

INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SUL DE MINAS GERAIS
Campus Inconfidentes



POSICIONAMENTO PELO GNSS

Prof. Paulo Augusto Ferreira Borges

INTRODUÇÃO



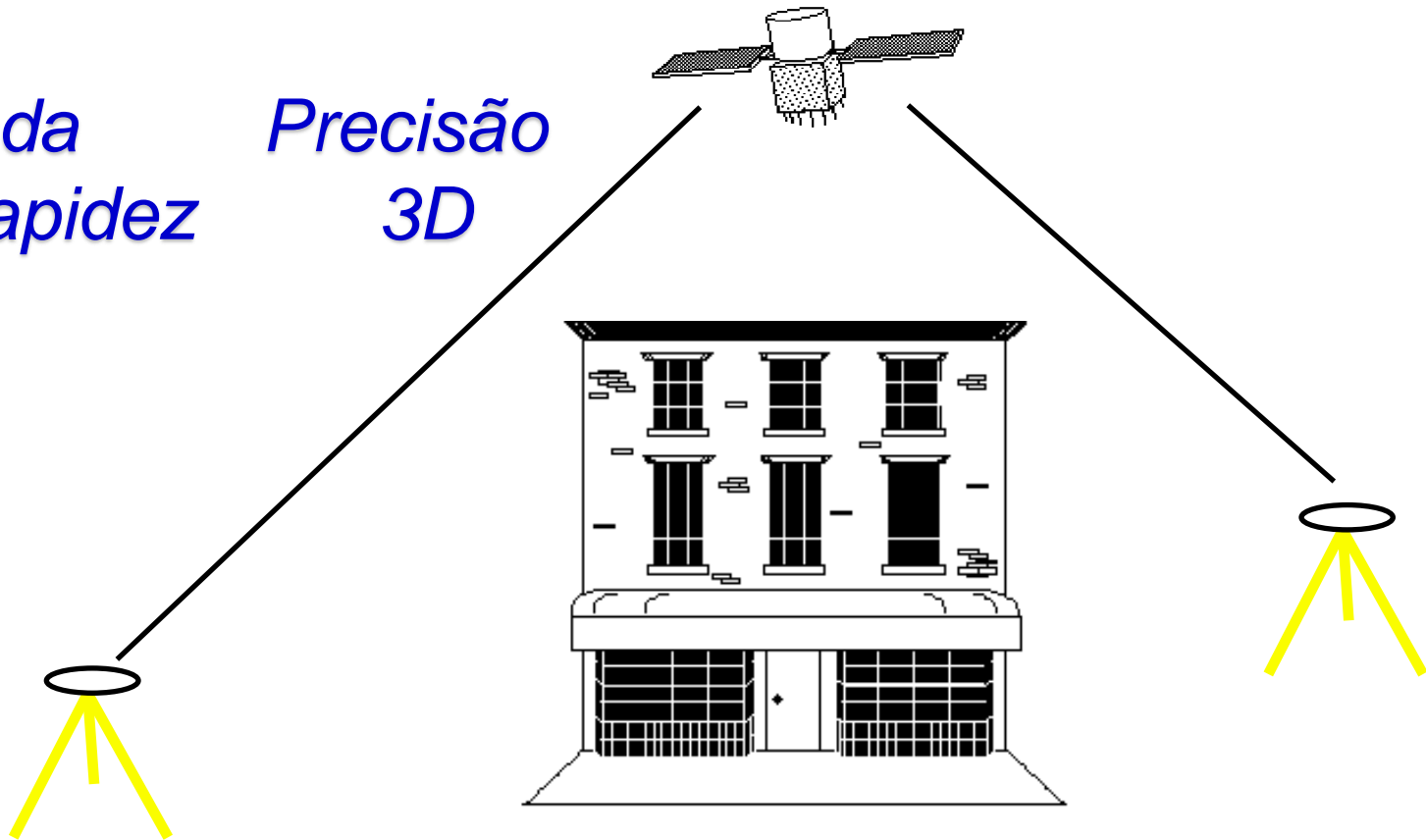
- O Sistema de Posicionamento Global, conhecido por GPS (***Global Positioning System***) ou ***NAVSTAR-GPS (Navigation Satellite with Time And Ranging)***.
- sistema de radio-navegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados
- Unidos da América (DoD - ***Department Of Defense***)
- O GPS é um sistema de abrangência global: Qualquer usuário possui em sua disposição, no mínimo, quatro satélites que podem ser rastreados.
- Vantagem: É a não necessidade de intervisibilidade entre as estações e o GPS pode ser usado sob quaisquer condições climáticas.

QUAL A VANTAGEM DE UTILIZAR ESTE TIPO DE LEVANTAMENTO



*Visada
Rapidez*

*Precisão
3D*



INTRODUÇÃO



- Princípio de navegação: consiste da medida das chamadas pseudodistâncias entre o usuário e quatro satélites. Conhecendo as coordenadas dos satélites num sistema de referência apropriado, é possível calcular as coordenadas da antena do usuário com respeito ao mesmo sistema de referência dos satélites.
- Tipos de serviços: SPS (***Standard Positioning Service***) e PPS (***Precise Positioning Service***).
- **O SPS** é um serviço de posicionamento e tempo padrão que estará disponível para todos os usuários do globo, sem cobrança de qualquer taxa (pelo menos nos próximos dez anos). Este serviço proporciona capacidade de obter exatidão horizontal e vertical dentro de **100 e 140 m** respectivamente, e 340 ns (nanosegundos) na obtenção de medidas de tempo (95% probabilidade).
- O PPS proporciona melhores resultados (10 a 20 m), mas é restrito ao uso militar e usuários autorizados.

INTRODUÇÃO



- Desta forma, a limitação ao nível de exatidão citado acima é garantida pela adoção do AS (***Anti-Spoofing***) e SA (***Selective Availability***).

- O AS (***anti-fraude***) é um processo de criptografia do código P, visando protegê-lo de imitações por usuários não autorizados.

- O SA (disponibilidade seletiva), ou seja, a proibição de obter a exatidão proporcionada pelo GPS, é consumada pela manipulação das mensagens de navegação (*técnica ϵ*) e da frequência dos relógios dos satélites (*técnica dither*).
 - Primeiro satélite teste (Bloco I) lançado em 1978;
 - Satélites operacionais desde 1989 (Bloco II & Bloco IIA)
 - Terceira Geração de satélites (Bloco IIR), maior vida útil, melhor precisão, maior autonomia.
 - Quarta Geração de satélites (Bloco IIF) substituirá a geração IIR.

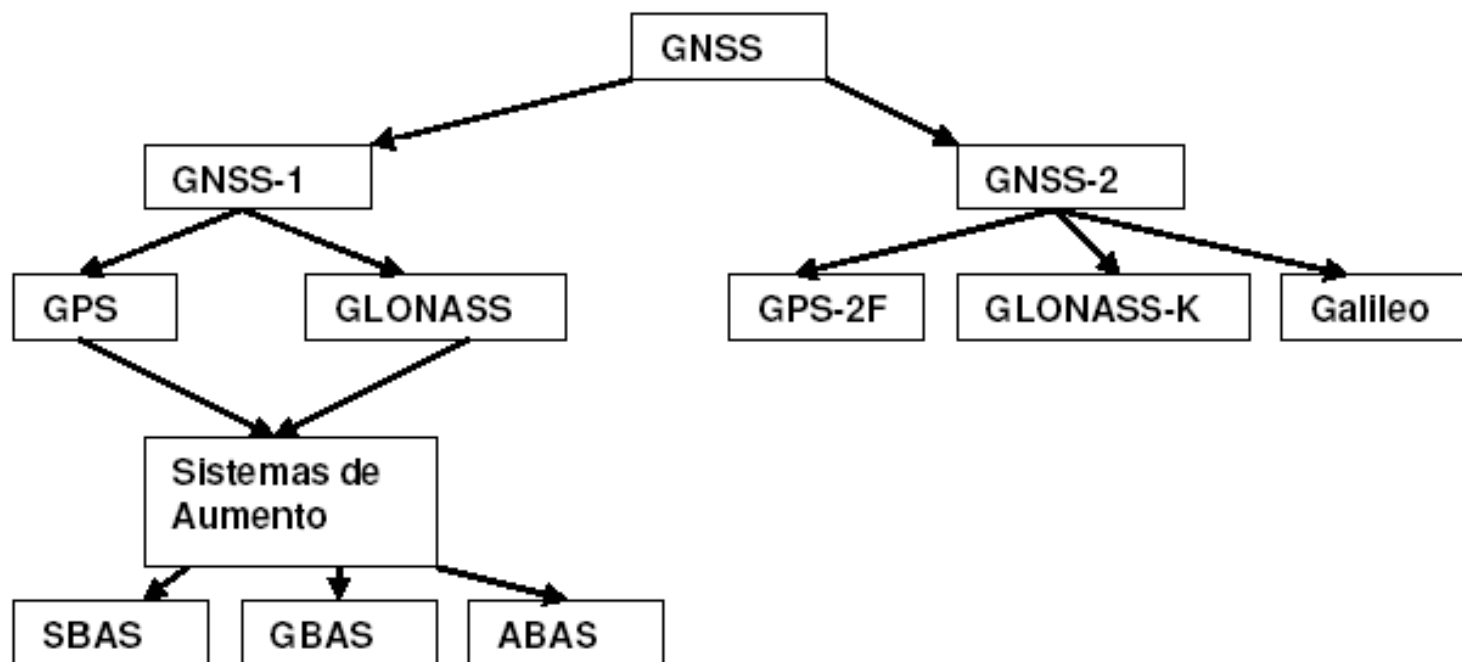
GNSS



O GNSS (Global Navigation Satellite System) são tecnologias que utilizam navegação ou posicionamento por satélites e os problemas que as envolvem. Além de sistemas de posicionamentos como GPS, GLONASS e Galileo fazerem parte do GNSS, cálculos de órbitas de precisão e os efeitos da atmosfera (ionosfera e troposfera) também são importantes componentes desses sistemas.



GNSS



Esquema geral do projeto GNSS.

Fonte: GARCIA (2008)

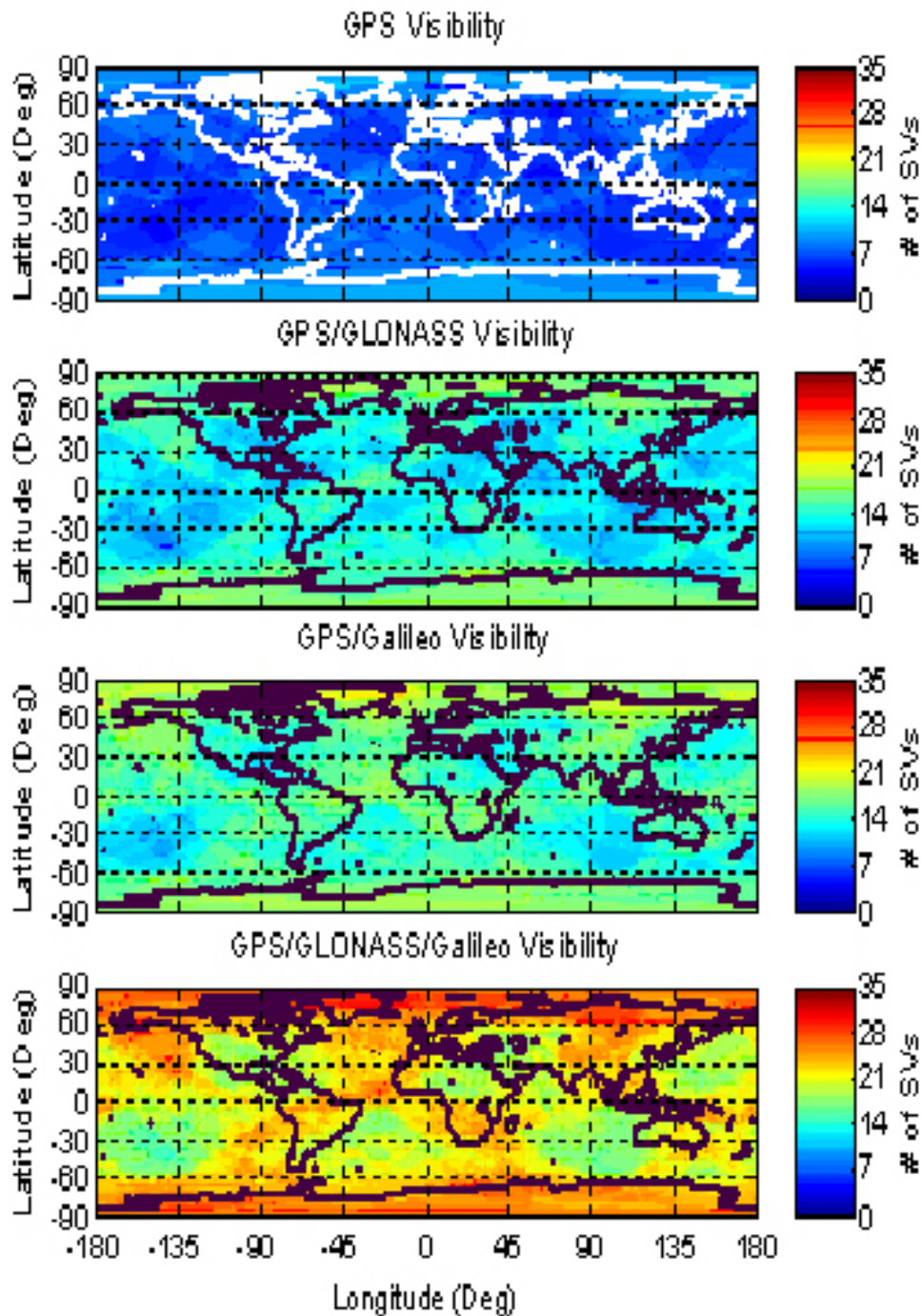


GNSS

Modernização do GPS: GNSS – investimento pesado da União Europeia em associação com outras potências mundiais

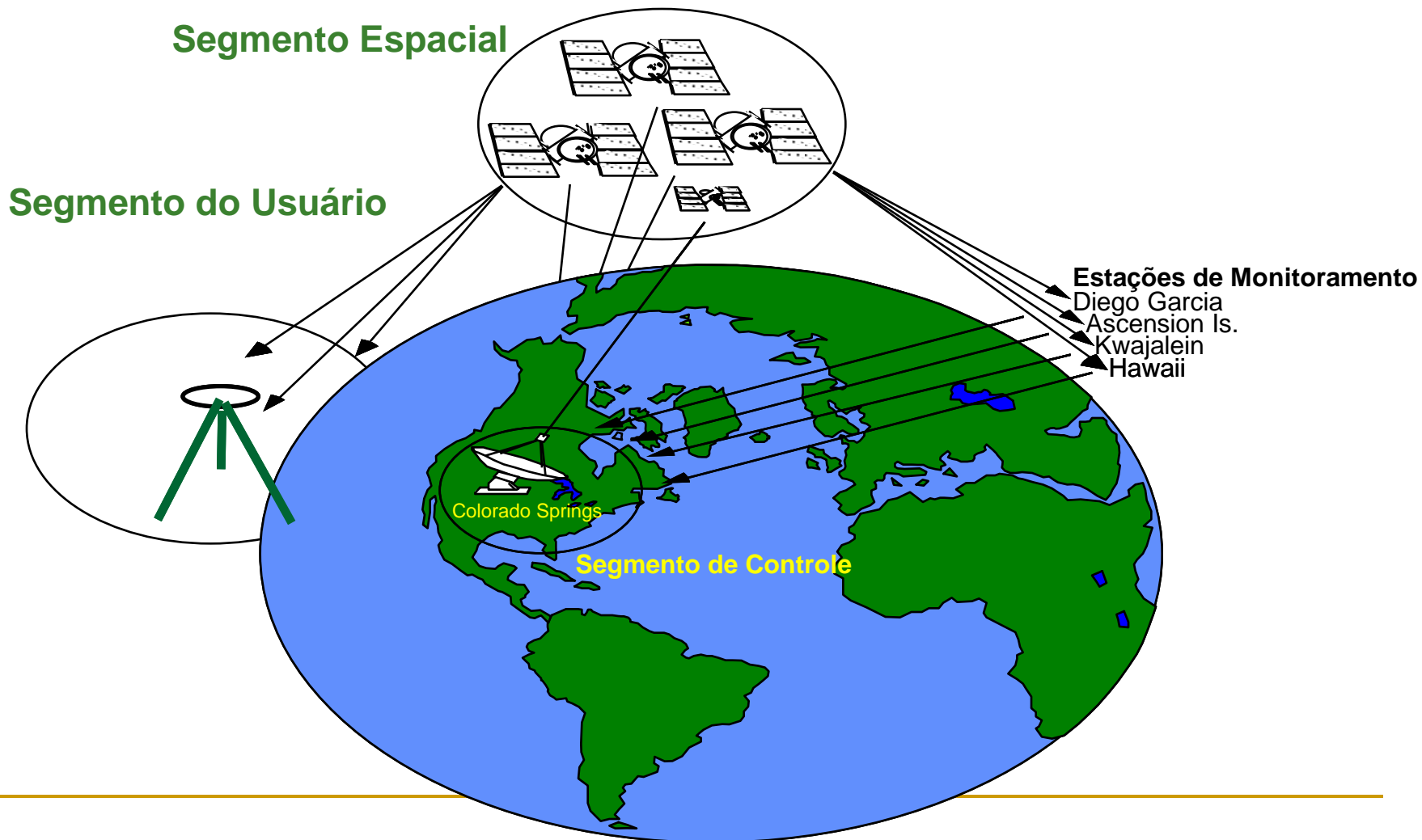
GNSS-1: ampliação GPS, recuperação GLONASS, integração com os SBAS

GNSS-2: Integração do GALILEO ao GNSS-1



Visibilidade dos
satélites com o GNSS.
RIZO et al (2005).

SEGMENTOS GPS



Sistema Navstar - GPS



Características do sistema GPS:

- 24 satélites;
- 6 planos orbitais;
- Planos orbitais com 55° de inclinação em relação ao Equador;
- 20.200 km de altitude;
- Período orbital de 12 horas;

Características dos sinais:

- L1 – $f = 1575,45$ MHz e $\lambda = 19$ cm
- L2 – $f = 1227,60$ MHz e $\lambda = 24$ cm



GLONASS:



Características do sistema

- ❑ 24 satélites;
- ❑ 3 planos orbitais;
- ❑ Planos orbitais com $64,8^\circ$ de inclinação em relação ao Equador;
- ❑ 19.100 km de altitude;
- ❑ Período orbital de 11 horas e 15 minutos.

Características do sinal:

- ❑ L1 – $f = 1602$ a 1615 MHz
- ❑ L2 – $f = 1246$ a 1256 MHz



GALILEO

Características dos sistema

- ❑ 30 satélites;
- ❑ 3 planos orbitais;
- ❑ Planos orbitais com 56° de inclinação em relação ao Equador;
- ❑ 23.222 km de altitude;
- ❑ Período orbital de 14 horas.

Características dos sinais:

- ❑ Cada satélite Galileo transmitirá 10 sinais. Destes, 6 para serviços abertos e segurança de vida, 2 para propósitos comerciais e dois para serviços públicos normatizados. As frequências são:
 - ❑ E5A – E5B: 1164 a 1215 MHz
 - ❑ E6: 1260 a 1300 MHz
 - ❑ E2 – L1 – E1: 1559 a 1591 MHz



Segmento Espacial



- O segmento espacial consiste de 24 satélites distribuídos em seis planos orbitais igualmente espaçados (quatro satélites em cada plano), numa altitude aproximada de 20200 km.
- Os planos orbitais são inclinados 55 graus em relação ao equador;
- Período orbital é de aproximadamente 12 horas siderais.
- Quatro tipos de satélites fazem parte do projeto NAVSTAR-GPS. Eles são denominados satélites do Bloco I, II, IIA, IIR e IIF.
 - Os satélites do bloco I são protótipos e todos os 11 satélites planejados já foram lançados. O último satélite deste bloco, PPN 12, foi desativado no final de 1995.
 - Blocos II e IIA (Advanced) são compostos por 28 satélites (declarado operacional em 1995).
 - 9 são do bloco II e 19 do bloco IIA (capacidade de comunicação recíproca e capacidade de armazenamento de 180 dias).
 - Os satélites do bloco II foram substituídos por 22 satélites do bloco IIR, a medida que for necessário. Duas das novas características destes satélites são a – capacidade de medir distâncias entre eles (cross link ranges) e calcular efemérides no próprio satélite.
 - Bloco IIF (Follow-on / continuação) será composta por 33 satélites – modernização do GPS.

