



ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Sistema de Posicionamento por Satélites Artificiais Conceitos e Aplicações

Prof. Dr. Edvaldo Simões da Fonseca Junior

EPUSP – PTR / LTG

edvaldoj @ usp.br



Histórico do sistema GNSS

- **Transit (NNSS – TIMATION)**

- Lançamento 1960
- Princípio doppler
- Precisão de 200m
- A determinação da posição de pontos só era possível em um determinado período aproximado de 1 hora (2h região equatorial, 30min nos pólos)
- Não fornecia coordenadas tridimensionais (apenas latitude e longitude)





Histórico do sistema GPS

- **NAVigation System with Timing And Ranging / Global Positioning System.**
 - Sistema de posicionamento desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (década de 60). Fornece a posição e o tempo de modo instantâneo e contínuo sobre toda a superfície da Terra.





ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Satélite GPS





Características do sistema GPS

- Totalmente operacional em 1995
- Estrutura
 - 27 satélites (24+3 sobressalentes) **HOJE 27+3**
 - 6 planos orbitais
 - 55° de inclinação dos planos orbitais em relação ao plano do equador
 - 20.200 km de altura acima da superfície da Terra
 - 12 horas siderais para dar uma volta à Terra
 - até 5 horas acima do horizonte



Características do sistema GPS

■ Arquitetura

- Segmento espacial: Constelação de satélites
- Segmento de controle: Responsável pelo monitoramento do sistema de satélites e do tempo GPS, pela predição dos elementos orbitais e pela atualização periódica da mensagem de navegação.
- Segmento de usuário: Posicionamento topográfico e geodésico; navegação aérea, marítima e terrestre.

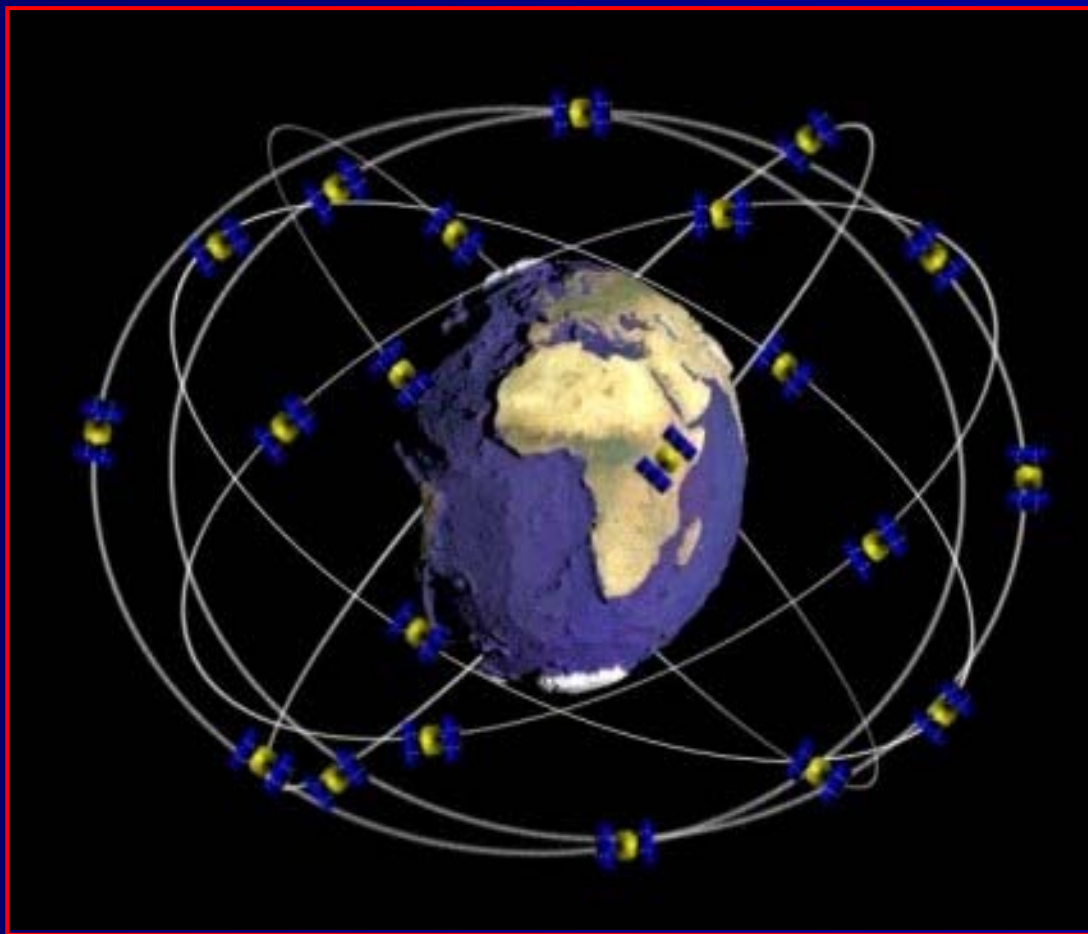


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Características do sistema GPS





ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Características do sistema GPS





ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Características do sistema GPS

Diferentes tipos de receptores



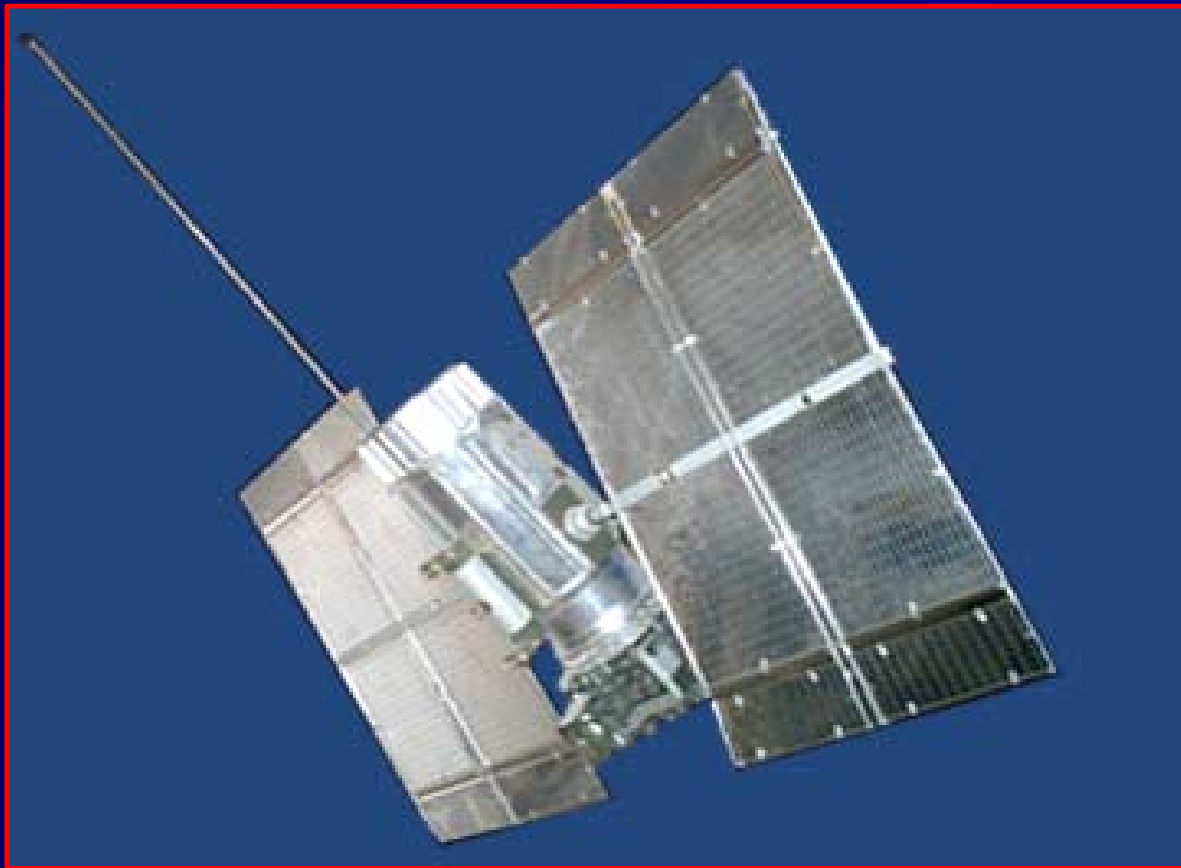


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Satélite GLONASS





Características do sistema GLONASS

- 1º bloco lançado em 1982
- Estrutura
 - 24 satélites (**Hoje há 21 satélites**)
 - 3 planos orbitais
 - 64.8° de inclinação dos planos orbitais em relação ao plano do equador
 - 19.100 km de altura acima da superfície da Terra



