

GNSS

Um dos desenvolvimentos tecnológicos mais extraordinários nos anos recentes foi a concretização dos **Sistemas Globais de Posicionamento por Satélite** (GNSS: **Global Navigation Satellite Systems**), fornecendo aos utilizadores a respectiva **posição**, de forma **rápida e rigorosa**.

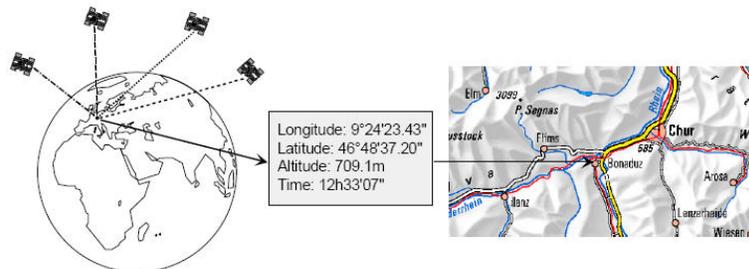
Posição



GNSS

A navegação por satélite é um método que recorre a um GNSS para determinar de forma rigorosa:

- A **posição** com precisão entre 20 m e 1 mm
- O **tempo** (a época) com precisão entre 60 ns e 5 ns ($1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$)
- A **velocidade** e a **direcção** podem ser obtidas dos valores anteriores



GNSS

Posição

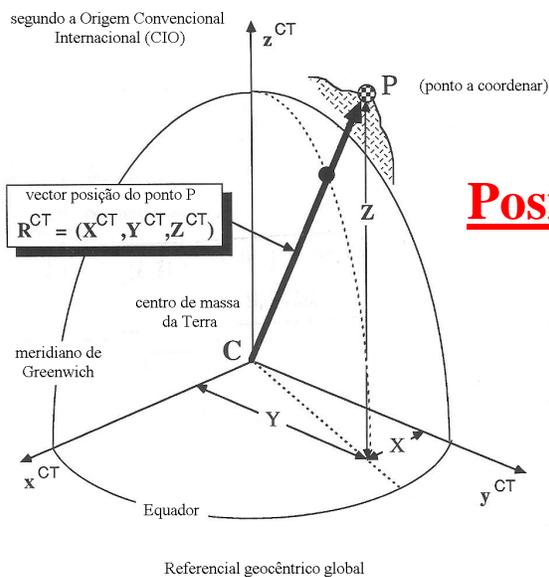
Por **posicionamento** entende-se a determinação das posições de objectos estacionários ou em movimento. Estas posições podem ser determinadas:

1. **relativamente a um referencial global** (geocêntrico) bem definido através dos 3 valores das coordenadas
2. **relativamente a outro ponto**, cuja posição é conhecida, **considerado como origem de um referencial local**

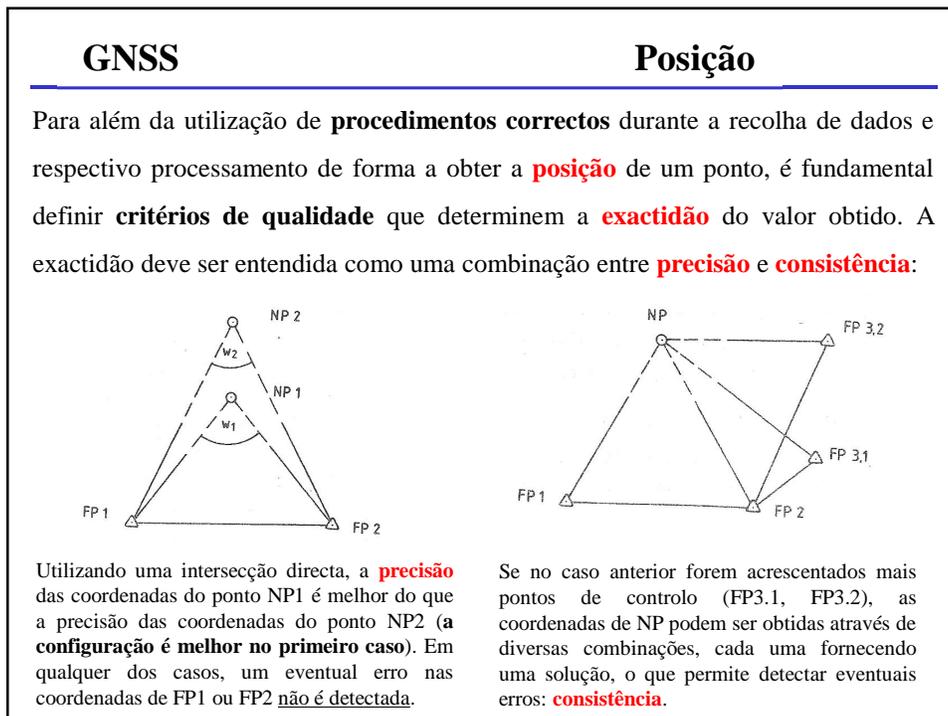
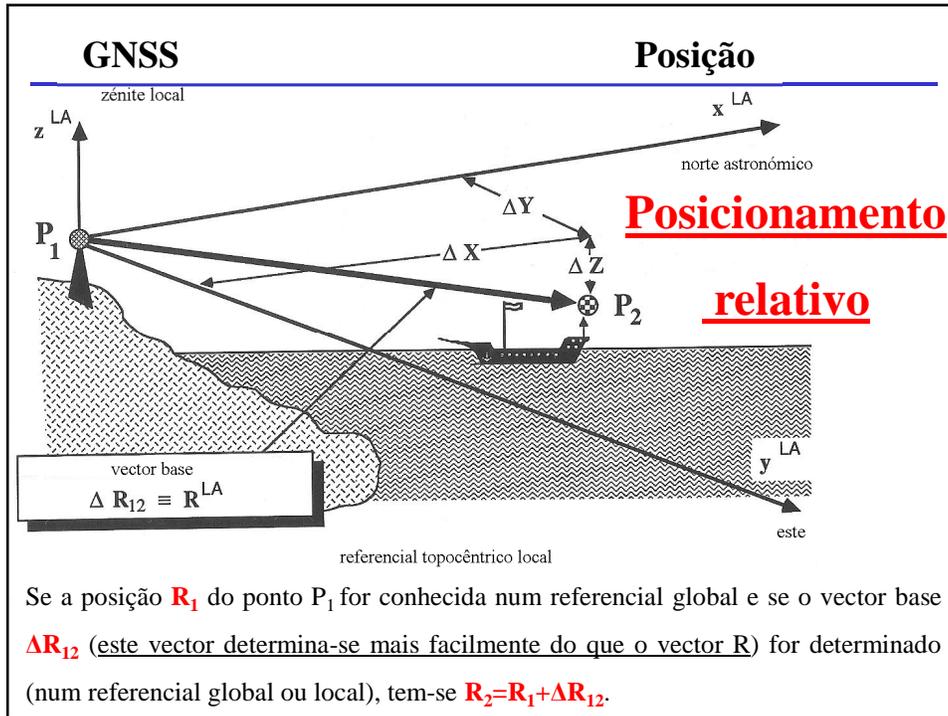
O primeiro modo designa-se por posicionamento **absoluto** e o segundo por posicionamento **relativo**.

GNSS

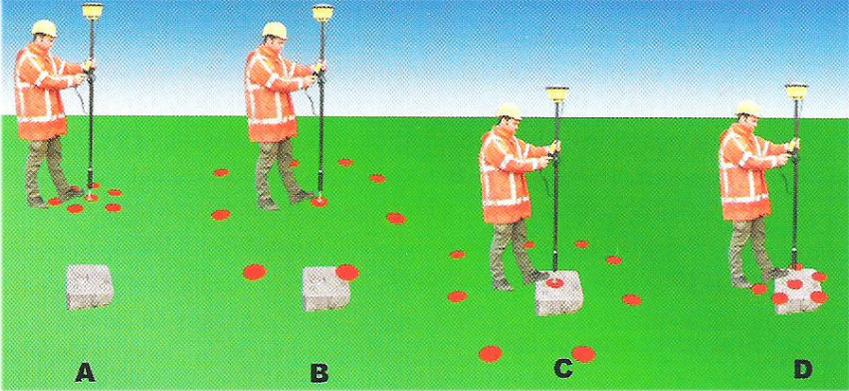
Posição



Posicionamento
absoluto



GNSS
Posição



A: alta precisão, baixa consistência => **baixa exactidão**

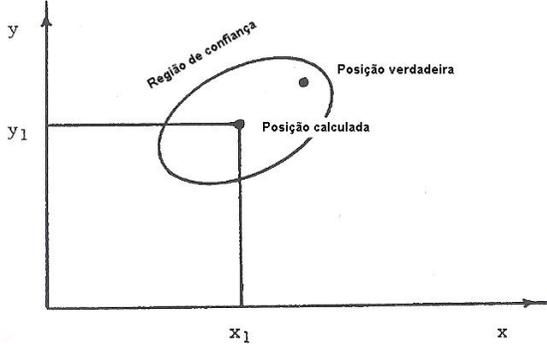
B: baixa precisão, baixa consistência => **baixa exactidão**

C: baixa precisão, alta consistência => **baixa exactidão**

D: alta precisão, alta consistência => **alta exactidão**

GNSS
Posição

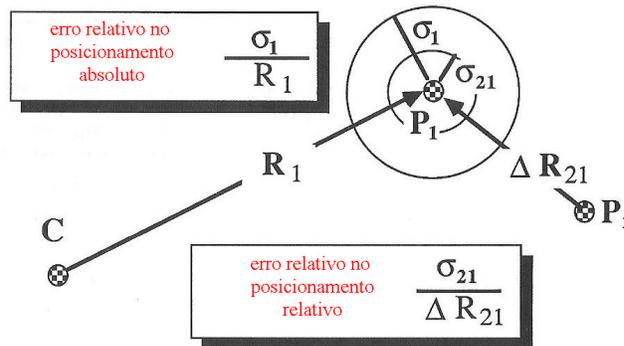
Para **quantificar a exactidão** da posição obtida utilizam-se **regiões de confiança**, elipsóides no caso 3D (ou elipses no caso 2D), formuladas de tal forma que o respectivo volume (ou área) contém um nível pré-seleccionado de probabilidade (99%, 95%, etc.) de o valor verdadeiro estar contido nessa figura geométrica.



GNSS

Posição

Outra forma de representação da exactidão consiste em dividir o erro de posição σ pela distância à origem: 1 m de incerteza (σ) no posicionamento absoluto (geocêntrico) de um ponto representa um erro relativo de σ/R , R =raio da Terra, igual a **0.16 ppm**; se se cometer um erro relativo de **0.16 ppm** no posicionamento relativo de dois pontos distanciados de 10 km, a incerteza do posicionamento é igual a **1.6 mm**.



GNSS

Posição

Actualmente o **GPS** - Global Positioning System, desenvolvido e operado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, é o único GNSS completamente operacional. Nos próximos anos, muito provavelmente estarão igualmente operacionais outros sistemas GNSS: o **GLONASS**, operado pela Rússia, o **Galileo** operado pela União Europeia, o **Compass** operado pela China. O Galileo foi concebido desde o início como um projecto civil, em oposição ao GPS, ao GLONASS e ao Compass, que são de origem militar.

Embora o sistema GPS tenha sido concebido para fins militares, actualmente o Departamento de Transportes (Department of Transportation) mantém o serviço para os utilizadores civis.

GNSS	Posição		
	GPS	Galileo	Glonass
Ano em que está/estará operacional	1993	2011	2010
Número mínimo de satélites quando operacional	21+3	27+3	21+3
Número actual de satélites (2007)	30	1	13
Número de planos orbitais	6	3	3
Número de satélites por órbita	4	10	8
Inclinação dos planos orbitais	55°	56°	64.8°
Altitude dos satélites (km)	20240	23222	19100
Bandas de frequência utilizadas	L1,L2,L5	L1,E1,E2,E5,E6	L1,L2

- o período orbital dos satélites é aproximadamente igual a 12 h siderais (~11 h 56 m UTC), pelo que “nascem”, isto é, ultrapassam o horizonte, tornando-se visíveis num dado local, cerca de 4 minutos mais cedo de dia para dia
- informação detalhada relativa ao historial e situação actual da constelação GPS pode ser obtida em <http://tycho.usno.navy.mil>

GNSS	Posição
<p>O NAVSTAR-GPS (NAVigation Sistem with Timing And Ranging Global Positioning System) pode ser utilizado por utilizadores civis e militares. O sinal civil SPS (Standard Positioning Service) é acessível de forma livre, enquanto que o sinal militar PPS (Precise Positioning Service) está apenas disponível para utilizadores autorizados.</p> <p>O respectivo desenvolvimento pretendeu:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Fornecer aos utilizadores a capacidade de determinação da posição, tempo e velocidade b) Funcionar de forma contínua, global, em quaisquer condições climatéricas e com elevada precisão c) Ter utilização civil 	

GNSS

Posição

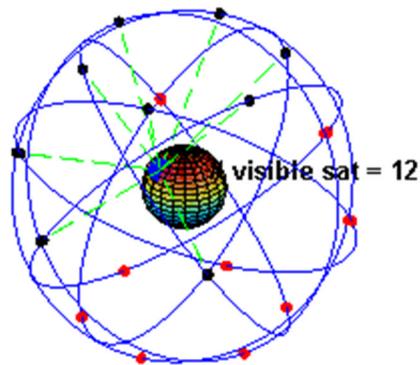
Pode esquematizar-se um satélite GPS como sendo um **relógio** de muito grande precisão em órbita em torno da Terra com uma altitude e velocidade conhecidas com rigor (na realidade, cada satélite transporta 4 relógios). Estes relógios emitem e recebem em permanência ondas radio-eléctricas no domínio das micro-ondas que podem ser captadas por receptores terrestres. Cada satélite (SV ou Space Vehicle) emite em permanência sinais em duas frequências diferentes, L_1 e L_2 (ondas portadores) que transportam informação através de um processo de modulação.

Como é determinada a distância satélite-receptor?

GNSS

Posição

O primeiro satélite foi colocado em órbita em 22 de Fevereiro de 1978, sendo a constelação completa constituída por 24 satélites operacionais a orbitar a Terra a 20240 km de altitude, com período $\approx 12^h$, distribuídos por 6 planos orbitais, inclinados 55° em relação ao equador (ao longo do tempo os satélites mais antigos vão sendo substituídos), emitindo **simultaneamente** sinais de rádio codificados. Desta forma existe sempre um mínimo de 4 satélites acessíveis via rádio em qualquer ponto da superfície terrestre.



(a constelação está completa desde o fim de 1993)

GNSS

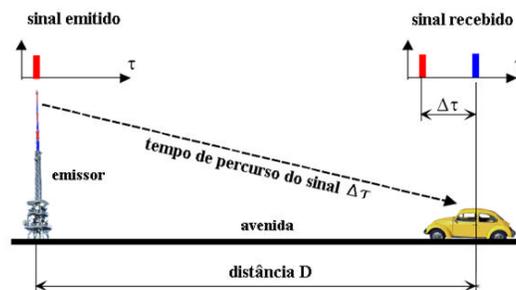
Posição

Exemplo: considerem-se duas pessoas em lados opostos de um estádio de futebol (vazio) e suponha-se que exista um meio de se ter a certeza que **ambas começam a contar em voz alta exactamente ao mesmo tempo, com a mesma cadência**. Cada uma delas, no seu lado do estádio, vai gritando: Um... Dois... Três... e, um pouco mais tarde, ouve a voz da outra pessoa dizendo Um... Dois... Três..., sendo o desfazamento das sequências devido ao intervalo de tempo que o som leva até alcançar o lado oposto do estádio. Como ambos começaram a contar no mesmo instante, **o intervalo de tempo de percurso do sinal é igual à diferença entre o número que uma pessoa está a gritar e o número que ouve a outra pessoa a gritar**.

GNSS

Posição

Considere-se um **emissor** localizado num dos extremos de uma longa avenida, **que envia um sinal rádio a cada segundo**. O carro, cuja posição se pretende determinar, dispõe de um receptor contendo um relógio **sincronizado** com o relógio do emissor. Registrando o **instante em que um sinal é recebido**, é possível determinar o intervalo de tempo $\Delta\tau$ de percurso do sinal, que multiplicado por $c=300000$ km/s permite calcular a **distância geométrica** emissor-carro: **$D = \Delta\tau \times c$** .



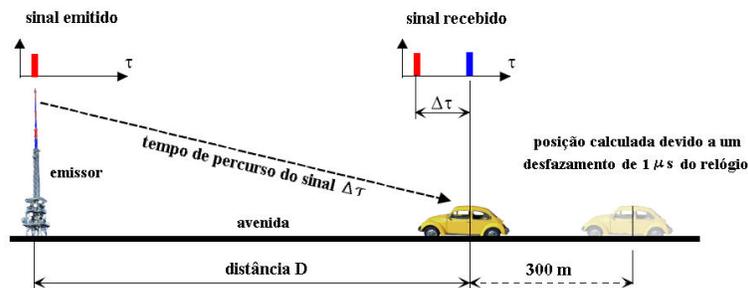
GNSS

Posição

No caso de os relógios do emissor e do receptor **não estarem sincronizados**, o intervalo de tempo medido $\Delta\tau'$ não corresponde à **distância verdadeira (geométrica) D** , obtendo-se assim a **pseudo-distância D'** emissor-receptor. Admitindo um erro de tempo ε de $\pm 1 \mu\text{s}$ ($1 \mu\text{s} = 10^{-6} \text{s}$) na obtenção do intervalo de tempo de percurso, tal que $\Delta\tau' = \Delta\tau + \varepsilon$, tem-se:

$$D' = \Delta\tau' \times c = (\Delta\tau + \varepsilon) \times c = \Delta\tau \times c + \varepsilon \times c = D + \varepsilon \times c,$$

traduzindo-se este erro ε em tempo num erro de $\pm 300 \text{ m}$ em distância.



GNSS

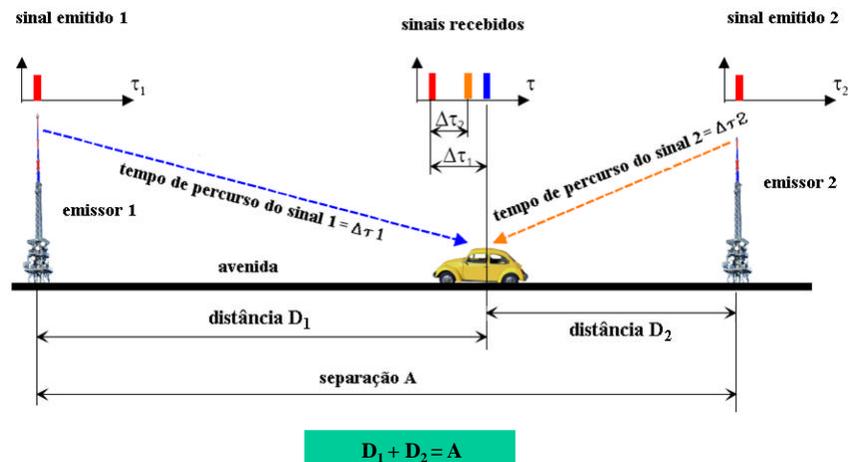
Posição

O valor da dessincronização do relógio não é à partida conhecido, pelo que não é possível converter a pseudo-distância D' na distância geométrica D . Para resolver o problema da **dessincronização** dos relógios (é de esperar que seja o relógio do receptor que se adiante ou atrase), pode equipar-se o carro com um receptor cujo relógio seja **mais exacto**, embora esta solução seja dispendiosa (implica a utilização de um relógio atómico no receptor).

GNSS

Posição

Outra solução envolve a utilização de um **segundo emissor** sincronizado com o primeiro, separados por uma distância A , **conhecida**.