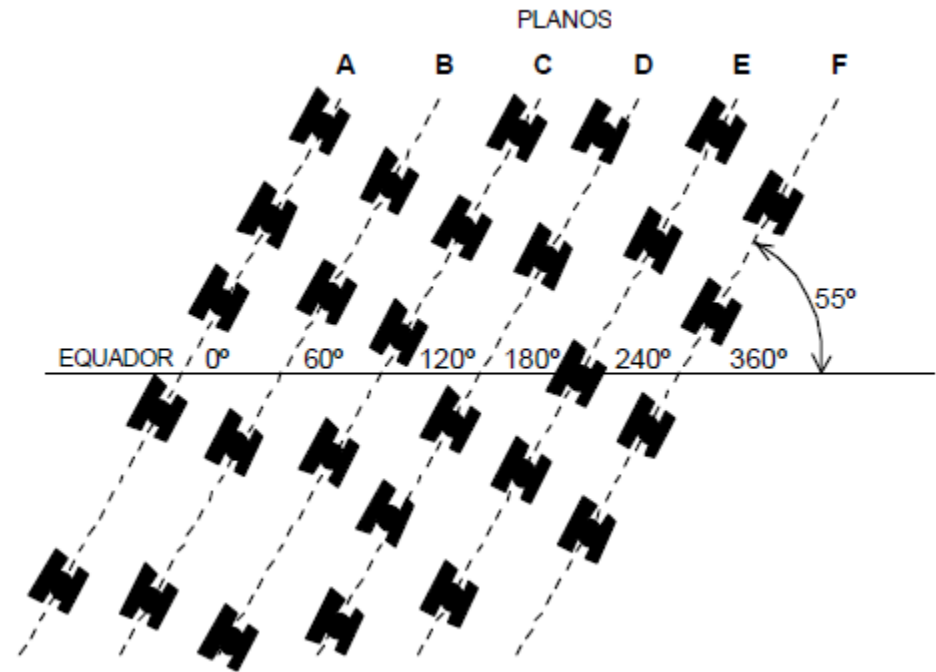
Segmento Espacial



- Cada satélite carrega padrões de Seqüência altamente estáveis (Césio e Rubídio) com estabilidade entre 10^{-12} s e 10^{-13} s, formando uma base de tempo muito precisa.
 - Os satélites do bloco I: osciladores de Quartzo.
 - Os satélites do bloco II e IIA: dois osciladores de Césio e dois de Rubídio.
 - Os satélites do bloco IIR: osciladores de Rubídio.
 - Os satélites do bloco IIF: osciladores de maser de hidrogênio.

- Os satélites GPS são identificados com dois esquemas de numeração.
 - O SVN (Space Vehicle Number) ou número NAVSTAR é baseado na seqüência de lançamento dos satélites
 - O PRN (Pseudo-Random-Noise) ou SVID (Space Vehicle Identification) é relacionado com o arranjo da órbita e o segmento do PRN atribuído para cada satélite.

Segmento Espacial



Segmento de Controle



- As principais tarefas do segmento de controle são:
 - Monitorar e controlar continuamente o sistema de satélites,
 - Determinar o sistema de tempo GPS,
 - Predizer as efemérides dos satélites e calcular as correções dos relógios dos satélites e,
 - Atualizar periodicamente as mensagens de navegação de cada satélite.

 - Cinco estações monitoras: Hawaii, Kwajalein, Ascension Island, Diego Garcia, Colorado Springs.

 - Três antenas para transmitir os dados para os satélites: Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein.

 - Uma estação de controle central: MCS (Master Control Station) localizada em Colorado Springs, Colorado.
-

Segmento de Controle



- Estação monitoramento: equipada com **oscilador externo de alta precisão e receptor de dupla frequência, rastreia todos os satélites.**
- Os dados são processados na MCS: determinar as órbita dos satélites (efemérides transmitidas) e as correções dos relógios dos satélites para atualizar as mensagens de navegação, que são enviadas novamente para o satélite.
- As coordenadas das estações de controle (Monitor Station):
 - Inicialmente em WGS-72
 - Em 1987 adotou-se o WGS-84, tendo refinamentos para o WGS 84 (G730), WGS 84 (G873), WGS 84 (G1150).
 - WGS 84 (G1150) é compatível ao ITRF (IERS Terrestrial reference Frame) 2000 ao nível de 1 a 2 cm.



Segmento de Controle



- A distribuição geográfica das estações monitoras atendem os requisitos de navegação, mas não satisfaz à determinação de órbitas altamente precisa, em particular para aplicações de geodinâmica.
 - IGS (International GNSS Service) produz efemérides com precisão de poucos cm para as coordenadas dos satélites;
 - IGS: Combinação das órbitas de vários centros, disponível após 13 dias.
 - IGR (rápida): precisão de 5 cm disponível diariamente (17 horas);
 - IGU (ultra-rápida): Composta de uma parte predita (em tempo real) e outra com inclusão de observáveis, após 3 horas. Precisão de 10cm.

Segmento do Usuário



- O segmento de usuários:
- Contempla os receptores GPS, os quais devem ser apropriados para usar o sinal GPS para os propósitos de navegação, Geodésia ou outra atividade qualquer.
- A categoria de usuários pode ser dividida em **civil e militar.**
- Atualmente o sistema GPS atingiu seus objetivos, tornando –se o mais popular sistema para posicionamento adequado para várias aplicações.

SISTEMA GLONASS



Características do sistema:

- ❑ 24 satélites;
- ❑ 3 planos orbitais;
- ❑ Planos orbitais com $64,8^\circ$ de inclinação em relação ao Equador;
- ❑ 19.100 km de altitude;
- ❑ Período orbital de 11 horas e 15 minutos.

Características do sinal:

- ❑ L1 – $f = 1602$ a 1615 MHz
- ❑ L2 – $f = 1246$ a 1256 MHz

SISTEMA GALILEO



- O GALILEO é um sistema de satélites e estações terrestres planejado para produzir informações relacionadas ao posicionamento global dos usuários e aberto ao uso civil. O projeto encontra-se em implementação pelo European Commission (EC) e European Space Agency (ESA) e prevê um total de 30 satélites em órbita terrestre com o objetivo de capacitar a comunidade europeia na aquisição independente de dados relacionados ao posicionamento global. O primeiro satélite do sistema Galileo, GIOVE – A, foi lançado no dia 28 de Dezembro de 2005. As órbitas dos satélites serão circulares e seus planos orbitais terão uma inclinação de 56° . Os satélites estarão a uma altitude de aproximadamente 24.000 km. O sistema GALILEO poderá ser operado com o GPS e GLONASS, os outros dois satélites de posicionamento globais existentes.

SISTEMA GALILEO

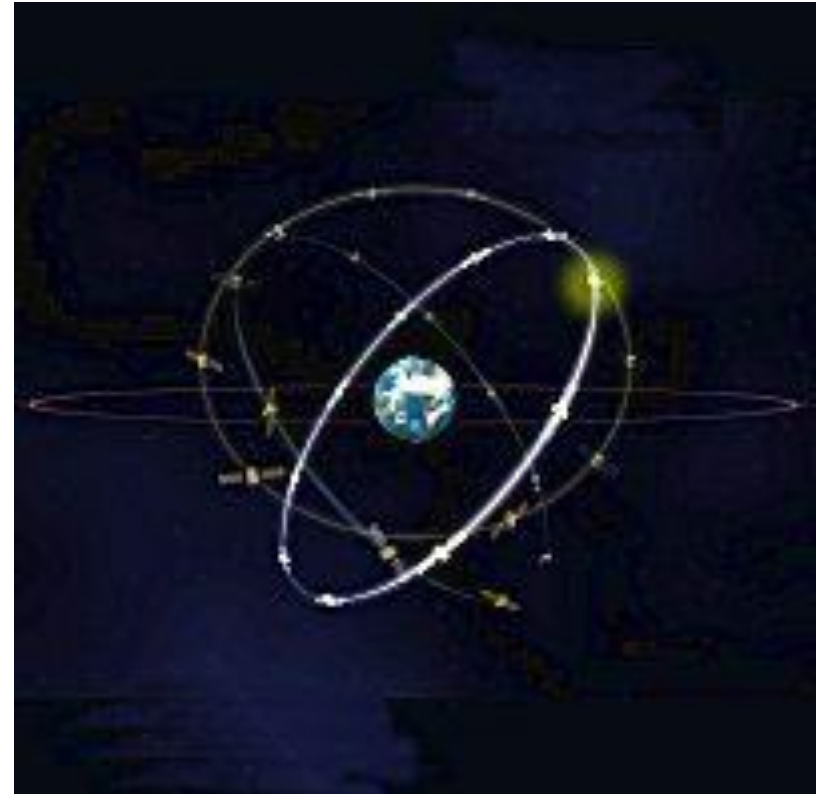


Características dos sistema:

- ❑ 30 satélites;
- ❑ 3 planos orbitais;
- ❑ Planos orbitais com 56° de inclinação em relação ao Equador;
- ❑ 23.222 km de altitude;
- ❑ Período orbital de 14 horas.

Características dos sinais:

- ❑ Cada satélite Galileo transmitirá 10 sinais. Destes, 6 para serviços abertos e segurança de vida, 2 para propósitos comerciais e dois para serviços públicos normatizados. As frequências são:
 - ❑ E5A – E5B: 1164 a 1215 MHz
 - ❑ E6: 1260 a 1300 MHz
 - ❑ E2 – L1 – E1: 1559 a 1591 MHz



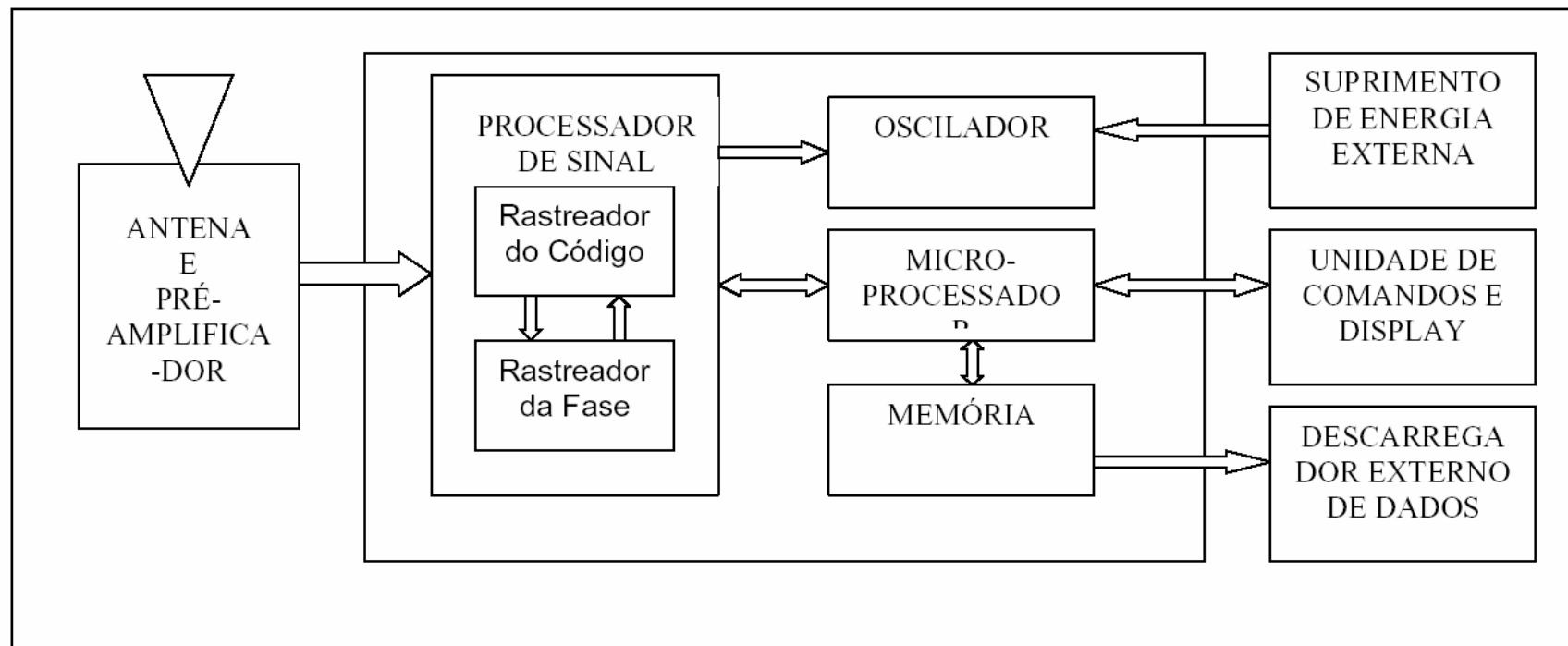


Descrição dos receptores GPS

- Os principais componentes de um receptor GPS:
 - Antena com pré-amplificador,
 - Seção de RF (radio frequência) para identificação e processamento do Sinal,
 - Microprocessador para controle do receptor, amostragem e processamento dos dados,
 - Oscilador;
 - Interface para o usuário, painel de exibição e comandos,
 - Provisão de energia e
 - Memória para armazenar os dados.



Descrição dos receptores GPS

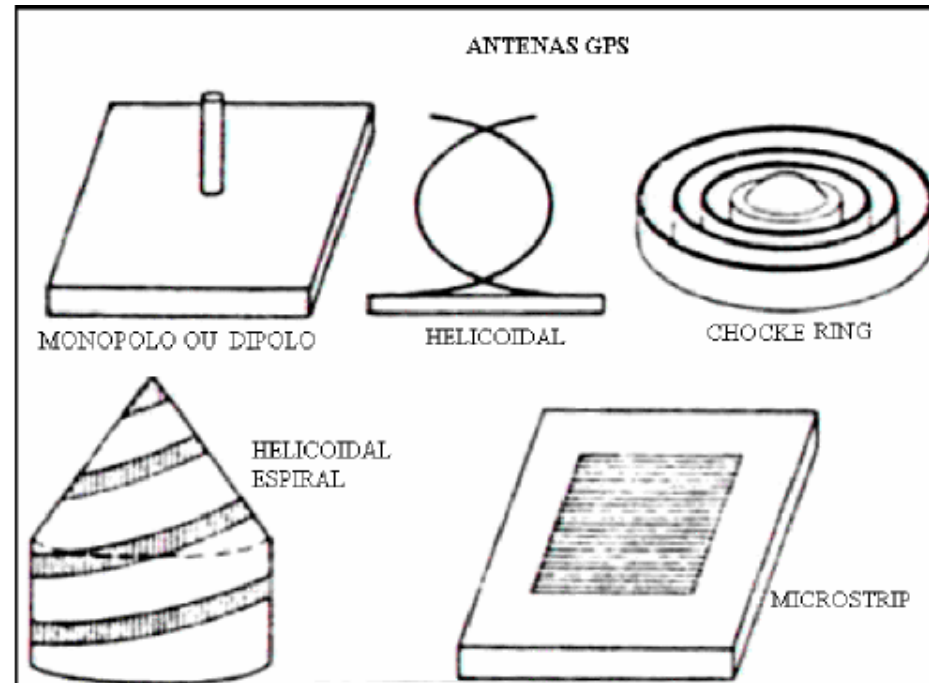


Antenas



- A antena detecta as ondas eletromagnéticas emitidas pelos satélites, converte a energia da onda em corrente elétrica, amplifica o sinal e o envia para a parte eletrônica do receptor.
- Devido a estrutura dos sinais GPS, todas as antenas devem ser polarizadas circularmente (RHCP: righthand circularia polarised).
- Para levantamentos geodésicos a antena deve garantir ainda alta estabilidade do centro de fase da antena e proteção contra muti-caminhamento ou sinais refletidos.
- Vários tipos de antenas estão disponíveis no mercado: monopole or dipole, helix, spiral helix, microstrip e choke ring.

Antenas

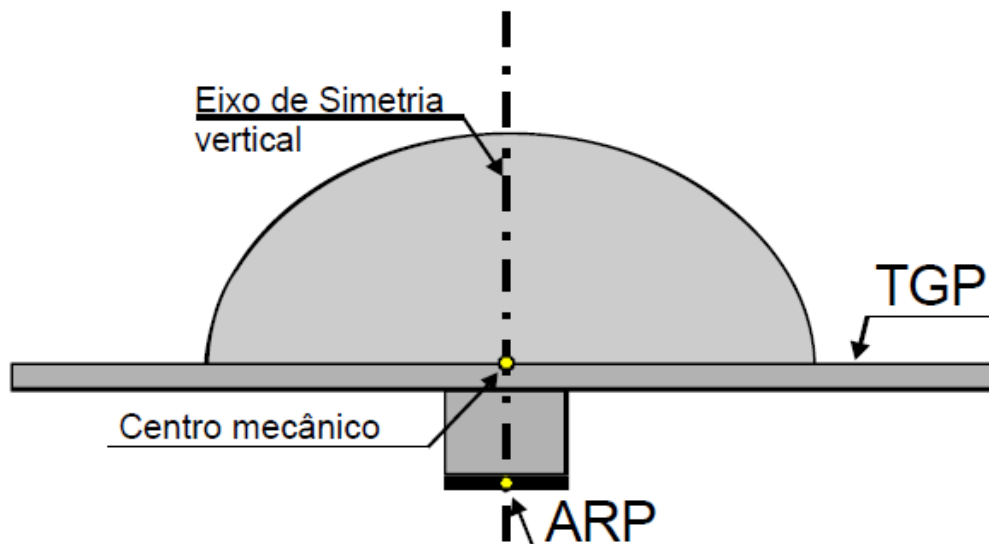


- A proteção contra o multi-caminhamento é normalmente conseguida colocando a antena sobre um grande disco (ground plane) ou pelo uso de choke ring.
- Um choke ring é composto por faixas condutores concêntricas com o eixo vertical da antena e fixadas ao disco (ground plate), cuja função é impedir que a maioria dos sinais refletidos sejam recebidos pela antena.

Antenas



- As antenas GPS são dimensionadas segundo padrões técnicos que permitem a identificação dos seus componentes constituintes.
 - TGP (Top of Ground Plane) topo do prato da antena;
 - Centro mecânico da antena;
 - ARP (Antenna Reference Point) ponto de referência da antena.





Seção de rádio frequência (RF)

- Os sinais que entram no receptor são convertidos na divisão de RF para uma frequência mais baixa, denominada frequência intermediária (FI), a qual é mais fácil de ser tratada nas demais partes do receptor.
- É obtido pela combinação do sinal recebido pelo receptor com um sinal senoidal gerado pelo oscilador do receptor.
- O sinal FI contém toda a modulação presente no sinal transmitido, mas a onda portadora se apresenta deslocada em frequência, devido a diferença entre a frequência recebida e a gerada pelo oscilador do receptor.
- O sinal FI é trabalhado nos rastreadores do sinal (signal trackers), ou seja, nos canais.

Canais



- O canal de um receptor é considerado a sua unidade eletrônica primordial, podendo possuir um ou mais canais.

- Os tipos de canais são divididos em multi-canais (canais dedicados), seqüencial e multiplexados.
 - Nos receptores multi-canais: cada canal rastreia continuamente um dos satélite visíveis.
 - Nos receptores seqüencial, o canal alterna de satélite dentro de intervalos regulares.

Canais



- Na técnica multiplex, seqüências são efetuadas entre satélites numa velocidade muito alta, e as vezes, nas duas freqüências.
- Uma vantagem da técnica multiplex sobre a de multi-canais é a não necessidade de considerar os efeitos sistemáticos entre canais. Um receptor usando a técnica multiplex necessita da ordem de 30 segundos para obter a primeira posição, tal como nos receptores com canais dedicados.
- Receptores com um único canal são de baixo custo.
- Receptores com canais dedicados são mais rápidos, embora apresentem efeitos sistemáticos entre canais (inter-channel biases), os quais são minimizados no processo de calibração realizado pelo microprocessador.
- A maioria dos receptores geodésicos têm de 6 a 12 canais dedicados (paralelos), com capacidade de rastrear todos os satélites visíveis.

Classificação dos receptores



- De acordo com a comunidade usuária:
 - receptor de uso militar ou civil.
- De acordo com a aplicação:
 - Navegação, Geodésico; SIG (Sistema de Informações Geográficas), etc.
- De acordo com o tipo de observável rastreada:
 - códigos C/A e P e portadoras L1 e L2,
 - código C/A e portadoras L1 e L2,
 - código C/A e portadora L1,
 - código C/A.
 - Com a modernização novas possibilidades surgirão.