Sinais Transmitidos - GLONASS

- 2 portadoras com frequências distintas:

Frequências

L1 = 1602MHz

$\Delta f1 = 562.5\text{kHz}$

L2 = 1246MHz

$\Delta f1 = 437.5\text{kHz}$

cada satélites possui uma frequência diferente:

$$L1 = 1602\text{MHz} + n \cdot 0.5625\text{MHz}$$

Onde n é o número correspondente ao satélite

- 2 tipos de sinais:

- Precisão padrão (SP) – disponível para uso civil

precisão de 57 a 70m horizontal (99,7%)

70 m vertical (99,7%)

- Alta precisão (HP) – uso militar

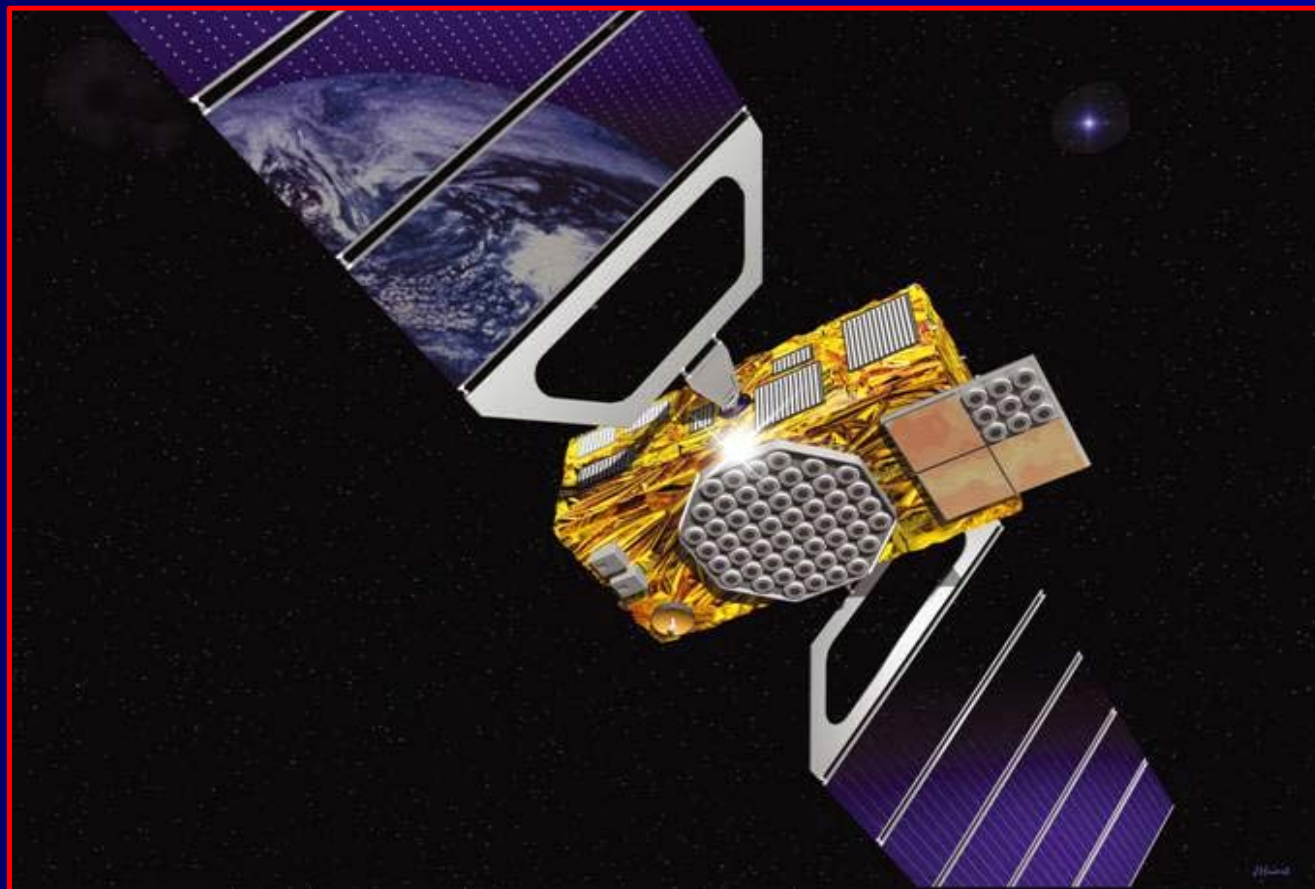


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Satélite GALILEO





Características do sistema GALILEO

- Previsão: 2017 (primeiro satélite lançado em 28 de dezembro de 2005 e o segundo em 28 de abril de 2008)
- Estrutura
 - 30 satélites (27 + 3 sobressalentes)
 - 3 planos orbitais
 - 56° de inclinação dos planos orbitais em relação ao plano do equador
 - 24.000 km de altura acima da superfície da Terra



Sinais Transmitidos - GALILEO

- 2 portadoras com frequências distintas:

E5 – 1164 – 1215 MHz

E6 – 1260 – 1300 MHz

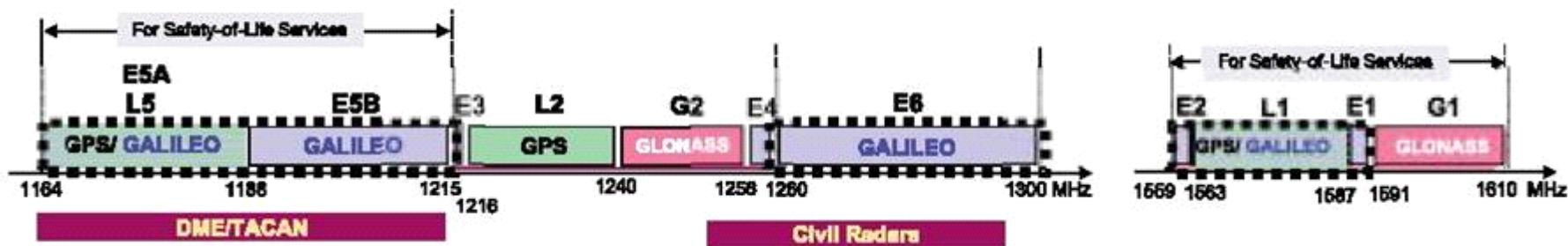
L1 – 1559 – 1593 MHz

- tipos de sinais:

- SERVIÇO ABERTO (OS)
- SERVIÇO DE SEGURANÇA DA VIDA (SoL)
- SERVIÇO COMERCIAL (CS)
- SERVIÇO REGULADO AO PÚBLICO (PRS)
- SERVIÇO DE PROCURA E RESGATE (SAR)



Bandas dos Sistemas





Sinais Transmitidos (Pós modernização)

- 2 portadoras com frequências distintas:
 - $L1 = 154 \times 10,23 \text{ MHz} = 1575,42 \text{ MHz}$
 - $L2 = 120 \times 10,23 \text{ MHz} = 1227,60 \text{ MHz}$
 - $L5 = 115 \times 10,23 \text{ MHz} = 1176,45 \text{ MHz}$

- comprimentos de onda de 19,05 cm, 24,45 cm e 23,43 cm respectivamente.

- Banda L1: 1563,42 - 1587,42
- Banda L2: 1215,60 - 1239,60
- Banda L5: 1164,45 - 1188,45





Sinais Transmitidos (Pós modernização)

- Códigos:
 - C/A (Clear Access): usado na navegação em geral.
 - P (Y) (Precision): restrito aos militares
 - L2C
 - M: restrito aos militares
 - L1C





Frequencia	Fase	Uso original	Uso pós modernização
L1 (1575.42 MHz)	In-Phase (I)	Encrypted Precision P(Y) code	Encrypted Precision P(Y) code
	Quadrature-Phase (Q)	Coarse-acquisition (C/A) code	Coarse-acquisition (C/A) code and L1 Civilian code and Military (M) code
L2 (1227.60 MHz)	In-Phase (I)	Encrypted Precision P(Y) code	Encrypted Precision P(Y) code
	Quadrature-Phase (Q)		L2 Civilian (L2C) code and Military (M) code
L5 (1176.45 MHz)	In-Phase (I)		Safety-of-Life (SoL) Data signal
	Quadrature-Phase (Q)		Safety-of-Life (SoL) Pilot signal



Sinais Transmitidos - GPS

- Todas as informações sobrepostas às portadoras são moduladas em fase.
- No caso dos códigos C/A e P, modulados na primeira frequência, há uma defasagem entre eles: o código P é modulado na fase co-seno e o código C/A na fase seno.
- A vantagem é que a portadora pode ser obtida através de um dos códigos independente do outro.