GNSS

Posição

Neste caso, o receptor regista o instante de chegada dos sinais emitidos por cada um dos emissores, obtendo assim os respectivos intervalos de tempo de percurso, $\Delta\tau_1'$ e $\Delta\tau_2'$, afectados pelo **erro ϵ do relógio do receptor**, a partir dos quais se calculam as **pseudo-distâncias** do carro para cada emissor:

$$D_1' = \Delta\tau_1' \times c = (\Delta\tau_1 + \epsilon) \times c = \Delta\tau_1 \times c + \epsilon \times c = D_1 + \epsilon \times c$$

$$D_2' = \Delta\tau_2' \times c = (\Delta\tau_2 + \epsilon) \times c = \Delta\tau_2 \times c + \epsilon \times c = D_2 + \epsilon \times c$$

GNSS

Posição

Subtraindo as 2 expressões:

$$D_1' = D_1 + \varepsilon \times c$$

$$D_2' = D_2 + \varepsilon \times c$$

tem-se:

$$D_1' - D_2' = D_1 - D_2$$

De $D_1 + D_2 = A$, tem-se: $D_1 - A = -D_2$, donde: $D_1' - D_2' = D_1 + D_1 - A$, isto é

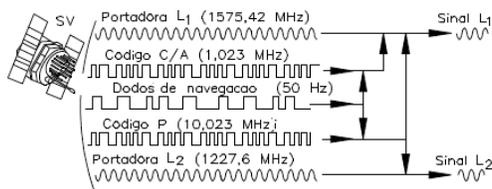
$$2D_1 = D_1' + A - D_2' \Rightarrow D_1 = (D_1' + A - D_2')/2$$

obtendo-se a **distância verdadeira** (geométrica) em função das **pseudo-distâncias** D_1' e D_2' **medidas** (o erro ε do relógio do receptor foi eliminado na diferença).

GNSS

Posição

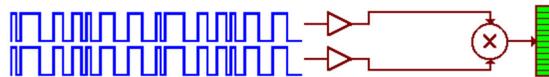
Os sistemas GNSS funcionam segundo o mesmo princípio: os satélites, cuja **posição é conhecida ao longo do tempo**, emitem regularmente e em simultâneo sinais electromagnéticos codificados (banda rádio), sendo a posição do utilizador obtida a partir da determinação das distâncias para os satélites calculada a partir do intervalo de tempo de percurso satélite-receptor do sinal e da posição de cada satélite no instante de emissão dos sinais.



GNSS**Posição*****COMO SABEMOS QUANDO O SINAL PARTIU DO SATÉLITE?***

No caso dos GNSS, a comparação é efectuada entre a sequência dos códigos C/A (sinal SPS) ou P (sinal PPS) que está a ser recebida de um dado satélite e uma réplica gerada no receptor dos sinais emitidos por esse mesmo satélite.

O “truque” para medir o intervalo de tempo de viagem do sinal de rádio é saber exactamente quando o sinal partiu do satélite, uma vez que o receptor regista o instante da respectiva chegada. Para conseguir isto, os relógios dos receptores e os satélites têm que estar sincronizados de forma a gerarem o mesmo código exactamente nas mesmas épocas.

**GNSS****Posição**

Cada satélite está equipado com um relógio atómico que pode “perder” no máximo um segundo de cada 30,000 a 1,000,000 anos (conforme o tipo de relógio; os satélites do bloco 2R têm uma precisão de **10^{-9} s por dia** = 1 nanosegundo/dia). De forma a torna-los ainda mais precisos, os relógios de todos os satélites são regularmente sincronizados a partir de várias estações de controlo terrestres, emitindo desta forma cada satélite sinais contendo o tempo interno exacto. Estes sinais propagam-se à velocidade da luz (299,792,458 m/s) e demoram aproximadamente **67.3 ms**, menos de um décimo de segundo ($1 \text{ ms} = 10^{-3} \text{ s}$) a alcançar o nadir de cada satélite.

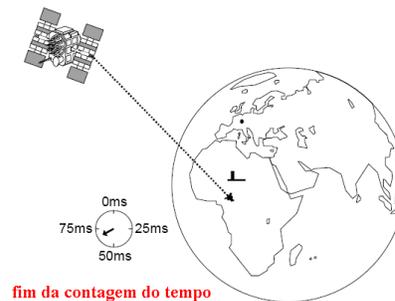
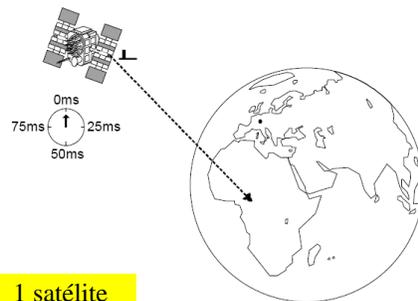
Os relógios dos receptores são relógios de quartzo, do mesmo tipo dos que equipam os computadores vulgares: assim, por definição, o relógio dos receptores tem algum erro de relógio.

GNSS

Posição

Quando um sinal é recebido no receptor, determina-se o respectivo intervalo de tempo de percurso, a partir do qual se obtém a distância satélite-receptor. A precisão com que o tempo de percurso do sinal deve medido é alta: para uma precisão de **1 m** na distância medida é necessária uma precisão de **3.33 ns** no intervalo de tempo medido (diferenciando $D=cT$, tem-se $dD=c dT$, $dT=dD/c$).

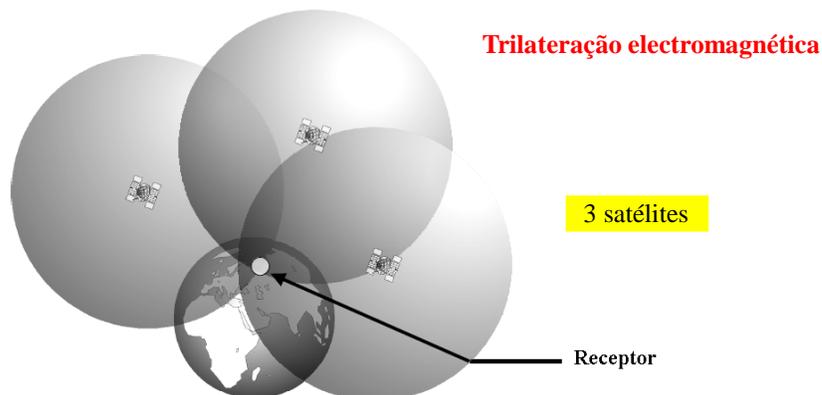
início da contagem do tempo



GNSS

Posição

Se o relógio do receptor estiver **sincronizado** com os relógios dos satélites, basta a recepção simultânea de sinais provenientes de **3** satélites diferentes.



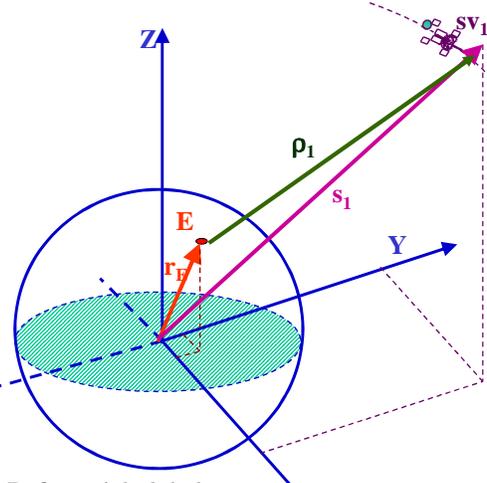
A posição do receptor é obtida como intersecção de 3 esferas com centro em 3 satélites e cujo raio é igual à distância de cada um dos satélites para o receptor

GNSS

Posição

Pretende-se conhecer o vector posição do ponto E: $\mathbf{r}_E = x_E \mathbf{e}_1 + y_E \mathbf{e}_2 + z_E \mathbf{e}_3$

Conhece-se o vector posição do satélite sv₁: $\mathbf{s}_1(t) = x_{s1}(t)\mathbf{e}_1 + y_{s1}(t)\mathbf{e}_2 + z_{s1}(t)\mathbf{e}_3$



Mede-se o vector entre E e o satélite:

$\boldsymbol{\rho}_1 = \mathbf{s}_1 - \mathbf{r}_E$

$\rho_1 = (x_{s1} - x_E) \mathbf{e}_1 + (y_{s1} - y_E) \mathbf{e}_2 + (z_{s1} - z_E) \mathbf{e}_3$

? ? ?

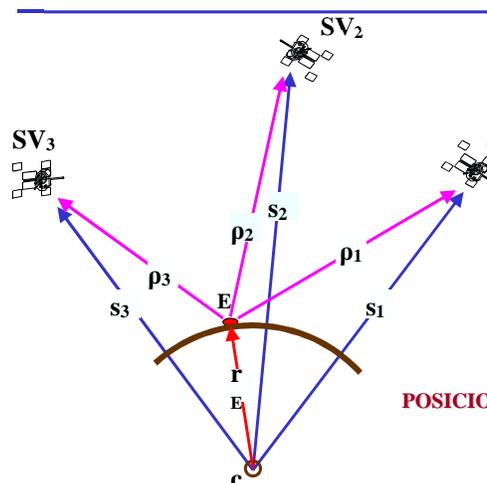
Medindo ρ_1 ficam 3 incógnitas: x_E, y_E e z_E

Medindo simultaneamente as distâncias geométricas para 3 satélites ρ_i , obtêm-se 3 equações para determinar x_E, y_E e z_E

Referencial global

GNSS

Posição



Quer-se conhecer as coordenadas da estação E (x_E, y_E, z_E)

Conhecem-se as coordenadas dos satélites x_{si}, y_{si} e z_{si}

Medem-se as distâncias do receptor aos satélites ρ_i

POSICIONAMENTO POR TRILATERAÇÃO ESPACIAL

$\mathbf{r}_E = \mathbf{s}_i(t) - \rho_i(t) \quad i = 1, 2, 3$

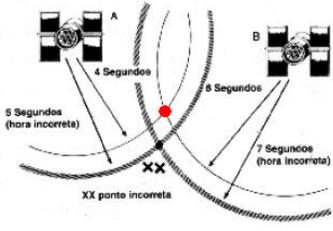
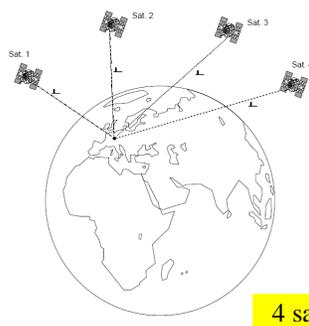
$\|\rho_i(t)\| = \|\mathbf{s}_i(t) - \mathbf{r}_E\| = \sqrt{(x_{si}(t) - x_E)^2 + (y_{si}(t) - y_E)^2 + (z_{si}(t) - z_E)^2}$

A solução geométrica requer um mínimo de três equações para obter as 3 coordenadas de E, i.e., observar 3 satélites, $i = 1, 2, 3$

GNSS

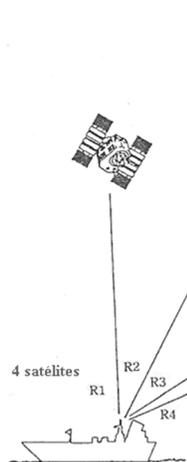
Se a medição dos intervalos de tempo de percurso dos sinais estiver incorrecta devido à **dessincronização** do relógio do receptor relativamente aos relógios dos satélites, as distâncias calculadas estarão igualmente incorrectas, obtendo-se uma posição também incorrecta. É assim necessária a utilização de um quarto satélite.

Posição

GNSS

Posição



4 satélites

Latitude, Longitude, Altitude, Tempo

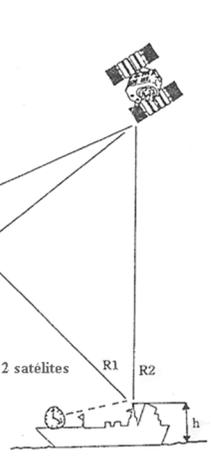
4 incógnitas



3 satélites

Latitude, Longitude, Tempo

**3 incógnitas
(a altitude é conhecida)**



2 satélites

Latitude, Longitude

**2 incógnitas
(a altitude e o tempo são conhecidos)**

GNSS

Posição

É oportuno salientar que o posicionamento com GPS está sujeito a degradações provocadas por diversas fontes de **erros**. Tais erros podem ser reunidos em quatro grupos: **satélites, propagação do sinal, receptor/antena e estação**.

Fonte	Erro
Satélite	Atraso entre as duas portadoras no hardware do satélite Erro de órbita Erro do relógio
Propagação do sinal	Refração troposférica Refração ionosférica Perdas de ciclos Multicaminho
Receptor/antena	Erro do relógio Erro entre os canais Variação do centro de fase da antena
Estação	Erro nas coordenadas Multicaminho

GNSS

Coordenadas

Quando os GNSS ainda não tinham uma utilização generalizada, a maior parte dos trabalhos de cartografia/topografia eram efectuados directamente em **referenciais locais**.

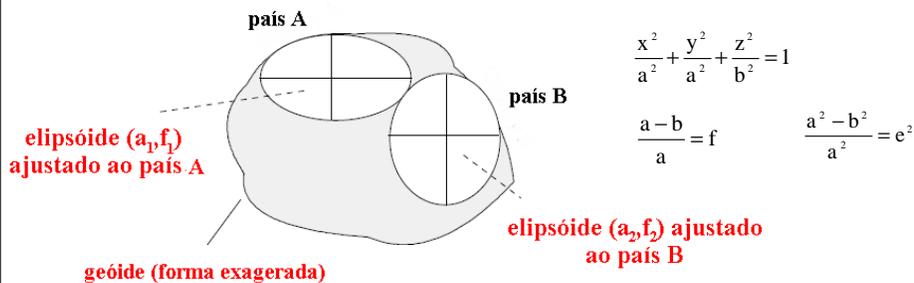
Um problema complexo que tem que ser ultrapassado com a utilização dos GNSS é o grande número de **referenciais** utilizados em cada país, com as correspondentes **coordenadas diferentes para um mesmo ponto**.

A descrição da forma da Terra tem-se revelado, ao longo do tempo, um grande desafio científico, tendo sido sugeridos ao longo dos séculos diversos **modelos** como aproximação à sua forma.

GNSS

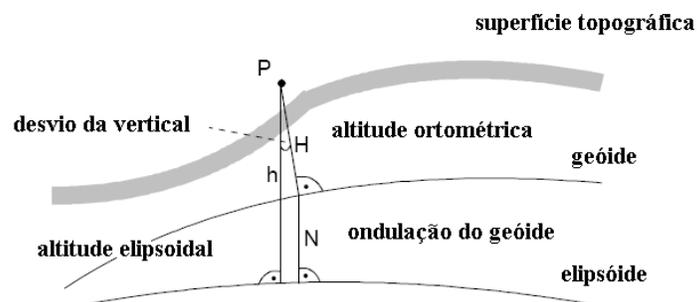
Coordenadas

Para efeitos de manipulação matemática, utiliza-se uma superfície analítica cujos parâmetros de forma e dimensão se podem adaptar localmente ao geóide - um elipsóide de revolução, definido pelo semi-eixo maior a e pelo achatamento f . Este elipsóide é ainda hoje a base da cartografia, sendo a superfície onde são efectuados os cálculos de transporte de coordenadas em zonas extensas. A relação entre o geóide e o elipsóide adoptado designa-se por datum geodésico.



GNSS

Coordenadas



Historicamente, cada país estabeleceu um datum geodésico local (em geral vários), convencionando que na respectiva origem a normal ao elipsóide (normalmente não geocêntrico) coincide com a vertical do lugar (desvio da vertical igual a zero), sendo nesse ponto as coordenadas geodésicas coincidentes com as coordenadas astronómicas (elipsóide tangente ao geóide na origem).

GNSS

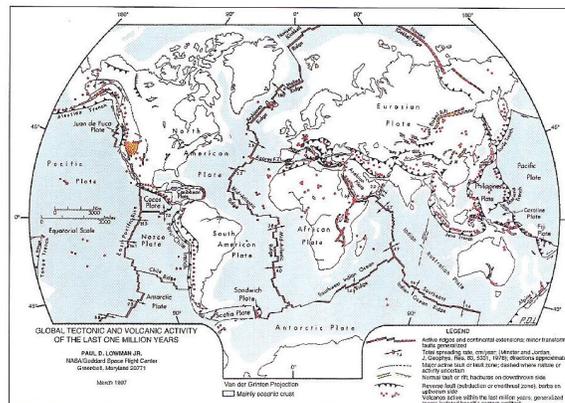
Coordenadas

Um **datum geocêntrico**, também designado por Sistema Terrestre Convencional, realiza as mesmas funções de um datum local mas pode ser utilizado em todo o mundo – **datum global**. A metodologia para a sua realização é diferente pois define-se em primeiro lugar um referencial cartesiano com origem no centro de massa da Terra e posteriormente desenvolve-se um elipsóide utilizando a mesma origem e eixos (o próprio datum é descrito com um elipsóide de revolução geocêntrico equipotencial, superfície na qual os valores do potencial gravítico são iguais), o que apenas foi possível com o advento da exploração espacial. Como exemplos de data globais, tem-se: **ITRS, WGS84, ETRS89**.

GNSS

Coordenadas

ITRS: num datum global, deixa de ser possível definir uma origem num ponto da superfície terrestre pois este ponto está sujeito a movimentos tectónicos (num datum local este problema não se coloca pois a própria origem acompanha o movimento dos continentes). Por esta razão foi definido o **International Terrestrial Reference System (ITRS)**, que entra em consideração com a **deriva dos continentes**. **O ITRS é determinado para cada ano, sendo cada realização designada ITRF**.



GNSS

Coordenadas

WGS84: para utilização geodésica e cartográfica o datum global mais utilizado é o WGS84, introduzido em 1984 pelo US Defense Mapping Agency, baseado no Geodetic Reference System 1980 (GRS80) aprovado pela IUGG nesse mesmo ano, tendo as características seguintes:

- origem no centro de massa da Terra
- o eixo Z é paralelo à direcção do Polo Terrestre Convencional definido pelo BIH
- o eixo X está alinhado segundo a origem das longitudes definida pelo BIH
- o eixo Y está contido no plano do equador, ortogonal ao eixo X

O elipsóide associado ao WGS84 tem as características seguintes:

- semi-eixo maior a
- constante gravitacional terrestre GM
- coeficiente gravitacional zonal normalizado de 2º grau $C_{2,0}$
- velocidade angular terrestre ω

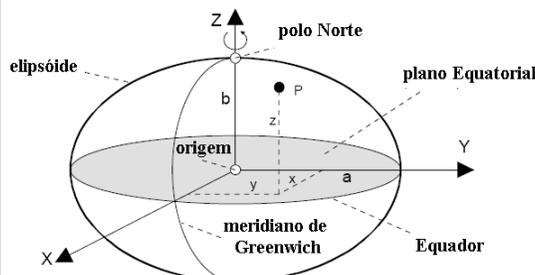
GNSS

Coordenadas

Os cálculos efectuados nos receptores GNSS têm subjacente o sistema de referência **WGS-84** (World Geodetic System 1984), **referencial tridimensional directo geocêntrico solidário com a Terra:**

Parâmetros do elipsóide de referência associado ao WGS-84

semi-eixo maior a (m)	semi-eixo menor b (m)	achatamento
6,378,137.00	6,356,752.31	298,257223563



O WGS 84 utiliza o meridiano de referência do IERS, definido pelo Bureau International de l'Heure, obtido a partir de uma compilação de observações de estrelas efectuadas em diversos países (há uma diferença de cerca de 100 m para Este relativamente ao meridiano de Greenwich)

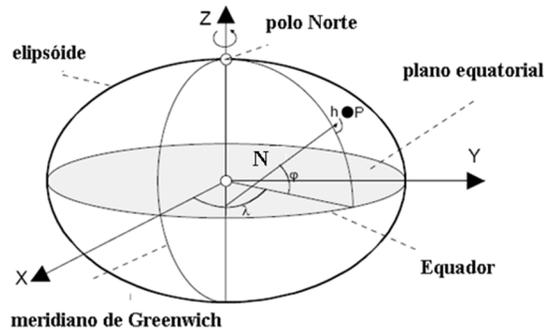
GNSS

Coordenadas

Podem utilizar-se **coordenadas elipsoidais** (ϕ, λ, h) ou **coordenadas tri-dimensionais** (X, Y, Z) para a coordenação de um ponto:

$$\begin{cases} X = (N+h) \cos \phi \cos \lambda \\ Y = (N+h) \cos \phi \sin \lambda \\ Z = (N(1-e^2)+h) \sin \phi \end{cases}$$

$$\begin{cases} \phi = a \tan \left(\frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \frac{e^2}{1 - \frac{N}{N+h}} \right) \\ \lambda = \tan^{-1} \left(\frac{Y}{X} \right) \\ h = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos \phi} - N \end{cases}$$