Receptores



Receptores C/A



iQue 360



ETrex



GPS V



Rino 110

Receptores L1/L2



Z-MAX (THALES)



HIPER (TOPCON)



GSR 2600 (SOKKIA)

Receptores L1 e C/A



Pathfinder Pro XRS



MobileMapper



ProMark3

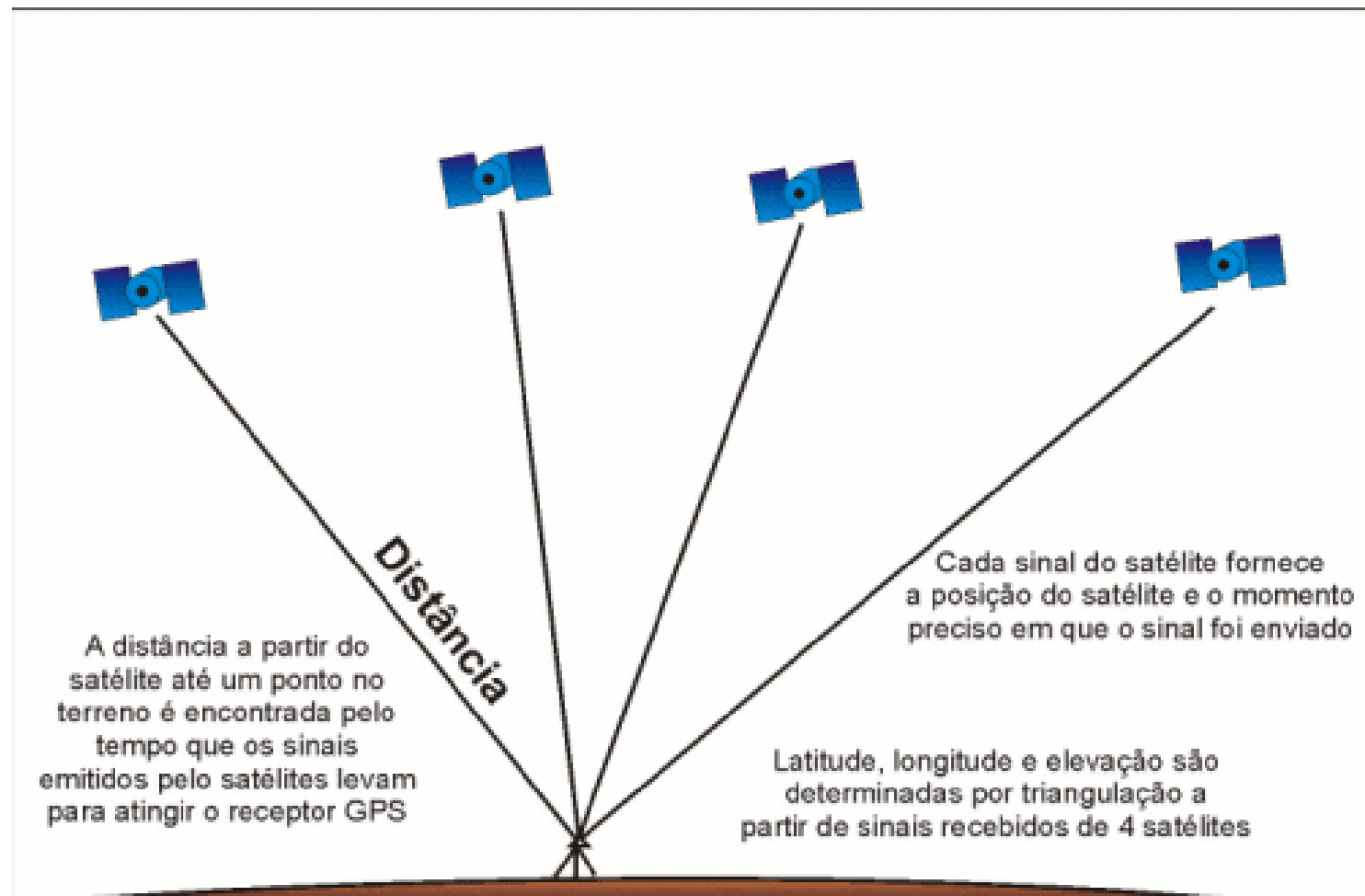


Stratus

A precisão que consta dos folhetos nem sempre é alcançada, dependendo de condições especiais.



PRINCIPIOS POSICIONAMENTO GPS



Efemérides - GPS



A Identificação das efemérides precisas é realizada a partir da sigla do centro que a produz, a semana GPS correspondente e o dia da semana.

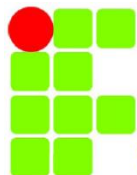
A contagem do dia da semana começa pelo domingo (0).

Efemérides - GPS



Efemérides	Exatidão		Disponibilidade	Nomenclatura
Broadcast (Transmitidas)	≈200 cm	≈ 7 ns	Diariamente	-----
Preditas	< 50 cm	≈ 2ns	Após 6 horas	iguwwwwd_hh.sp3
Rápidas	< 5 cm	0,1 ns	≈ 24 horas	igrwwwwd.sp3
Precisas	< 5 cm	< 0,1 ns	Após 13 dias	igswww.sp3

Formato sp3 - Standard Product 3



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SUL DE MINAS GERAIS
Campus Inconfidentes



POSICIONAMENTO PELO GNSS

CAPÍTULO II – ERROS SISTEMÁTICOS ENVOLVIDOS NAS OBSERVÁVEIS

Posicionamento pelo GNSS

As observáveis GNSS



As observáveis básicas que permitem determinar posição, velocidade e tempo podem ser identificadas como:

- ✓ Pseudodistância a partir do código;
- ✓ Fase da Onda Portadora ou Diferença de Fase da onda portadora.

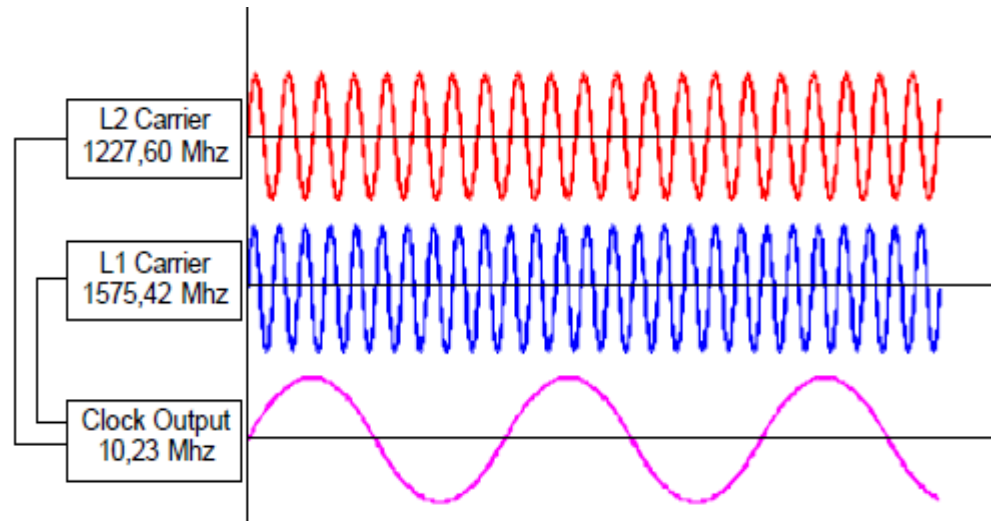
Pode-se obter ainda outras observáveis:

- ✓ Variação Doppler;
- ✓ O SNR (Signal to Noise Ratio – Razão Sinal Ruído).

Características dos Sinais GPS



- Cada satélite GPS transmite dois sinais para o posicionamento: o sinal L1 e o sinal L2.
- Elas são geradas a partir da frequência fundamental de 10.23 MHz, a qual é multiplicada por 154 e 120 respectivamente.
- L1 (frequência) = 1575.42 MHz; λ (comprimento de onda) = 19 cm
- L2 = 1227.60 MHz; λ = 24 cm

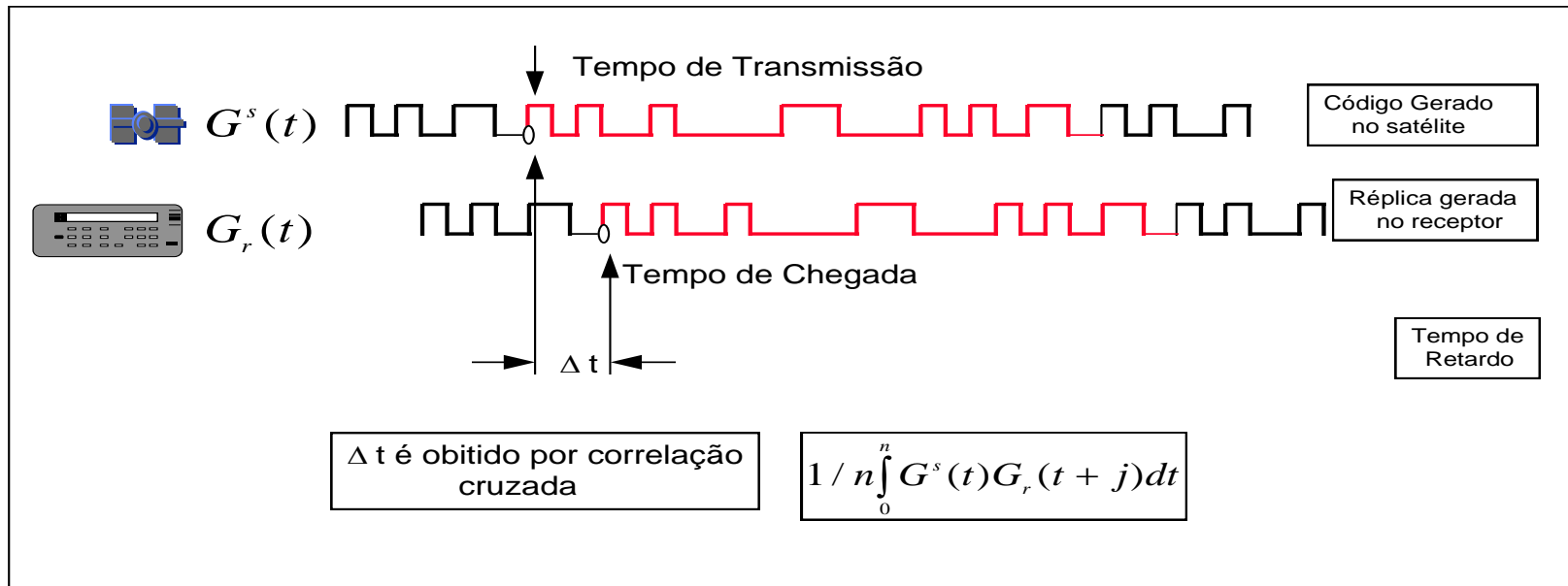


Estas duas frequências são geradas simultaneamente, permitindo aos usuários corrigir grande parte dos erros devido a refração ionosférica.

Pseudodistâncias



- A pseudodistância é a diferença entre o tempo registrado no receptor no instante de recepção do sinal e o tempo registrado no satélite no instante de transmissão do sinal, multiplicado pela velocidade da luz no vácuo.



Fase Portadora



- A fase da onda portadora é igual à diferença entre a fase do sinal do satélite, recebido no receptor, e a fase do sinal gerado no receptor, ambas no mesmo instante de recepção. Além da diferença de fase é necessário fazer a contagem do número de ciclos inteiros da primeira época de observação entre as antenas do receptor e o satélite, a ambigüidade.



Características dos Sinais GPS

- No Futuro, quando o bloco IIF estiver em atividade, uma terceira portadora estará disponível.
L5 (frequência) = 1176,45 MHz; λ (comprimento de onda) = 25,5 cm
- O código C/A (Coarse Acquisition) com comprimento de onda por volta de 300 m é transmitido a uma razão de 1.023 MHz e modulado somente sobre a onda portadora L1.
- O código C/A proporciona a medida da pseudo-distância que permitem obter a exatidão estipulada no GPS. Este código não é criptografado, embora possa ter sua precisão degradada.
- O código P (Precise or Protected) têm sido reservado para uso dos militares americanos e outros usuários autorizados
- Comprimento de onda é da ordem de 30 m e é transmitido na razão de 10.23 MHz (uma seqüência de 10,23 milhões de dígitos binários por segundo) modulado nas portadoras L1 e L2.
- Cada satélite contém o correspondente a 7 dias deste código (PRN), ou seja uma semana das 38 possíveis. Desta forma, todos os satélites transmitem na mesma frequência e podem ser identificados pela sua (única) semana correspondente.
- O Seguimento do código atribuído a cada satélite é reiniciado a cada semana às 0 hs TU (Tempo Universal) do sábado para domingo.



Características dos Sinais GPS

- O fato do código P ser modulado numa razão mais alta faz com que o mesmo seja mais preciso.
- O código P é criptografado no modo (AS) e passa a ser denominado código Y, o qual não é disponível para os usuários civis.
- As mensagens de navegação são também moduladas sobre as portadoras.
 - Tais mensagens contêm os parâmetros orbitais, dados para correção da propagação na atmosfera, parâmetros para correção do erro dos relógios dos satélites, saúde dos satélites, etc.
- **BLOCO IIF**
 - Código L2C sobre a portadora L2
 - Código L5C sobre a portadora L5



Características dos Sinais GPS

- O acesso direto ao código P somente é possível para receptores bem sincronizados com o sistema de tempo GPS e posicionado num ponto com coordenadas bem definidas. Esta é a razão pela qual, em geral, o acesso é realizado com o auxílio do código C/A via o HOW (**Hand Over Word**), o qual contém o contador Z
- *Z-count: acompanha as mensagens dos satélites. O contador Z é definido como um número inteiro, com período de 1.5 segundos, e contado desde o início da semana GPS, identificando desta forma a época de registro dos dados em tempo GPS.*
- Quando o contador Z é conhecido, a aquisição do código P pode ser feita nos próximos seis segundos (Seeber, 1993).

Erros Relacionados com os Satélites



- O sistema GPS está sujeito a erros aleatórios, sistemáticos e grosseiros.
- Os erros sistemáticos podem ser parametrizados (modelado como termos adicionais) ou eliminados por técnicas apropriadas.
- Os erros aleatórios não apresentam qualquer relação funcional com as medidas e são, normalmente, as discrepâncias remanescentes nas observações depois que todos os erros grosseiros e sistemáticos são minimizados.
- Erros grosseiros devem ser eliminados.



FONTES	EFEITOS
Satélite	Erro da órbita Erro do relógio Relatividade Atraso de Grupo
Propagação do sinal	Refração troposférica Refração ionosférica Perdas de ciclos Sinais refletidos Rotação da Terra
Receptor/Antena	Erro do relógio Erro entre os canais Centro de fase da antena
Estação	Erro nas coordenadas Marés terrestres Movimento do Pólo Carga dos oceanos Pressão da atmosfera

Erro orbital



- Informações orbitais podem ser obtidas a partir das efemérides transmitidas pelos satélites ou das pós-processadas, denominadas efemérides precisas.
- As coordenadas dos satélites calculadas a partir das efemérides são, normalmente, injuncionadas como fixas durante o processo de ajustamento dos dados GPS.
- No posicionamento relativo, os erros orbitais são praticamente eliminados, mas erros remanescentes degradam a acurácia da linha base na medida que esta se torna mais longa.

$$\epsilon_b = b \epsilon_r / R$$

onde,

ϵ_b : resultante na base;

b : comprimento da base (km);

ϵ_r : erro na posição do satélite e ;

R : distância do satélite ao receptor (20.000 km)

Erro orbital



- Erros resultantes no processamento de bases com comprimento variando entre 10 e 5000 km, usando efemérides transmitidas (ET) - erro de 10 e 20 m. Com efemérides precisas (EP) – erros de 1 m e 10 cm.

EFEMÉRIDES	Erro Orbital Δr (m)	Comprimento da base b (km)	Erro da base Δb (cm)	Acuraciade relativa $\Delta b/b$ (ppm)
Transmitidas	10	10	0,5	0,5
		100	5	
		1000	50	
		5000	250	
Transmitidas	20	10	1	1,0
		100	10	
		1000	100	
		5000	500	
Preditas (IGP)	1	10	0,05	0,05
		100	0,5	
		1000	5	
		5000	25	
Preditas (IGS)	0,1	10	0,005	0,005
		100	0,05	
		1000	0,5	
		5000	2,5	

Erros no Relógio do Satélite



- Embora altamente acurados, os relógios atômicos a bordo dos satélites não acompanham o sistema de tempo GPS.
- A diferença chega a ser, no máximo, de 1 milissegundo. O valor pelo qual eles diferem do tempo GPS faz parte da mensagem de navegação na forma de coeficientes de um polinômio de segunda ordem, dado por:

$$dt(t) = a_0 + a_1 (t - t_{0c}) + a_2 (t - t_{0c})^2$$

onde:

t_{0c} : tempo de referencia de relógio (clock);

a_0 : estado do relógio do tempo de referência;

a_1 é a marcha linear do relógio e;

a_2 é a variação da marcha do relógio.

- A técnica (*dither*) usada na SA é implementada através da introdução de erro no parâmetro a_i

Relatividade



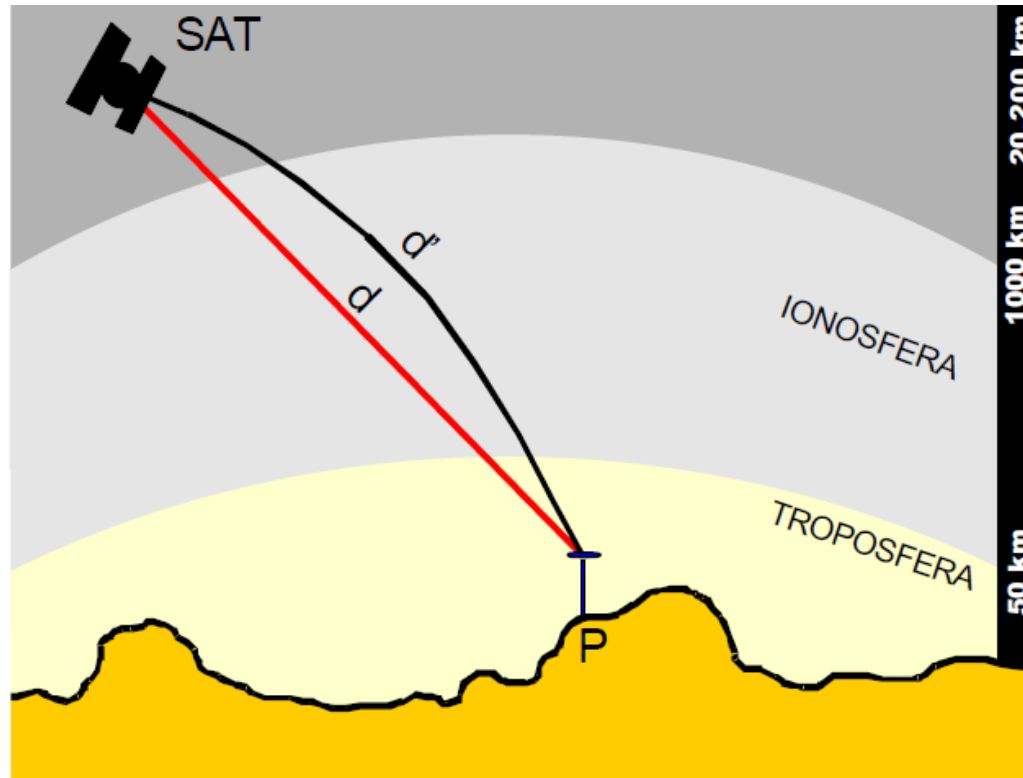
- Os efeitos da relatividade no GPS não são restritos somente aos satélites (órbitas e relógios), mas também a propagação do sinal e aos relógios dos receptores.
- Os relógios nas estações de monitoramento e de bordo estão situados em locais com potenciais gravitacionais diferentes, além de mover-se com velocidades diferentes.
- Isto provoca uma aparente alteração na frequência dos relógios de bordo com relação aos terrestres.
- Técnica diferencial.

Atraso de Grupo



- Este erro é decorrente do retardo dos sinais quando passam através do hardware do satélite, afetando o tempo de propagação do sinal.
- No entanto, a calibração durante a fase de testes dos satélites permite determinar a magnitude do atraso e introduzi-la como parte dos coeficientes do polinômio do relógio.

Erros relacionados com a Propagação do Sinal



- A troposfera é um meio não dispersivo, isto é, a refração é independente da frequência do sinal.
- A ionosfera é um meio dispersivo (a refração depende da frequência), o que significa que a fase da portadora e a modulação sobre ela serão afetadas de forma diferentes.