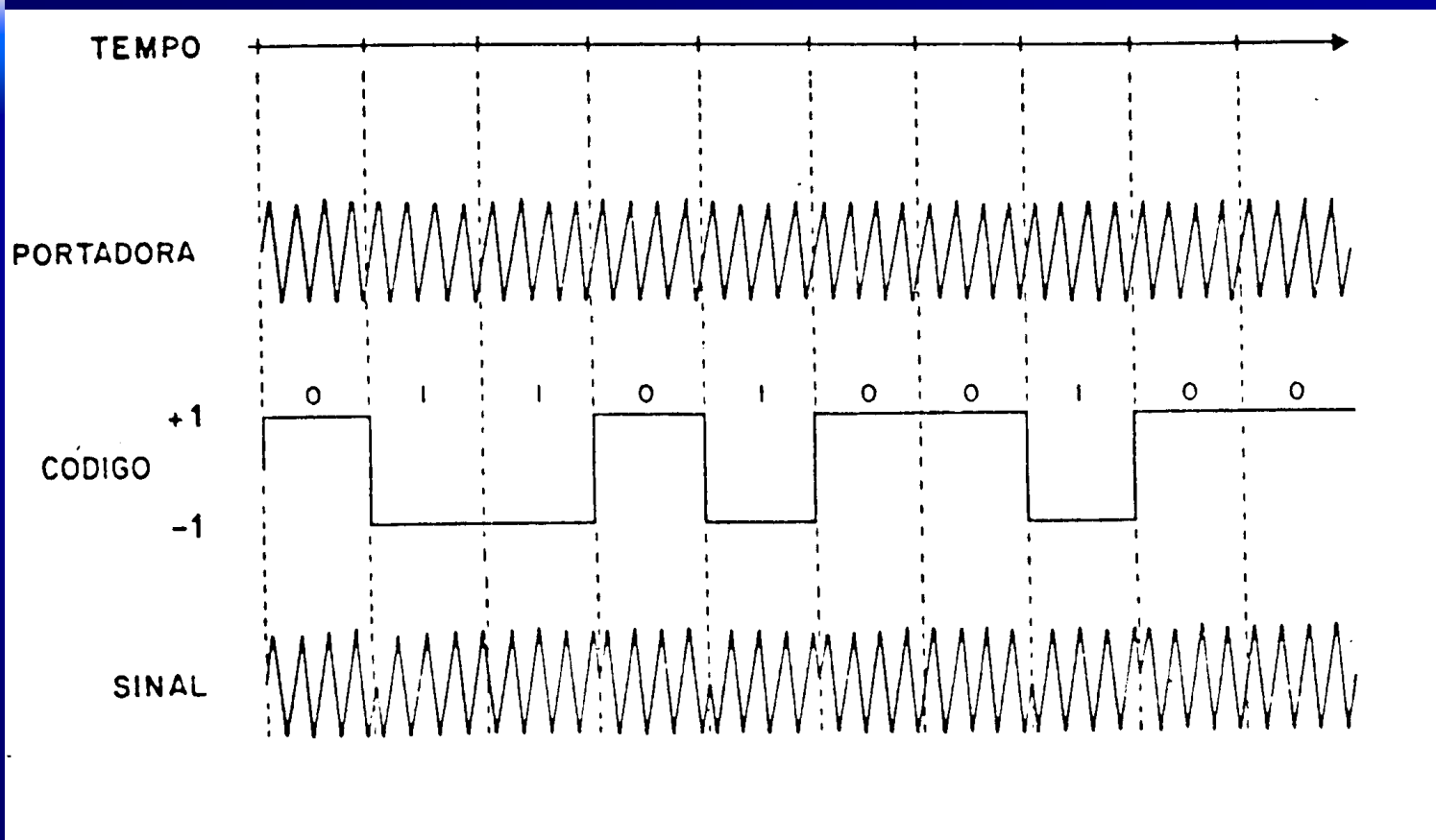


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Modulação em fase





Equações dos sinais

- $L1(t) = A_p P_i \cos(\omega_1 t + f(t)) + A_g G_i(t) D_i(t) \sin(\omega_1 t + f(t))$
- $L2(t) = B_p P_i(t) D_i(t) \cos(\omega_1 + f(t))$
 - A, B - amplitudes dos sinais
 - P, G - códigos P e C/A respectivamente
 - D - dados transmitidos



ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

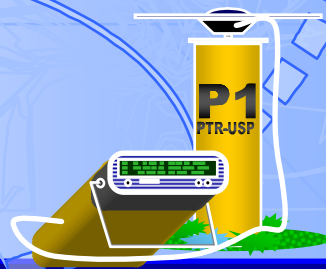
Laboratório de Topografia e Geodésia

Métodos Utilizados no Mapeamento



1. Levantamento topográfico

2. Posicionamento por satélites





Erros do sistema de navegação por satélite

- Ionosfera
- Troposfera
- Multicaminhamento
- Sincronismo de relógio
- DOP

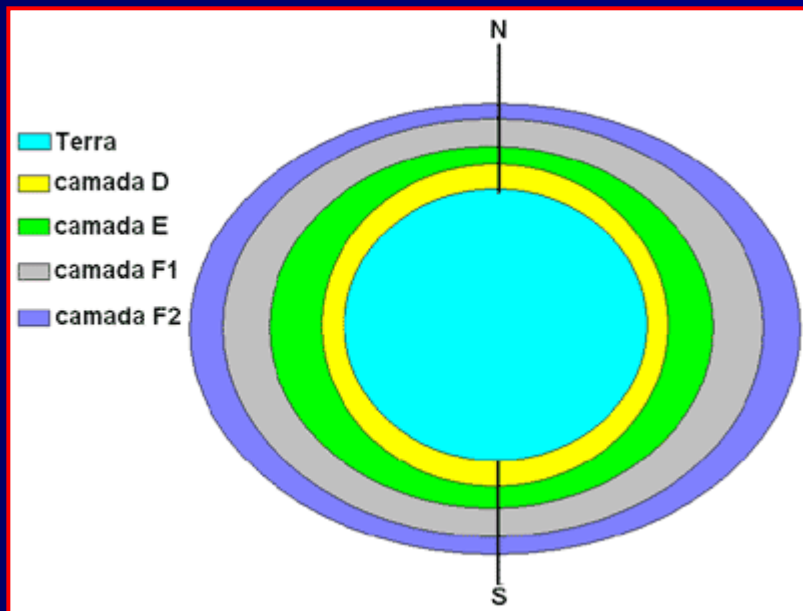


Ionosfera

- Todas as variações que acontecem na ionosfera são mais ou menos previsíveis e dependem principalmente da atividade solar e do grau de ionização que as radiações solares provocam na ionosfera. Deste modo pode-se com os conhecimentos atuais prever as condições de propagação dentro de certos limites.
- O comportamento normal da ionosfera é alterado por determinados fenômenos que ocorrem na superfície solar como sejam explosões solares, provocando forte perturbação das camadas ionosféricas ionizando-as na região dos pólos.
- Durante o período em que a terra está exposta a estas anomalias as características das diversas camadas é alterada e severas perturbações ocorrem nos sistemas de comunicação
- o receptor parece que está avariado pois apenas se escuta um ligeiro ruído de fundo