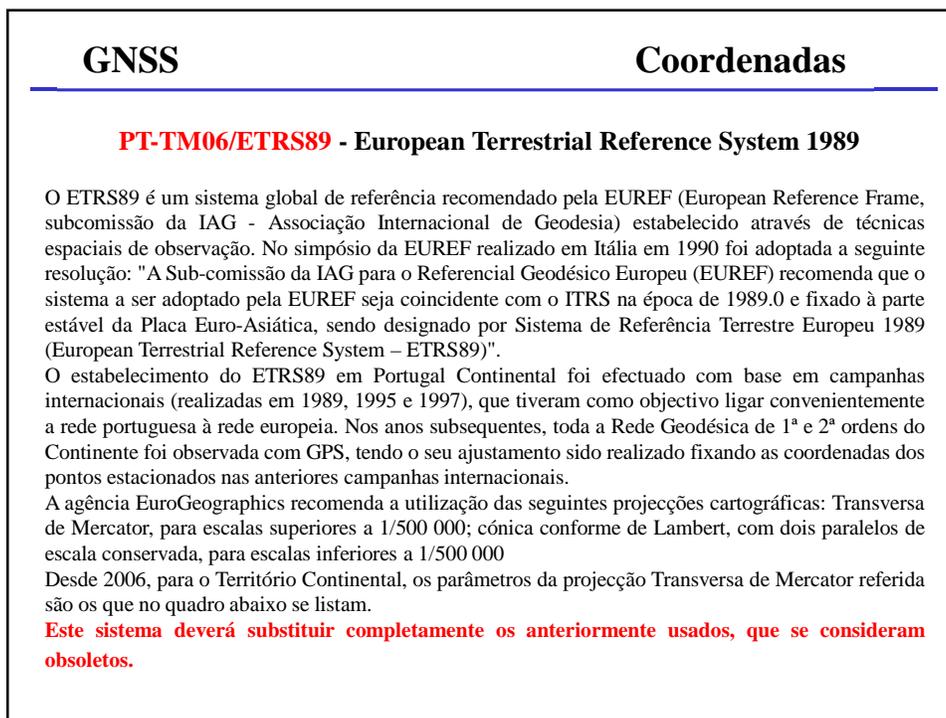
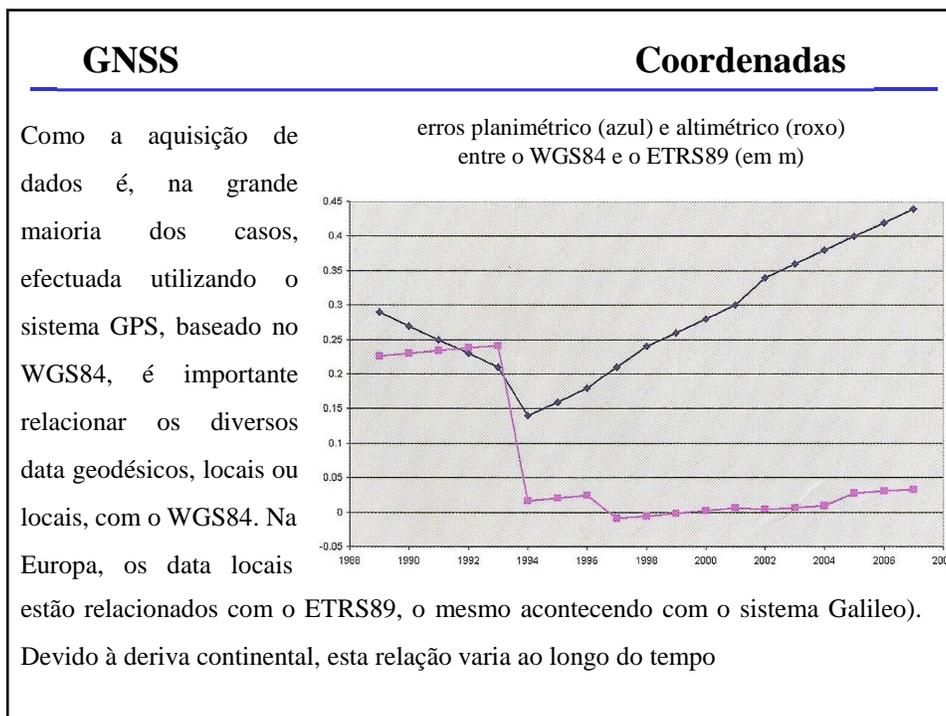


$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi}}$$

GNSS

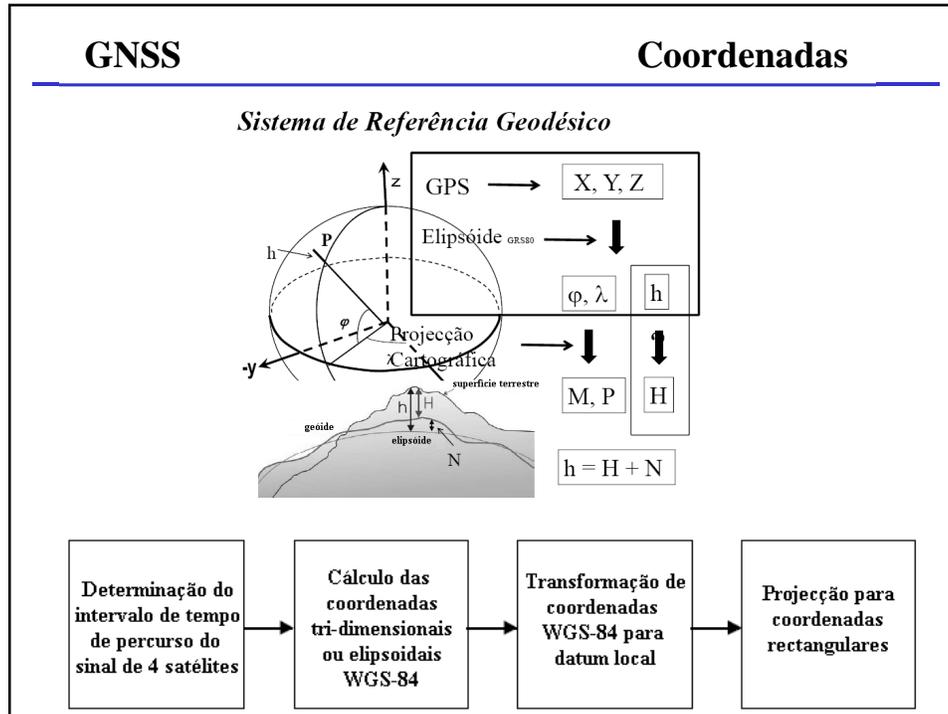
Coordenadas

ETRS89: em 1990, atendendo ao facto do GPS ser o GNSS mais importante, completou-se a campanha geodésica EUREF, a partir da qual se definiu o **sistema de referência terrestre europeu** (ETRS89) utilizando os mesmos parâmetros do elipsóide do sistema WGS84, permitindo a realização de transformações homogéneas para os data ED50 ou ED87 (ED=European Datum). Em 1989, quando os parâmetros do ETRS89 foram fixados, este sistema era igual ao WGS84; a partir daí, estes sistemas divergiram devido ao facto do ETRS89 estar ligado à placa europeia, enquanto que o WGS84 está ligado ao ITRS.



GNSS		Coordenadas	
PT-TM06/ETRS89 - European Terrestrial Reference System 1989			
Elipsóide de referência:	GRS80	Semi-eixo maior: a = 6 378 137 m Achatamento: f = 1 / 298,257 222 101	
Projecção cartográfica:	Transversa de Mercator		
Latitude da origem das coordenadas rectangulares:	39° 40' 05",73 N		
Longitude da origem das coordenadas rectangulares:	08° 07' 59",19 W		
Falsa origem das coordenadas rectangulares:	Em M (distância à Meridiana): 0 m Em P (distância à Perpendicular): 0 m		
Coefficiente de redução de escala no meridiano central:	1,0		

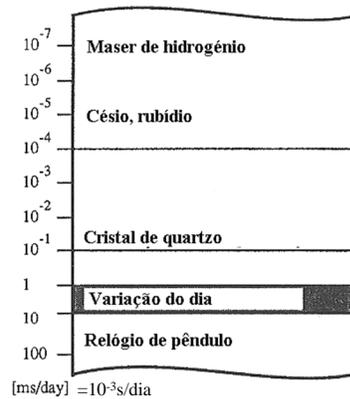
GNSS		Coordenadas	
<p>A transformação de coordenadas entre o WGS84 e um <i>datum</i> local pode envolver apenas uma translação das origens ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) ou, caso os eixos dos dois referenciais não sejam paralelos, 3 ângulos de rotação ($\phi X, \phi Y, \phi Z$); pode haver a necessidade de um factor de escala m.</p>			



GNSS

Tempo

Existem limites físicos para a **precisão** de um relógio:



Tecnologia	Deriva (s^{-1})	
cristal de quartzo	10^{-6}	~11,6 dias
quartzo de alta-precisão	10^{-8}	~ 3,2 anos
relógio atômico	10^{-13}	~ 320.000 anos

O objectivo da **sincronização** é garantir que o desvio máximo entre quaisquer pares de relógios físicos do sistemas não excede um determinado valor.

GNSS

Tempo

Existem diversos sistemas de tempo:

- **tempo solar (tempo universal) e tempo sideral**, baseados na **rotação da Terra**.
- **tempo dinâmico**, baseado no movimento dos planetas: tempo dinâmico terrestre (TDT) e tempo dinâmico baricêntrico (BDT)
- **tempo atômico**: tempo atômico internacional (TAI), tempo universal coordenado (UTC), **tempo GPS**

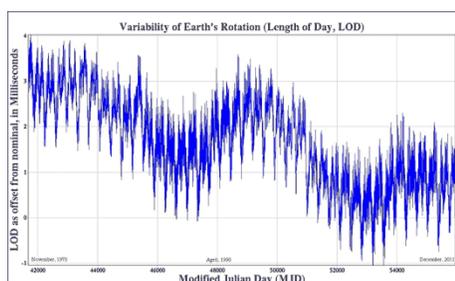
O sistema UTC, cuja unidade é o segundo atômico, é um compromisso de forma a torna-lo próximo do tempo universal (UT1) e do tempo civil, através da introdução de segundos intercalares em épocas distintas. **O tempo GPS é referido ao UTC**. A **data juliana** (DJ) define o número de dias solares médios desde 1 de Janeiro do ano 4713 A.C; a data juliana modificada é obtida subtraindo 2400000.5 dias a DJ. A conversão da **data gregoriana** para data juliana (A=ano, M=mês, D=dia) é:

$$DJ=367*A-7*[A+(M+9)/12]/4+275*M/9+D+1721.014$$

(para as 12^h de Greewich, válida a partir de Março de 1900).

GNSS**Tempo**

A Hora Civil em qualquer país reporta-se (o mais possível) à posição média do sol no céu local. Como a duração do dia solar não é constante durante o ano há diferença entre a hora solar verdadeira e a Hora Civil que tem progressão uniforme. Historicamente definiu-se a escala de tempo **UT1** baseada na duração média da rotação da Terra que, actualmente, é medida no referencial parado das posições celestes dos quasares mais distantes, observados na banda do rádio com Very Large Baseline Interferometry (VLBI).

**GNSS****Tempo**

As variações irregulares progressivamente identificadas na velocidade de rotação da Terra conduziram, em 1972, à substituição do UT1 (escala cuja duração do segundo é variável ao longo dos séculos) pelo Tempo Universal Coordenado (UTC), que é uma escala de tempo derivada do Tempo Atómico Internacional (TAI), ou seja, o UTC tem o mesmo andamento da escala TAI. Depois da sua introdução, o UTC passou a basear todas as Horas Legais mundiais.

O TAI é calculado pelo Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) usando o valor médio da hora numa rede mundial de relógios atómicos. Por isso é uma escala de tempo uniforme. O ponto de origem do TAI foi definido como $UT1=TAI$ no dia 1 de Janeiro de 1958.

GNSS
Tempo

Ao pretender-se que o UTC também se mantenha próximo do UT1, foi aprovado pela CCIR – ITU (International Telecommunication Union, agência da Nações Unidas) na Recomendação 460-4-1986, que a diferença UT1-UTC seja inferior a 0,9 segundos para assegurar a concordância entre as escalas de tempo física (relógios) e astronómica (sol e rotação planetária). Isto implica que devido ao abrandamento da rotação terrestre, o UTC (que segue UT1) vai diferindo do TAI. Além disso, a correcção é feita em número inteiro de segundos, valor que tem aumentado com os anos.

Ao ser introduzido o UTC como escala de referência em janeiro de 1972, a diferença TAI-UTC já era de 10 segundos, ou seja $UTC = TAI - 10\text{ s}$, mas foi necessário introduzir mais outro segundo de correcção no final desse ano.

GNSS
Tempo

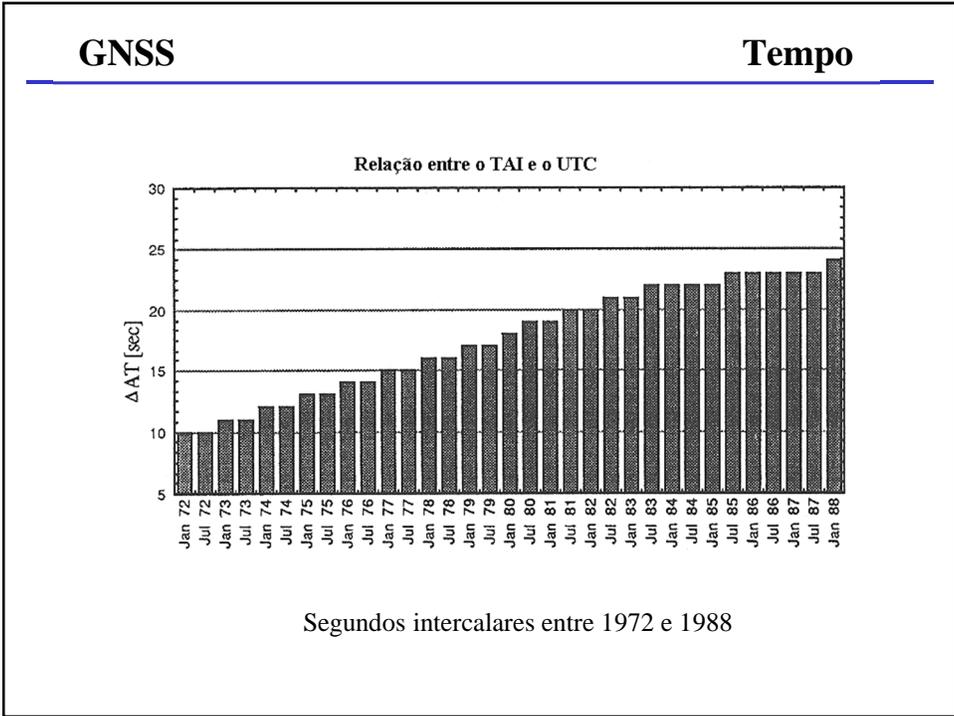
Variação em s de UT1-UTC

Dia do ano (1986)

Escalas de tempo (segundos intercalares)

local	2009-07-09 15:08:21	Thursday	day 190	timezone UTC+2
UTC	2009-07-09 13:08:21	Thursday	day 190	MJD 55021.54746
GPS	2009-07-09 13:08:36	week 1539	392916 s	cycle 1 week 0515 day 4
TAI	2009-07-09 13:08:55	Thursday	day 190	34 leap seconds

Sistemas de tempo para o dia 9 de Julho de 2009: TAI-UTC=+34s, GPS-UTC=+15s, TAI-GPS=+19s



GNSS
Tempo

GPS CALENDAR 2008 CALENDRIER GPS

JANUARY/JANVIER

SEMAINE GPS WEEK	GPS WEEKDAY						
	Sun / dim	Mon / lun	Tue / mar	Wed / mer	Thu / jeu	Fri / ven	Sat / sam
1460		1	2	3	4	5	6
1461	7	8	9	10	11	12	13
1462	14	15	16	17	18	19	20
1463	21	22	23	24	25	26	27
1464	28	29	30	31	Day of Year 365 (leap year 366) Gregorian Calendar		

FEBRUARY/FEVRIER

SEMAINE GPS WEEK	GPS WEEKDAY						
	Sun / dim	Mon / lun	Tue / mar	Wed / mer	Thu / jeu	Fri / ven	Sat / sam
1464							1
1465	2	3	4	5	6	7	8
1466	9	10	11	12	13	14	15
1467	16	17	18	19	20	21	22
1468	23	24	25	26	27	28	29

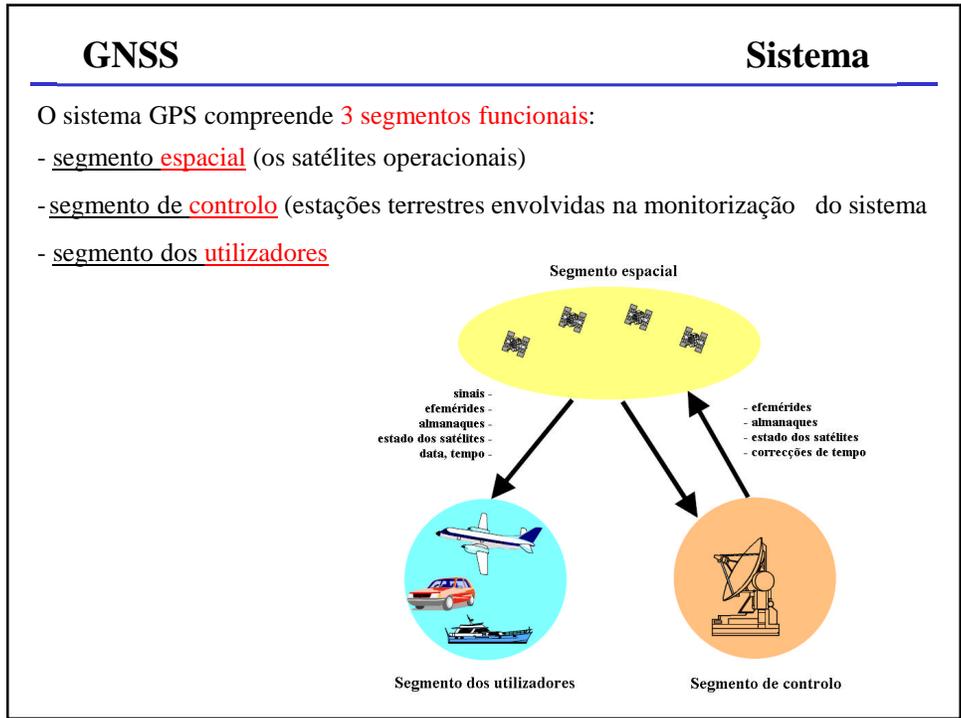
MARCH/MARS

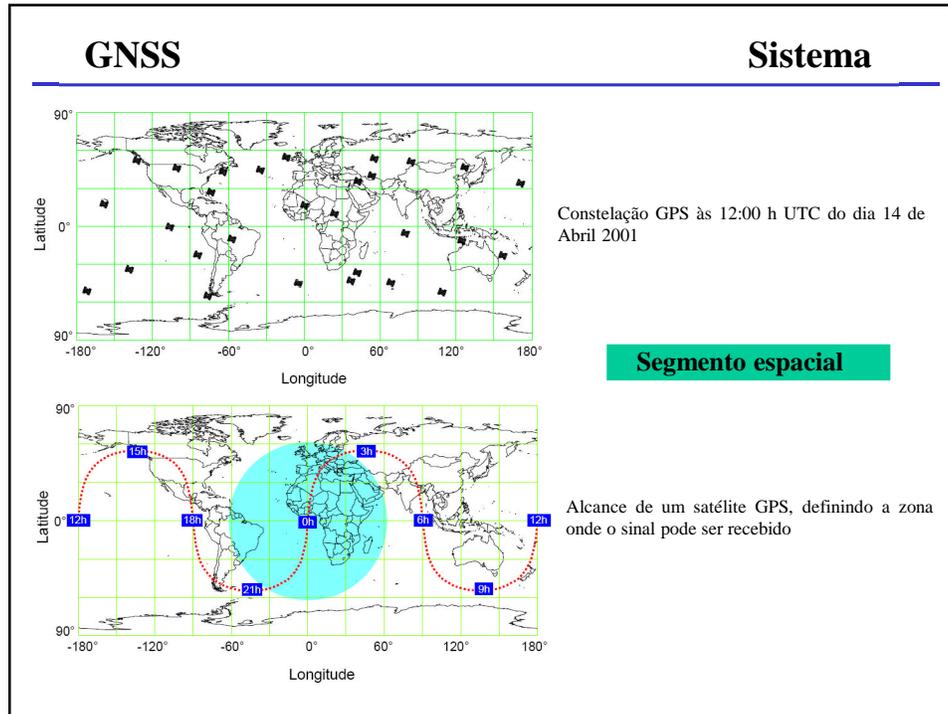
SEMAINE GPS WEEK	GPS WEEKDAY							
	Sun / dim	Mon / lun	Tue / mar	Wed / mer	Thu / jeu	Fri / ven	Sat / sam	
1468							1	
1469	2	3	4	5	6	7	8	
1470	9	10	11	12	13	14	15	
1471	16	17	18	19	20	21	22	
1472	23	24	25	26	27	28	29	
1473	30	31						

APRIL/AVRIL

SEMAINE GPS WEEK	GPS WEEKDAY						
	Sun / dim	Mon / lun	Tue / mar	Wed / mer	Thu / jeu	Fri / ven	Sat / sam
1473							1
1474	2	3	4	5	6	7	8
1475	9	10	11	12	13	14	15
1476	16	17	18	19	20	21	22
1477	23	24	25	26	27	28	29

As semanas GPS são contadas a partir do dia 5 de Janeiro de 1980





GNSS
Sistema

Segmento espacial

Os satélites têm diversos **sistemas de identificação**: número da sequência de lançamento, código de ruído pseudoaleatório (**PRN**), número da posição orbital, número do catálogo da NASA e identificação internacional, sendo o número PRN normalmente utilizado. O código PRN permite que todos os satélites partilhem a mesma frequência de emissão sem interferências.