Refração Troposférica



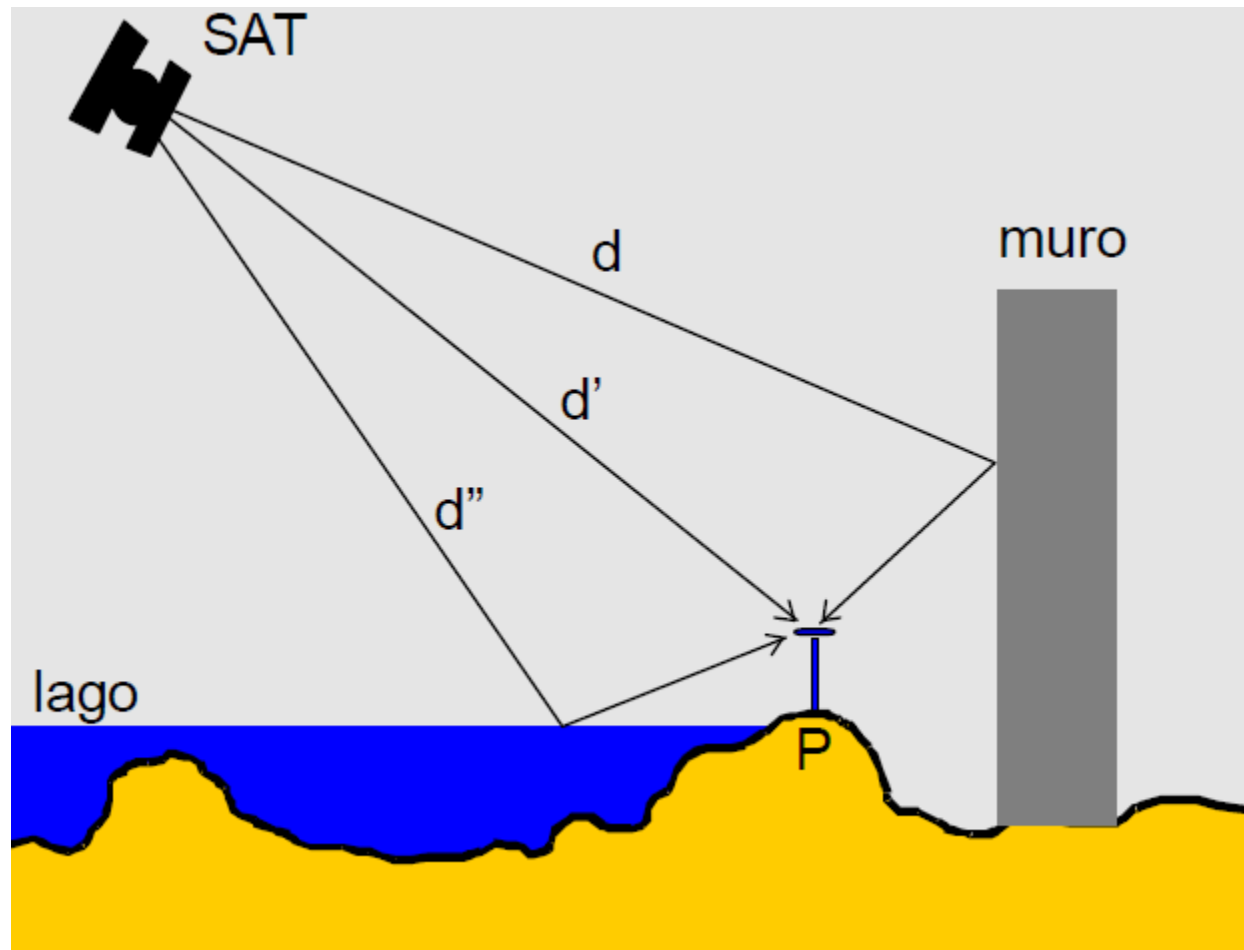
- **Refração Troposférica:** O efeito da troposfera pode variar de poucos metros até aproximadamente 30 m, dependendo da densidade da atmosfera e do ângulo de elevação do satélite.
- A refração é sensível a presença de vapor d'água.
- Efeitos causados pela troposfera terrestre sobre os sinais GPS: atenuação troposférica, cintilação troposférica e o atraso troposférico.

Refração Ionosférica



- A ionosfera é um meio dispersivo, ou seja, depende da frequência do sinal
- A fase sofre um avanço quando passa através da ionosfera e o código por sua vez sofre um atraso.
- Os efeitos de primeira ordem são eliminados quando se coleta os dados com um receptor de dupla frequência.
- Para receptores de frequência simples, a ionosfera é a maior fonte de erro.
- Desta forma, o uso de modelos da ionosfera pode melhorar os resultados. Nestes modelos, medidas de fase coletadas com receptores de dupla frequência são usadas para estimar as correções para os usuários de frequência simples operando na área.

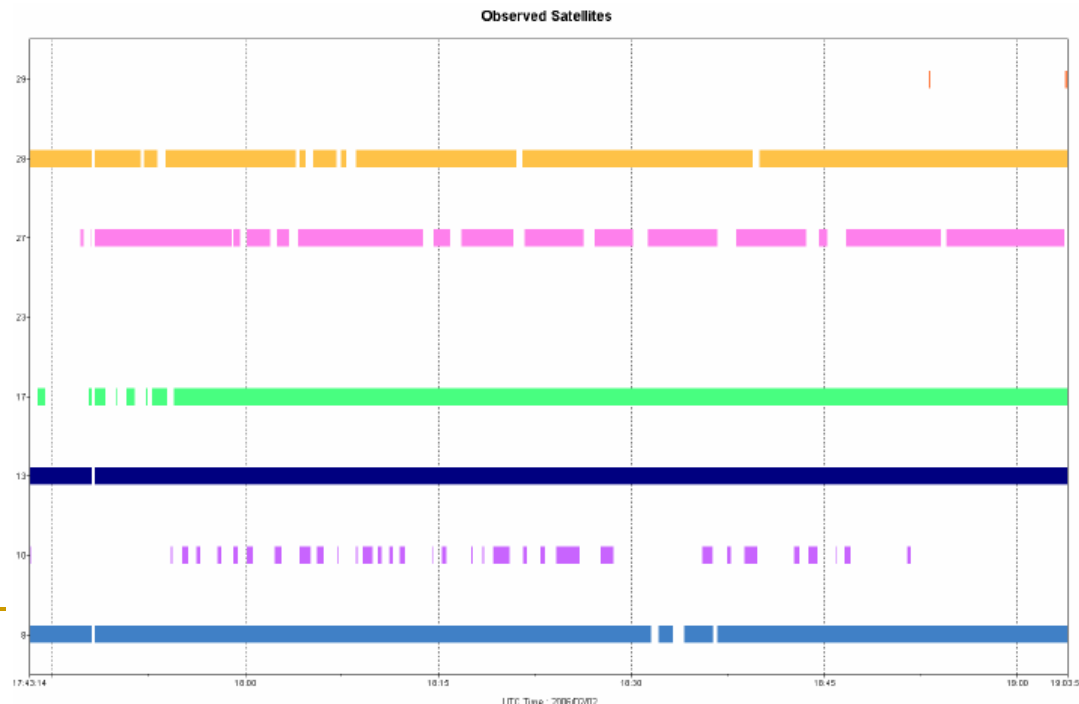
Sinais refletidos (*multipath*)



Perdas de Ciclos



- As medidas de fase são, normalmente, contínuas com respeito ao período de uma sessão de observação.
- Quando há uma não continuidade na medida da fase diz se que ocorreu perda de ciclos. Isto pode ser devido a bloqueio do sinal, aceleração da antena, variações bruscas na atmosfera, interferências de outras fontes de rádio e problemas com o receptor e software.



Rotação da Terra



- O cálculo das coordenadas do satélite apresentada anteriormente foi para o instante de transmissão do sinal e num sistema de coordenadas fixo a Terra.
- Durante a propagação do sinal, o sistema de coordenadas rotaciona com relação ao satélite, alterando suas coordenadas.
- As coordenadas originais do satélite devem ser rotacionadas sobre o eixo Z de um ângulo α , definido como o produto do tempo de propagação pela velocidade de rotação da Terra.



Erros Relacionados com o Receptor e Antena

- **Erro do relógio:** receptores GPS são normalmente equipados com osciladores de quartzo. Este erro é praticamente eliminado no posicionamento relativo.
- **Erros entre Canais:** Quando um receptor possui mais que um canal de rastreamento, pode ocorrer erro (sistemático) entre os canais. Este efeito é eliminado através de uma calibração, onde um canal é tomado como padrão.
- **Centro da Fase da Antena:** O centro elétrico da antena é um ponto no qual as medidas dos sinais são referenciadas e geralmente não coincide com o centro físico da antena. A discrepância varia com a intensidade e direção dos sinais e é diferente para a portadora L1 e L2.



Erros Relacionados com a Estação

- **Marés Terrestres:** A deformação da Terra devido às forças das marés (sol e lua). A variação é função da posição do sol e da lua, sendo que os períodos principais destas variações são 12 (semi- diurna) e 24 (diurna) horas.
- **Movimento do Pólo:** variação nas coordenadas das estações atinge até 25 mm, este efeito é eliminado no posicionamento relativo.
- **Carga dos Oceanos:** O peso que o oceano exerce sobre a superfície terrestre produz deslocamento . A magnitude do deslocamento depende do alinhamento do sol, lua e posição do observador, podendo alcançar cerca de 10 cm na componente vertical.



Erros Relacionados com a Estação

- Carga da Atmosfera: A carga da atmosfera exerce uma força que provoca deformações sobre a crosta, principalmente na direção vertical.
- As maiores deformações estão associadas com tempestades na atmosfera, podendo alcançar 10 mm.
- A maioria dos programas para processamento de dados GPS ainda não apresenta modelos para correções desta natureza.
- Para redes de grande dimensão, requerendo alta acurácia, recomenda-se estender a campanha para 2 semanas, ao invés dos usuais 3 a 5 dias.

EQUAÇÃO DE OBSERVAÇÃO

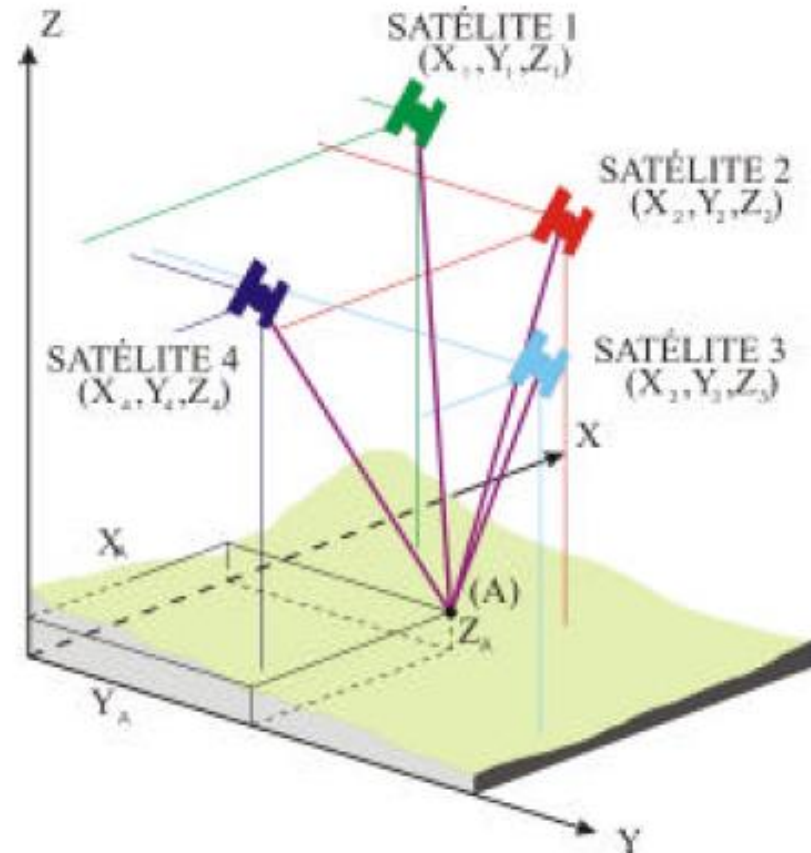


- Em termos de geometria da onda, se a diferença entre o tempo de emissão e o tempo de recepção puder ser determinado, pode-se calcular a distância percorrida nesse intervalo.
- Assim, o sistema GPS nos permite determinar as distâncias entre a antena e o satélite e, conseqüentemente, a posição relativa entre a antena e este satélite.

EQUAÇÃO DE OBSERVAÇÃO



- Distâncias:
- DSat1-Ponto A = $(c \times \Delta t_{SAT1})$;
- DSat2-Ponto A = $(c \times \Delta t_{SAT2})$;
- DSat3-Ponto A = $(c \times \Delta t_{SAT3})$;
- DSatN-Ponto A = $(c \times \Delta t_{SATN})$;

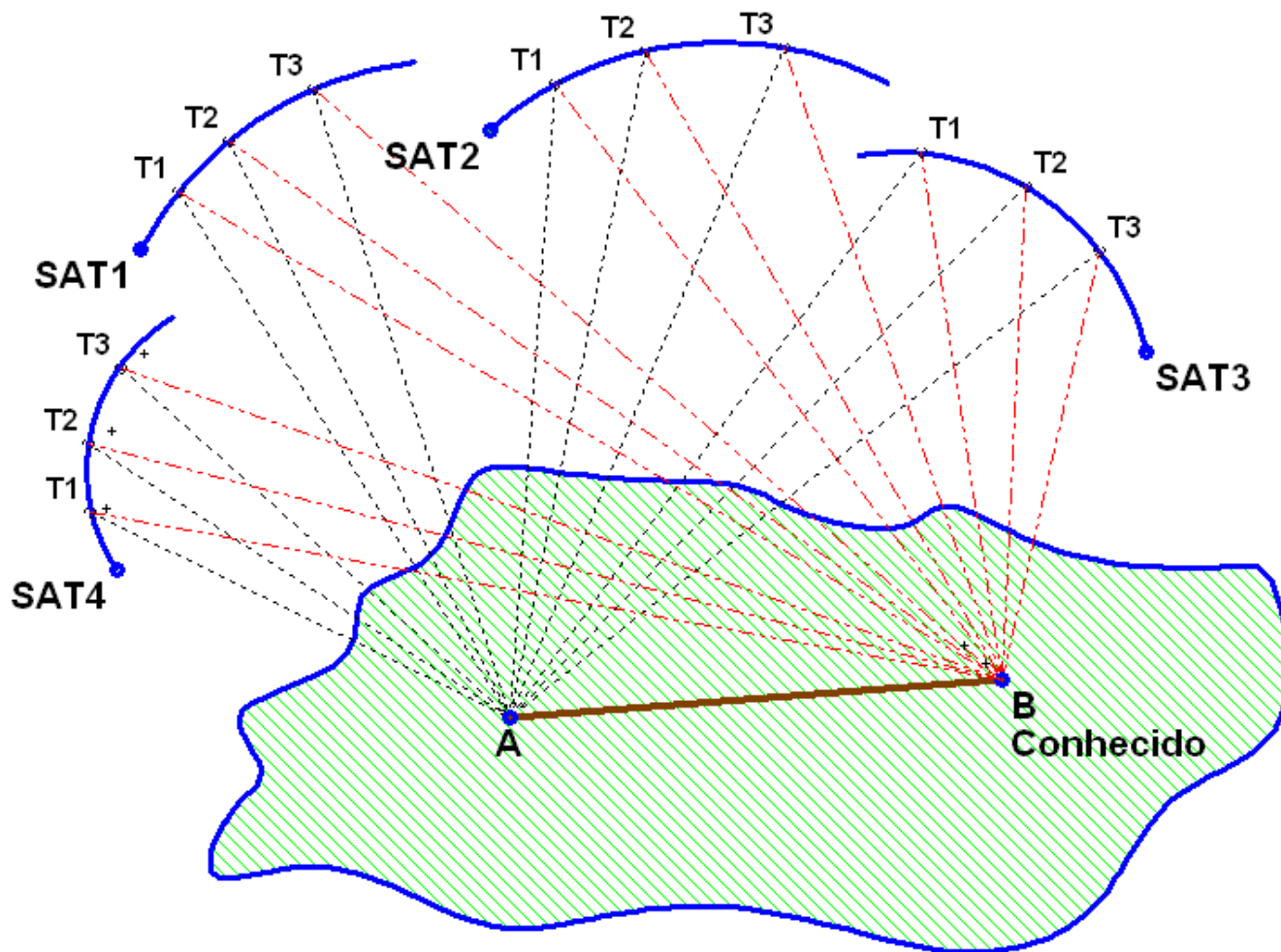


PSEUDO-DISTÂNCIAS



- As distâncias determinadas anteriormente apresentam erros e por tal são denominadas de pseudo-distâncias. Os erros presentes nas pseudo-distâncias são:
- Δt_r : Erro do relógio do receptor e o tempo GPS;
- Δt_s : Erro do relógio do satélite em relação o tempo GPS;
- Δt_{it} : Atraso da propagação devido ao efeito da ionosfera e troposfera;
- ε : Demais erros (ruídos do receptor, efeito de multicaminhamento, variação do centro de fase da antena, etc.).

PSEUDO-DISTÂNCIAS



PSEUDO-DISTÂNCIAS



A distância corrigida dos erros citados, para um dado satélite, em um determinado instante, pode ser expressa por:

$$D_a^{S1}(t_1) = \sqrt{(X_B + \Delta X_{AB} - X_{S1}^{(n)})^2 + (Y_B + \Delta Y_{AB} - Y_{S1}^{(n)})^2 + (Z_B + \Delta Z_{AB} - Z_{S1}^{(n)})^2} = c \cdot \Delta t_A + c \cdot \Delta t_{A-S1}^{ion}(t_1) + c \cdot \Delta t_{A-S1}^{trop}(t_1) + c \cdot \Delta t^{S1}(t_1) + \varepsilon$$

$$D_b^{S1}(t_1) = \sqrt{(X_B - X_{S1}^{(n)})^2 + (Y_B - Y_{S1}^{(n)})^2 + (Z_B - Z_{S1}^{(n)})^2} = c \cdot \Delta t_B + c \cdot \Delta t_{B-S1}^{ion}(t_1) + c \cdot \Delta t_{B-S1}^{trop}(t_1) + c \cdot \Delta t^{S1}(t_1) + \varepsilon$$

$$D_a^{S1}(t_2) = \sqrt{(X_B + \Delta X_{AB} - X_{S1}^{(2)})^2 + (Y_B + \Delta Y_{AB} - Y_{S1}^{(2)})^2 + (Z_B + \Delta Z_{AB} - Z_{S1}^{(2)})^2} = c \cdot \Delta t_A + c \cdot \Delta t_{A-S1}^{ion}(t_2) + c \cdot \Delta t_{A-S1}^{trop}(t_2) + c \cdot \Delta t^{S1}(t_2) + \varepsilon$$

$$D_b^{S1}(t_2) = \sqrt{(X_B - X_{S1}^{(2)})^2 + (Y_B - Y_{S1}^{(2)})^2 + (Z_B - Z_{S1}^{(2)})^2} = c \cdot \Delta t_B + c \cdot \Delta t_{B-S1}^{ion}(t_2) + c \cdot \Delta t_{B-S1}^{trop}(t_2) + c \cdot \Delta t^{S1}(t_2) + \varepsilon$$

$$D_a^{S1}(t_3) = \sqrt{(X_B + \Delta X_{AB} - X_{S1}^{(3)})^2 + (Y_B + \Delta Y_{AB} - Y_{S1}^{(3)})^2 + (Z_B + \Delta Z_{AB} - Z_{S1}^{(3)})^2} = c \cdot \Delta t_A + c \cdot \Delta t_{A-S1}^{ion}(t_3) + c \cdot \Delta t_{A-S1}^{trop}(t_3) + c \cdot \Delta t^{S1}(t_3) + \varepsilon$$

$$D_b^{S1}(t_3) = \sqrt{(X_B - X_{S1}^{(3)})^2 + (Y_B - Y_{S1}^{(3)})^2 + (Z_B - Z_{S1}^{(3)})^2} = c \cdot \Delta t_B + c \cdot \Delta t_{B-S1}^{ion}(t_3) + c \cdot \Delta t_{B-S1}^{trop}(t_3) + c \cdot \Delta t^{S1}(t_3) + \varepsilon$$

Resolvido o sistema anterior, determinam-se as coordenadas do ponto A.

FASE DA ONDA PORTADORA



- Para medidas utilizando a fase da portadora, a equação da pseudo-distância é acrescida do termo das ambigüidades.

$$D_{SAT-REC} = c \cdot \Delta t + c \cdot \Delta t_r + c \cdot \Delta t_s + c \cdot \Delta t_{it} + c \cdot \left(\frac{N}{f_c} \right) \cdot \Delta t + \varepsilon$$

Onde:

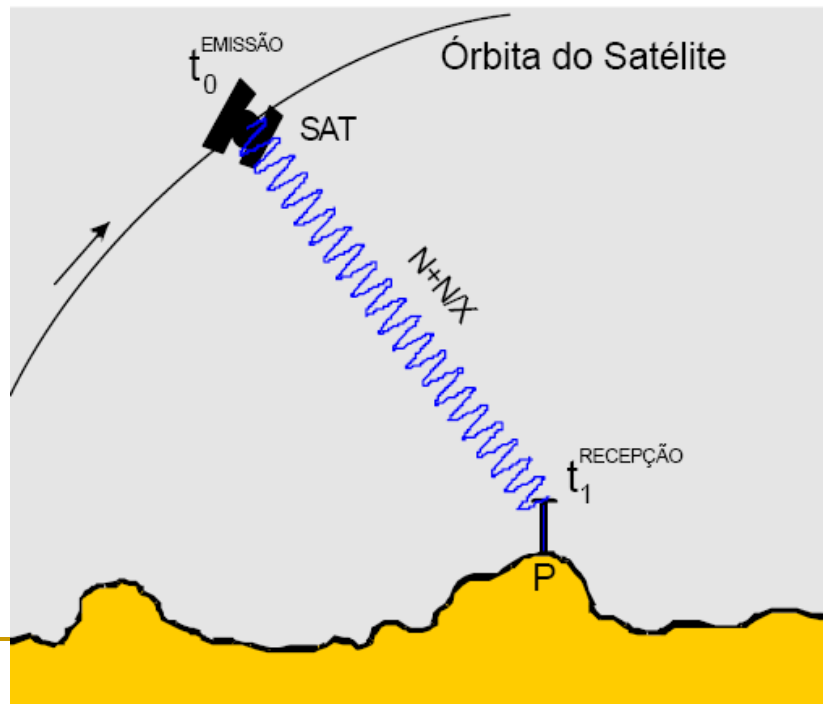
f_c : freqüência da portadora;

N : anbiguidade (número inteiro de comprimentos de ondas compreendido entre o instante da emissão (Satélite) e o instante da recepção (Receptor)).