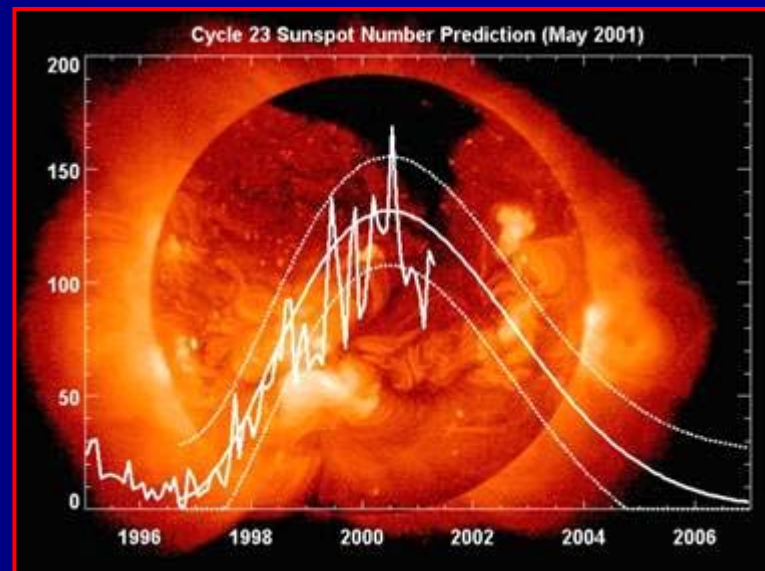


Ionosfera



Camadas da Ionosfera

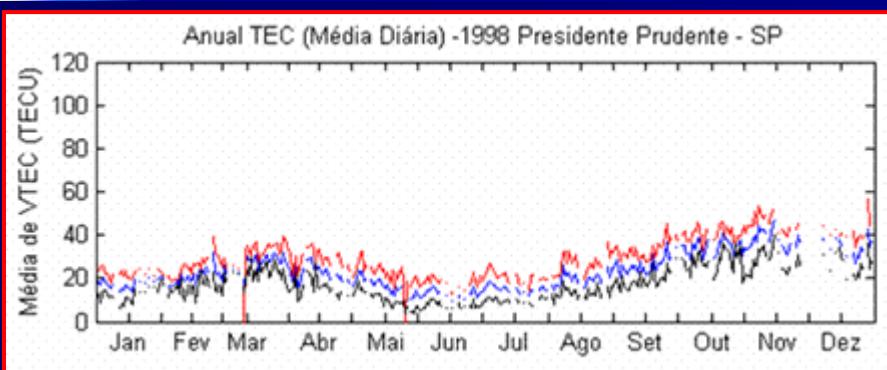
Gráfico de atividade solar





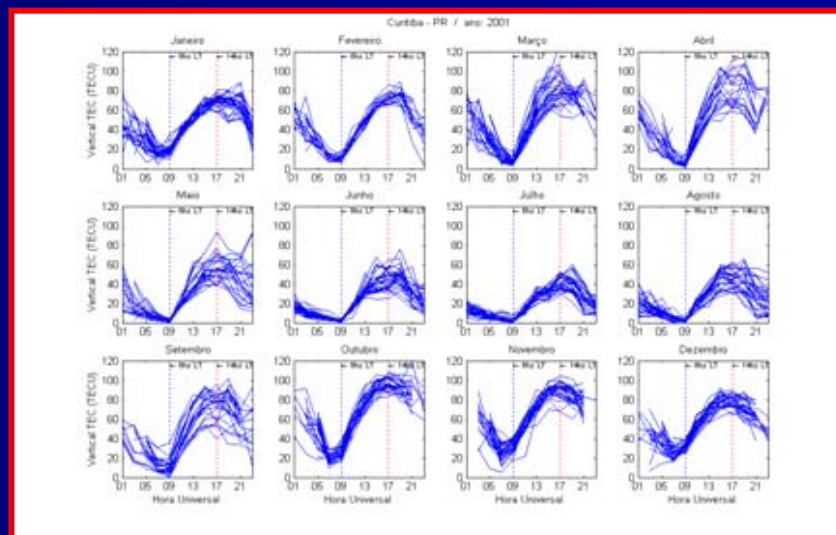
Ionosfera

TEC (Conteúdo Total de Eletrons)



TEC – Media anual

TEC – Média diária





ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Ionosfera

Modelos

- **Correção IONfree**
- **Klobuchar**



Troposfera

- A troposfera é a camada gasosa da atmosfera, que se estende da superfície terrestre até aproximadamente 40 km de altura.
- O atraso troposférico é relativamente pequeno (1,9 a 2,5m na direção zenital aumentando com a cossecante do ângulo de elevação, chegando a 20 a 28 m para um ângulo de 5°.
- O atraso na troposfera depende de: temperatura, umidade e pressão que variam com a altitude local e independem da frequência do sinal.

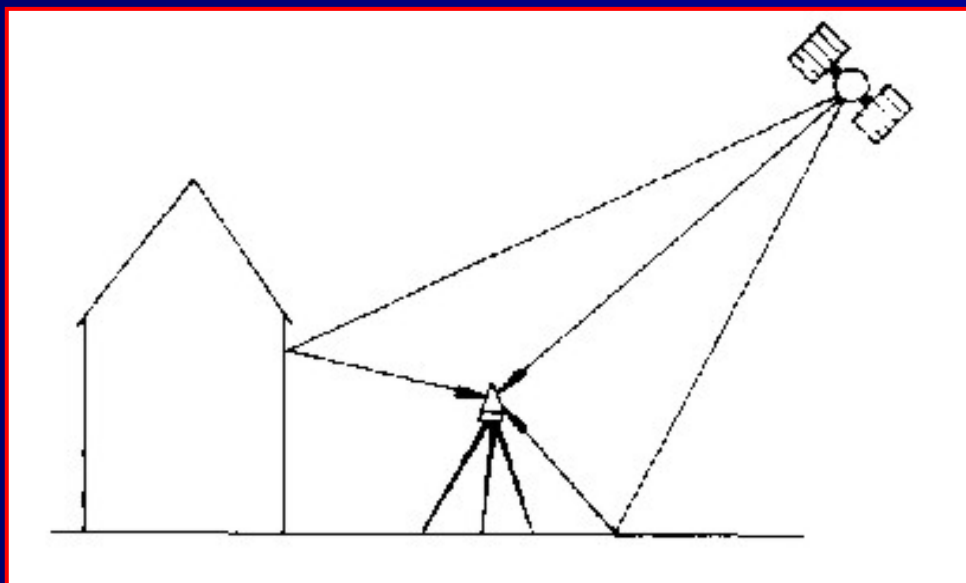
Modelos troposféricos:

- HOPFIELD
- SAASTAMOINEM



Multicaminhamento

- Nem sempre o sinal que chega ao receptor é o sinal diretamente transmitido pelo satélite.
- O sinal recebido pode ser aquele rebatido de algum objeto na superfície da Terra.





Multicaminhamento

- Para minimizar o efeito do multicaminhamento, existem alguns modelos de antenas.

CHOKE RING



A,B,C e D – Modelos de platô Choke Ring 2D

E – Modelos de platô Choke Ring 3D

Modelos de diferentes fabricantes





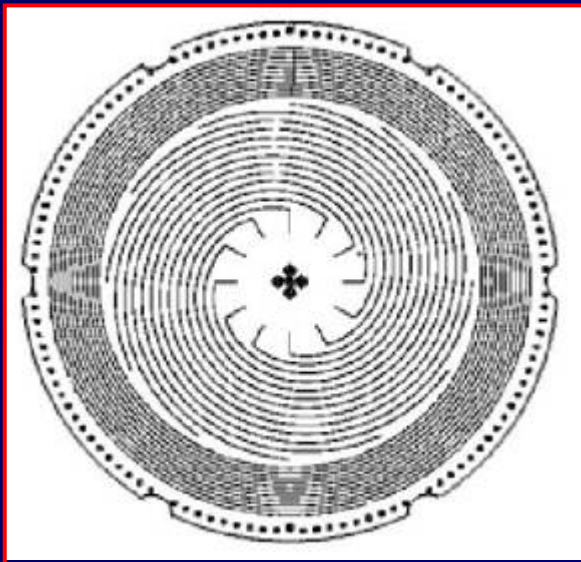
ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Multicaminhamento

PINWHEEL



Layout de construção de uma antena Pinwheel

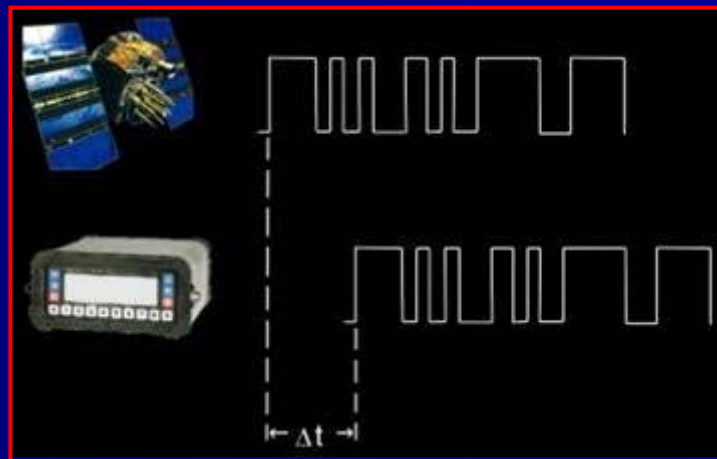
Modelos de antena Pinwheel





Sincronismo dos Relógios

- Os relógios dos receptores possuem um oscilador de quartzo.
- O relógio (atômico) embarcado no satélite GPS possui um oscilador de Césio e/ou Rubídio.
- O não sincronismo do instante de transmissão e de recepção do sinal GPS gera um erro na medida de distância





Sincronismo dos Relógios

- Origem inicial: 0 hs T.U.C. do dia 6 de janeiro de 1980.
- Modo de contagem: é dado por duas variáveis: a semana GPS e o contador Z.
- Semana GPS: teve início em 1980 e perdurou por 1023 semanas, até 1999. Às 0hs TUC de 21 de agosto de 1999 reiniciou em 0. Os receptores precisam reconhecer esta nova origem de contagem da semana.
- Contador Z: representa o número inteiro de 1,5 segundos de tempo decorridos desde o início da semana (0 hora de domingo). Varia de 0 a 403199.