Há **várias classes de satélites GPS**: **bloco I**, pesando 845 kg, com inclinação orbital igual a 63°; **bloco II**, pesando 1500 kg, com inclinação orbital igual a 55°; **bloco IIA**, semelhantes aos do bloco II, com inclinação orbital igual a 55° e dispo de comunicação mútua e retroreflectores, possibilitando o respectivo rastreo por laser; **bloco IIR**, ainda em desenvolvimento, pesando mais de 2000 kg, dispo de relógios atômicos pelo menos uma ordem de magnitude mais precisos do que os dos blocos II e IIA; **bloco IIF**, dispo de sistemas de navegação inercial e de sinal com uma estrutura mais completa.

GNSS

Sistema

Segmento de controlo

É composto por:

- ✓ 1 estação principal de controlo (Colorado Springs);
- ✓ 5 estações de monitorização ou rastreio de satélites, 3 das quais são também estações transmissoras (Ascension, Diego Garcia e Kwajalein).



GNSS

Sistema

Segmento de controlo

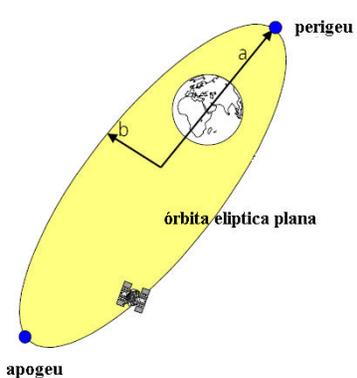
Funções:

- ✓ Verificar o funcionamento dos satélites
- ✓ Calcular as órbitas dos satélites para uma dada época
- ✓ Sincronizar os relógios dos satélites com o tempo GPS
- ✓ Determinar parâmetros ionosféricos
- ✓ Controlar as manobras de substituição e de correcção das órbitas
- ✓ Actualizar a mensagem de navegação
- ✓ Enviar os dados necessários aos satélites

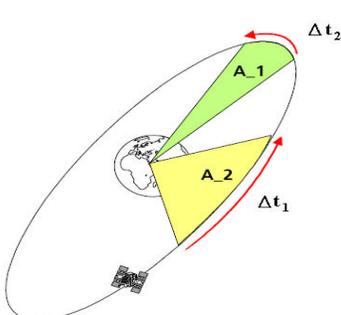
Os dados recolhidos nas **estações de monitorização** são enviados para a **estação principal** onde são efectuados os cálculos necessários à actualização da mensagem de navegação. Os dados actualizados são enviados periodicamente para as **estações de transmissão** que posteriormente os enviam para os satélites.

GNSS

Órbitas



1ª lei de Kepler: os satélites descrevem órbitas elípticas, ocupando o centro de massa da Terra um dos focos



2ª lei de Kepler: os satélites “varrem” áreas iguais em intervalos de tempo iguais, isto é, se $\Delta t_1 = \Delta t_2$ então $A_1 = A_2$

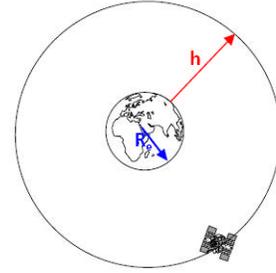
GNSS

Órbitas

3ª lei de Kepler: o quadrado do período orbital de um satélite é proporcional ao cubo do semieixo maior da respectiva órbita.

Da 3ª lei de Kepler pode deduzir-se que:

$$h = \sqrt[3]{3,9860042 \cdot 10^{14} \cdot \left(\frac{P}{2\pi}\right)^2} - R_e \quad [\text{m}]$$



em que P é o período orbital, R_e é o raio da Terra e h é a altitude orbital.

GNSS

Sistema

Segmento de controlo

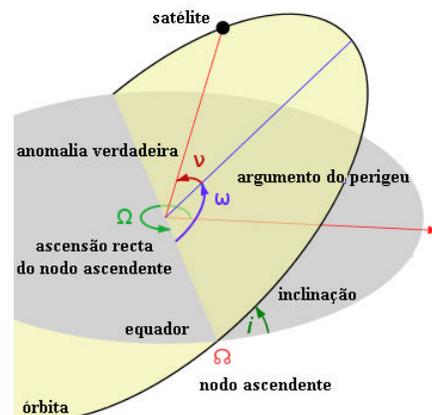
O problema de **determinação de órbitas** consiste em obter os seis elementos orbitais: inclinação (i), argumento de perigeu (ω), ascensão recta do nodo ascendente (Ω), semi-eixo maior (a), excentricidade (e) e anomalia verdadeira (T) a partir de um mínimo de seis observações independentes, posições ou velocidades (este problema é o inverso do **cálculo de efemérides**, onde a partir do conhecimento dos elementos de órbita se calculam a posição e a velocidade do satélite ao longo do tempo).

A observação (**rastreio**) do satélite efectua-se a partir de estações sobre a superfície terrestre, obtendo-se coordenadas topocêntricas; estas coordenadas são transformadas para um sistema mais conveniente para o estabelecimento das equações (sistema equatorial geocêntrico).

GNSS

Órbitas

Os parâmetros que descrevem a posição do satélite no espaço ao longo do tempo são a **excentricidade** (e), o **semi-eixo maior** (a), a **inclinação** (i), a **ascensão recta do nodo ascendente** (Ω), o **argumento do perigeu** (ω) e a **anomalia verdadeira** (v) ou a anomalia média (M) ou o movimento médio (n) ou o instante de passagem no perigeu (T).



6 elementos de órbita, seriam suficientes para a descrição do movimento do satélite **se não existissem perturbações**

GNSS
Órbitas

\vec{F}_{Sol} : efeito gravitacional do Sol

\vec{F}_{Lua} : efeito gravitacional da Lua

\vec{F}_{atrito} : atrito atmosférico

\vec{F}_C : atracção gravitacional geocêntrica

$\vec{F}_{pres. rad. solar}$: pressão da radiação solar

\vec{F}_{nc} : atracção gravitacional não geocêntrica

GNSS
Órbitas

• 16 PARAMETERS
• NEW VALUES EACH HOUR

M_0	Mean anomaly
Δn	Mean motion difference
e	Eccentricity
\sqrt{a}	$\sqrt{\quad}$ of semi-major axis
Ω_0	Right ascension parameter
i_0	Inclination at reference time t_{oe}
ω	Argument of perigee
$\dot{\Omega}$	Rate of right ascension
\dot{i}	Rate of inclination
C_{uc}, C_{us}	Corrections to argument of latitude
C_{rc}, C_{rs}	Corrections to orbital radius
C_{ic}, C_{is}	Corrections to inclination
t_{oe}	Ephemeris reference time

16 elementos de órbita no caso de um movimento perturbado

GNSS

Órbitas

As **efemérides** de um satélite são uma descrição matemática da sua órbita: a partir do conhecimento preciso dos parâmetros orbitais, é possível calcular em cada instante a posição exacta do satélite.

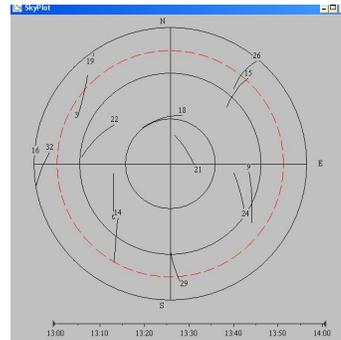
A informação orbital com menor exactidão é designada por **almanaque**; a partir desta informação e da determinação aproximada de respectiva posição e tempo, o receptor calcula quais são os satélites que se encontram acima do horizonte local.

Cada satélite emite as respectivas efemérides, assim como os almanques de todos os satélites da constelação.

```

***** Week 424 almanac for PRN-01 *****
ID: 01
Health: 000
Eccentricity: 0.6912231445E-002
Time of Applicability(s): 405504.0000
Orbital Inclination(rad): 0.9911766052
Rate of Right Ascen(r/s): -0.7417838788E-008
SQRT(A) (m 1/2): 5153.549316
Right Ascen at Week(rad): -0.1640348434E+000
Argument of Perigee(rad): -1.812852621
Mean Anom(rad): -0.1197433472E+000
AFO(s): 0.1583099365E-003
AFL(s/s): 0.3637978807E-011
week: 424
    
```

almanaque



GNSS

Órbitas

constantes

- constante de gravitação $\mu = 3.986008 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{sec}^2$
- velocidade angular média $\omega_e = 7.292115147 \times 10^{-5} \text{ rad/sec}$
- $\pi = 3.1415926535898$

anomalia verdadeira f_k

- intervalo desde a época de referência $t_k = t - t_{oe}$
- anomalia média no instante $t_k: M_k = M_o + (\sqrt{\mu}/\sqrt{a^3} + \Delta n) t_k$
- resolver a equação de Kepler iterativamente para obter a anomalia excêntrica $E_k: M_k = E_k - e \sin E_k$
- anomalia verdadeira $f_k: f_k = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{1-e^2} \sin E_k}{\cos E_k - e} \right]$

argumento de latitude u_k

raio vector r_k

inclinação i_k

$$u_k = \omega + f_k + C_{uc} \cos 2(\omega + f_k) + C_{us} \sin 2(\omega + f_k)$$

$$r_k = a(1 - e \cos E_k) + C_{rc} \cos 2(\omega + f_k) + C_{rs} \sin 2(\omega + f_k)$$

$$i_k = i_o + \dot{i} t_k + C_{ic} \cos 2(\omega + f_k) + C_{is} \sin 2(\omega + f_k)$$

longitude do nodo ascendente λ_k

$$\lambda_k = \Omega_o + (\dot{\Omega} - \omega_e) t_k - \omega_e t_{oe}$$

coordenadas no sistema terrestre convencional

$$\begin{bmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \end{bmatrix} = R_3(-\lambda_k) R_1(-i_k) R_3(-u_k) \begin{bmatrix} r_k \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Efemérides



Posição

GNSS

Órbitas

A mensagem de navegação, transmitida por cada satélite à taxa de 50 bits por segundo, contém a seguinte informação:

- O tempo do relógio do satélite e sinais de sincronização
- Informação orbital precisa (efemérides)
- Dados orbitais aproximados de toda a constelação (almanaque)
- Correções para o cálculo do tempo de percurso
- Dados sobre a ionosfera
- Informação sobre o estado de cada satélite

GNSS

Órbitas

TABLE A4 NAVIGATION MESSAGE FILE - DATA RECORD DESCRIPTION		
UBD. RECORD	DESCRIPTION	FUNCTION
PRN / EPOCH / SV CLK	- Satellite PRN number	I2,
	- Epoch: Toc - Time of Clock	
	year (2 digits)	513,
	month	
	day	
	hour	
	minute	
	second	F5.1,
	- SV clock bias (seconds)	3D19.12
	- SV clock drift (sec/sec)	
	- SV clock drift rate (sec/sec ²)	
BROADCAST ORBIT - 1	- TOC Issue of Data, Ephemeris	3X, 4D19.12
	- Crc (meters)	
	- Delta n (radians/sec)	
	- Delta n (radians)	
	- MO	
BROADCAST ORBIT - 2	- Crc	3X, 4D19.12
	- # Eccentricity (radians)	
	- sqrt(A) (sqrt(mi))	
BROADCAST ORBIT - 3	- Toc Time of Ephemeris	3X, 4D19.12
	- Crc (sec of GPS week)	
	- Omega (radians)	
	- Omega (radians)	
	- Omega DOT (radians/sec)	
BROADCAST ORBIT - 4	- I0 (radians)	3X, 4D19.12
	- Crc (meters)	
	- Omega (radians)	
	- Omega DOT (radians/sec)	
BROADCAST ORBIT - 5	- I00T (radians/sec)	3X, 4D19.12
	- Code on L2 channel	
	- GPS Week # (to go with TOE)	
	- Continuous number, not mod(1024)!	
	- L2 P data flag	
BROADCAST ORBIT - 6	- SV accuracy (M2B only)	3X, 4D19.12
	- SV health (M2B only)	
	- TOE	
	- TOC Issue of Data, Clock	
BROADCAST ORBIT - 7	- Transmission time of message	3X, 4D19.12
	- sec of GPS week, derived &2,	
	from 6-count in Hand Over Word (HOW)	
	- spare	
	- spare	
	- spare	

```

6 90 8 2 17 51 44.0 - .839701386031D-03 - .165982763074D-10 .00000000000D+00
.91000000000D+02 .93406250000D+02 .116040587640D-08 .162092304601D+00
.464101474635E-05 .62674018375E-02 .824112086782D-05 .515358589910E+04
.40990400000D+06 -.24214389400D-07 .329237003460D+00 -.596046447754D-07
.111541663126D+01 .32659375000D+03 .206958726335D+01 -.63831202655D-08
.307135631409E-09 .0000000000D+00 .85400000000D+03 .0000000000D+00
.0000000000D+00 .0000000000D+00 .0000000000D+00 .91000000000D+02
.42699000000D-06
13 90 8 2 19 0 0.0 .490025617182D-03 .204636307899D-11 .00000000000D+00
.13300000000D+03 -.96312500000D+02 .146970407622D-08 .292961152146D+01
-.498816370944E-05 .200239147760D-02 .928156077842D-05 .515328476143D-04
.41400000000D+06 -.279396772385D-07 .243031939942D+01 -.558793544769D-07
.110192796930D+01 .27118750000D+03 -.232757915425D+01 -.619632959057D-08
-.765747015231E-11 .0000000000D+00 .85100000000D+03 .0000000000D+00
.0000000000D+00 .0000000000D+00 .0000000000D+00 .39900000000D+03
.41040000000D+06
    
```

Mensagem de navegação

GNSS	Observáveis
<p>O sinal GPS é constituído por diversos elementos: códigos, dados e ondas portadoras. Para comunicação com o segmento dos utilizadores são utilizados códigos modulados em duas ondas portadoras L_1 e L_2, ambas derivadas da frequência fundamental $f_0 = 10.23\text{MHz}$; (para a comunicação com as estações de monitorização e para a injeção de dados são ainda utilizadas as frequências de 1783.74 MHz e 2227.5 MHz; uma outra frequência, de 1381.05 MHz é usada para fins militares).</p>	

GNSS	Observáveis
<p>✓ Códigos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - C/A (<i>Coarse Aquisition</i> ou <i>Clear Access</i>) código PRN de 1023 dígitos binários de frequência $f_{C/A} = 0.1f_0 = 1.023\text{ MHz} = 1.023\text{ Mbits/s}$ ($\lambda = 293.05\text{ m}$); - P (<i>Precise</i> ou <i>Protected</i>) código PRN de 2.34×10^{14} dígitos binários, de frequência $f_P = f_0 = 10.23\text{ MHz} = 10.23\text{ Mbits/s}$ ($\lambda = 29.31\text{ m}$), sequência de período de 267 dias de duração, divididos em 7 dias, com reinicialização às 0h de domingo; - D (<i>Navigation Message</i>) código PRN de 1500 dígitos binários, de frequência $f_D = 50\text{ Hz} = 50\text{ bits/s}$; <p>✓ Ondas portadoras:</p> <ul style="list-style-type: none"> - L1 (Link 1) de frequência $f_{L1} = 150 f_0 = 1575.42\text{ MHz}$ ($\lambda = 19.05\text{ cm}$); - L2 (Link 2) de frequência $f_{L2} = 120 f_0 = 1227.60\text{ MHz}$ ($\lambda = 24.45\text{ cm}$); 	

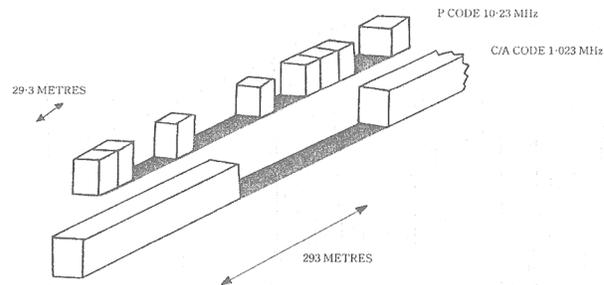
GNSS

Observáveis

Os códigos têm características de **ruído pseudo-aleatório**, isto é, são sequências de 0's e 1's que parecem ter características aleatórias mas que podem ser identificados sem ambiguidade pelo receptor. **Cada satélite tem um código C/A próprio**, permitindo a identificação do satélite emissor; a sua pequena extensão permite ao receptor sintonizar rapidamente com os diversos satélites de quem está a receber sinal, facilitando assim a transição para a aquisição do código P, bastante mais longo.

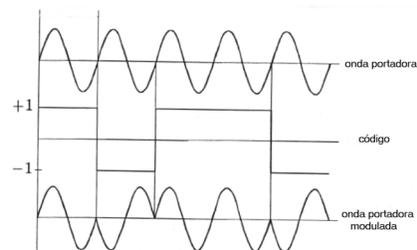
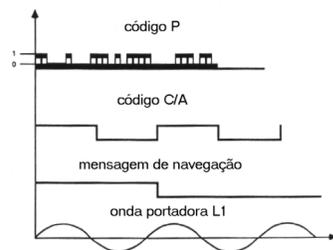
Cada segmento de 7 dias de duração do **código P** é atribuído a um satélite diferente, de modo a que cada satélite seja identificado pelo respectivo código.

Utilizando a técnica de multiplexagem por divisão de código, é possível que todos os satélites partilhem a mesma frequência.