AMBIGÜIDADES



- Pode ser determinada por alguns métodos por exemplo: geométrico; combinação do código e da fase da portadora; de procura das ambigüidades e combinado.



A parte fracionária (N/X) é determinada pelo receptor a parte inteira (N) é uma incógnita.

AMBIGÜIDADES

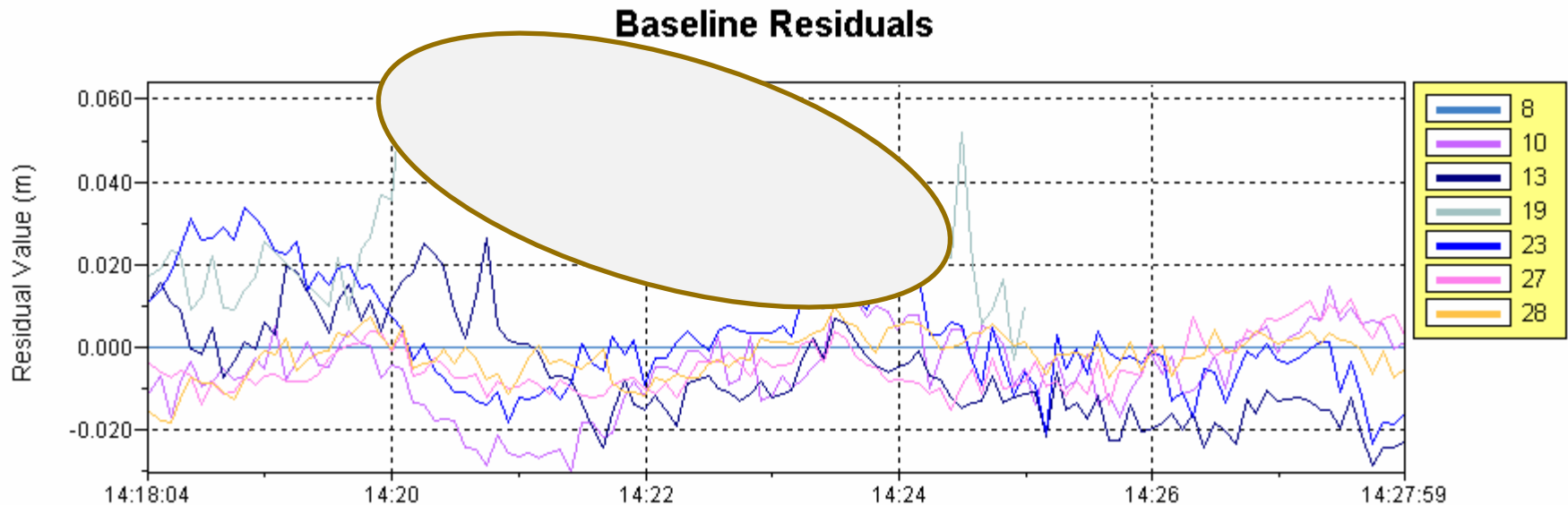


- O método geométrico baseia-se na modificação da geometria dos satélites em função do tempo.
- O método de combinação do código e da fase da portadora para a resolução das ambigüidades utiliza as não-ambigüidades levantadas na fase do código, como os comprimentos de onda adicional.
- O método de Procura das Ambigüidades consiste na procura da combinação linear ótima, sendo que o algoritmo inicia a busca utilizando ambigüidades obtidas por uma solução flutuante.
- O método combinado refere-se à combinação de todas as outras técnicas, em deverá proporcionar os melhores resultados.

PERDA DE SINAL



- Sem perda de sinal, a ambigüidade permanece constante por todo o período do levantamento;
- A perda de sinal *consiste na descontinuidade nas* observações da fase da portadora, em geral um número inteiro de ciclos, causada pela perda temporária do sinal enviado pelos satélites GPS.





- Quando as ambigüidades estão completamente determinadas, o usuário pode obter uma medição das pseudo-distâncias com um ruído ao nível milimétrico e uma posição subcentimétrica.

- Para a solução obtida pela fase da portadora, a precisão obtida é:
 - para L1 ($\lambda = 19,05$ cm) corresponde a uma precisão de 1,905mm (~2mm); e
 - para L2 ($\lambda = 24,45$ cm) corresponde a uma precisão de 2,445mm (~2,5mm).

DIFERENCIAÇÃO



- Para eliminar e/ou minimizar os erros presentes nas observações, efetua-se o processo de diferenciação e em alguns casos combinações especiais das observáveis.
 - Simples Diferença,
 - Dupla Diferença e
 - Tripla Diferença

- A diferenciação pode ser efetuada entre estações, satélites e épocas.

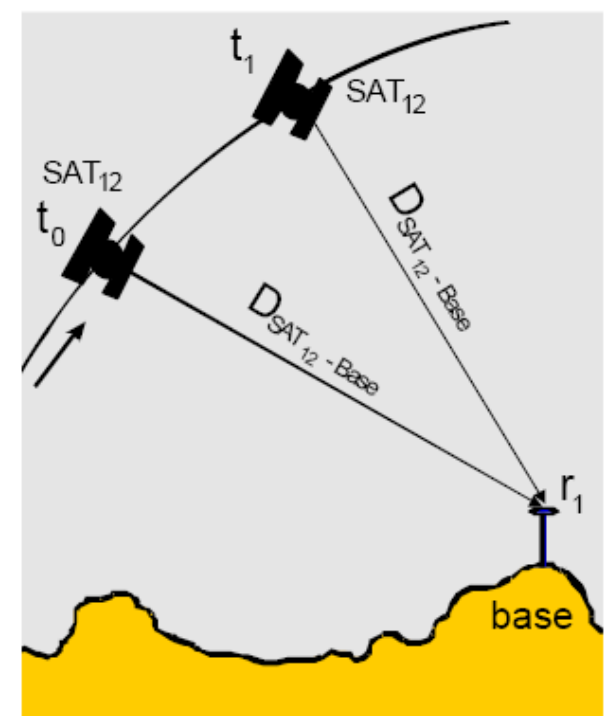
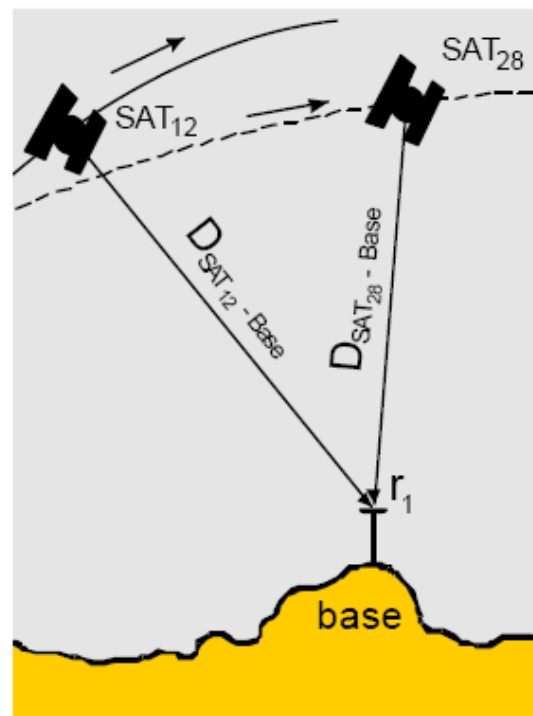
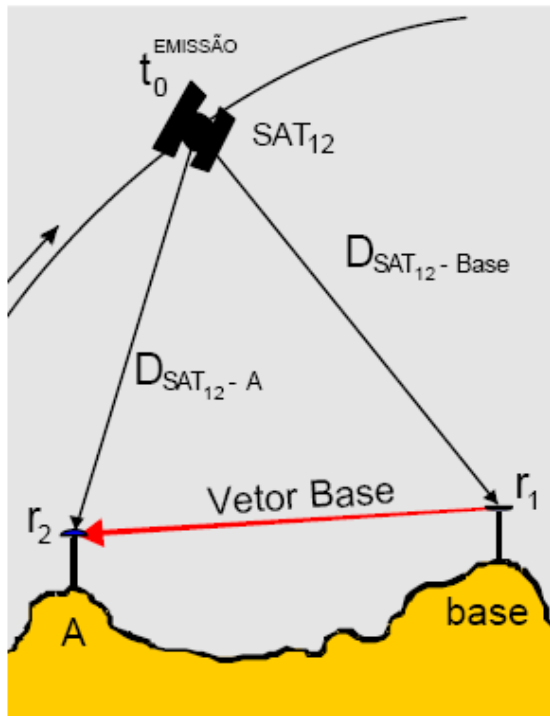
- Quando se combinam observáveis entre estações trata-se do posicionamento relativo ou diferencial.

- O termo diferencial empregado anteriormente diz respeito ao fato da realização da diferenciação entre as observáveis de diferentes estações, e não deve ser confundido com a técnica DGPS.

Simple difference



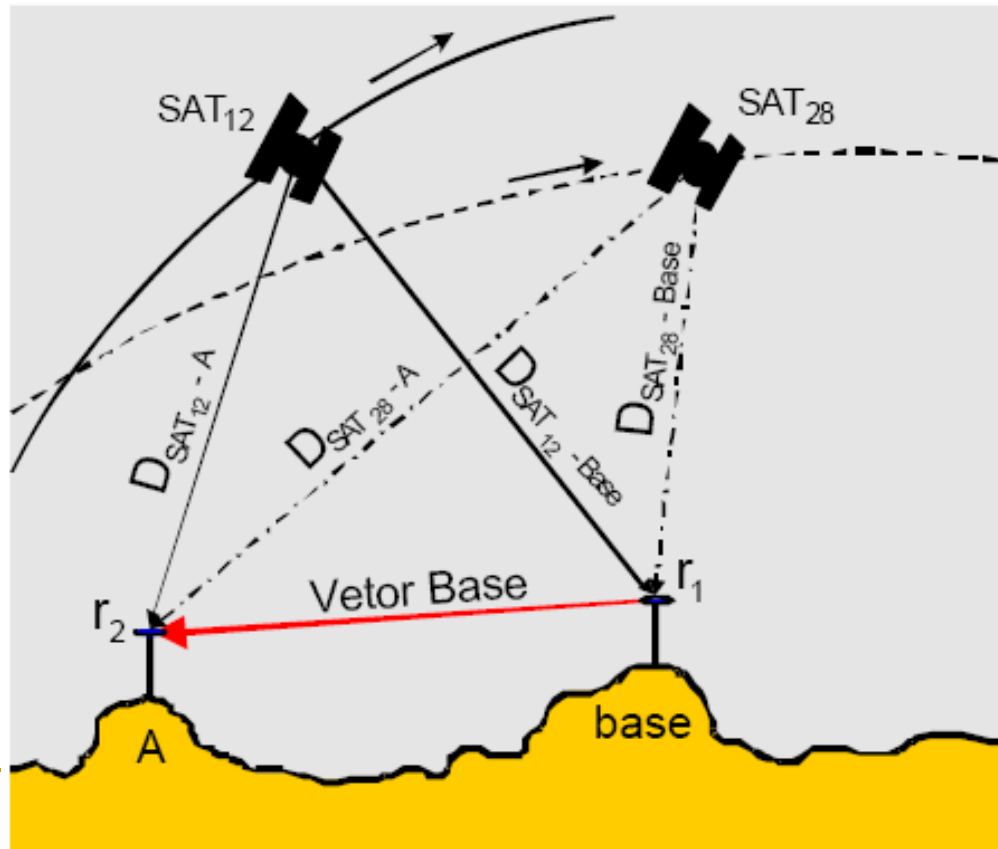
- A simple difference can be formed between two receivers, two satellites or two epochs.



Dupla diferença



- A dupla diferença é diferença entre duas simples diferenças. Envolve, portanto, dois receptores e dois satélites.

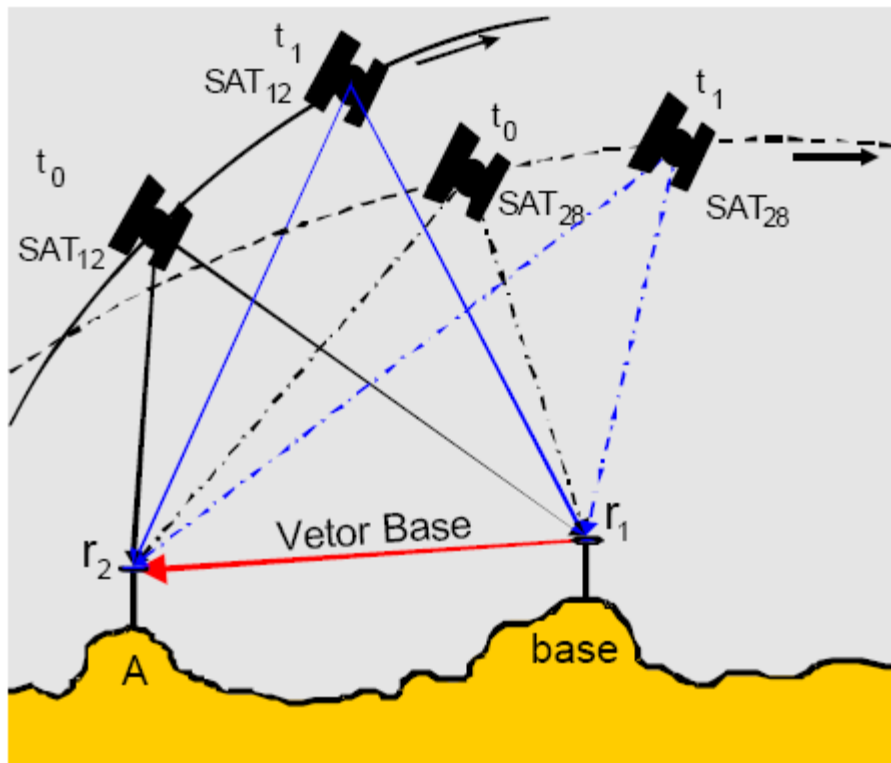


A equação da dupla diferença que envolve a portadora proporciona a melhor relação entre ruído resultante e a eliminação dos erros sistemáticos envolvidos nas observáveis originais (erro de relógio e ionosférico).

Tripla diferença



- A tripla diferença é a diferença entre duas duplas diferenças, envolvendo os mesmos receptores e satélites, mas em épocas distintas (t_0 e t_1).



No caso de pseudo-distância, a tripla diferença não oferece nenhuma vantagem com relação às anteriores. Para a fase da portadora, a ambigüidade é eliminada, deixando como incógnitas apenas as coordenadas dos receptores.



COMBINAÇÕES LINEARES

- O sistema GPS possibilita a combinação linear entre as portadoras L1 e L2 e os códigos (P e C/A).
- As combinações lineares possibilitam a redução ou eliminação de erros.
- Por exemplo: se o usuário dispõe de um receptor capaz de receber o sinal das duas ondas portadoras ele pode eliminar o tempo de retardo do sinal na ionosfera mediante uma combinação linear.
- Estas combinações permitem determinar as ambigüidades, para posterior obtenção das coordenadas.
- Para o caso em que se realiza estas combinações entre as portadoras L1 e L2, elas se dão através da soma e/ou da subtração entre essas portadoras, ou mediante seus múltiplos.



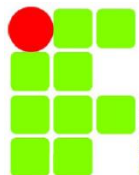
COMBINAÇÕES LINEARES

- **Livre dos Efeitos Ionosféricos (L0):** Esta combinação linear refere-se à média aritmética dos sinais LW e LN , não fornece as ambigüidades inteiras.
 - Os erros ionosféricos são reduzidos consideravelmente nessa observável é indicado para o posicionamento geodésico de alta precisão, especialmente envolvendo bases longas.
- **Wide Lane (LW):** Ela é obtida através da diferença entre as ondas portadoras L1 e L2.
 - A vantagem é a possibilidade de determinar as ambigüidades com um comprimento de onda 4 vezes maior que o das observações originais. A desvantagem consiste na elevação do nível do ruído em cerca de 6 vezes, quando comparada com o da portadora L1.
 - Recomenda-se a utilização dessa combinação para bases longas (acima de 30 km).



COMBINAÇÕES LINEARES

- ***Narrow Lane (LN)*** é obtida pela soma das portadoras originais.
 - Apresenta o nível de ruído mais baixo de todas as combinações, contudo as ambigüidades são de difícil solução. Esta combinação é utilizada para a solução das coordenadas em bases curtas (< 2 km).
- ***Sinal Ionosférico (LI)*** é obtida a partir da diferença entre os sinais LN e LW, contém o efeito ionosférico completo.
 - Permite uma análise detalhada do comportamento da ionosfera e é útil para as estratégias aplicadas na resolução das ambigüidades.



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SUL DE MINAS GERAIS
Campus Inconfidentes



POSICIONAMENTO PELO GNSS

CAPÍTULO III – POSICIONAMENTO

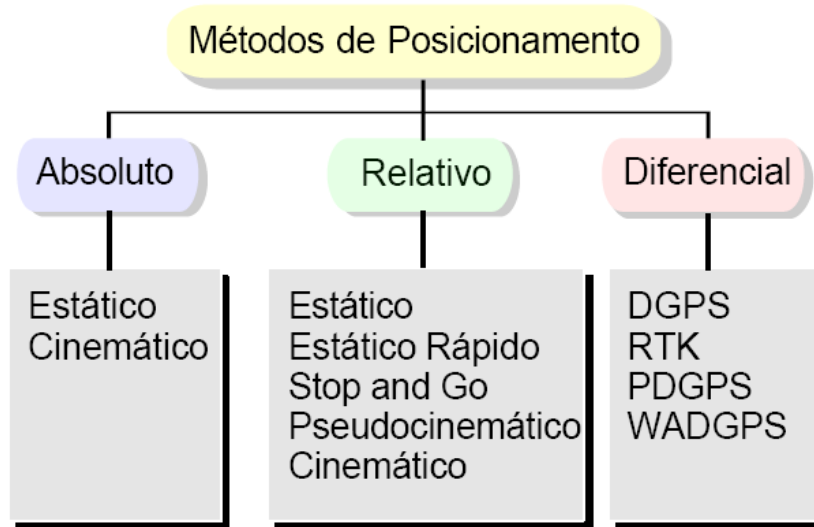
CONDIÇÕES PARA LEVANTAMENTOS GPS

- Mínimo 2 receptores
 - Mínimo 4 SV's *comuns* devem ser rastreados em cada estação
 - Visibilidade suficiente do céu em todas as estações para rastrear 4 SV's com bom PDOP
 - Dados devem ser gravados simultaneamente (taxas sincronizadas ou épocas)
 - Receptores devem ser capaz de gravar observações da(s) portadora(s) (não só código C/A)
-



TIPOS DE POSICIONAMENTO

- Pode-se classificar o posicionamento em **absoluto**, **relativo e diferencial - DGPS (Differential GPS)**.
 - ❑ Absoluto: o referencial é o geocentro (centro de massa da terra),
 - ❑ Relativo quando se relaciona com uma rede de pontos de coordenadas conhecidas;
 - ❑ Diferencial as coordenadas da estação móvel são determinadas através das correções geradas na estação de referência.