Distância estações/satélite - uso do código

■ Distância

$$D_r^i = c \cdot \Delta t_r^i$$

- c - velocidade da luz
- Δt_r^i - tempo de propagação do sinal entre o satélite i e a estação r - derivado através de um dos códigos C/A ou P.



Distância estações/satélite - uso do código

■ Equação final:

$$D = \rho_r^i + c \Delta t_{Ar}^i + c(\Delta t_r - \Delta t^i) \quad (i=1,2,3,4) \quad (1)$$

$$\rho_r^i = [(X^i - X_r)^2 + (Y^i - Y_r)^2 + (Z^i - Z_r)^2]^{1/2} \quad (2)$$

ρ_r^i - distância cartesiana



Distância estações/satélite - uso do código

Onde:

X^i, Y^i, Z^i - coordenadas do satélite

Δt^i - erro de sincronização do relógio do satélite

Δt_A - erro devido à refração sofrida pelo sinal na passagem pela atmosfera

Incógnitas Envolvidas

X_r, Y_r, Z_r - coordenadas da estação

Δt_r - erro de sincronização do relógio do receptor

***Para se obter uma posição instantânea é necessário observar no mínimo 4 satélites.**



Distância estações/satélite - uso da portadora

- Medida da fase de batimento da portadora

$$\phi_r^i(t) = \phi^i(t) - \phi_r(T) \quad (3)$$

$\phi_r^i(t)$ - observação da fase de batimento da portadora, em unidades de ciclos, entre o satélite (i) e o receptor (r), para a época t.

$\phi^i(t)$ - fase do sinal recebido, transmitido pelo satélite (i) na época (t), medida em ciclos.

$\phi_r(T)$ - fase do sinal gerado no receptor (r) na época (T) em que o sinal transmitido chega ao receptor, medida em ciclos.



Distância estações/satélite - uso da portadora

■ Tempo de propagação:

$$\delta\tau = T - t \quad (4)$$

$$\delta\tau = (\rho_r^i / c) + (\delta A_r^i / c) \quad (5)$$

$$\phi^i(t) = \phi^i(T - \delta\tau)$$

Linearizando por Taylor

$$\phi^i(t) = \phi^i(T) - (\partial\phi^i / \partial t) \delta\tau = \phi^i(T) - f\delta\tau$$

substituindo:

$$\phi_r^i(T) = \phi^i(T) - \phi_r(T) - (f/c) \rho_r^i - (f/c) \delta A_r^i \text{ ou}$$

$$\phi_r^i(T) = \phi^i(T) - \phi_r(T) - (f/c) \rho_r^i + N_r^i - (f/c) \delta A_r^i \quad (6)$$



Distância estações/satélite - uso da portadora

- A equação (6) é semelhante à da distância pelo código, porém, se trata de uma distância ambígua.
- Não se conhece o número inteiro de ciclos entre o satélite e o receptor no instante inicial da observação, representado por N_r^i e chamado de ambigüidade.
- A partir daquele instante, o receptor monitora o número inteiro de ciclos, desde que a sintonia ao satélite não seja perdida.



Distância estações/satélite - uso da portadora

■ Distância pela fase

A última equação acima pode ser apresentada em unidades lineares ao invés de ciclos, bastando multiplicar pelo comprimento de onda $\lambda = c/f$, ficando:

$$D \phi_r^i = \rho_r^i + \lambda N_r^i + c \Delta t_{Ar}^i + c(\Delta t_r - \Delta t^i) \quad (7)$$

O dois últimos termos incluem as frações de ciclo no receptor e no satélite bem como o erro de sincronização dos respectivos relógios. Foi introduzido o sub-índice i para indicar um satélite específico.



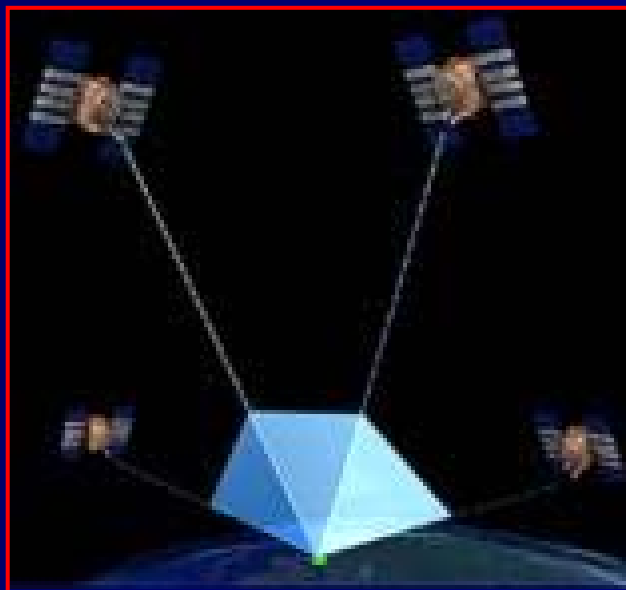
DOP – Diluição da Precisão

- A qualidade do levantamento está relacionada também com a geometria dos satélites na hora do rastreo .
- O DOP é um indicativo dessa geometria dos satélites rastreados, consequentemente da qualidade dos dados a serem obtidos.
 - HDOP : posicionamento horizontal
 - VDOP : posicionamento vertical
 - PDOP : posicionamento tridimensional
 - TDOP : determinação do tempo
 - GDOP : Combinação de PDOP e TDOP
$$= (PDOP^2 + TDOP^2)^{1/2}$$

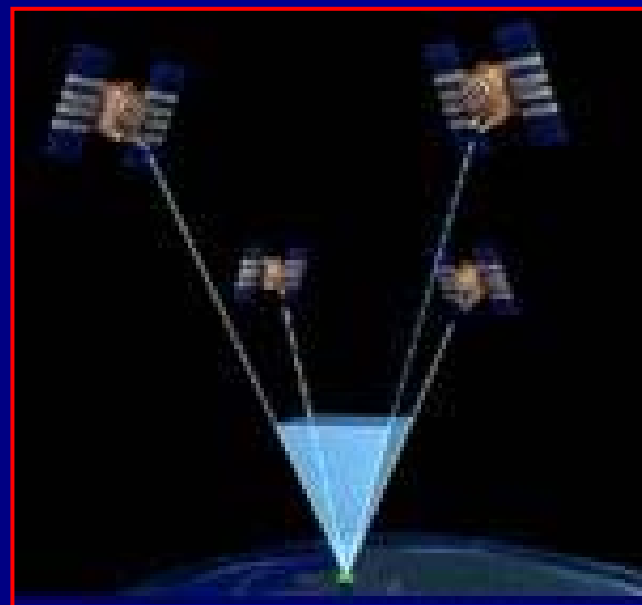


DOP – Diluição da Precisão

O PDOP pode ser interpretado como o inverso do volume do tetraedro formado pelos 4 satélites e da antena do receptor do usuário.



PDOP bom



PDOP ruim



Obstruções

- **Planejamento de rastreo GPS**
 - No início de operação do sistema GPS, havia uma carência de número de satélites para realizar-se a determinação de um ponto, ou seja nem sempre eram visíveis 4 satélites simultâneos para se realizar o rastreo.
 - Assim realizava-se um planejamento conhecendo-se a órbita dos satélites e verificava-se qual o horário os 4 mínimos satélites estariam visíveis.
 - Para se fazer esse planejamento era necessário realizar um mapeamento de obstruções para saber a localização das feições que podem interromper o sinal dos satélites.