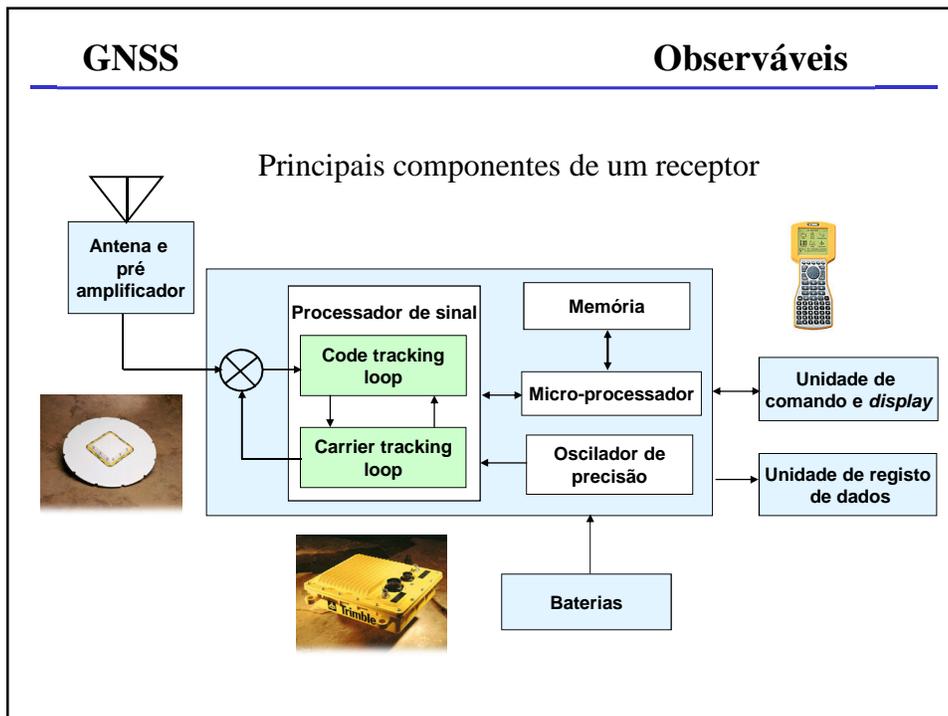
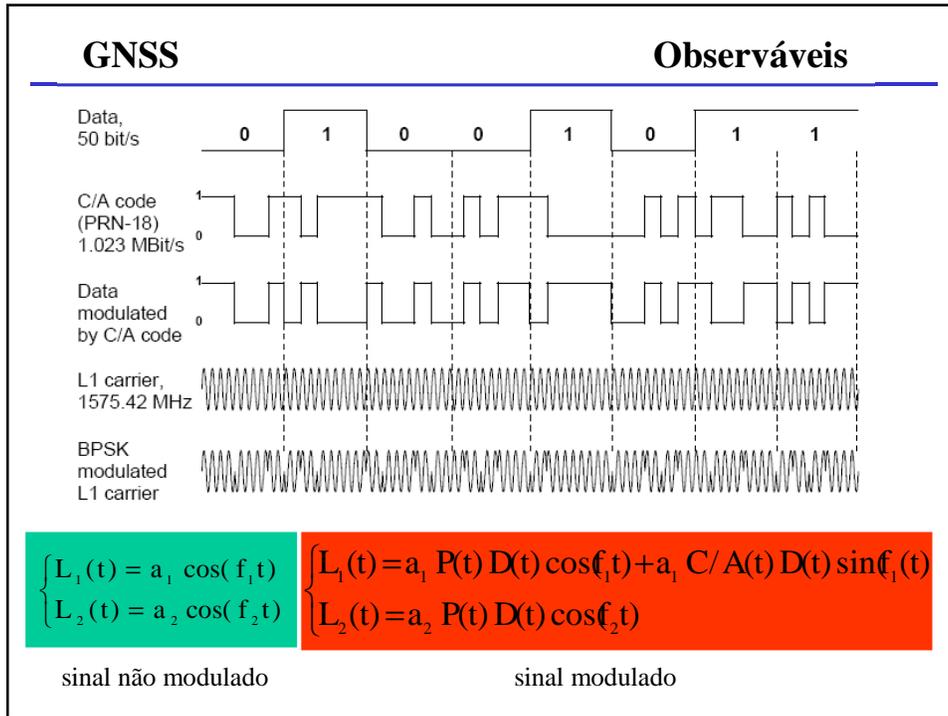


GNSS

Observáveis



Modulação em fase, utilizada para transportar a informação sob a forma dos códigos



GNSS**Observáveis**

O primeiro objectivo de um receptor GPS é recolher sinal suficiente emitido pelos satélites. As **antenas** são concebidas para receber todos os sinais dentro da banda relevante de frequências, devendo o receptor distinguir a informação que interessa do ruído. Através de uma pré-amplificação na antena, “estimula-se” o sinal antes de ser enviado através de um cabo para o interior do receptor. O **ganho da antena** é um parâmetro importante, pois determina a concentração do sinal de chegada, a fim de melhorar a qualidade da recepção e de forma a não provocar saturação).

GNSS**Observáveis**

Após os sinais serem captados pela antena, são direccionados para um circuito electrónico chamado **canal**, que reconhece os sinais de diferentes satélites. Um receptor com um único canal lê o sinal de cada satélite sucessivamente, até receber os sinais de todos os satélites disponíveis, utilizando uma técnica chamada "time multiplexing" (leva menos de um segundo para processar os dados e calcular a posição). **Um receptor com mais de um canal é mais rápido, pois os dados são processados simultaneamente.**

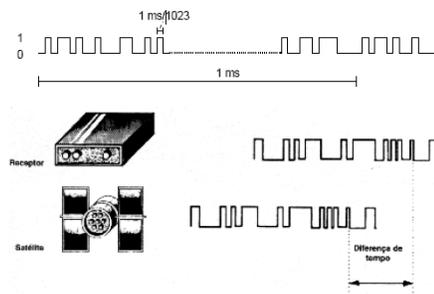
GNSS	Observáveis
R E C E P T O R E S	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Código (navegação, posicionamento absoluto e diferencial) ✓ Código e fase (navegação e posicionamento relativo de precisão) ✓ Fase (apenas para posicionamento relativo) ✓ Antena: - mono frequência (C/A e L1) - dupla frequência (L1 e L2) - <i>shock ring</i> ou com prato (geodésicas) ✓ Canais – vias de comunicação que conduz o sinal da antena ao receptor mono frequência – 8 a 12 canais dupla frequência – 18 canais ↔ 2 sinais x 9 satélites

GNSS	Observáveis
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>Pseudo-distância – tempo de percurso do sinal, desde o satélite até ao receptor, medido a partir do desfazamento do código PRN (C/A ou P) e convertido em distância.</p> </div> <p>(é assim denominada em razão do não sincronismo entre os relógios responsáveis pela geração do código no satélite e sua réplica no receptor)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>Fase de batimento da onda portadora – diferença de fase entre a fase do sinal gerado no receptor e a fase do sinal proveniente do satélite.</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Desvio Doppler</p> </div>

GNSS

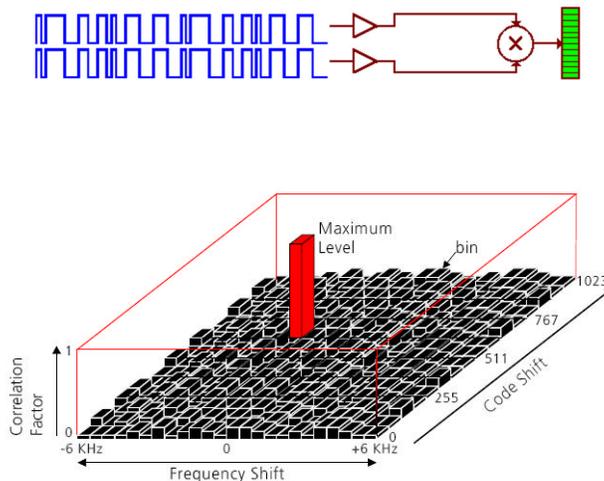
Observáveis

Cada satélite GPS emite a informação com uma “assinatura” única, consistindo em códigos pseudo-aleatórios (PRN): o código C/A com **frequência de emissão de 1.023 MHz** e **período de repetição de 1 ms** e o código P com **frequência de emissão de 10.23 MHz** e **período de repetição de 37 semanas**. Todos os satélites emitem na mesma frequência mas com códigos C/A diferentes, sendo a identificação dos satélites e a recuperação da informação efectuados através da correlação sinal-réplica.



GNSS

Observáveis

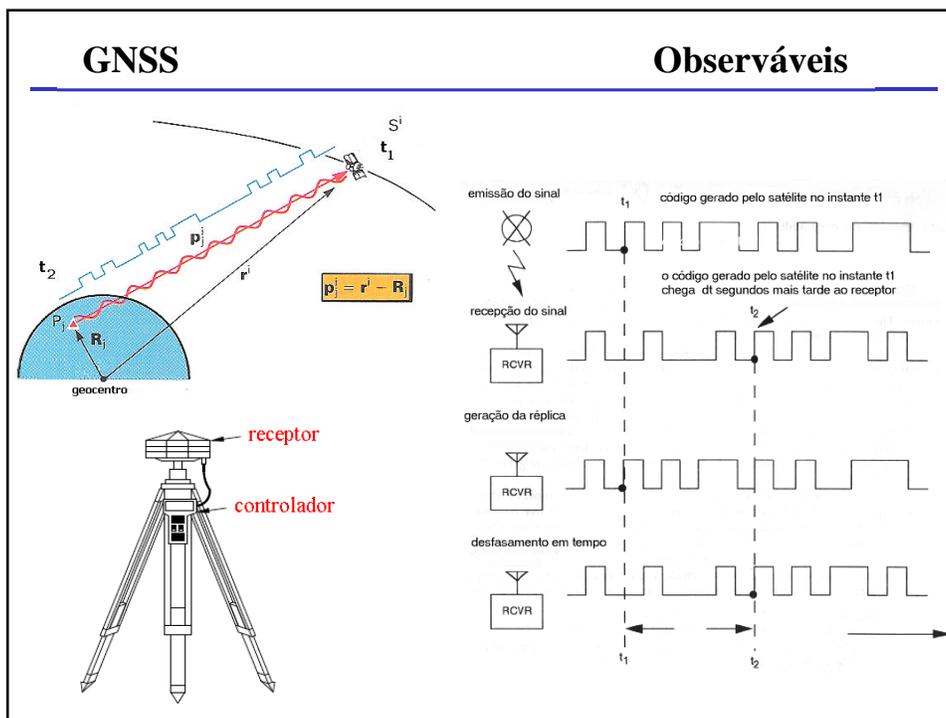


GNSS

Observáveis

Uma incorrecção de $1 \mu\text{s} = 10^{-6}\text{s}$ na medição do intervalo de tempo de percurso traduz-se num erro de 300 m na posição. A **pseudo-distância** é a distância medida entre o receptor e um satélite usando medidas sobre o **código** modulado nas ondas portadoras. Como **os relógios do receptor e do satélite não estão sincronizados**, o valor obtido não conduz à determinação da distância geométrica entre ambos, sendo por esta razão designada por pseudo-distância.

A **pseudo-distância R com código** é determinada pelo receptor através da geração de uma **réplica** do sinal emitido pelo satélite, que é comparada com o sinal recebido de tal forma que a **translação em tempo** que é necessário aplicar à réplica para se verificar uma coincidência (correlação máxima) traduz o **intervalo de tempo de percurso do sinal**, que multiplicado pela velocidade de propagação da onda fornece a distância ao satélite.



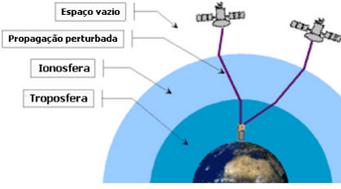
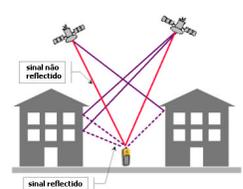
GNSS	Observáveis
<p>Se por um lado o relógio do receptor não está sincronizado com o relógio dos satélites, os relógios dos satélites também não estão sincronizados com o tempo GPS.</p> <p>Seja t^S a leitura do relógio do satélite no instante de emissão e t_R a leitura do relógio do receptor no instante de recepção; se as dessincronizações dos relógios relativamente ao tempo GPS forem representados por δ^S e por δ_R, a diferença entre as leituras é equivalente à translação em tempo que faz coincidir os sinais do satélite e do receptor durante o processo de correlação dos códigos. Assim:</p> <p>$\Delta t = t_R - t^S = (t_{R(GPS)} + \delta_R) - (t_{(GPS)}^S + \delta^S) = (t_{R(GPS)} - t_{(GPS)}^S) + (\delta_R - \delta^S) = \Delta t_{(GPS)} + \Delta \delta$</p> <p>onde</p> $\Delta t_{(GPS)} = t_{R(GPS)} - t_{(GPS)}^S \quad \text{e} \quad \Delta \delta = \delta_R - \delta^S.$	

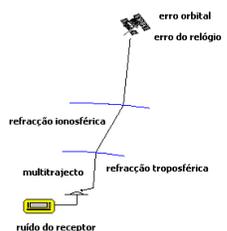
GNSS	Observáveis
<p>O desvio δ^S do relógio do satélite pode ser modelado através de um polinómio cujos coeficientes são transmitidos na mensagem de navegação; assumindo que a correcção δ^S é aplicada (e portanto a partir daí $\delta^S=0$), $\Delta \delta = \delta_R$. Então, o intervalo de tempo Δt multiplicado pela velocidade de propagação da radiação electromagnética fornece a equação da pseudo-distância R com código: $R = c \Delta t = c \Delta t_{(GPS)} + c \Delta \delta = \rho + \Delta \rho = \rho + c \delta_R$.</p>	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> </div> <div style="flex: 1; border: 1px solid green; background-color: #e0f2f1; padding: 5px; margin-left: 10px;"> $R = c \Delta t = \rho + c \delta_R \Rightarrow \rho = R - c \delta_R$ </div> </div> <p style="text-align: right; color: red; font-weight: bold; margin-top: 10px;">É suficiente uma época de observações para a determinação de R</p>	

GNSS

A este desfazamento dos relógios do receptor e dos satélites juntam-se erros relacionados com o atraso do sinal no percurso através da atmosfera terrestre (atraso ionosférico e atraso troposférico), erros nas efemérides do satélite, efeitos do multitrajecto e ruído provocado pelo hardware.

Observáveis



$$R = \rho + c \delta_R + \delta_{ion} + \delta_{trop} + \epsilon$$

GNSS

A **filosofia original** do sistema GPS baseava-se na determinação da distância receptor-satélites através da medição do intervalo de tempo de percurso dos códigos emitidos em simultâneo por todos os satélites. Esses códigos (C/A e P) são transportados em modulação de fase em duas ondas portadoras L_1 e L_2 , que serviam inicialmente apenas para esse efeito. Mais tarde verificou-se que após a recepção dos sinais no receptor, quando a informação dos códigos é retirada das ondas portadoras por um processo inverso ao da modulação, essas ondas adquirem novamente as propriedades de ondas sinusoidais, nas quais é possível efectuar medições de diferenças de fase.

Observáveis

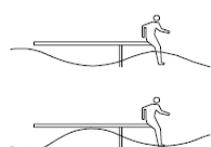


ilustração da fase de uma onda

GNSS

Observáveis

A geodesia por satélite baseia-se em dados transmitidos a partir de satélites através de ondas electromagnéticas, **continuamente** geradas por um oscilador; durante a propagação do sinal, a respectiva intensidade diminui com o aumento da distância. Alguns parâmetros (juntamente com os símbolos e dimensões) que descrevem o comportamento das ondas electromagnéticas são apresentados na tabela seguinte:

frequência circular	f	ciclo s ⁻¹
fase	Φ	ciclo
comprimento de onda	λ	m ciclo ⁻¹
período	P	m s ⁻¹

$$c=299792458 \text{ ms}^{-1}$$

$$f=2\pi/P=c/\lambda$$

GNSS

Observáveis

A **frequência** circular instantânea f é definida como a **derivada da fase Φ em relação ao tempo**, isto é,

$$f = \frac{d\Phi}{dt}$$

Integrando a frequência entre as épocas t_0 e $t=t_0+\delta t$, vem:

$$d\Phi = f dt \Rightarrow \int_{\Phi(t_0)=\Phi_0}^{\Phi(t)=\Phi} d\Phi = \int_{t_0}^{t_0+\delta t} f dt \Rightarrow \Phi - \Phi_0 = \int_{t_0}^{t_0+\delta t} f dt$$

Supondo f = constante, $t_0 = 0$ e $\Phi_0 = 0$, a fase do sinal no receptor no instante $t=t_0+\delta t$, sendo δt o intervalo de tempo de percurso do sinal, **$\Phi_R(t) = f \delta t = f \rho/c$** .



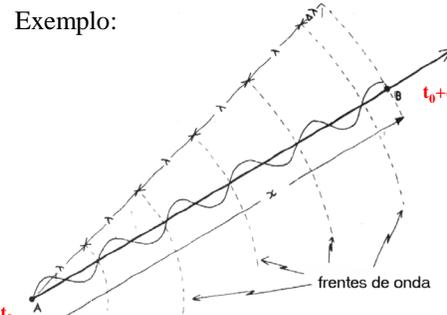
GNSS

Observáveis

Exemplo: considerando uma onda electromagnética com frequência $f=1.5 \text{ GHz}$, a respectiva fase numa antena à distância $\rho=20000 \text{ km}$ da fonte emissora ($\delta t=0.067 \text{ s}$), utilizando para a velocidade de propagação o valor $c=300000 \text{ km/s}$ é:

$$\Phi = f \frac{\rho}{c} = 1.5 \times 10^9 \text{ ciclos/s} \frac{20000 \text{ km}}{300000 \text{ km/s}} = 10^8 \text{ ciclos.}$$

Exemplo:



fase entre A e B:
 $\Phi = 5 \text{ ciclos de } 2\pi \text{ rad} + \Delta\Phi$

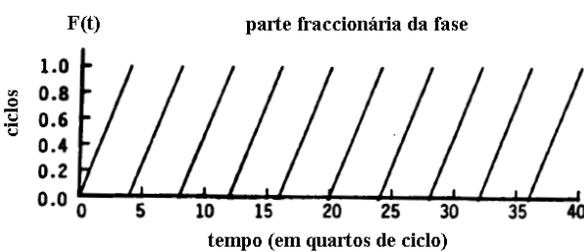
distância entre A e B: $\rho = \lambda \Phi$

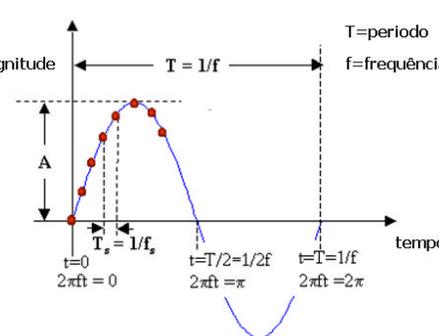


GNSS

Observáveis

F(t) parte fraccionária da fase





$\lambda_1 = 19.05 \text{ cm}$
 $\lambda_2 = 24.45 \text{ cm}$

Por **parte fraccionária da fase** da onda portadora, $F(t)$, entende-se a localização da oscilação cíclica no instante t ; por exemplo, para $t=1$, $F(t)=0.25$ ciclos ou 90° , para $t=6$, $F(t)=0.5$.

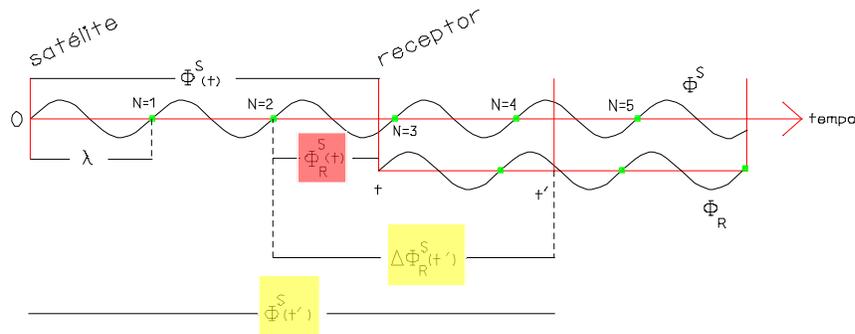
A diferença de fase da onda portadora pode ser medida pelo menos até **0.01** de um ciclo, o que corresponde a uma precisão milimétrica.

GNSS

Observáveis

Ligando o receptor no instante t , a fase de batimento $\Phi_R^S(t)$ começa a ser medida, sendo a ambiguidade inteira N^t **desconhecida**;

de $\rho(t) = \Phi^S(t)\lambda = (N^t + \Phi_R^S(t))\lambda$, tem-se portanto que não é possível determinar a distância entre o satélite e o receptor na **época** t .



GNSS

Observáveis

Sejam $\Phi^S(t)$ a fase da onda portadora recebida e reconstruída no receptor no instante t , com frequência f^S , e $\Phi_R(t)$ a fase da onda gerada no receptor, com frequência f_R , onde t é a época em tempo GPS, tendo-se:

$$\Phi^S(t_R) = f^S \delta t_R^S + f^S \delta_{\text{relógio}}^R = f^S \frac{\rho_R^S}{c} + f^S \delta_{\text{relógio}}^R$$

$$\Phi^S(t_R) = N^t + \Phi_R^S(t_R)$$

onde $\delta_{\text{relógio}}^R$ é o **erro do relógio do receptor** $\Phi_R^S(t_R)$ a **frequência de batimento** (diferença de fase em unidades de ciclo entre o sinal recebido do satélite e a réplica gerada no receptor, uma **função cumulativa** dos ciclos inteiros da onda produzida desde t_R) e N^t é a **ambiguidade inteira** (que representa o número de ciclos ou comprimentos de onda correspondentes ao percurso do sinal, desde o satélite até ao receptor no instante relativo à época t inicial).

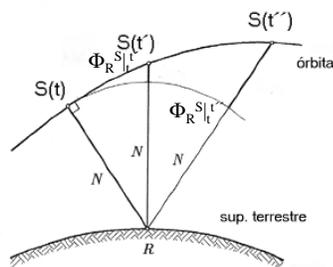
GNSS

Observáveis

A partir do instante t , é registado o número inteiro de ciclos decorridos desde aí (**intervalo de tempo**) e a respectiva parte fraccionária de ciclo. Mantendo o receptor ligado sem perda de sinal, o valor de N^t não sofre alteração e num instante t' posterior tem-se:

$$\Phi^S(t') = N^t + \Phi_R^S|_{t'}^{t'}$$

onde $\Phi_R^S|_{t'}^{t'}$ é igual à fase de batimento medida entre os instantes t e t' .