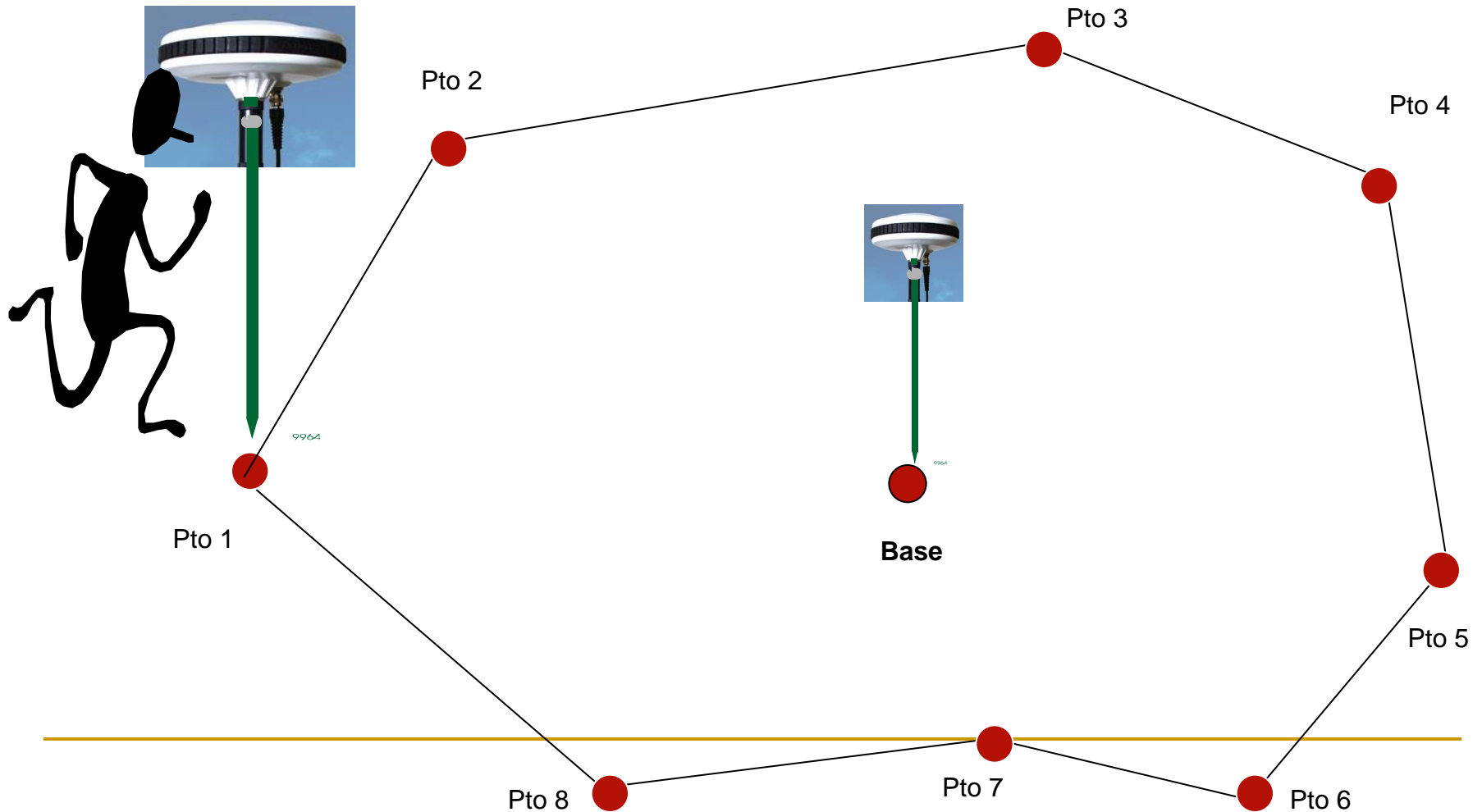
Método Absoluto (GPS de Navegação)

- Este é o método mais simples;
- Método de posicionamento pode ser estático (antena GPS estática) ou cinemático (antena GPS em movimento);
- Utiliza-se apenas um receptor GPS para a determinação das coordenadas;
- Efemérides transmitidas, referidas ao sistema de referência vinculado ao GPS, ou seja, atualmente o WGS-84 (G1150) (World Geodetic System, 1984 – refinado para a semana 1150).
- O posicionamento instantâneo de um ponto (tempo real), usando a pseudodistância derivada do código C/A (SPS).
- Precisão planimétrica da ordem de 10 m.
- pós-processado com efemérides precisas.

Método Absoluto (GPS de Navegação)



Posicionamento Relativo



Método Relativo



- O usuário deve dispor de dois ou mais receptores.
- O conceito fundamental do posicionamento relativo é que os dois ou mais receptores envolvidos no processo, rastreiam, simultaneamente, um grupo comum de satélites.
- O posicionamento relativo é suscetível de ser realizado usando uma das seguintes observáveis:
 - pseudo-distâncias;
 - pseudo-distâncias suavizadas pela portadora e;
 - fase da onda da portadora em conjunto com as pseudo-distâncias.
- Métodos relativo: Estático; Estático rápido, semicinemático ou Stop and Go, cinemático.

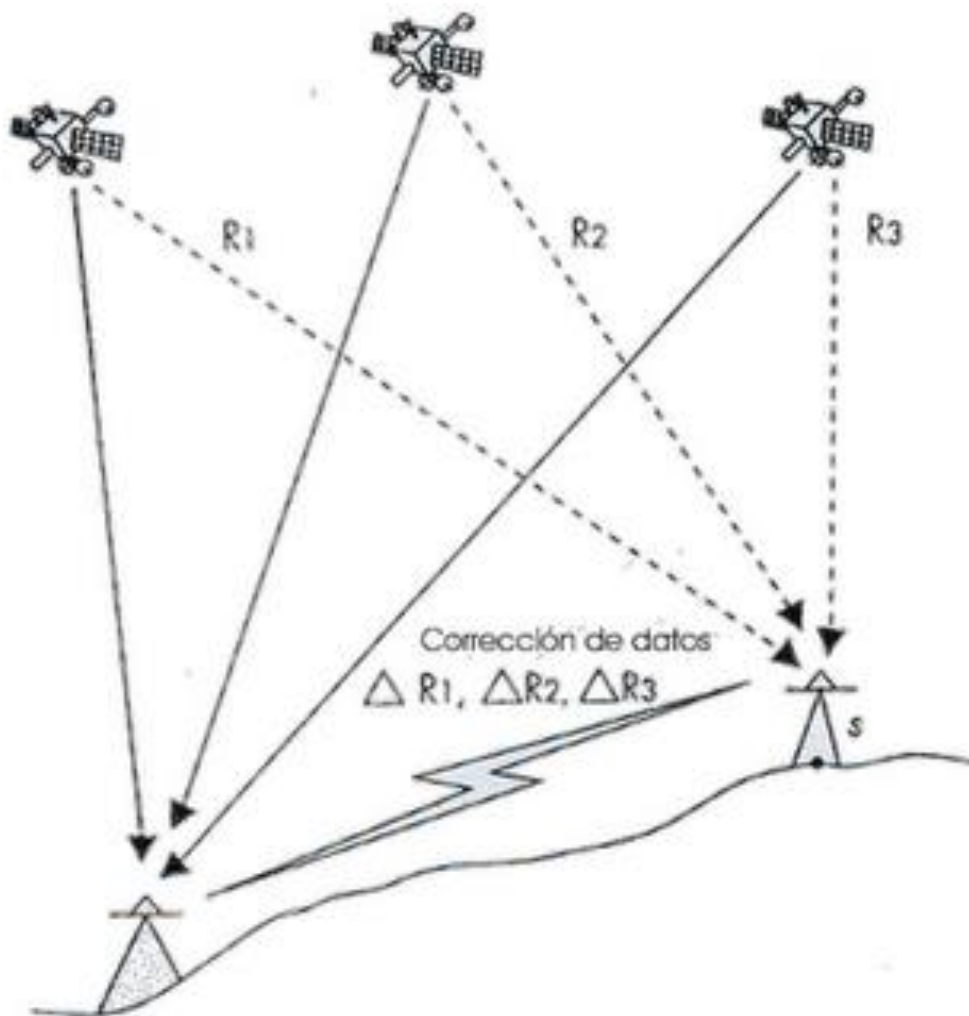
Posicionamento relativo estático



- A observável normalmente usada no posicionamento relativo estático é a dupla diferença da fase da portadora, muito embora possa também utilizar a dupla diferença da pseudo-distância, ou mesmo uma combinação de ambas.

- Este método tem como características:
 - Tempo de observação pode variar de dezena de minutos (mínimo 20 minutos) até algumas horas dependendo de alguns fatores como: comprimento da linha de base, número de satélites rastreados, a geometria entre satélites, observáveis utilizadas, precisão desejada, entre outros;
 - Taxa de gravação dos dados empregada neste método pode ser de 15 s, 30 s ou 60 s;
 - As estações (base e itinerante) devem rastrear simultaneamente, os satélites visíveis (pelo menos quatro), com taxas iguais ou múltiplas.

Posicionamiento relativo estático

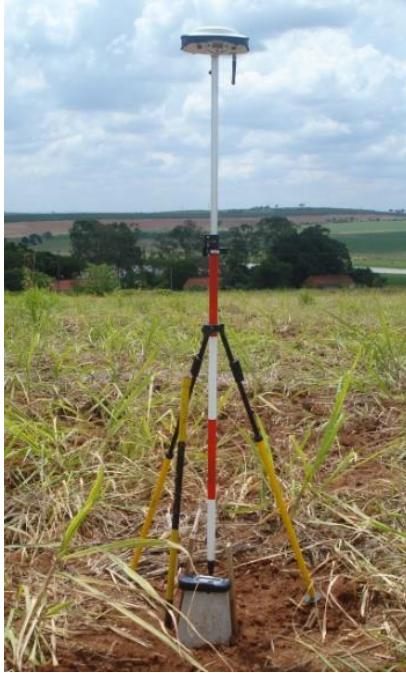


Posicionamento relativo estático rápido



- Mesmo princípio do posicionamento estático.
- Tempo de coleta de dados inferior a 20 min.
- A utilização do método estático rápido é propícia para levantamentos em que se deseja alta produtividade.
- Entretanto, deve-se ter em mente, que as obstruções entre as estações a serem levantadas tornam-se um problema na coleta de dados.
- Pode-se utilizar receptores L1 e L1/L2.

Posicionamento relativo Estático / Estático Rápido



Posicionamento relativo semicinemático

- O posicionamento relativo semicinemático baseia-se no fato de que a solução da ambigüidade para cada vetor, presente numa linha de base a ser determinada, requer que a geometria entre as duas estações e os satélites se altere.
- Então, efetuam-se coletas de dados, da mesma base, em dois momentos distintos, normalmente num período de 20 a 30 minutos, para proporcionar a alteração na geometria dos satélites e conseqüentemente a resolução das ambigüidades.

Posicionamento relativo semicinemático

- *Stop and Go*: Nesse método a idéia básica é que inicialmente determinam-se as ambigüidades para depois ocupar os pontos de interesse por um curto intervalo de tempo, o suficiente para identificar a estação (stop) e em seguida se deslocar para a próxima estação (go), sem perder a sintonia com os satélites.
- Técnicas de inicialização:
 - Determinação do início de uma linha de base com um levantamento estático;
 - Curtas observações de uma linha de base conhecida; e
 - Intercâmbio de antenas GPS.

Posicionamiento relativo semicinemático



Posicionamento relativo cinemático



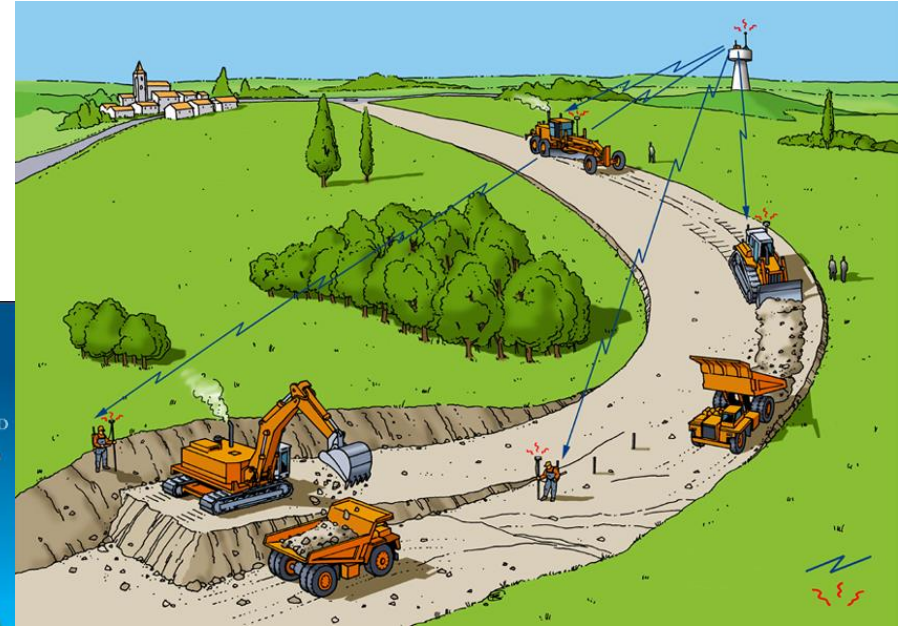
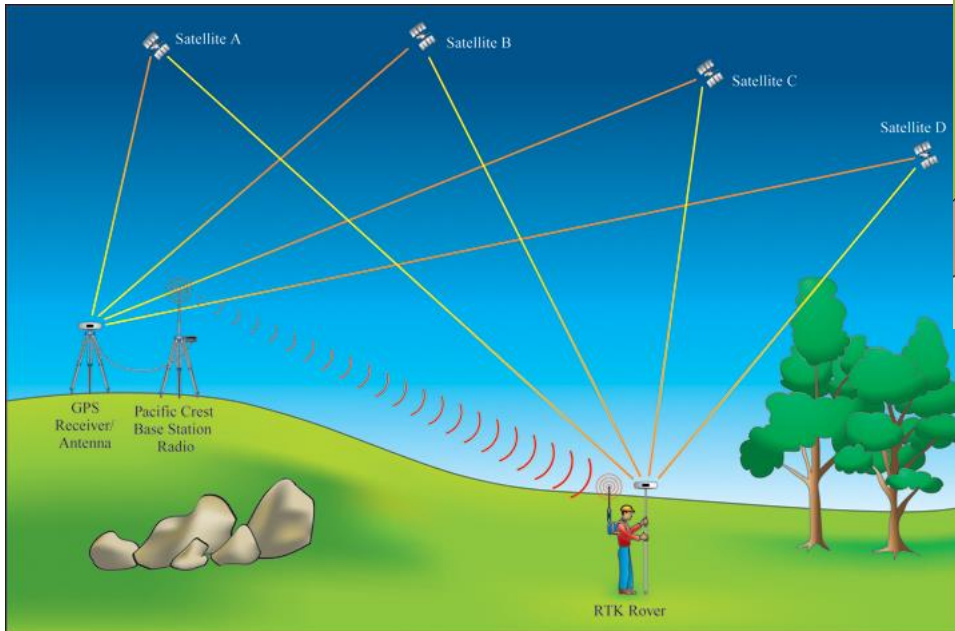
- A observável fundamental é a fase da onda portadora, muito embora o uso da pseudo-distância seja importante na solução da ambigüidade.
- Os dados desse tipo de posicionamento podem ser obtidos após a coleta dos dados (pós-processados), ou durante a própria coleta de dados (tempo real).
- *Posicionamento relativo cinemático pós-processado:* Um receptor ocupa uma estação de coordenadas conhecidas enquanto outro se desloca sobre as feições de interesse.
 - As observações simultâneas de dois receptores geram as duplas diferenças, onde vários erros envolvidos nas observáveis são reduzidos.

Posicionamento relativo cinemático



- *Posicionamento relativo cinemático em tempo real (RTK)*
- Similar ao método DGPS.
- Utiliza fase da portadora para melhorar a precisão de posicionamento.
- link de rádio para envio dos dados.
- Receptores de dupla ou simples.
- linhas de base entre 5 e 10 km em decorrência do alcance do enlace de comunicação das correções diferenciais e da utilização de apenas uma das portadoras para determinação das pseudo-distâncias, ainda que a onda portadora L2 esteja disponível para acelerar a resolução das ambigüidades.
- precisões submétricas.

Posicionamento relativo cinemático -RTK



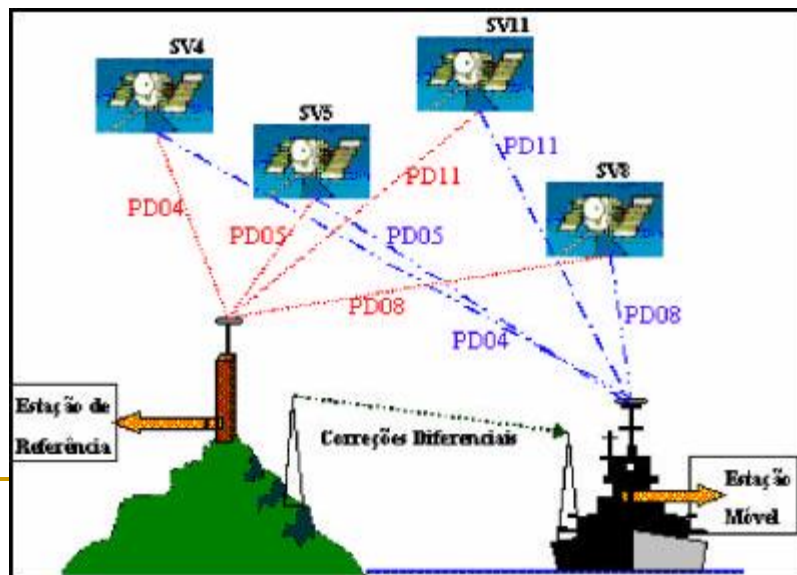
Posicionamiento relativo cinemático



Método Diferencial (DGPS)



- O método de posicionamento diferencial foi concebido para contornar a degradação da precisão obtida com um posicionamento absoluto, causada principalmente quando a técnica de segurança SA encontrava-se ativada.
- As observações normalmente utilizadas em nesse método são as pseudodistâncias ou as pseudo-distâncias suavizadas pela portadora. Entretanto, na prática, as pseudo-distâncias são as mais empregadas.
- Posicionamento de uma estação móvel através das correções diferenciais



Comunicação via: rádio de transmissão, linha telefônica, ou satélites de comunicação.

Método Diferencial (DGPS)



- As correções consistem na diferença entre as pseudo-distâncias verdadeiras e calculadas para cada um dos satélites na estação de referência.

- A aplicação desse sistema diferencial possibilita uma minimização da influência dos erros do relógio do satélite, das efemérides e da propagação do sinal na atmosfera. Se esses erros forem os mesmos para as estações de referência e móvel, pode-se dizer, que eles serão eliminados pelas correções.

- Fatores que influenciam a precisão:
 - Distância entre as estações;
 - Qualidade do sistema de comunicação;
 - Cálculo das correções diferenciais;
 - As observáveis (código, código suavizado pela portadora, fase da portadora)
 - Taxa de atualização e transferência dos dados.



- Resumindo:
- São calculadas correções diferenciais para o código e/ou o código suavizado pela portadora;
- A precisão alcançada com o emprego das correções do código C/A pode ser de 1 a 5 metros (com a SA desativada).
- Correção diferencial do código suavizado pela portadora, onde as observações da fase da portadora são utilizadas para suavizar as observações do código com um filtro adequado, sem resolver as ambigüidades, a precisão obtida é inferior a 3 metros;
- Degradação da precisão em função do aumento da linha de base - 10 ppm (1 cm por km)

PDGPS (Precise DGPS)



- Na literatura o termo RTK confunde-se com o PDGPS, contudo pode-se dizer que o PDGPS é mais aplicado em rede de estações de referência. Neste caso as correções diferenciais são validas para uma região e não mais para uma única estação.
- O PDGPS apresenta as seguintes características:
 - Opera com rede de estações de referência;
 - Estação de referência transmite ao usuário as correções diferenciais da fase das portadoras, ou as próprias observações da fase das portadoras;
 - a estação móvel aplica estas correções e busca a resolução das ambigüidades;
 - proporciona precisões decimétricas; e
 - pode aplicar modelos de correção de superfície.

WADGPS (Wide Area DGPS).



- Para o método WADGPS pode-se enumerar as seguintes características:
 - opera com rede de estações de referência destinadas a cobrir regiões maiores;
 - não há busca na resolução das ambigüidades, elas permanecem flutuantes;
 - emprega correções para cada satélite, derivadas de observações de uma
 - rede global de estações de referência;
 - precisão da ordem de metros.

Diluição da Precisão (PDOP)



- Os diversos DOPs (Dilution of Precision), freqüentemente usado em navegação, são obtidos a partir do conceito de posicionamento por ponto.
- O DOP proporciona uma indicação da precisão dos resultados que serão obtidos.
- Ele depende basicamente de dois fatores:
 - A precisão da observação de pseudo-distância é associado ao desvio-padrão da observação (σ) e;
 - A configuração geométrica dos satélites, obtidas pelos DOPs.

Diluição da Precisão (PDOP)



- A relação entre o desvio padrão da observação (σ) e o desvio-padrão associado ao posicionamento (σ_p) é dado por:

$$\sigma_p = DOP \times \sigma$$

- $\sigma_h = HDOP \times \sigma_r$ para posicionamento horizontal;
- $\sigma_v = VDOP \times \sigma_r$ para posicionamento vertical;
- $\sigma_p = PDOP \times \sigma_r$ para posicionamento tridimensional e;
- $\sigma_T = TDOP \times \sigma_r$ para posicionamento de tempo.