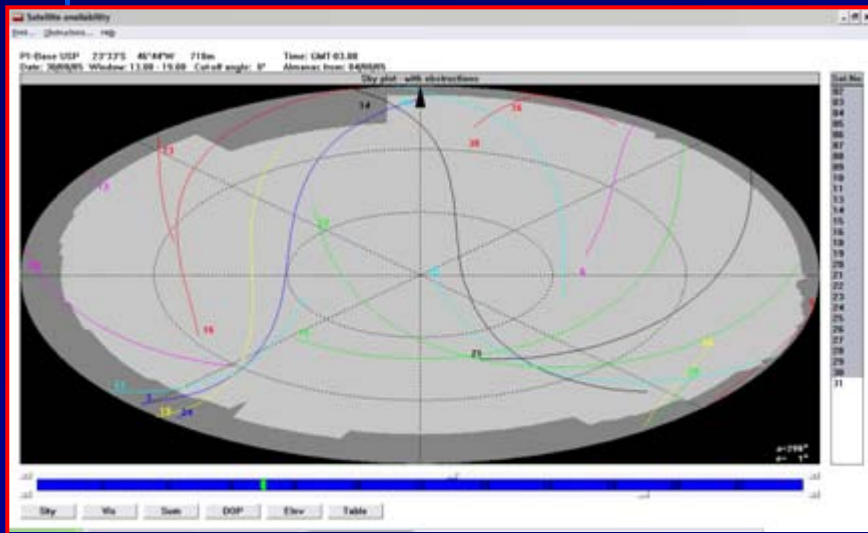


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

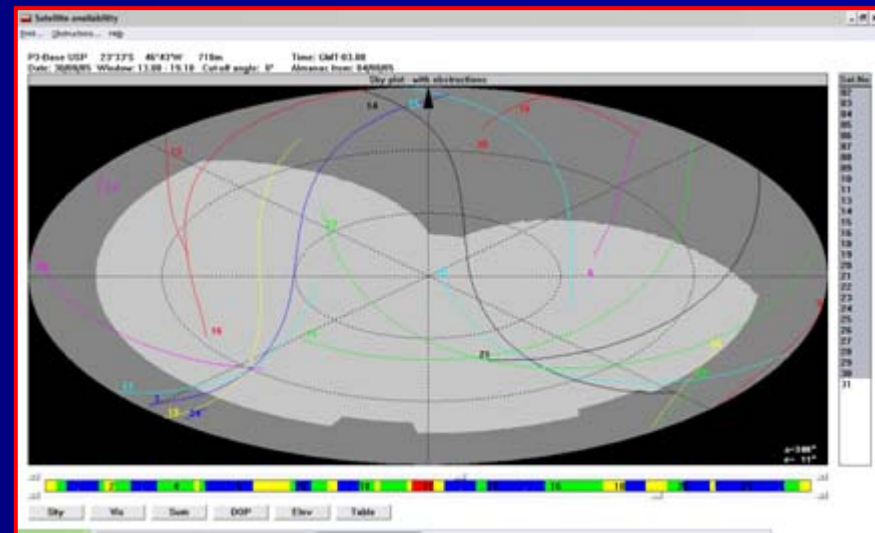
Laboratório de Topografia e Geodésia

Obstruções



Mapa de obstruções
Pilar 1 Base multipilar USP

Mapa de obstruções
Pilar 3 Base multipilar USP





Condições para o posicionamento por satélite

- **Condições Mínimas**
 - Não estar em locais fechados
 - Visibilidade de pelo menos 4 satélites (3 para determinação da posição e um para o problema do sincronismo dos relógios)
 - Inexistência de alta atividade ionosférica (tempestade solar)
- **Condições ideais**
 - Local de céu aberto (ausência de obstruções – prédios, árvores, etc...)
 - Visibilidade do maior número de satélites
 - Inexistência de alta atividade ionosférica (tempestade solar)



Técnicas de Posicionamento

Para se realizar o rastreo para obtenção das coordenadas de pontos utilizando o sistema GPS, utilizam-se algumas técnicas de posicionamento de acordo com a necessidade do usuário, seja pela acurácia e precisão, ou pela aplicação.

O posicionamento pode ser realizado de modo:

- Estático
- Cinemático
- Semi-cinemático



Posicionamento Estático

Estático:

Técnica de posicionamento onde a observação (rastreo) é realizado com o receptor estático em único ponto:

- Absoluto

- Ponto

- Ponto Preciso

- Relativo

- Estático

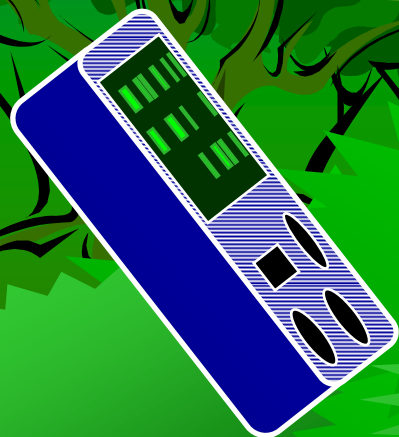
- Estático rápido



ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia



Posicionamento Absoluto (estático)



Posicionamento Estático

■ Absoluto



Ponto – uso do código



Ponto preciso - uso da fase



Posicionamento Relativo Estático

- O posicionamento geodésico e topográfico com o GPS é feito sempre no modo relativo ou diferencial (pós-processado).
- Necessidade da observação simultânea de mesmos mínimos 4 satélites na mesma época por pelo menos dois receptores diferentes, sendo um deles posicionado em um ponto de coordenadas conhecidas.
- A diferença entre as coordenadas obtidas pelo receptor (base) e do ponto de referência é subtraída das coordenadas obtidas pelo outro receptor (rover)

Estático – tempo de ocupação 20 min a algumas horas

Usado em transporte de coordenadas – indicado para longas linhas de base (400km)

Estático rápido – tempo de ocupação 20 min – curtas linhas de base (20km)

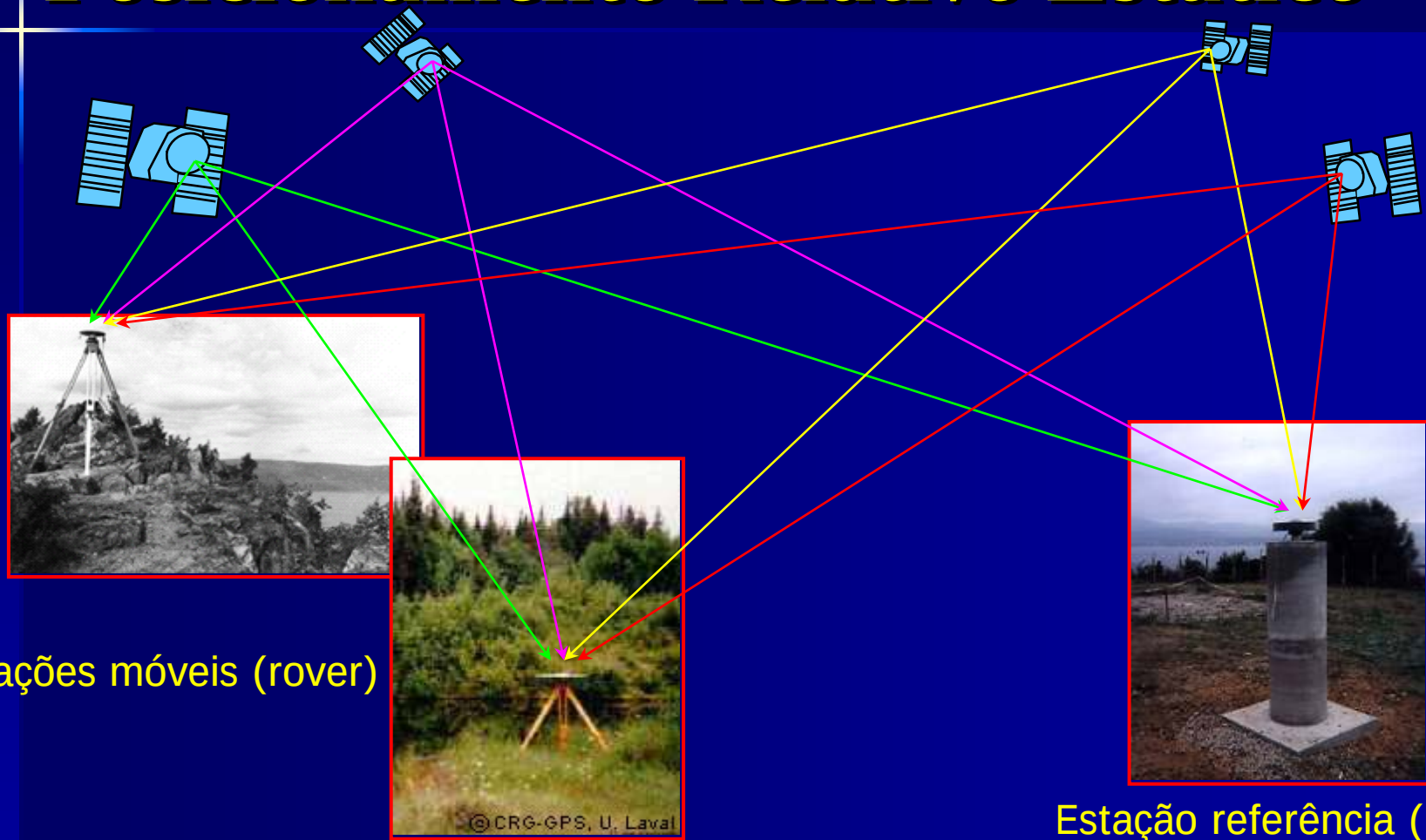


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Posicionamento Relativo Estático