Interpretação geométrica da diferença de fase acumulada

GNSS

Observáveis

Considerando conjuntamente as equações

$$\Phi^S(t'_R) = f^S \frac{\rho'_R}{c} + f^S \delta^R_{\text{relógio}}$$

$$\Phi^S(t'_R) = N^t + \Phi_R^S|_{t'_R}^{t'_R}$$

tem-se:

$$N^t + \Phi_R^S|_{t'_R}^{t'_R} = f^S \frac{\rho'_R}{c} + f^S \delta^R_{\text{relógio}}$$

ou

$$N^t = \frac{1}{\lambda^S} \left(\frac{\lambda^S f^S}{c} \rho'_R + \lambda^S f^S \delta^R_{\text{relógio}} \right) - \Phi_R^S|_{t'_R}^{t'_R}$$

ou

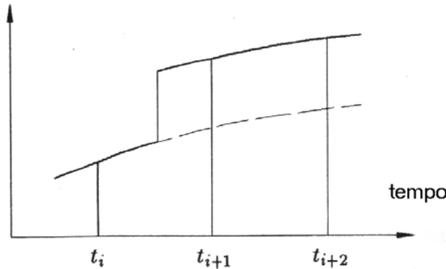
$$N^t = \frac{1}{\lambda^S} (\rho'_R + c \delta^R_{\text{relógio}}) - \Phi_R^S|_{t'_R}^{t'_R} = \frac{R'^S}{\lambda^S} - \Phi_R^S|_{t'_R}^{t'_R}$$

onde ρ' e $R' = \rho' + c\Delta\delta'$ representam a distância geométrica e a pseudo-distância com código relativas ao instante t' considerado, de onde se tira N^t e portanto ρ' pois λ é conhecido, $\Phi_R^S|_{t'}^{t'}$ é medido e R' é calculado.

GNSS

Observáveis

A ambiguidade é única para cada par satélite-receptor, desde que a contagem dos ciclos não seja interrompida (se tal acontecer dá-se um salto de ciclo). Quando há perda momentânea do sinal do satélite, é introduzida uma nova ambiguidade.



salto de ciclo

GNSS

Nomenclatura dos ficheiros

HEADER LABEL	DESCRIPTION	FORMAT
REMARKS	Remarks	16,160
REMARKS / TYPE	- File type (P/O for Observation Data) - Satellite System (L1/L2 for GPS) - GPS Pseudorange (P) - GPS Phase (O)	A1,19Z A1,19Z A1,19Z
PRN / RUN BY / DATE	- Name of receiver - Name of agency operating current run - Date of file creation	A20 A20 A20
COMMENT	Comment line(s)	A60
MARKER NAME	Name of antenna marker	A60
MARKER NUMBER	Number of antenna marker	A20
OBSERVER / AGENCY	Name of observer / agency	A10,A40
REC # / TYPE / VERS	Receiver number, type, and version (Version: e.g. Universal Software Version)	3A20
ANT # / TYPE	Antenna number and type	3A20
ANTPOZ POSITION (M)	Antenna marker position (meters)	3F14.4
ANTENNA: DELTA H/E/N	- Antenna height: height of bottom surface of antenna above marker - Eccentricities of antenna center relative to marker in the east and north (all units in meters)	3F14.4
WAVELENGTH FACT L1/L2	- Wavelength factors for L1 and L2 1) Full cycle ambiguities 2) Half cycle ambiguities (squaring) 3) L1 and L2 cycle ambiguity increment - Number of satellites in orbit for which these factors are valid. 0 = blank; default wavelength factors for all satellites not contained in run & list. - List of PRN (satellite numbers with system identifier)	216, 16, 130(A,1,1)

# / TYPES OF OBSERV	- Number of different observation types stored in the file - Observation types If more than 9 observation types: Use continuation line(s)	16, 9(4X,A2) 6X,9(4X,A2)
INTERVAL	- Observation interval in seconds	16
TIME OF FIRST OBS	- Time of first observation record (4-digit year, month, day, hour, min, sec) - Time system: GPS (=GPS time system) - Default: GPS for pure GPS files - Default: GPS for pure GLOMARS files	516,F12.6, 6X,A3
TIME OF LAST OBS	- Time of last observation record (4-digit year, month, day, hour, min, sec) - Time system: GPS (=GPS time system) - Default: GPS for pure GPS files - Default: GPS for pure GLOMARS files	516,F12.6, 6X,A3
LEAP SECONDS	- Number of leap seconds since 01-Jan-1980 Recommended for mixed GPS/GLOMARS files	16

Header do ficheiro de observações

# OF SATELLITES	Number of satellites, for which observations are stored in the file	16
PRN / # OF OBS	PRN (sat. number), number of observations for each observation type indicated in the # TYPES record. If more than 9 observation types: Use continuation line(s)	3X,A1,12,126 6X,916
END OF HEADER	Last record in the header section.	60X

Records marked with * are optional

GNSS

Nomenclatura dos ficheiros

TABLE A2 OBSERVATION DATA FILE - DATA RECORD DESCRIPTION		
OBS. RECORD	DESCRIPTION	FORMAT
EPOCH/SAT	Epoch / Year (2 digits), month, day, hour, min, sec	13, F11.7,
EVENT FLAG	Epoch flag 0: OK 1: power failure between previous and current epoch >1: Event flag - Number of satellites in current epoch - List of PRNs (sat. numbers with system identifier, see §.1.) in current epoch - Receiver clock offset (seconds, optional) If more than 12 satellites: Use continuation line(s) If EVENT FLAG record (epoch flag > 1): - Event flag: 1: start moving antenna 2: new site occupation (end of kinem. data) (at least MARKER NUMBER record follows) 4: header information follows 5: external event (epoch is significant, same time frame as observation time tags) 6: cycle slip records follow to optionally report detected and repaired cycle slips (same format as OBSERVATIONS records; slip instead of observation; LLI and signal strength blank) - "Number of satellites" contains number of records to follow (0 for event flags 2,5)	13, 12(A1,12), F12.9 32X, 12(A1,12)
OBSERVATIONS	Observation LLI	m(F14.), 11,

Header do ficheiro de observações

- Signal strength | as given in header) | 11)
If more than 5 observation types (≠0 char): continue observations in next record.
This record is (these records are) repeated for each satellite given in EPOCH/SAT - carrier.
Observations:
Phase : Units in whole cycles of carrier
Code : Units in meters
Missing observations are written as 0.0
or blanks
Loss of lock indicator (LLI). Range: 0-7
0 or blank: OK or not known
bit 0 set : Lost Lock between previous and current observation: cycle slip possible
bit 1 set : Opposite wavelength factor to the one defined for the satellite by a previous WAVELENGTH FACT 1/2 line. Valid for the current epoch only.
bit 2 set : Observation under Antispoofing (may suffer from increased noise)
bits 0 and 1 for phase only.
Signal strength protected into interval 1-9:
1: minimum possible signal strength
5: threshold for good S/N ratio
9: maximum possible signal strength
0 or blank: not known, don't care

GNSS

Nomenclatura dos ficheiros

```

2 10 OBSERVATION DATA G 0099 05 07 00:01 RINEX VERSION / TYPE
SPIDER 01 5.0.1560 MARKER NUMBER
FOU1 MARKER NUMBER
FOU1 MARKER NUMBER
80162 LEICA RS500 5.00/1.39
959 LIAISON NONE ANT # TYPE VERS
4516949 1981 -792574 4824 3971367 6329 APPROX POSITION XYZ
0 0.0000 ANTENNA DELTA U-M
0 0.0000 WAVELENGTH FACT L1
1 1 WAVELENGTH FACT L2
30 000 00 00 00 00000000 TIME OF FIRST OBS
2009 05 06 23 55 30 00000000 TIME OF LAST OBS
15 15 LEAP SECONDS
G 2 836 836 820 820 PRN # OF SATELLITES
G 3 806 806 804 804 PRN # OF OBS
G 4 883 883 882 882 PRN # OF OBS
G 6 844 844 844 844 PRN # OF OBS
G 9 870 870 868 868 PRN # OF OBS
G 8 724 724 713 713 PRN # OF OBS
G 9 807 807 806 806 PRN # OF OBS
G10 717 717 716 716 PRN # OF OBS
G11 817 817 815 815 PRN # OF OBS
G12 750 750 759 759 PRN # OF OBS
G13 694 694 693 693 PRN # OF OBS
G14 893 893 890 890 PRN # OF OBS
G15 797 797 795 795 PRN # OF OBS
G16 767 767 755 755 PRN # OF OBS
G17 884 884 882 882 PRN # OF OBS
G18 938 938 928 928 PRN # OF OBS
G19 883 883 882 882 PRN # OF OBS
G20 782 782 781 781 PRN # OF OBS
G21 842 842 836 836 PRN # OF OBS
G22 924 924 920 920 PRN # OF OBS
G23 653 653 652 652 PRN # OF OBS
G24 940 940 937 937 PRN # OF OBS
G25 907 907 904 904 PRN # OF OBS
G26 749 749 748 748 PRN # OF OBS
G27 851 851 850 850 PRN # OF OBS
G28 940 940 933 933 PRN # OF OBS
G29 715 715 714 714 PRN # OF OBS
G30 815 815 814 814 PRN # OF OBS
G31 627 627 626 626 PRN # OF OBS
G32 727 726 726 726 PRN # OF OBS
BIT 2 OF LLI FLAGS DATA COLLECTED UNDER A-S CONDITION COMMENT
    
```

```

BIT 2 OF LLI FLAGS DATA COLLECTED UNDER A-S CONDITION COMMENT
SIN is mapped to RINEX unit file value [1-9]
L1L1L2 + 15dBm -> 1: 26-27dBm -> 2: 28-31dBm -> 3
32-35dBm -> 4: 36-38dBm -> 5: 39-41dBm -> 6
42-44dBm -> 7: 45-48dBm -> 8: 49-55dBm -> 9
Site Information:
Lisboa COMMENT
Lisboa COMMENT
Portugal-PT COMMENT
Europeistica COMMENT
END OF HEADER
09 05 06 00 00 0 00000000 0 706G1G21C24G29G30G31
23085346 921 121914317 00147 23085345 566 94530633 25748
23984006 993 11825208 24145 21984010 154 90021059 49469
21419311 376 112559243 14849 21419308 712 87708508 00349
22130380 197 11917984 94446 22130379 451 90652974 16449
22194281 312 116631829 595 0 22194279 443 90881971 151 9
23652731 082 15474608 3794 23652729 730 9465005 07947
2085252 082 14444444 37 2085251 2085252 082 344
09 05 06 00 30 00 000000 0 706G1G21C24G29G30G31
23070874 927 12120264 20447 23070873 571 94471371 98140
21971620 386 115441667 27348 21971617 494 89793128 61649
21412919 976 112526564 17949 21412917 311 87482336 34749
22147716 903 116787047 75148 22147714 144 90891208 47549
22208778 116 116708010 777 0 22208776 246 90941333 147 9
23649536 182 12494641 02846 23649534 910 94523116 52147
20905930 978 109861446 368 3 20905929 231 85606331 877 9
23056414 910 121162270 39147 23056413 547 94412160 63448
23959211 593 119340208 51646 23959210 752 89808989 37049
21406591 444 112492399 51949 21406588 773 87856422 07349
22157124 524 114264807 45346 22157121 855 90072773 24549
22222272 934 116784181 527 0 22222271 071 91000486 967 9
23684641 922 124823261 38446 23684640 726 94995179 15547
20914646 423 1098907240 948 9 20914642 717 85442015 961 9
09 05 06 00 01 00 000000 0 706G1G21C24G29G30G31
23042026 556 121086641 75347 23042024 187 94352320 57648
23464649 616 119340708 21346 23464648 898 89868082 57449
21400384 531 112459782 00049 21400381 859 87631005 83149
22246641 478 114840404 19486 22246640 726 90747871 37949
22237824 110 116860448 473 0 22237822 252 91060271 551 9
23703386 478 12000201 45946 23703385 648 97061481 94647
20923488 485 109893711 521 9 20923485 772 85678224 794 9
09 05 06 00 02 00 000000 0 706G1G21C24G29G30G31
24343073 894 127923730 72945 24343072 258 94294486 30248
23027677 628 120101262 97447 23027676 258 94294486 30248
    
```

Dados do ficheiro de observações

GNSS

Nomenclatura dos ficheiros

RINEX, de Receiver INdependent EXchange format, é um formato desenvolvido pela Universidade de Berna para a partilha da dados GPS.

Recomenda-se a utilização da convenção seguinte para a identificação dos ficheiros RINEX:

ssssdddf.yyt

ssss: 4 caracteres para designar a estação

ddd: dia do ano do primeiro registo do ficheiro

f: número de sequência em cada dia (0: o ficheiro contém os dados de todo o dia)

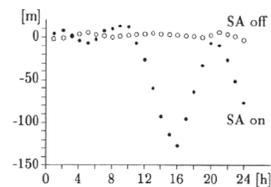
yy: ano

t: tipo (o: observações, n: navegação, m:meteorologia,g: Glonass)

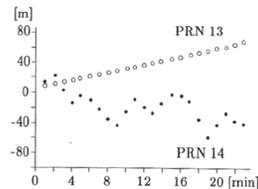
GNSS

Informação emitida

Acesso selectivo (SA): originalmente, a precisão esperada para o posicionamento absoluto com pseudo-distâncias era da ordem dos 400 m, embora este valor estivesse realmente entre 15-40 m; o SA traduz-se pela **degradação intencional da informação horária e das efemérides**.

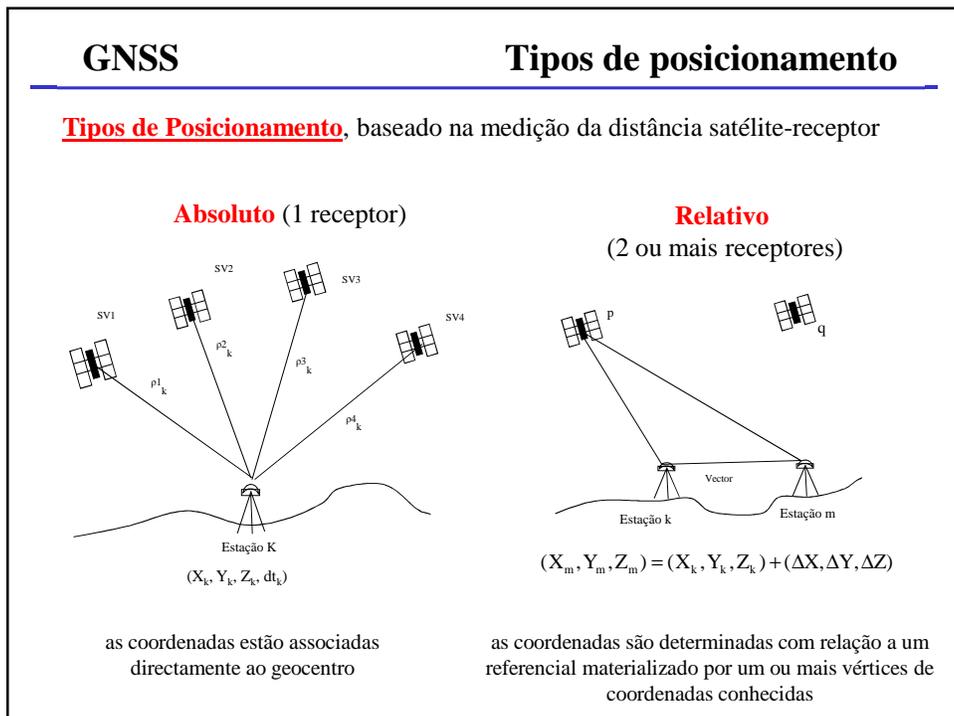
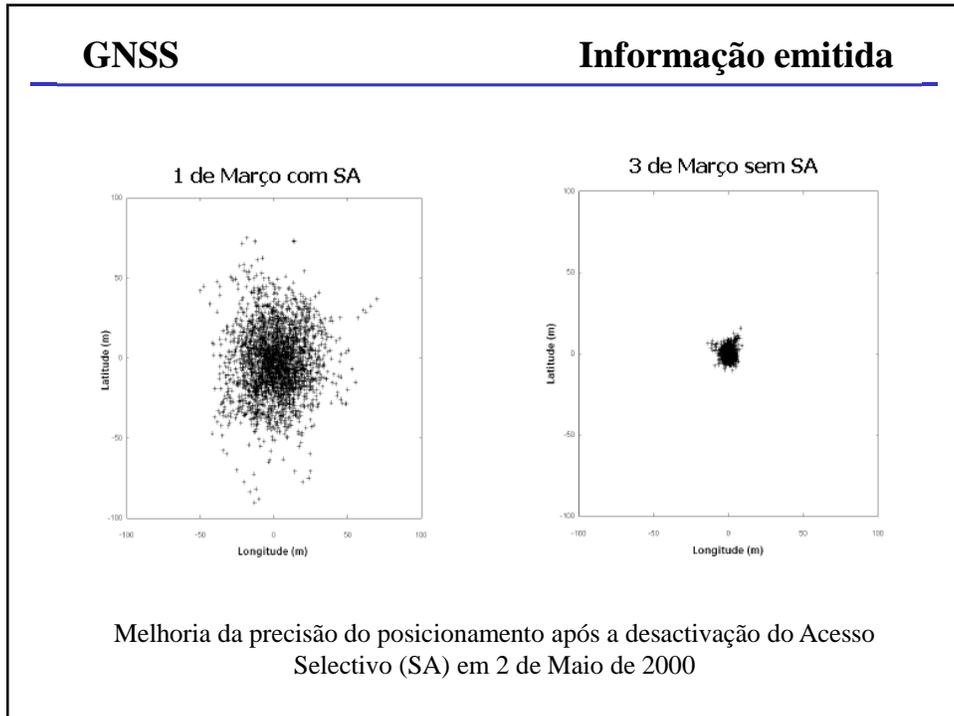


comportamento do relógio do satélite PRN 13 no dia 177 de 1992



erro radial do satélite PRN 21 no dia 177 de 1992

Anti sabotagem (AS): a concepção do sistema GPS permite **encriptar o código P**, substituindo-o pelo código desconhecido Y.



GNSS

Tipos de posicionamento

Também se pode classificar o posicionamento como em **tempo real** (as coordenadas são obtidas praticamente no momento do posicionamento em campo) ou **pós processado** (os dados são processados após a recolha no campo). Pode ainda classificar-se o posicionamento como **estático** e **cinemático**, consoante o objecto a coordenar esteja em repouso ou em movimento.

	Dinâmico (tempo real)	Estático (pós processamento)
Absoluto (1 receptor)	Navegação	Coordenação de um ponto
Relativo (>1 receptor)	Navegação relativa (com ligação radio)	Coordenação relativa de um ponto

Diferentes possibilidades para determinar a posição

GNSS

Tipos de posicionamento

Processamento em modo relativo:

- **pós-processamento** ou processamento diferido: o cálculo é realizado após a fase de recolha dos dados. A informação obtida pelas 2 antenas é transferida para um computador contendo um programa de processamento que efectua o cálculo das coordenadas dos pontos.
- **processamento em tempo real**: permite a obtenção de precisão centimétrica. Um receptor fixo, estacionado num ponto de coordenadas conhecidas, calcula em cada instante a posição em função dos sinais recebidos dos satélites e **compara** o resultado do cálculo com as coordenadas desse ponto. As diferenças obtidas são utilizadas para calcular **as correcções** que **são transmitidas** via rádio para o receptor móvel, que calcula então a respectiva posição corrigida em tempo real.

