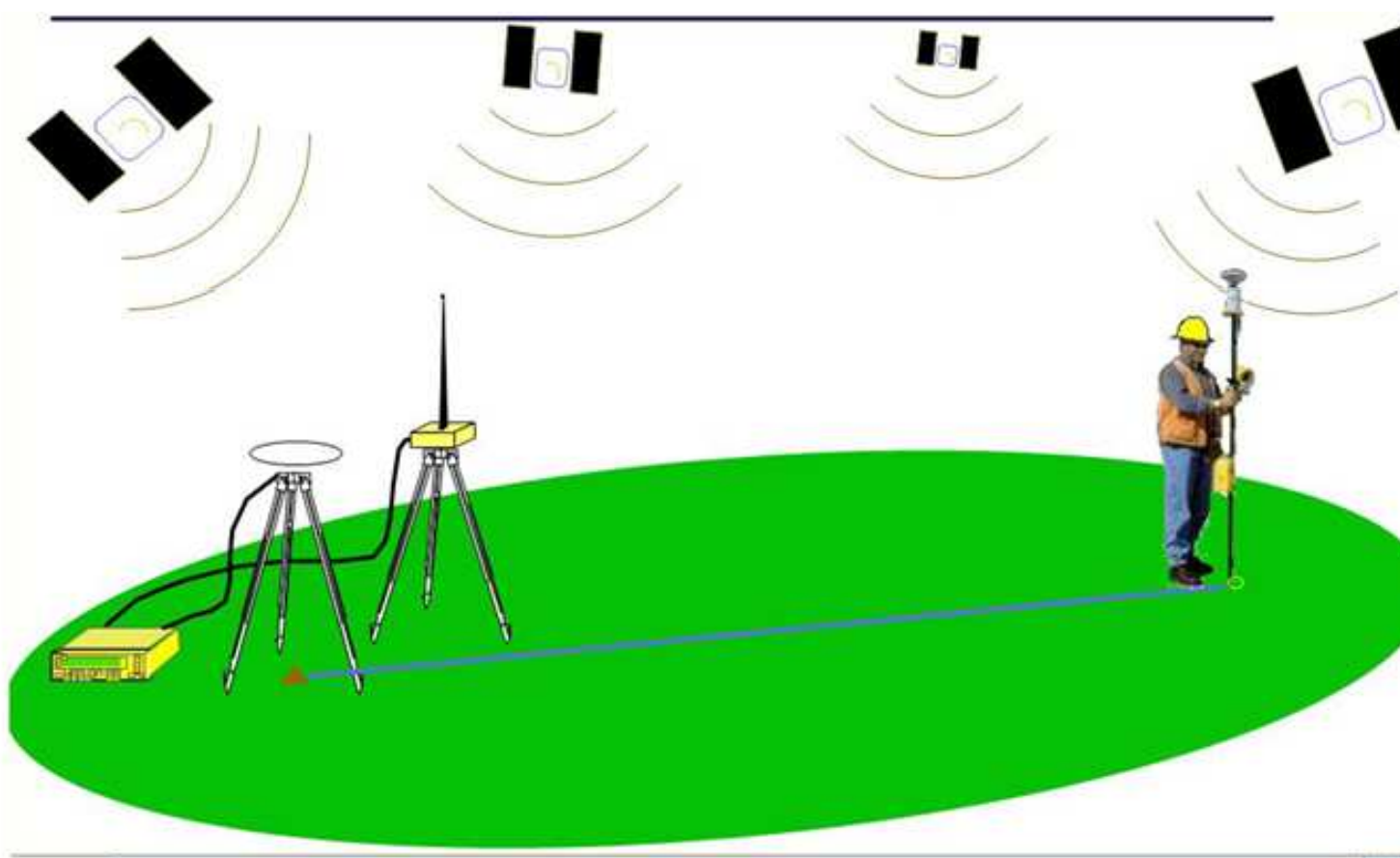


Fonte: Krueger, 2013

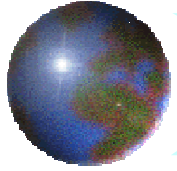


4.1.7 – Posicionamento por ponto e relativo

Posicionamento relativo - cinemático em tempo real, exemplo
RTK (real time kinematic)



Fonte: Monico, 2013



4.1.7 – Posicionamento por ponto e relativo

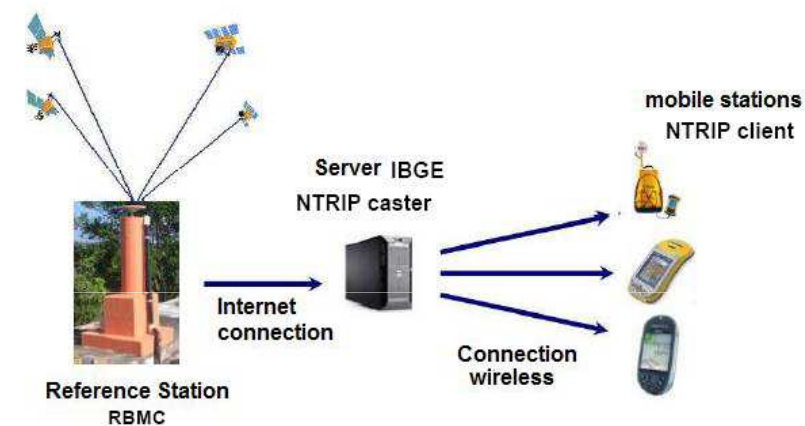
RBMC-IP - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS em tempo real

É um serviço para posicionamento em tempo real a partir de estações da RBMC, onde os dados são disponibilizados via protocolo Internet (participam 98 estações)



Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Diretoria de Geociências - DGC
Coordenação de Geodésia - CGED

RBMC - SERVIÇO RBMC-IP



Fonte: IBGE, 2016