Posicionamento Cinemático

Cinemático:

Técnica de posicionamento onde a observação (rastreo) é realizado com o receptor em movimento:

- Absoluto
- Relativo
 - cinemático
 - RTK (diferencial)
 - DGPS (diferencial)



ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Posicionamento Cinemático



Navegação Veicular
uso do código



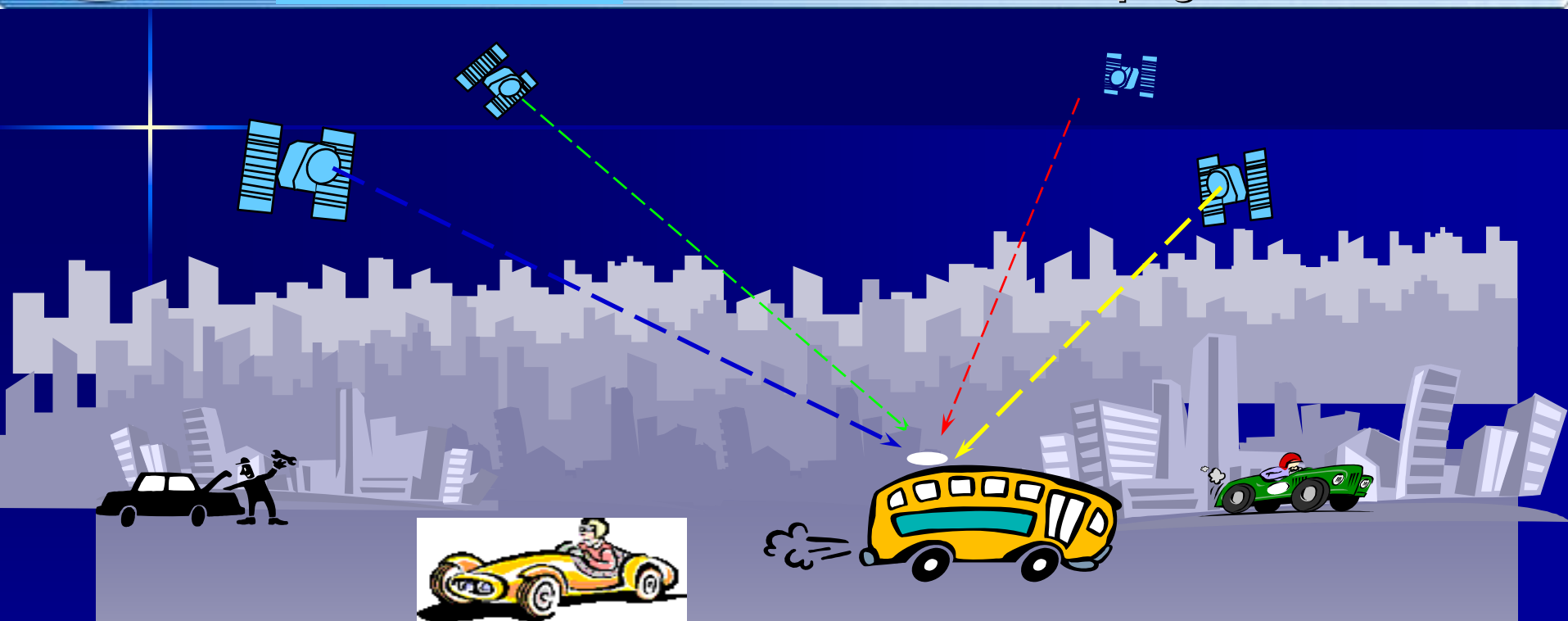
Mapeamento usando tecnologia RTK
uso da fase



ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia



Posicionamento Absoluto (cinemático)



Posicionamento Cinemático

- Cinemático absoluto: Feito com GPS de navegação utilizando o código C/A. A precisão deste tipo de posicionamento é da ordem de 10 a 15 m.
- Cinemático relativo: É realizado o rastreo em um ponto do mesmo modo do posicionamento estático rápido até que seja solucionada a ambigüidade. Após esta etapa, o mapeamento pode ser realizado, desde que não haja perda de sinal (passagem por obstruções como pontes, árvores). Este tipo de posicionamento exige pós processamento. A precisão é da ordem de décimos de centímetros.

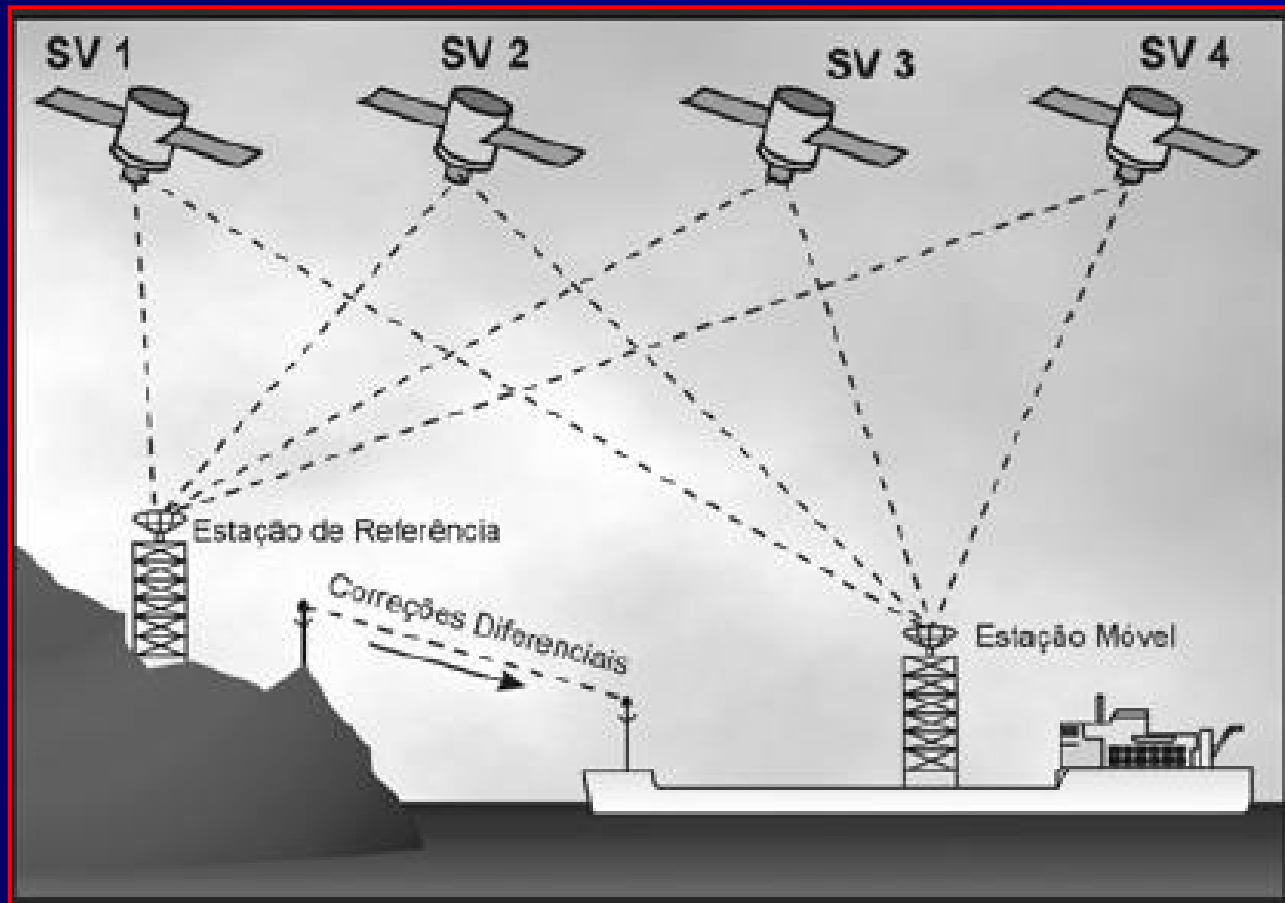


Posicionamento Cinemático

- DGPS – GPS Diferencial
- Princípio: um receptor permanece observando os satélites em um ponto conhecido (base).
- Pode-se comparar o resultado obtido do rastreamento com o que é conhecido e assim obter uma correção.
- Esta é aplicada ao receptor itinerante através de um link de rádio (rádio farol).
- A observação é feita pelo código C/A