GNSS**Tipos de posicionamento**

Para além do preço (> 1 receptor), os inconvenientes do modo relativo em relação ao modo absoluto são:

- um tempo de medição mais longo
- no caso do pós-processamento, as piquetagens são impossíveis
- devido à ausência de controlo em tempo real, não é evidente a determinação do tempo de medição necessário para obter uma precisão fixada *a priori*; por esta razão há a tendência a aumentar o tempo de medição

GNSS**Tipos de posicionamento**

MODO	Aplicação	Observável	Comprimento onda/ Ruído	Precisão (com S/A)	Procedimento
Absoluto	Navegação	Pseudo-distância (C/A ou P)	300 m/1 a 3 m	100 m (C/A) 5 m (P)	1 receptor
Relativo	DGPS (diferencial)	Pseudo-distância (C/A)	300 m/1 a 3 m	1 a 15 m	2 receptores +
		Pseudo-distância (P)	30 m/10 a 30 cm	1 a 2 m	
	RTK	Fase (L1 e/ou L2)	20 cm/ 5 cm	5 cm	ligação rádio (tempo real)
	Topografia	Fase	20 cm/1 a 2 mm	1 cm (L1) 1 mm (L1 e L2)	2 receptores (pós processamento)

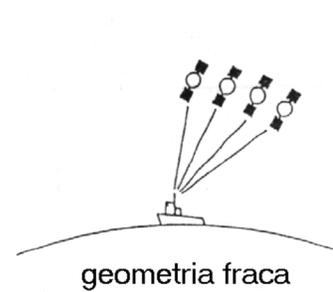
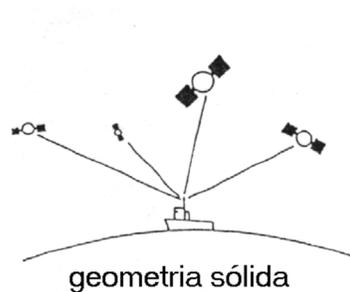
GNSS**Tipos de posicionamento**

monofrequência L1 (C/A e L1)	dupla frequência L1 e L2 (C/A e/ou P e L1+L2)
bases < 10 km	a mesma precisão para bases < 10 km indispensável para bases > 10 km
10 a 20 m obs. em modo estático	2 a 10 m obs. em modo estático rápido

Comparação dos 2 tipos de receptores

GNSS**Posicionamento absoluto**

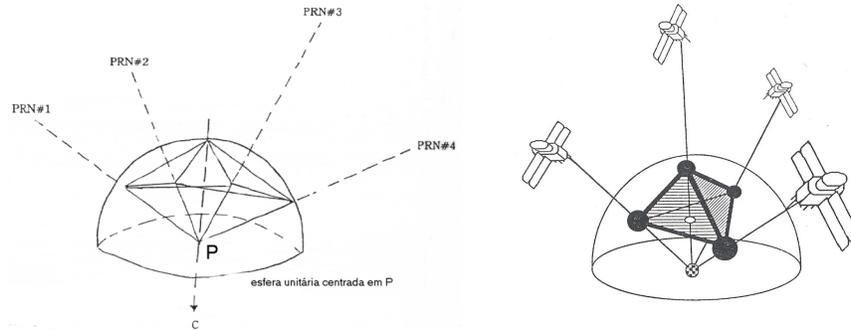
Uma medida da **geometria da figura definida pelas posições do receptor e dos satélites** é conhecida como GDOP (Geometric Dilution of Precision).



GNSS

Posicionamento absoluto

De um ponto de vista geométrico, o factor **GDOP** é inversamente proporcional ao volume da figura obtida pela intersecção com uma esfera de raio unitário dos vectores que unem a posição do receptor com os satélites.



GNSS

Posicionamento absoluto

Factor de degradação de precisão (DOP - *Dilution of Precision*)

$$DOP = \frac{\sigma}{\sigma_0} \begin{cases} VDOP - \text{factor de precisão vertical} & \rightarrow \sigma_H / \sigma_0 \\ HDOP - \text{factor de precisão horizontal} & \rightarrow \sqrt{\sigma_M^2 + \sigma_P^2} / \sigma_0 \\ PDOP - \text{factor de precisão da posição} & \rightarrow \sqrt{\sigma_M^2 + \sigma_P^2 + \sigma_H^2} / \sigma_0 \\ TDOP - \text{factor de precisão do tempo} & \rightarrow \sigma_t / \sigma_0 \\ GDOP - \text{factor de precisão global} & \rightarrow \sqrt{\sigma_M^2 + \sigma_P^2 + \sigma_H^2 + \sigma_t^2} / \sigma_0 \end{cases}$$

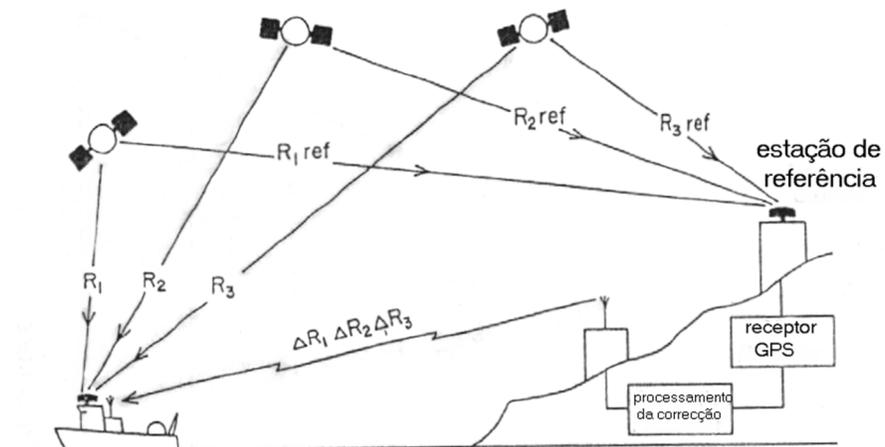
As variâncias dos parâmetros são retiradas da diagonal da matriz das covariâncias do sistema anterior, $Q_x = (A^T Q_t A)^{-1}$

DOP's pequenos \Leftrightarrow boa intersecção, boa precisão de posicionamento

Muitos satélites \Rightarrow baixos DOP's \Rightarrow boa precisão

GNSS**Posicionamento diferencial**

O GPS é, de longe, o sistema de navegação global mais exacto que foi desenvolvido. Mas mesmo sua extraordinária precisão pode ser aumentada utilizando uma técnica conhecida como "**GPS diferencial**".

GNSS**Posicionamento diferencial**

A correcção diferencial difundida é obtida via **código**

GNSS

Posicionamento diferencial

Sejam duas estações, k (fixa) e m (livre), donde para um satélite p qualquer tem-se (posicionamento absoluto):

$$\rho_k^p = R_k^p - c \delta_k \quad \text{e} \quad \rho_m^p = R_m^p - c \delta_m \quad .$$

Sendo conhecidas as coordenadas da estação k , é possível calcular a distância verdadeira ρ_k^p ao satélite p e fazendo a diferença com a distância observada determinar a chamada correção diferencial (para cada época):

$$D_k^p = \rho_k^p - \rho_m^p = R_k^p - c \delta_k - \rho_m^p \quad .$$

GNSS

Posicionamento diferencial

Aplicada esta correção à distância da estação m , obtém-se a respectiva distância corrigida

$$\rho_m^p = \rho_m^p - D_k^p = R_m^p - c \delta_m - D_k^p$$

e com 4 satélite, obtém-se um sistema do qual resultam coordenadas mais precisas (0.8 a 1.5m) para a estação m :

$$\sqrt{(x^p - x_m)^2 + (y^p - y_m)^2 + (z^p - z_m)^2} = \rho_m^p$$

$$\sqrt{(x^p - x_m)^2 + (y^p - y_m)^2 + (z^p - z_m)^2} = \rho_m^p - D_k^p$$

$$\sqrt{(x^p - x_m)^2 + (y^p - y_m)^2 + (z^p - z_m)^2} = R_m^p - c \delta_m - D_k^p$$

$$\sqrt{(x^p - x_m)^2 + (y^p - y_m)^2 + (z^p - z_m)^2} + c \delta_m = R_m^p - D_k^p$$

GNSS

Fontes de erro

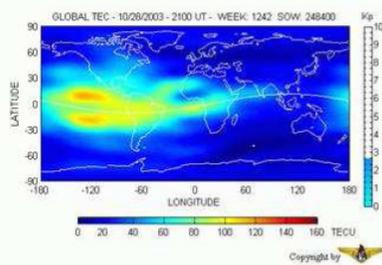
Tipos de erros:

- 1) Erros sistemáticos, que podem ser parametrizados (modelados como termos adicionais) ou eliminados por técnicas apropriadas de observação
- 2) Erros aleatórios não apresentam nenhuma relação funcional com as medidas e são, normalmente, as discrepâncias remanescentes nas observações, depois detodos os erros grosseiros e sistemáticos forem eliminados ou minimizados

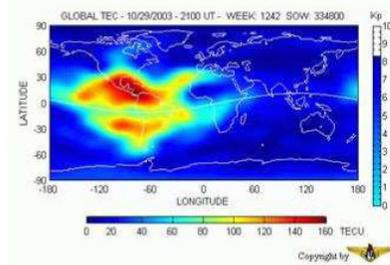
GNSS

Fontes de erro

Quando um sinal de rádio percorre os electrões livres na **ionosfera**, sofre um atraso. Sinais de frequências diferentes sofrem atrasos diferentes; para detectar esse atraso, os satélites do sistema enviam o código P em ondas de rádio de diferentes frequências, chamadas L1 e L2. Os receptores que recebem as 2 frequências, medem a diferença de tempo entre a recepção dos sinais L1 e L2 e calculam o atraso devido aos electrões livres, obtendo o efeito da ionosfera. Os receptores monofrequência não podem corrigir a interferência ionosférica porque o código C/A é gerado apenas na frequência L1 (1575,42 MHz).



28/10/2003



29/10/2003

GNSS

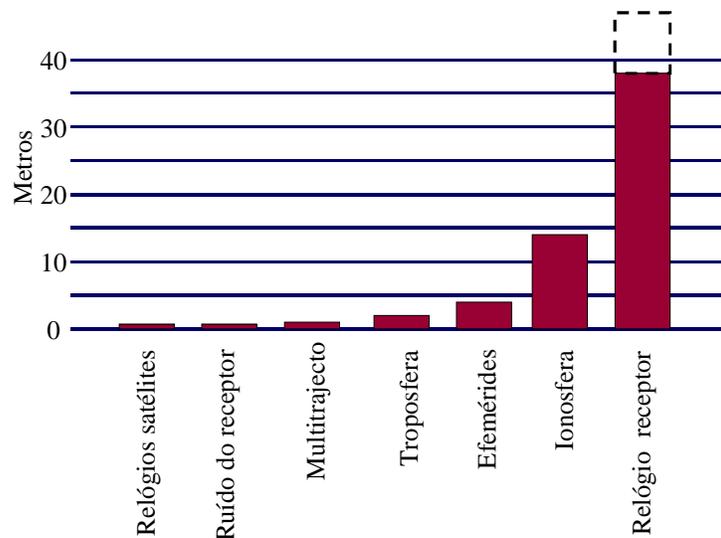
Fontes de erro

O **centro de fase** electrónico da antena é o ponto no qual as medidas dos sinais são referenciadas, e geralmente não coincide com o centro geométrico da antena. Esta discrepância varia com a intensidade e direção dos sinais, e é diferente para a portadora L1 e L2. Para levantamentos de alta precisão, todas as antenas envolvidas no projeto devem ser calibradas, visando corrigir as observações desse efeito.

GNSS

Erros na posição

Influência dos erros na posição



GNSS**Erros na posição**

Origem: - satélites;
 - antenas e receptor;
 - meio de propagação

- **Satélites:** efemérides, relógio e acesso selectivo (AS);
- **Antena:** multitrajecto e variação do centro de fase;
- **Receptor:** relógio, ruído electrónico (circuitos internos);
- **Meio de propagação:** ionosfera e troposfera

GNSS**Posicionamento relativo**

Troposfera – camada atmosférica até aos 40 – 50 km
 meio dispersivo
 provoca atraso no sinal
 é modelável (Hopfield; Saastamoinen, etc.)

Ionosfera – camada atmosférica dos 100 aos 1000 km
 meio não dispersivo
 constituído por partículas ionizadas
 provoca atraso no sinal
 difícil de modelar
 efeito atenuado com a combinação ionosférica (L3)
 efeito reduzido ou nulo para bases < 20 km

$$v = \frac{40.3}{Cf^2} \text{TEC}$$

GNSS**Posicionamento relativo**

Como os sinais GPS emitidos pelos satélites atravessam a atmosfera terrestre, sofrem um atraso, relativamente às condições ideais de propagação no vácuo. O **atraso ionosférico** é quase totalmente eliminado nos receptores com 2 frequências; contudo, o **atraso troposférico** representa actualmente o factor limitativo da precisão dos resultados GPS.

GNSS**Posicionamento relativo**

A propagação das ondas através da atmosfera terrestre é sobretudo retardada pela **ionosfera**, camada entre os 50 e 1000 km de altitude, que é um meio ionizado dispersivo. Um atraso de 20 ns pode aparecer durante o trajecto entre o emissor e o receptor, o que representa cerca de 6 m em distância. Este atraso é função da frequência, pelo que **a utilização de duas frequências diferentes permite determinar o respectivo valor**. Os receptores monofrequência utilizam um modelo ionosférico determinar este atraso, válido para distância de 10 km em torno do receptor, devendo evitar-se grandes variações de desnível.

GNSS**Posicionamento relativo**

As moléculas de vapor de água da **troposfera**, camada vizinha da superfície terrestre, com espessura entre os 5 e 18 km, também provocam um atraso na propagação das ondas; este atraso pode variar entre os 2 m para um satélite no zénite e os 30 m para um satélite com 5° de altura. Os efeitos troposféricos são resolvidos através da **utilização de modelos** (Saastamoinen, Hopfield, Goadman, etc.) que dão bons resultados desde que existam dados de temperatura, pressão e humidade.

GNSS**Posicionamento relativo**

As observáveis GPS são obtidas através da informação transportada nos códigos ou pela fase das portadoras (relembre-se que o código P é modulado tanto em L_1 como em L_2 , enquanto que o código C/A é apenas modulado em L_1), pelo que é possível medir **para cada época** as pseudo-distâncias $R_{L_1}^P$, $R_{L_1}^{C/A}$, $R_{L_2}^P$, as fases (acumuladas) Φ_{L_1} , Φ_{L_2} e os correspondentes desvios Doppler D_{L_1} , D_{L_2} . No caso de um receptor monofrequência, apenas os dados fornecidos por L_1 podem ser obtidos.

GNSS**Posicionamento relativo**

Para receptores observando **simultaneamente** os mesmos satélites e/ou localizados muito próximos uns dos outros (posicionamento relativo), alguns dos erros sistemáticos que afectam as observações GPS apresentam grande correlação. Como tal, há vantagens significativas em estabelecer **combinações entre as observações** originais, minimizando ou eliminando alguns dos erros citados e melhorando a precisão dos resultados (quanto menor for a distância entre receptores, maior é a redução dos erros associados às efemérides e à influência da atmosfera quando se combinarem as observações).

GNSS**Posicionamento relativo**

Considere-se **um receptor** que regista os sinais de **dois satélites**. A hora do relógio do receptor é utilizada para marcar a chegada dos sinais, de tal forma que uma dessincronização deste relógio afecta de uma forma idêntica, no **mesmo instante**, as duas medições, podendo ser eliminada efectuando a diferença dos sinais recebidos.

Para eliminar a dessincronização do relógio de **um satélite**, utiliza-se o mesmo princípio mas de forma complementar, a partir dos sinais recebidos desse satélite recebidos por **dois receptores** no **mesmo instante** pois neste caso é o erro do relógio do satélite que é comum aos dois receptores.

GNSS

Posicionamento relativo

Diferenças simples

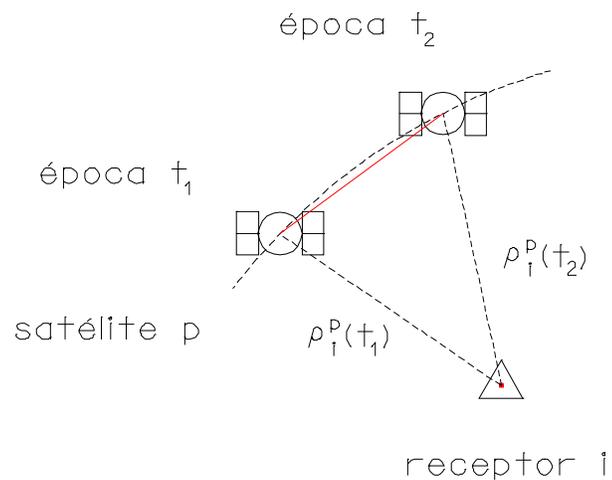
1. A formação de **diferenças simples entre épocas** traduz-se na diferença das observáveis originais (código ou fase) entre **épocas distintas**.

Se não houver perda de sintonia entre as duas épocas consideradas, a observação resultante não é afectada pela **ambiguidade de ciclo**.

GNSS

Posicionamento relativo

Diferenças simples entre épocas: $\rho_i^p(t_2) - \rho_i^p(t_1)$



GNSS**Posicionamento relativo**

Considerem-se observações de fase numa dada **estação i**, em **duas épocas t_1 e t_2** :

$$\rho(t_1) = \lambda N + \lambda \Phi_R^S(t_1) + c \Delta \delta_1 + \varepsilon_{\text{ion}}(t_1) + \varepsilon_{\text{trop}}(t_1) + \varepsilon(t_1)$$

$$\rho(t_2) = \lambda N + \lambda \Phi_R^S(t_2) + c \Delta \delta_2 + \varepsilon_{\text{ion}}(t_2) + \varepsilon_{\text{trop}}(t_2) + \varepsilon(t_2)$$

onde se introduziram nas equações os erros ionosféricos, troposféricos e outros.

Efectuando a diferença entre as equações precedentes:

$$\delta \rho = \lambda \delta \Phi + c \delta \Delta \delta + \delta \varepsilon_{\text{ion}} + \delta \varepsilon_{\text{trop}} + \delta \varepsilon.$$

No caso de observações de **código**, tem-se:

$$\delta R = \delta \rho + c \delta \Delta \delta + \delta \varepsilon_{\text{ion}} + \delta \varepsilon_{\text{trop}} + \delta \varepsilon.$$

GNSS**Posicionamento relativo**

2. As **diferenças simples entre receptores** para a **mesma época** obtêm-se subtraindo as observações numa dada **estação i** para um dado **satélite p** às observações simultâneas para o mesmo satélite obtidas numa **estação j**:

$$\Delta \rho = \lambda \Delta \Phi + c \Delta \Delta \delta + \Delta \varepsilon_{\text{ion}} + \Delta \varepsilon_{\text{trop}} + \Delta \varepsilon,$$

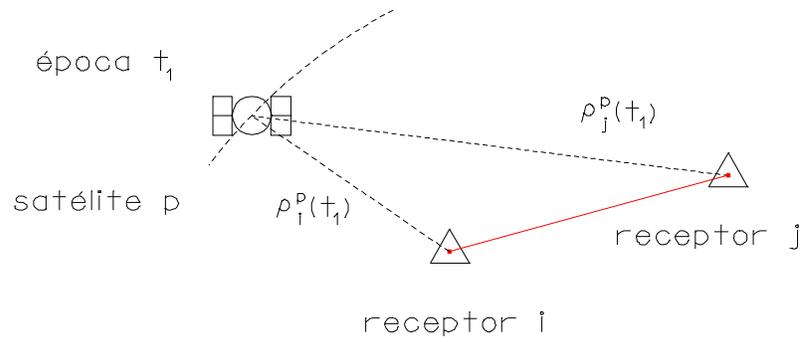
$$\Delta R = \Delta \rho + c \Delta \Delta \delta + \Delta \varepsilon_{\text{ion}} + \Delta \varepsilon_{\text{trop}} + \Delta \varepsilon.$$

Dado que o **erro de sincronização do satélite** é igual em ambas as estações, a construção de diferenças simples entre receptores permite eliminar este erro.

GNSS

Posicionamento relativo

Diferenças simples entre receptores: $\rho_i^p(t_1) - \rho_j^p(t_1)$



GNSS

Posicionamento relativo

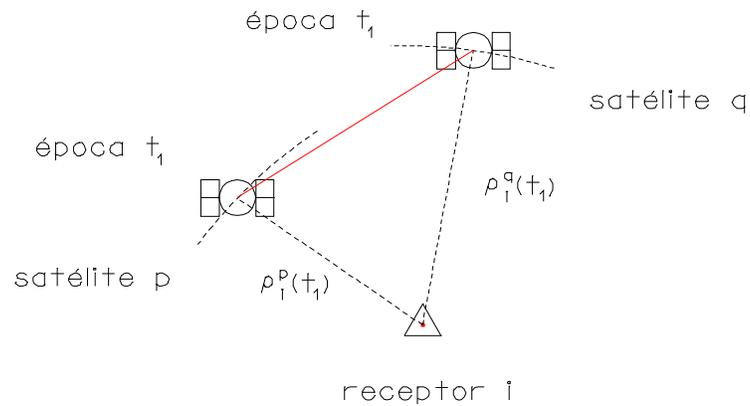
3. A formação de **diferenças simples entre satélites**, obtidas a partir de **observações simultâneas** num receptor para **dois satélites** p e q, permite eliminar o **erro de sincronização do relógio do receptor** na estação i:

$$\lambda \nabla \Phi = \nabla \rho + c \nabla \Delta \delta + \nabla \varepsilon_{\text{ion}} + \nabla \varepsilon_{\text{trop}} + \nabla \varepsilon_r$$

$$\nabla R = \nabla \rho + c \nabla \Delta \delta + \nabla \varepsilon_{\text{ion}} + \nabla \varepsilon_{\text{trop}} + \nabla \varepsilon_r$$

GNSS**Posicionamento relativo**

Diferenças simples entre satélites: $\rho_i^p(t_1) - \rho_i^q(t_1)$

**GNSS****Posicionamento relativo**

As **diferenças duplas receptor-tempo** são formadas combinando diferenças simples entre épocas e a observação resultante elimina a ambiguidade do ciclo na equação da fase.