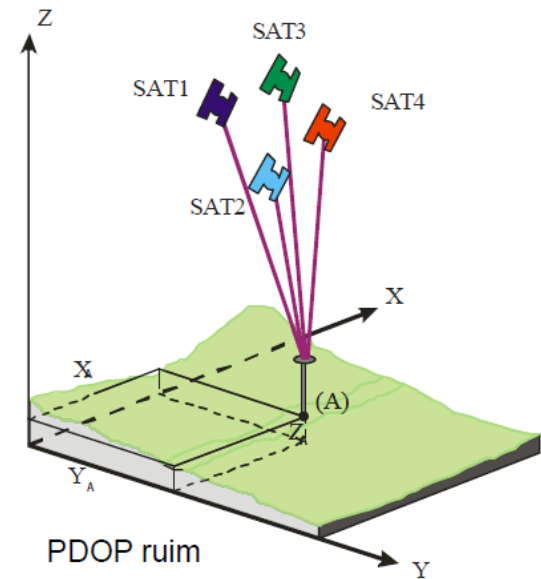
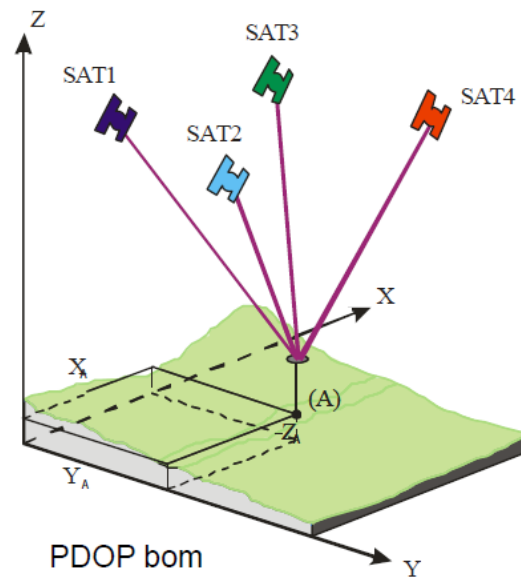
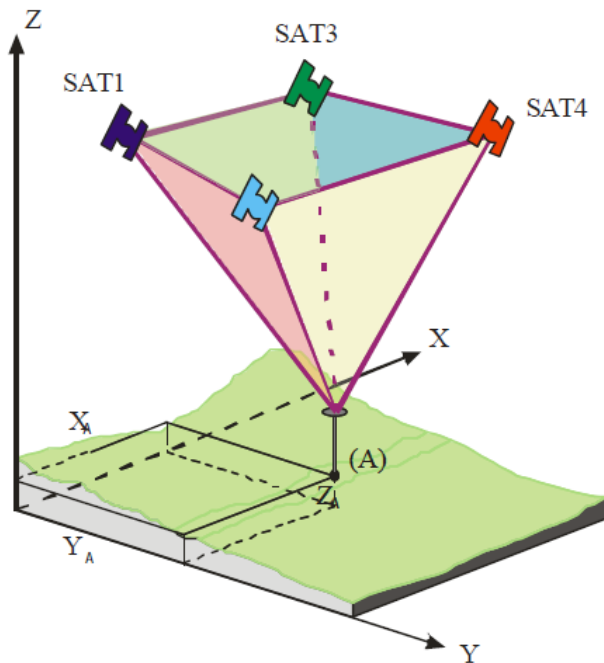
$$GDOP = \sqrt{(PDOP)^2 + (TDOP)^2}$$

O efeito combinado de posição e tempo é determinado:

Diluição da Precisão (PDOP)



- O PDOP pode ser interpretado como o inverso do volume V de um tetraedro formado pelas posições do usuário e dos satélites: $PDOP = 1 / V$





CAPÍTULO IV – LEVANTAMENTO

■ PLANEJAMENTO DOS LEVANTAMENTOS GPS:

A fase de planejamento de um levantamento GPS requer, como em qualquer outro levantamento convencional, que se tenha a disposição a documentação cartográfica, fotos aéreas, e outros elementos afins da região. Deve-se verificar a existência de apoio geodésico básico na região do levantamento, de forma que vértices do sistema geodésico possam ser empregados como estações base, quando for possível. É claro que para a tomada de decisão o engenheiro neste caso deve levar em conta alguns fatores como: a distância deste marco à região do levantamento, a qualidade e confiabilidade deste marco e as condições do entorno. Deve-se lembrar que para o levantamento em atendimento a lei do georreferenciamento, os vértices oficiais de amarração devem ser homologados pelo IBGE e/ou vértices SAT da Rede Geodésica Brasileira.

Vértices Rede SAT IBGE



SAT91607



SAT93794



SAT93814



SAT96035



SAT93504

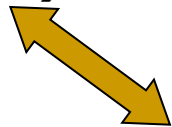
Princípios do Método



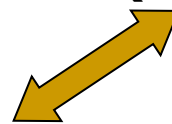
TRANSPORTE L1/L2



**RBMC
(IBGE)**



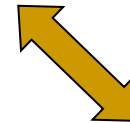
**RBMC
(IBGE)**



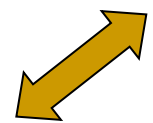
TRANSPORTE L1



Ponto P1 (IBGE)



Ponto P1 (IBGE)

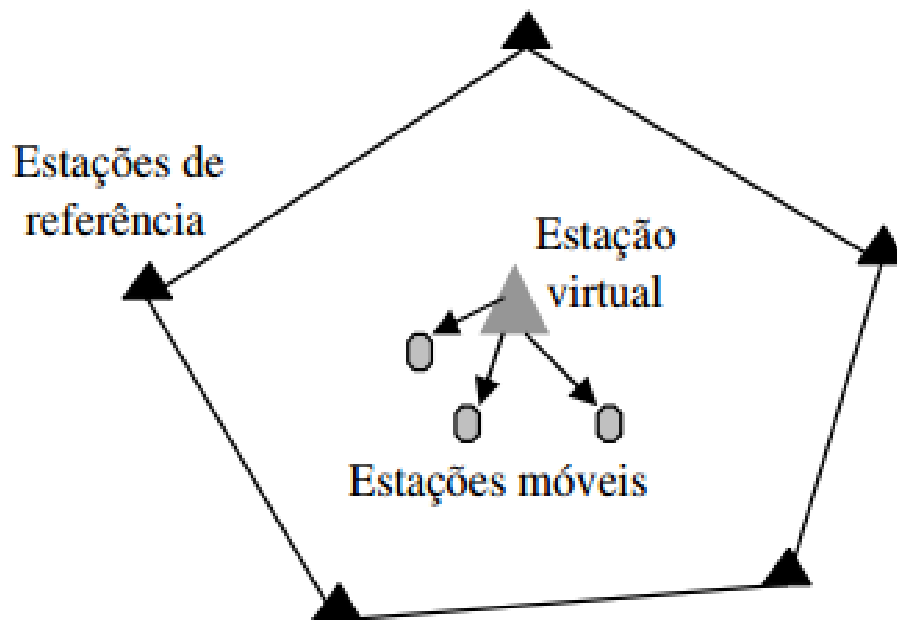




CAPÍTULO V – ESTAÇÕES VRS

CONCEITO

O conceito básico da técnica VRS (Virtual Reference System- Estação de referência virtual) é a geração de dados GNSS para uma base não real por meio de observações de bases reais. Este conceito é utilizado para solucionar a limitação das linhas de base longas. Deste modo, o usuário irá obter dados de uma estação virtual, que se assemelhe a uma estação real, normalmente localizada próxima ao local de levantamento.



Os dados provenientes de uma VRS podem ser gerados em formato RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) o que possibilita sua utilização para pós-processamento, facilitando o processo de obtenção de dados em muitos casos relacionados ao posicionamento relativo .



A geração de uma base VRS é feita a partir de dados de estações ativas mais próximas da localização do usuário por meio das observações das fases e pseudodistâncias. A partir destas fazem-se as correções geométricas para cada instante das observações gerando assim as observáveis para a VRS

Para a obtenção de precisão na casa dos centímetros é necessário que se tenha a disponibilidade de 3 ou mais estações ativas a uma distância de aproximadamente 35km. Utilizando-se estações de referência localizadas a distâncias maiores há uma degradação na precisão à medida que se aumenta a distância.



Utilizando-se o software GNSS Solutions, há a recomendação de se utilizar bases de referência ativa localizadas até, no máximo, 200 km.

Procedimentos:

1. Configuração e cadastro das redes de estações de referência;
2. Definição das coordenadas do ponto a ser utilizado como base VRS;
3. Importação dos dados RINEX das estações de referência a serem utilizadas no cálculo VRS.
4. Geração do Arquivo Bruto no formato proprietário podendo ser convertido para RINEX.



RTCM : Radio Technical Commission for Maritime Services

Tipo de Mensagem	Descrição	Taxa de Transferência de Valor
1	Correções GPS diferencial	
3	Coordenadas da base XYZ ECEF	30 segundos
16	Mensagem especial de GPS	
18	Fase portadora incorreta	1 segundo
19	Pseudo alcances incorretos	1 segundo
20	Correções de fase portadora RTK	
21	Alta precisão RTK, correções de pseudo alcance	
22	Parâmetro da base ampliado	30 segundos
23	Definição do tipo de antena	
24	Ponto de referência da antena	
31	Correções GLONASS diferenciais	
32	Parâmetros de estações de referência	
33	GLONASS	



RTCM: Comissão Americana de estudos que define as mensagens de navegação marítima, que são utilizadas nas correções DGPS e no envio das observações de Fase da Portadora.

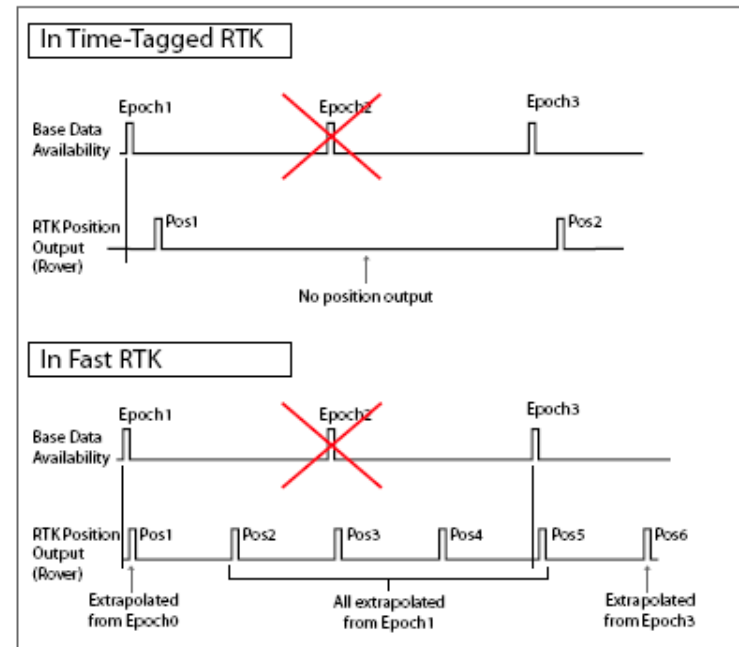
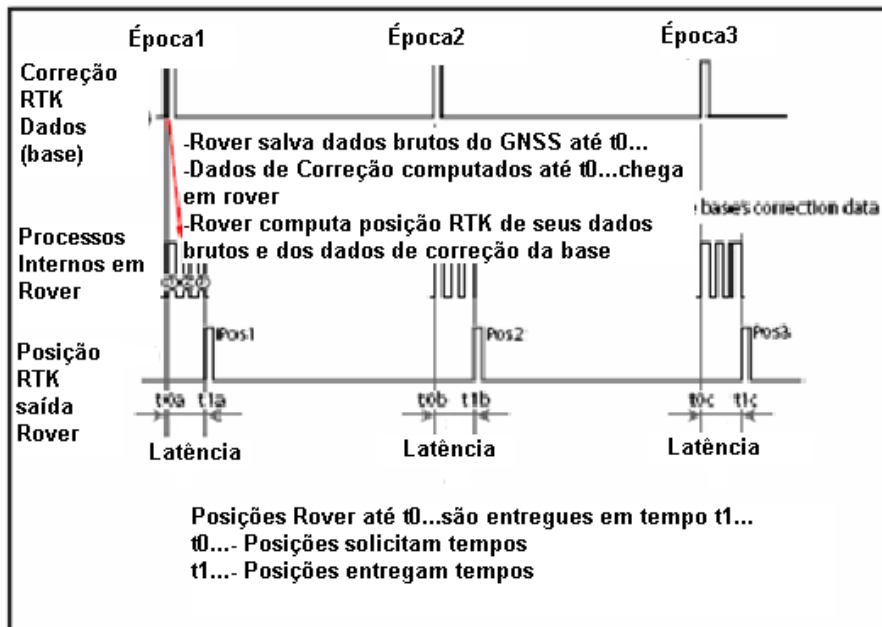
Tipo de Mensagem	Descrição	Taxa de Transferência de Valor
1001	L1 somente observáveis de GPS RTK	
1002	L1 ampliado observáveis de GPS RTK somente	
1003	Observáveis de GPS RTK L1&L2	
1004	Observáveis GPS L1&L2 ampliado	1 segundo
1005	ARP estação de referência RTK estacionário	
1006	ARP base com antena alta	13 segundos
1007	Descrição da antena	
1008	Descrição da antena e número do serial	
1009	L1 somente observáveis RTK GLONASS	



RTCM: Na versão 3.0, que foi definida a partir de 2007, possibilitou uma maior compactação da mensagem, podendo ser enviado numa velocidade maior (0,2 a 10 Kbit/s) e em um tamanho menor.

Tipo de Mensagem	Descrição
1010	L1 ampliado somente observáveis RTK GLONASS
1011	Observáveis GLONASS L1&L2 ampliados
1012	Observáveis GLONASS L1&L2 ampliados
1013	Parâmetro do sistema
1019	Dados de efemérides GPS
1020	Dados de efemérides GLONASS
1029	Seqüência de texto de um código
1033	Receptor e descrições de antena

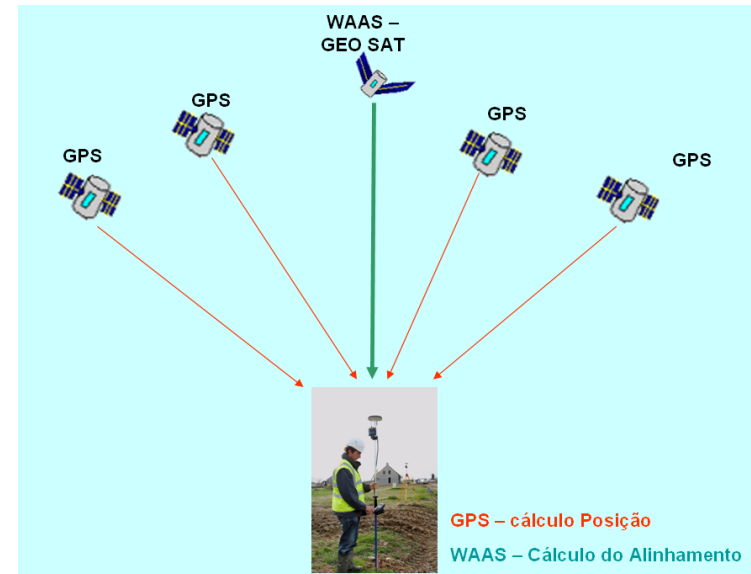
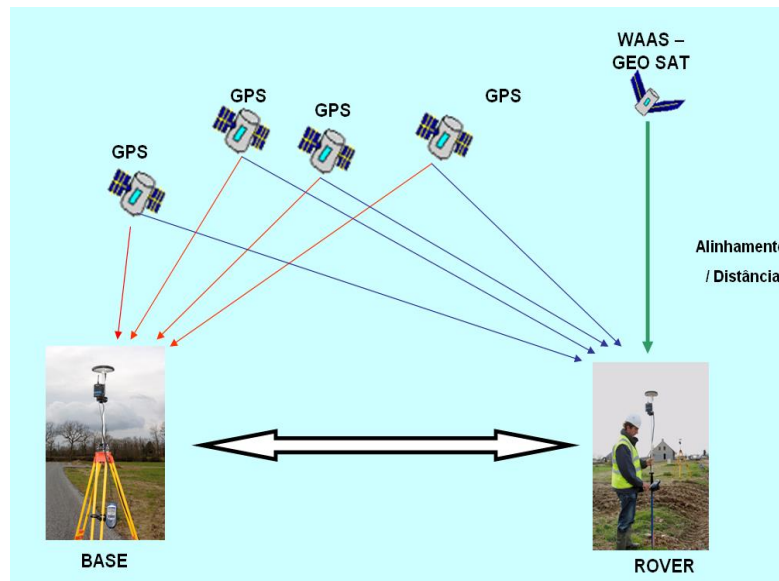
- Latência
 - Tempo gasto no envio da observação de fase, entre o receptor base e o receptor móvel.
 - Podendo ser resolvida utilizando o filtro de Kalman, para fazer a predição da observação.





- NTRIP (Network Transport of RTCM via Internet Protocol - Transporte pela Rede do RTCM através do protocolo de internet).
 - Sumário:
 - O que é?
 - Ntrip: Caster, Server e Client
 - O que é necessário para o novo sistema funcionar
 - Importância do Sistema de Referência bem definido

- Tecnologia BLADE
 - significa ferramenta acurada para a determinação da linha de base.
 - Possibilita integrar satélites baseados no SBAS para o cálculo da posição.
 - Este sistema, despreza as correções ionosféricas do SBAS, onde não existe cobertura como a América do Sul e usa a informação de alinhamento do receptor com o SBAS, para calcular um TTFF mais rápido, substituindo o processo de linearização nos receptores de dupla freqüência.



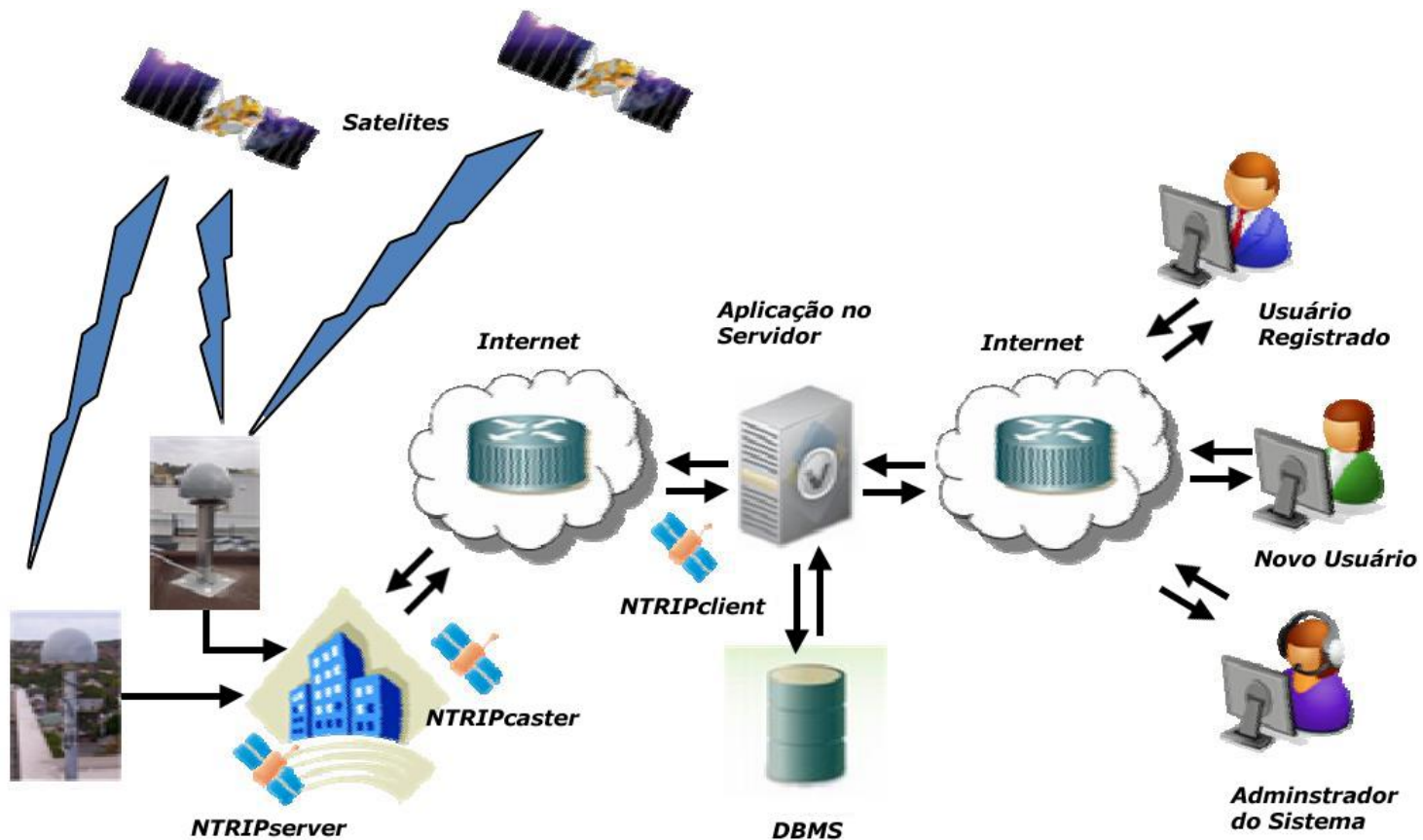


■ Tecnologia GSM:

- Consiste em um sistema aberto de transmissão de dados, disponível em mais de 170 países.
- Um dos serviços disponíveis é o GPRS, que apenas envia dados, podendo chegar a 170Kbps, levando aos usuário acesso direto a internet.
- A rede GPRS é baseada na comutação por pacotes, e não por circuitos como a GSM, possibilitando suportar serviços de dados.
- O GSM e o GPRS compartilham uma única base de tecnologia dinâmica e flexível, com características em comum como: bandas, frequências e modulação.
- A conexão por GPRS é feita por tempo de conexão, podendo enviar e receber informações imediatamente.
- Permite assim ser usado, no posicionamento GNSS, enviando as observações de fase RTK, por protocolo de internet, chamado hoje como NTRIP.