A combinação de observações envolvendo dois receptores e dois satélites dá origem às **diferenças duplas receptor-satélite**; a diferença de observações pode ser efectuada fazendo a diferença entre satélites de diferenças simples entre receptores ou fazendo a diferença entre receptores de diferenças simples entre satélites (ou ambas). Desta forma, os erros de sincronização dos relógios dos receptores e satélites são eliminados e os restantes erros sistemáticos reduzidos.

GNSS

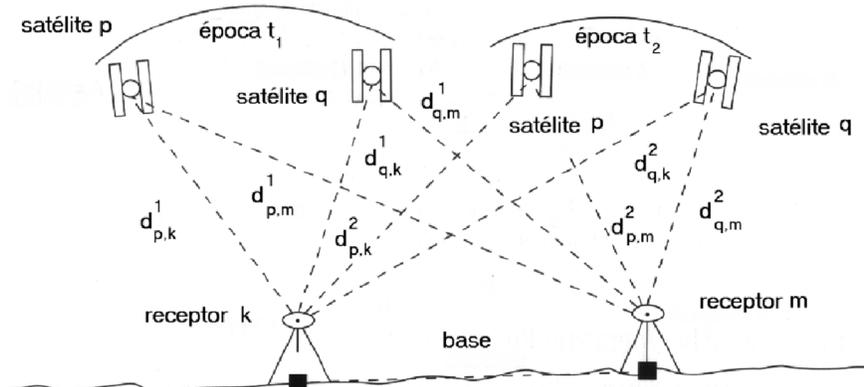
Posicionamento relativo

As **diferenças triplas receptor-satélite-tempo** são formadas efectuando a diferença entre duas épocas de diferenças duplas receptor-satélite. Tal como as outras diferenças em tempo, a ambiguidade de ciclo é eliminada; para além disso, as diferenças triplas eliminam os erros dos relógios dos receptores e satélites e reduzem a influência dos restantes erros sistemáticos que apresentem correlação.

A principal desvantagem da utilização de diferenças é a **redução do número de observações**, que no caso de sessões curtas ou bases longas poderá enfraquecer a solução.

GNSS

Posicionamento relativo



GNSS**Posicionamento relativo**

As diferenças entre observações combinam observações do **mesmo tipo** de observável obtidas a partir da **mesma onda portadora**; um conceito semelhante pode ser aplicado efectuando a **combinação linear de observáveis do mesmo tipo mas obtidas em portadoras diferentes**, o que permite **eliminar o efeito do atraso ionosférico** ou determinar com maior facilidade as ambiguidades de ciclo inerentes às observações de fase.

Para o caso das observações de fase, $\Phi_{n,m} = n\Phi_1 + m\Phi_2$ é uma **combinação linear** em L_1 e L_2 com os coeficientes n e m a definir para cada tipo de combinação considerada, sendo a ambiguidade dessa combinação dada por $N_{n,m} = nN_1 + mN_2$, onde N_1 e N_2 são as ambiguidades de ciclo para cada uma das portadoras.

GNSS**Posicionamento relativo**

As combinações mais utilizadas no processamento de observações GPS são as chamadas combinação de **banda larga** (wide lane), combinação de **banda estreita** (narrow lane) e a **combinação livre da ionosfera** (ionosphere free).

A combinação de **banda larga** tem um comprimento de onda de cerca de 86 cm, sendo útil na determinação de ambiguidades; o ruído associado é, no entanto, cerca de 6 vezes superior ao das observações originais (os valores de n e m são, respectivamente, **1** e **-1**, $L_4 = L_1 - L_2$).

A combinação de **banda estreita** tem um comprimento de onda de cerca de 10.7 cm, o que dificulta a determinação das ambiguidades, especialmente para bases médias ou longas; o ruído associado é, no entanto, extremamente baixo (os valores de n e m são, respectivamente, **1** e **1**, $L_5 = L_1 + L_2$).

GNSS**Posicionamento relativo**

A **combinação livre da ionosfera** elimina o efeito de primeira ordem da ionosfera; dado que o efeito da ionosfera depende da frequência dos sinais que a atravessam, combinando as frequências L_1 e L_2 é possível eliminar o seu efeito. Tomando $n=1$, vem $m=f_1/f_2$ pelo que, não sendo um número inteiro, esta relação não pode ser utilizada para determinar as ambiguidades.

GNSS**Posicionamento relativo**

Combinações de observáveis a partir de L_1 e L_2 :

- $L_3 = \alpha L_1 + \beta L_2 \rightarrow$ combinação ionosférica
- $L_4 = L_1 - L_2 \rightarrow$ combinação de banda larga (*wide lane*)
- $L_5 = L_1 + L_2 \rightarrow$ combinação de banda estreita (*narrow lane*)

Para bases longa (> 20 Km) deve-se usar sempre a L_3
 Para bases curtas (< 20 Km) pode usar mono frequência (L_1)

Standard: Tempo de observação > 30 min (dependendo do comprimento da base), c/ intervalos de registo de 15 seg

GNSS**Posicionamento relativo****Um possível algoritmo:**

1° - Processamento de diferenças triplas de fase:

- a) determinação de uma solução aproximada das coordenadas
- b) eliminação de **saltos de ciclo** com análise dos resíduos

2° - Processamento de diferenças duplas de fase:

- a) determinação de uma solução aproximada (*float*), com valores reais para as ambiguidades
- b) **fixação das ambiguidades** iniciais a valores inteiros
- c) determinação da solução óptima final (*fixed*), em L1 e/ou L3

GNSS**Posicionamento relativo**

Que precisão orbital é necessária para alcançar uma dada precisão no posicionamento relativo por GPS? Sendo **b** o comprimento da base, **db** o respectivo erro, **dr** o erro orbital radial e **a** a altitude dos satélites ($\approx 20\,000$ km):

db (ppm)	dr (m)
5	100
1	20
0.5	10
0.1	2

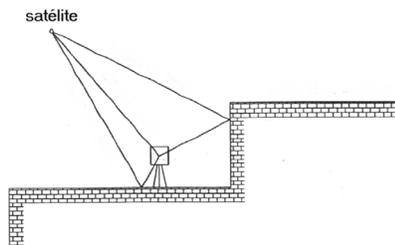
(0.1 ppm corresponde a um erro de 1 cm em 100 km)

Para além das **órbitas radiodifundidas** (precisão da ordem dos 15 m), é possível utilizar **órbitas pós-processadas**, que apresentam uma precisão superior a 20 cm.

GNSS

Posicionamento relativo

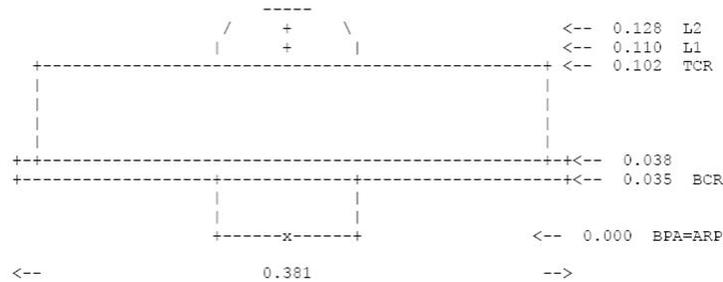
O erro de **multitrajecto** resulta da interferência de 2 ou mais sinais emitidos por uma fonte comum, que percorrem trajectos diferentes devido a reflexões, chegando portanto desfasados ao receptor.



Os efeitos do multitrajecto na pseudo-distância são da ordem dos poucos centímetros (embora com o código C/A este valor possa chegar aos 1-2 m); para a fase, a distorção do sinal original pode ter um valor máximo de um quarto de ciclo.

GNSS

Posicionamento relativo



Perfil de uma antena

GNSS

Posicionamento relativo

Esquema da Estação Permanente de Cascais.

BPA: Bottom of PreAmplifier

GNSS

Posicionamento relativo

MRP=Mechanical Reference Plane =(BPA)
 VO=vertical offset
 VR=vertical reading

Antena sobre bastão

Antena sobre tripé

Antena sobre pilar

GNSS**Posicionamento relativo****Estação Permanente de CASCAIS*****Nota sobre a referência altimétrica do ficheiro de observações:***

Os ficheiros de observação relativos a esta estação estão referidos à **Marca de Nivelamento** situada na base no pilar de suporte da antena (altura = 1,021m).

Os *softwares* científicos efectuam internamente as correcções ao centro de fase, tendo em conta o tipo de antena utilizado e tomando como referência a base da antena (BPA – Bottom of Pré-Amplifier). No processamento das observações deve utilizar-se o ficheiro tal como está.

No caso de processamento das observações com *software* comercial que **não** permita escolher o tipo de antena, deve ser introduzida no ficheiro de dados a **altura total** da antena ($1,141\text{m} = 1,021\text{m} + 0,12\text{m}$), de forma a reduzir as observações ao centro de fase. A altitude a fixar no ajustamento deverá ser a da marca de nivelamento.

O valor para a altura do centro de fase relativamente ao BPA é aproximado, **uma vez** que os valores exactos (dados pelos ficheiros do IGS – *International GPS Service*) **variam** consoante a altura e azimute dos satélites.

GNSS**Modos de observação**

As diversas técnicas de posicionamento em tempo real também utilizam um receptor a funcionar como referência num ponto de coordenadas conhecido (receptor base) e outro que se vai deslocando de ponto para ponto (receptor móvel ou *rover*), *mas também de uma ligação* adequada (rádio ou telemóvel) para transmitir correcções da base para o móvel. Consoante estas correcções são aplicadas às pseudo-distâncias ou à fase, as técnicas denominam-se GPS Diferencial (DGPS – *Differential GPS*) e *Cinemático em Tempo Real (RTK – Real-Time Kinematic)*, *respectivamente*. A *técnica DGPS proporciona exactidões de cerca de 1 m*, enquanto que a *técnica RTK conduz a um aumento substancial da exactidão posicional, para valores da ordem de 1 cm a 2 cm*.

GNSS	Modos de observação
<p>Modos de operação: { - estático - cinemático</p>	
<p>Modo estático: { - estático (fase ou código) - rápido-estático (fases L1 e L2 + código)</p>	
<p>Modo cinemático: { - Diferencial (código) - RTK (fases L1 e L2 + código)</p>	

GNSS	Modos de observação
<p>✓ Estático: - c/ código de 1 a 5 min (até 120 registos), nº Sat ≥ 4 - c/ fase > 30 min, nº Sat ≥ 3</p>	
<p>✓ Rápido-estático: - só com dupla frequência - 8 a 20 min, nº Sat ≥ 4</p>	
<p>✓ Cinemático: - Diferencial c/ código - RTK – cinemático em tempo real c/ fase, usa a técnica OTF (<i>On The Fly</i>) para fixar ambiguidades</p>	
<p>✓ Pára-arranca: - c/ fase, não pode haver perda de sinal - estacionamento da estação móvel de 2 a 5 seg</p>	
<p>✓ Pseudo-cinemático: - requer estacionamento repetido de 10 min</p>	

GNSS**Modos de observação****Posicionamento Relativo Estático**

Neste tipo de posicionamento, dois ou mais receptores rastreiam, simultaneamente, os satélites visíveis por um período de tempo que pode variar de dezenas de minutos (20 minutos no mínimo) até algumas horas; como o período de ocupação das estações é relativamente longo, somente as diferenças duplas da fase da onda portadora são normalmente incluídas como observáveis. Sendo a precisão da fase da onda portadora muito superior à da pseudodistância, a participação desta última não melhora os resultados de forma significativa; mesmo assim as pseudodistâncias devem estar disponíveis, pois são utilizadas no pré-processamento para estimar o erro do relógio do receptor, ou calcular o instante aproximado de transmissão do sinal pelo satélite. A precisão esperada é, no máximo, $5\text{mm} + 1\text{ ppm}$. No caso de receptores monofrequência a base não deve ultrapassar 10 km de comprimento, devendo neste caso aumentar-se o tempo de observação.

GNSS**Modos de observação**

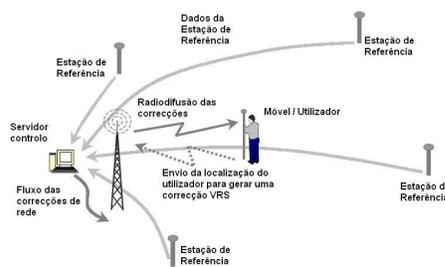
As redes de estações de referência (**CORS**: Continuous Operating Reference Stations), que funcionam em áreas geográficas vastas, reduzem o impacto dos erros dependentes da distância entre a estação de referência e a estação rover e fornecem precisão centimétrica no posicionamento para distâncias maiores do que o posicionamento RTK convencional.

GNSS

Modos de observação

A metodologia **rede-RTK** utiliza uma rede de estações de referência GNSS, com coordenadas conhecidas com precisão. Com o advento das redes de referência activas, o utilizador pode utilizar apenas um receptor e usar os dados destas estações: o conceito fundamental desta técnica de posicionamento é que os dois ou mais receptores envolvidos possam receber dados, simultaneamente, de pelo menos dois satélites comuns.

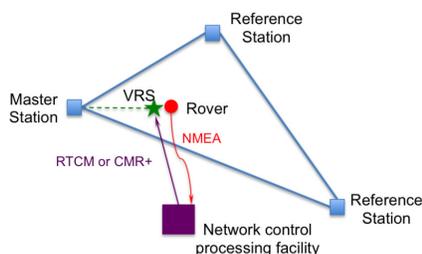
Para o efeito, existem diversas entidades que gerem redes de estações de referência que podem ser utilizadas, como é o caso da rede **SERVIR**, implementada pelo IGeoE, e da rede **RENEP**, implementada pelo IGP.



Arquitectura de uma rede RTK

GNSS

Modos de observação

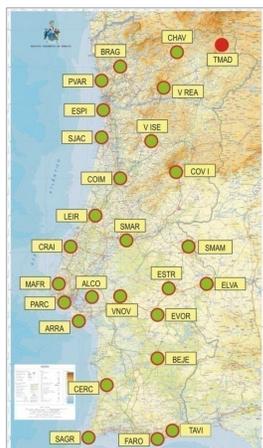


O método **VRS** foi desenvolvido nos finais dos anos 1990. Trata-se de um procedimento de geração de observações relativas a uma estação de referência virtual situada a alguns metros da estação rover, de forma a aumentar a exactidão da respectiva posição, para o que é necessária uma comunicação bi-direccional.

O rover envia a sua posição aproximada para o centro de processamento, que modela os erros dependentes da distância utilizando um mínimo de 3 estações de referência e então interpola esses erros para a localização aproximada do rover. Para além disso, a estação de controlo gera um conjunto de observações transportando as observações de uma estação de referência para uma estação virtual, aplicando correcções. Por fim, a estação de controlo envia para o rover observações ou correcções; conforme o caso, o processo de cálculo desenvolve-se ora na estação de controlo ora no rover.

GNSS

Modos de observação



➔ O Referencial actualmente implementado na rede SERVIR é o ITRF 2005, por ser o mais recente.

ATENÇÃO:

As Altitudes fornecidas pela rede SERVIR são Elipsóidais. Não são Ortométricas (COTA).

Estão instaladas 26 estações de referência GNSS (GPS + GLONASS). A rede SERVIR está a funcionar em modo rede RTK e não em *Single Base Station* (SBS). O dispositivo da rede SERVIR em Julho de 2008 é o seguinte:

- Estações GNSS (GPS + GLONASS)
- Planeado para 2009.

O actual dispositivo da rede SERVIR permite disponibilizar correcções diferenciais em quase todo o Território de Portugal Continental através dos seguintes serviços:

– RTK, DGPS e RINEX

As correcções diferenciais são disponibilizadas nos seguintes formatos de mensagens:

RTK: CMR, CMR+, RTCM 2.3, RTCM 3.1
DGPS: RTCM 2.3

A análise de dados em pós-processamento é possível com o *download* dos ficheiros RINEX a 1s, directamente da respectiva página *Web* do Projecto SERVIR.

GNSS

Modos de observação

As estações **ReNEP** são constituídas por receptores GPS de dupla frequência, com 12 canais para a portadora L1 e 12 canais para a portadora L2, antena geodésica *choke ring* e núcleo Dorne & Margolin. O ângulo de máscara utilizado no registo de observações é de 5°.

Dispõem de computador local com modem RDIS, permitindo acesso via programa de controlo remoto e ftp. A estação meteorológica Paroscientific MET3 permite obter dados de pressão, temperatura e humidade relativa.

Recolha dos dados

- Dados GPS: código C/A, L1 e L2
- Taxa de registo dos dados GPS: 30 s
- Taxa de registo dos dados meteorológicos: 15 min
- Recolha diária a partir do IGP: diária

Disponibilização dos dados

- Formato: RINEX
- Via Internet:
 - o IGP ----- ftp://ftp.igeo.pt
 - o EUREF ----- ftp://igs.ifag.de/gpsdata

GNSS

Modos de observação

INFORMAÇÃO GEODÉSICA



RENEP - Rede Nacional de Estações Permanentes

Descrição

Como utilizar

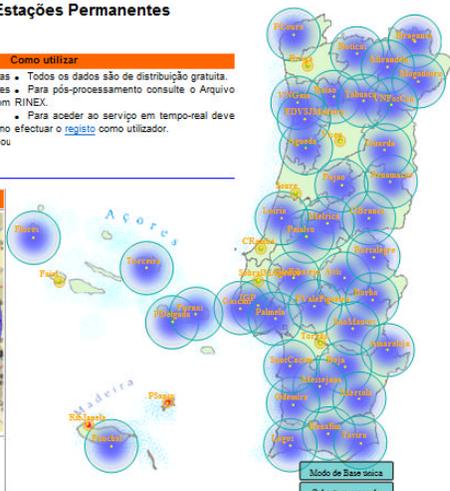
A RENEP é um serviço público de geo-posicionamento prestado pelo IGP que, no âmbito das suas atribuições de manutenção do Referencial Geodésico Nacional, disponibiliza aos utilizadores equipamentos GPS dados que facultam a determinação de coordenadas geográficas com RENEX, precisão melhor que 10 cm. É constituída por Estações GPS/GNSS, de observação contínua, que difundem observações no Sistema de Referência ETRS89, para posicionamento em tempo-real, utilizando a técnica RTK, ou para pós-processamento com ficheiros RINEX.

Arquivo RINEX						
IGP						
Mio 2010						
Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab
-	-	-	-	-	-	1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31	-	-	-	-	-

Selecione a EP e o dia pretendidos.
Cada ficheiro respeita ao período de 1 hora com intervalo entre observações de 5 segundos.
Para informações adicionais contacte a [Divisão de Geodésia](#)

BOTICAS

Coordenadas ETRS89 - Base da Antena
Latitude: 41°41'24.45647"N
Longitude: 07°39'29.129007"O
Altitude Ellip: 586.678 m
Altitude MSL: 529.429 m

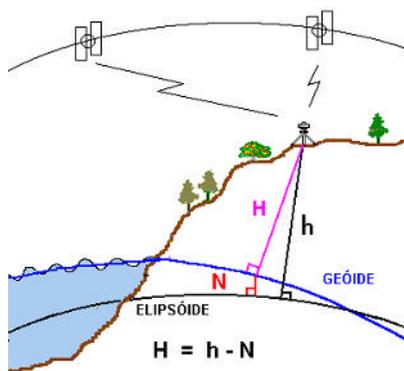


Entidades Participantes:

Projetado pela IGP (1/2003/IGP-p0)

GNSS

Modelos de geóide



A relação entre altitudes elipsoidais e altitudes ortométricas é obtida a partir de um modelo de geóide.

- **modelo local do geóide**, que fornece o valor da ondulação do geóide
- **calibração usando marcas de nivelamento**, de forma a calcular a variação local do geóide