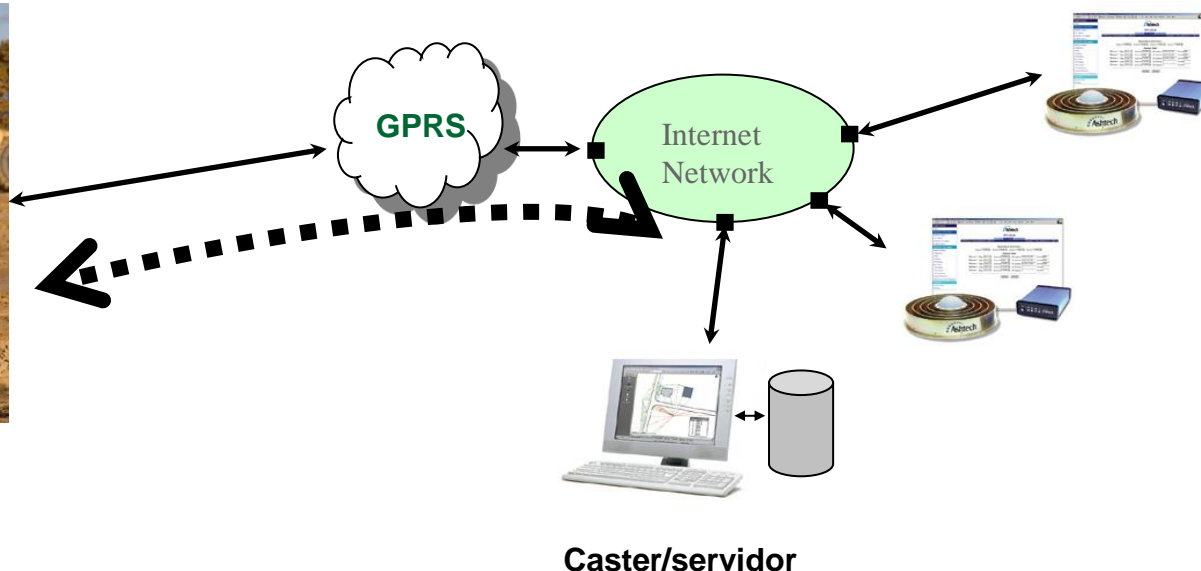


■ NTRIP: Organograma geral





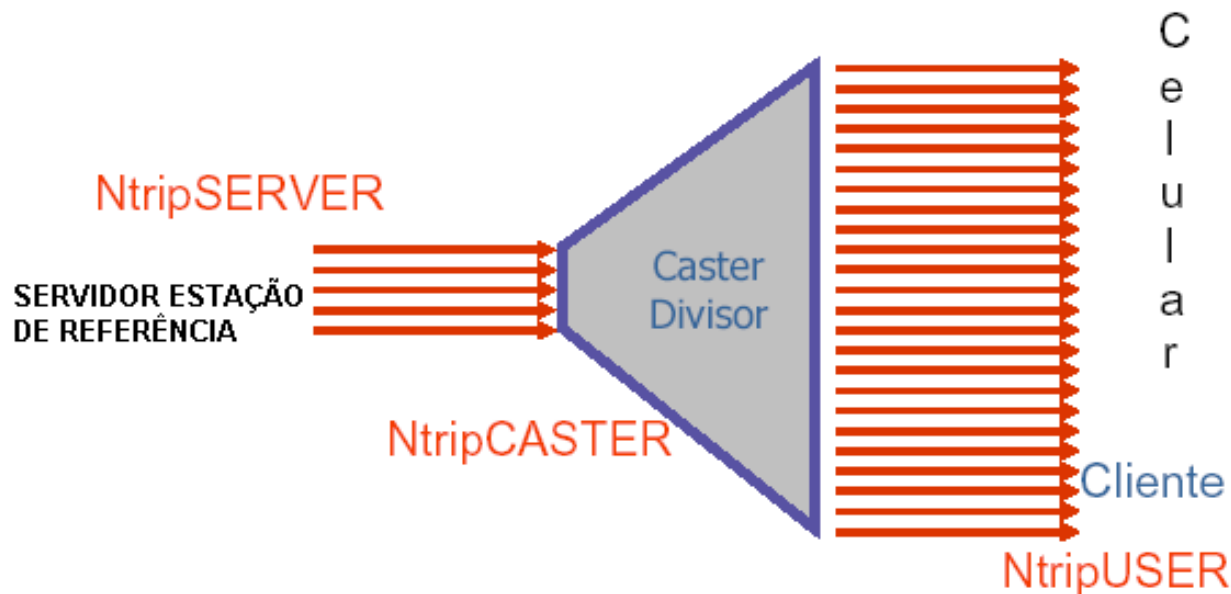
- O NTRIP consiste no envio das observações de fase geradas por um receptor GNSS L1 ou L1/L2, que trabalha como estação de referência, no formato RTCM através de um protocolo IP. O Receptor Móvel se conecta a internet através do GSM e com uma conexão GPRS, localiza o protocolo RTCM da estação de referência e calcula a posição do ponto desejado.





Tecnologia NTRIP é constituída de 3 sistemas:
NTRIPCaster, NTRIPServer, NTRIPClient

GNSS Internet Radio / IP





- NTRIP Caster:
 - ❑ Programa que funciona como um servidor de HTTP (Hypertext Transfer Protocol, em português Protocolo de Transferência de Hipertexto, que é a base para a comunicação de dados da World Wide Web.
 - ❑ Gerência as Estações de Referência de uma instituição;
 - ❑ Ex: RBMC,servidor:IBGE, que gerência as Estações Ativas;
 - ❑ Source Table : Lista de Pontos e MountPoint: Pontos;
 - ❑ Onde se configura o tipo de RTCM a ser transmitido;
 - ❑ O programa vai verificar a integridade e qualidade dos dados recebidos e realiza a autenticação dos usuários;
 - ❑ Capaz de disseminar centenas de mensagens de dados simultaneamente, para até milhares de usuários;
 - ❑ Suporta a transmissão de qualquer mensagem de dados GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, EGNOS, WAAS, entre outros) que necessite de 0.2 a 10 Kbit/s de velocidade de transmissão e transporte.

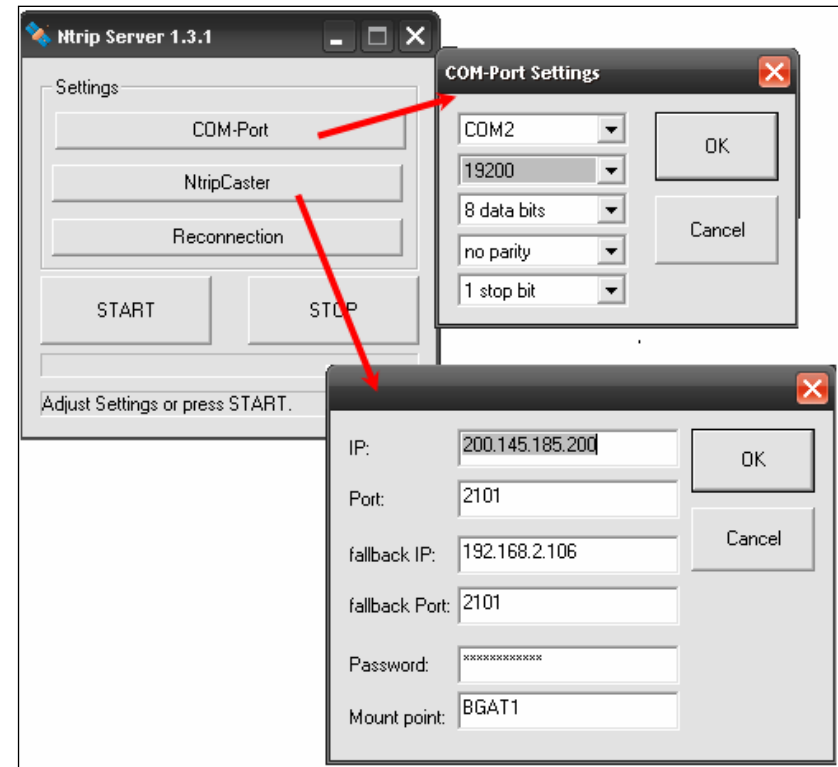


NTRIP Caster

```
http://200.145.185.200:2101/ - Windows Internet Explorer
http://200.145.185.200:2101/
Arquivo Editar Exibir Favoritos Ferramentas Ajuda
http://200.145.185.200:2101/
SOURCETABLE 200 OK Server: NTRIP Caster 1.5.8/1.0 Content-Type: text/plain Content-Length: 4836 CAS;200.145.185.200;2101;NET-FCT-UNESP-
BR;FCT;UNESP;0;BRA;-22.119;308.591;http://gege.prudente.unesp.br
NET;NET_FCT;UNESP;B;N;http://gege.prudente.unesp.br/skd;galera@fct.unesp.br;none STR;NAUS1;NAUS;RTCM 3.0;1004(1),1006(1),1008
(1),1009(1);2;GPS;NET_FCT;BRA;-3.023;299.945;0;0;TRIMBLE NETRS;none;B;N;500;none STR;ONRJ3;ONRJ;RTCM 3.0;1004(1),1006(1),1008(1),1009
(1);2;GPS;NET_FCT;BRA;-22.896;317.224;0;0;TRIMBLE NETRS;none;B;N;500;none STR;PPT1;PPT1;RTCM 3.0;1004(1),1006(1),1008(1),1009
(1);2;GPS;NET_FCT;BRA;-22.119;308.591;0;0;TRIMBLE NETRS;none;B;N;500;http://gege.prudente.unesp.br/index_port.php?p=54 STR;ROSA1;ROSA;RTCM 3.0;1004
(1),1006(1),1008(1),1009(1);2;GPS+GLONASS;NET_FCT;BRA;-22.523;307.048;0;0;TRIMBLE NETR5;none;B;N;500;http://gege.prudente.unesp.br/index_port.php?p=56
STR;OUR1;OUR1;RTCM 3.0;1004(1),1006(1),1008(1),1009(1);2;GPS;NET_FCT;BRA;-22.522;307.048;0;0;TRIMBLE
NETRS;none;B;N;500;http://gege.prudente.unesp.br/index_port.php?p=53 STR;SJR1;SJR1;RTCM 3.0;1004(1),1006(1),1008(1),1009(1);2;GPS;NET_FCT;BRA;-
20.785;310.640;0;0;TRIMBLE NETRS;none;B;N;500;http://gege.prudente.unesp.br/index_port.php?p=55 STR;ILHA1;ILHA;RTCM 3.0;1004(1),1006(1),1008(1),1009
(1);2;GPS+GLONASS;NET_FCT;BRA;-20.428;308.657;0;0;LEICA GRX1200PRO;none;B;N;500;http://gege.prudente.unesp.br/index_port.php?p=52
STR;LINS1;LINS;RTCM 3.0;1004(1),1006(1),1008(1),1009(1);2;GPS+GLONASS;NET_FCT;BRA;-21.665;310.266;0;0;LEICA
GRX1200PRO;none;B;N;500;http://gege.prudente.unesp.br/index_port.php?p=51 STR;LGE2;LGE2;RTCM 3.0;1004(1),1006(1),1008(1),1009(1);2;GPS;NET_FCT;BRA;-
22.119;308.591;0;0;TRIMBLE NETRS;none;B;N;500;http://gege.prudente.unesp.br/index_port.php STR;POLI1;POLI;RTCM 3.0;1004(1),1006(1),1008(1),1009
(1);2;GPS+GLONASS;NET_FCT;BRA;-23.55;313.266;0;0;LEICA GRX1200PRO;none;B;N;500;none STR;BELE0;Belem;RTCM 3.0;1004(1),1005(5),1008
(5);2;GPS;RBMC;BRA;-01.04;-48.45;0;0;TRIMBLE NETRS;none;B;N;5000;RBMC-BELE STR;BOAV0;Boa Vista;RTCM 3.0;1004(1),1006(10),1008(10),1012(1),1013
(10);2;GPS+GLONASS;RBMC;BRA;+02.83;-60.07;0;0;TRIMBLE NETR5;none;B;N;3000;RBMC-BOAV STR;BRAZ0;Brasilia;RTCM 3.0;1004(1),1005(5),1008
(5);2;GPS;RBMC;BRA;-15.93;-47.87;0;0;TRIMBLE NETRS;none;B;N;5000;RBMC-BRAZ STR;CEEU0;Euzebio3.0;RTCM 3.0;1004(1),1005(5),1008
(5);2;GPS;RBMC;BRA;-03.87;-38.42;0;0;TRIMBLE NETRS;none;B;N;5000;RBMC-CEEU STR;CEEU1;EuzebioRAW;RAW;BINEX(1);2;GPS;RBMC;BRA;-03.87;-
38.42;0;0;TRIMBLE NETRS;none;B;N;5000;RBMC-CEEU STR;CUIB0;Cuiaba;RTCM 3.0;1004(1),1006(1),1008(1),1009(1);2;GPS;RBMC;BRA;-15.55;-
56.07;0;0;TRIMBLE NETRS;none;B;N;5000;RBMC-CUIB STR;MAPA0;Macapa;RTCM 3.0;1004(1),1005(5),1008(5);2;GPS;RBMC;BRA;+00.03;-
51.08;0;0;TRIMBLE NETRS;none;B;N;5000;RBMC-MAPA STR;NAUS0;Manaus;RTCM 3.0;1004(1),1005(5),1008(5);2;GPS;RBMC;BRA;-03.02;-
60.05;0;0;TRIMBLE NETRS;none;B;N;5000;RBMC-NAUS STR;ONRJ0;RioJaneiroON3.0;RTCM 3.0;1004(1),1005(5),1008(5);2;GPS;RBMC;BRA;-22.88;-
43.22;0;0;TRIMBLE NETRS;none;B;N;5000;RBMC-ONRJ STR;ONRJ1;RioJaneiroONRAW;RAW;BINEX(1);2;GPS;RBMC;BRA;-22.88;-
43.22;0;0;TRIMBLE NETRS;none;B;N;5000;RBMC-ONRJ STR;POAL0;Porto Alegre;RTCM 3.0;1004(1),1005(5),1008(5);2;GPS;RBMC;BRA;-30.5;-
51.12;0;0;TRIMBLE NETRS;none;B;N;5000;RBMC-POAL STR;POLIO;Sao Paulo;RTCM 3.0;1004(1),1006(10),1008(10);2;GPS;RBMC;BRA;-23.55;-
46.73;0;0;LEICA GRX1200PRO;none;B;N;1500;RBMC-POLI STR;POVE0;Porto Velho;RTCM 3.0;1004(1),1006(10),1008(10),1012(1),1013
(10);2;GPS+GLONASS;RBMC;BRA;-08.70;-63.90;0;0;TRIMBLE NETR5;none;B;N;3000;RBMC-POVE STR;PPT0;Pres Prudente;RTCM 3.0;1004(1),1005(5),1008
(5);2;GPS;RBMC;BRA;-22.12;-51.40;0;0;TRIMBLE NETRS;none;B;N;5000;RBMC-PPT STR;RECF0;Recife;RTCM 3.0;1004(1),1006(10),1008(10),1012(1),1013
(10)
Concluido
Internet 100%
```



- Ntrip Server:
 - Este programa realiza a interface entre a Estação de Referência e com o NtripCaster,
 - Realiza a transmissão da estação remota(mountpoint) ao servidor Central(Caster),
 - É definida todas as configurações para a interface com o CASTER.





■ NTripClient:

- ❑ É o conceito de acesso aos dados do NTRICASTER, que pode ser feito pelo software GNSS Internet Radio.
- ❑ Que é utilizado para acessar as informações de cada “MountPoint”;
- ❑ Para acessar o usuário deve ter nome e senha de acesso no NTRIP Caster;
- ❑ Pode ser desenvolvido dentro de aplicações comerciais dos fabricantes de soluções GNSS.



NTRIP Client – GNSS Internet Radio

GNSS Internet Radio 1.4.11

Broadcaster Browser

Host: 83.167.156.123 Port: 2101

User-ID: alezi Password: *****

Broadcaster Details:

- Host No: 2 of 2
- Broadcaster: NtripInfoCaster
- Operator: BKG
- Country: DEU
- Latitude: 50.12 deg North
- Longitude: 8.63 deg East
- NMEA: Won't handle incoming NMEA GGA
- Fallback Host: N/A Port: N/A
- Misc: <http://www.rtcn-ntrip.org/home>

Adaptive Congestion Control: Tight (Loose)

Reconnection Settings:

- Number of reconnection attempts: 10
- Time between reconnection attempts: 10 seconds

Cancel OK

NTRIP Broadcasters

Name: IGS IP Address: 81.3.62.36 Port: 2101

User Name: danilo Password: *****

Broadcaster Information:

- Identificad
- Operator
- Posição: 0.00S 0.00W
- Misc
- NMEA: Posição de Movel não 'e

Send Rover Position to Network

Bases for UNESP

Nome: OURI1 User Name: OURI1 Password: ILHA1 LINS1 Identificad: POLI1 Curto Id: ONRJ2 BELE0 BOAV0 Formato: BRAZO CEEU0 CEEU1 CUIB0 Tipo: nte.une

Send Rover Position to Network

Bases for UNESP

Nome: OURI1 User Name: ntripalezi Password: *****

Bases for UNESP

Nome: OURI1 User Name: ntripalezi Password: *****

Identificad: OURI1 Curto Id: OURI1 Tipo: GPS L1L2 TRIMBLE NETR Formato: RTCM 3.0 1004(1),10 Posição: 22.52S 307.05E BRA Misc: <http://gege.prudente.une>

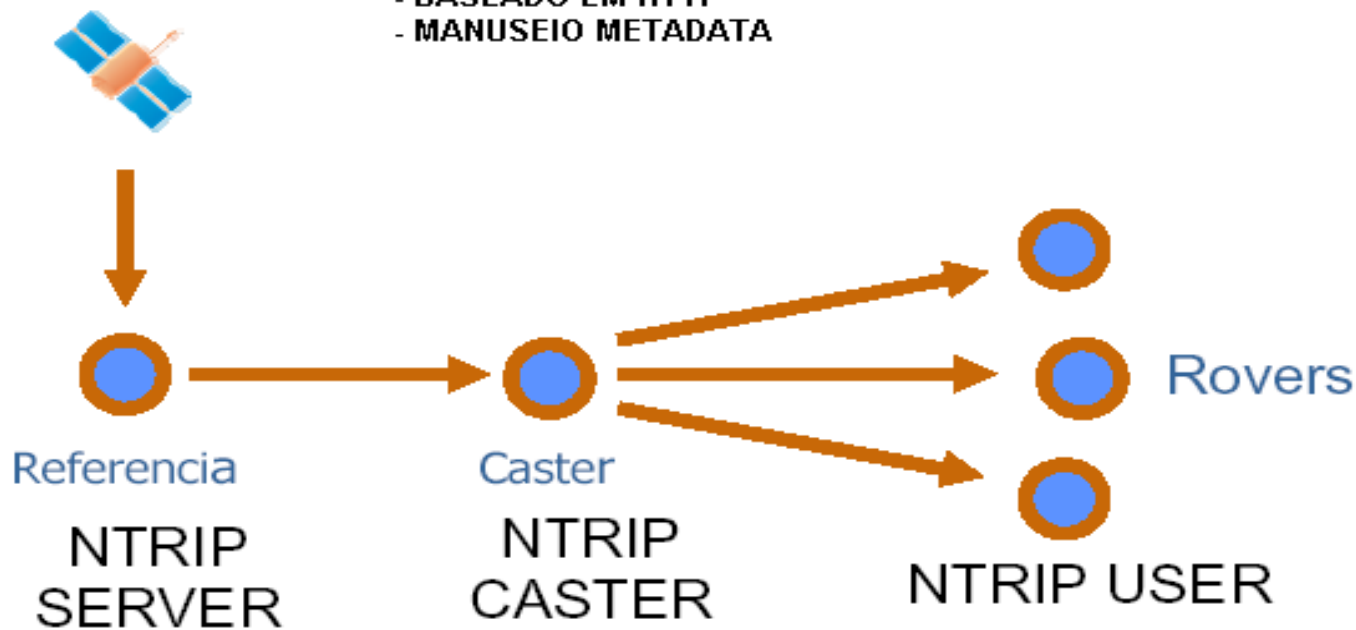
Send Rover Position to Network



Resumo do conceito

Network Transportation de RTCM EM INTERNET PROTOCOLO (NTRIP)

- BASEADO EM HTTP
- MANUSEIO METADATA





- BKG: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
 - Órgão responsável pela divulgação e disseminação dos dados GNSS em tempo real, sediado na Alemanha;
- Conta com Servidores : EUREF-IP, IGS-IP e EGNOS-IP;
- Dados protegidos, necessitando de usuário e senha para acesso.