DGPS





Posicionamento Cinemático

■ RTK: Real Time Kinematic

- Esta técnica é um tipo de posicionamento relativo, porém em tempo real. É relativo porque um receptor ocupa um ponto de coordenadas conhecidas e calcula a diferença entre elas e as coordenadas observadas.
- Através de um rádio, transmite-se essa diferença para a estação móvel que também possui um rádio o qual recebe esta informação.
- Utiliza a fase da onda portadora como observável.
- A sua precisão pode chegar a 1 a 2 cm. Sua precisão varia de acordo com o local e da distância do receptor base (limitada pelo alcance do rádio).



ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Posicionamento Cinemático



Estação Rover



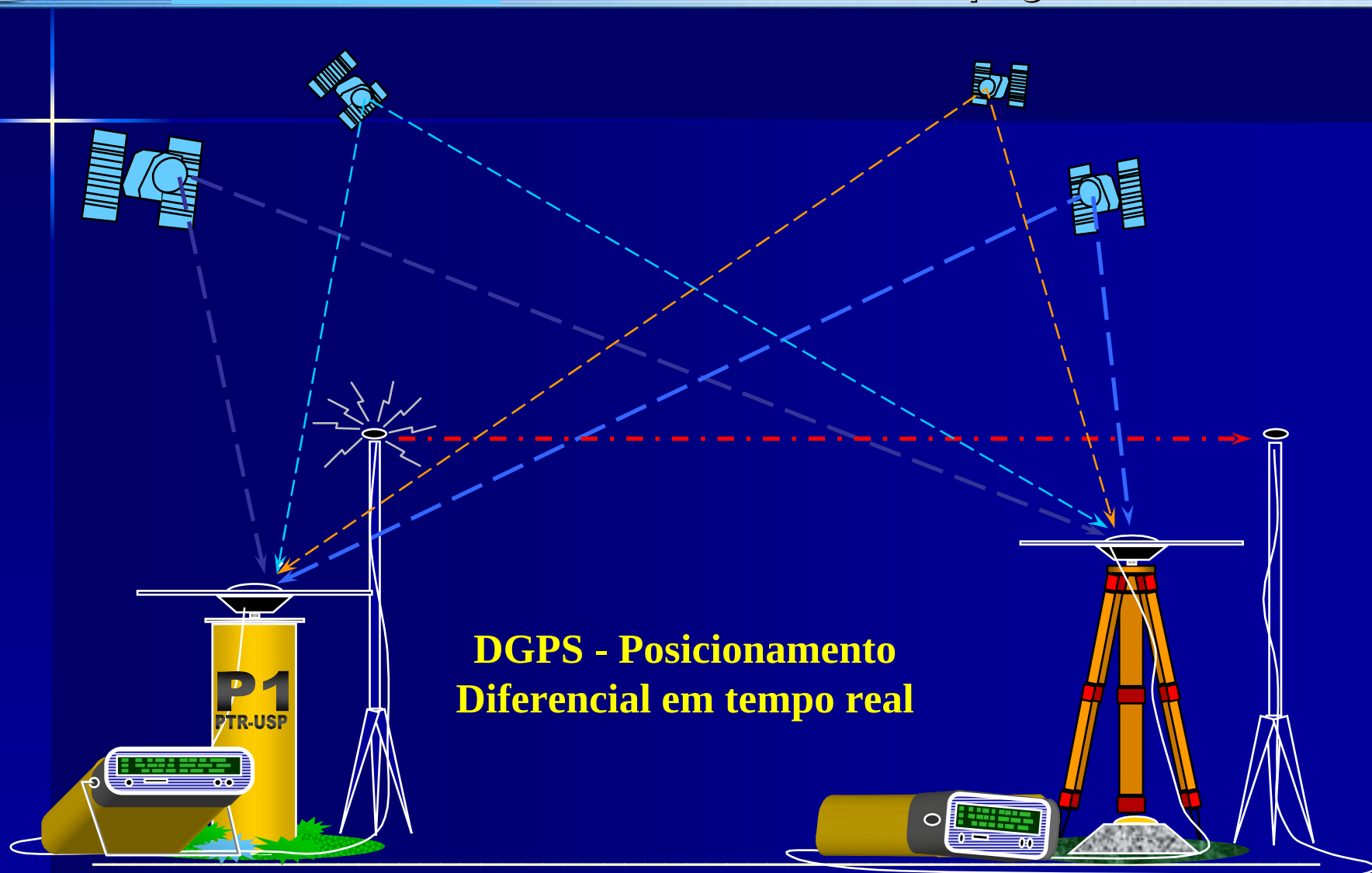
Estação Base



ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia





Posicionamento Semi-Cinemático

- Semi-cinemático (*stop and go*)
 - Esta técnica é um tipo de posicionamento relativo, muito utilizado para levantamentos cadastrais para SIG. É relativo porque um receptor ocupa um ponto de coordenadas conhecidas e calcula a diferença entre elas e as coordenadas observadas.
 - Utiliza a fase da onda portadora como observável.
 - É realizado o rastreo em um ponto do mesmo modo do posicionamento estático rápido até que seja solucionada a ambigüidade. Após esta etapa, o mapeamento pode ser realizado, desde que não haja perda de sinal (passagem por obstruções como pontes, árvores). Este tipo de posicionamento exige pós processamento. O tempo de ocupação é de aprox. 30s a 1 min. A precisão é da ordem de décimos de centímetros.



ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Posicionamento Semi-Cinemático



Levantamento stop and go



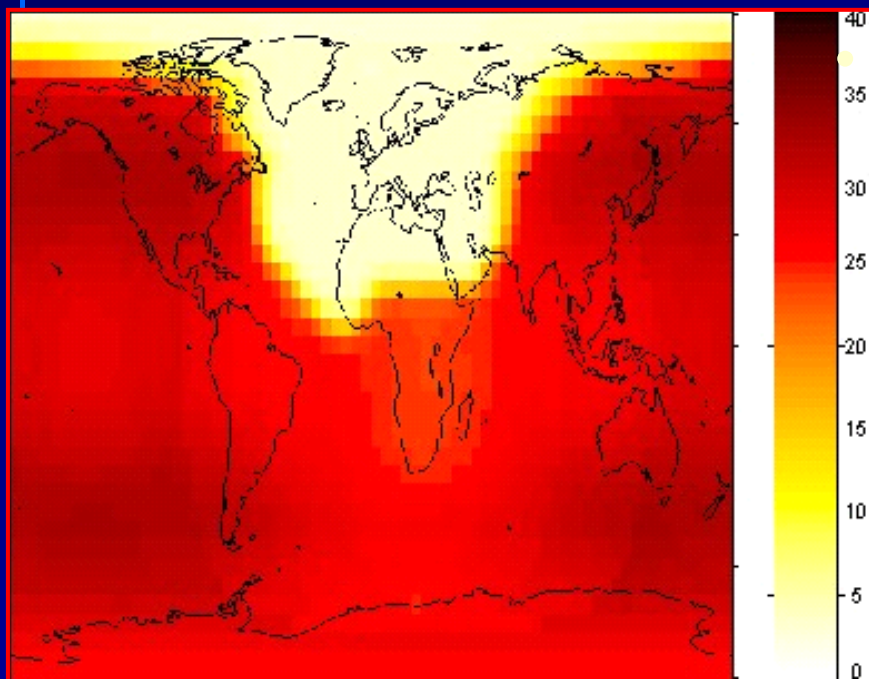
WADGPS na América do Sul



- **Link de dados envolve transmissão via satélite/rádio, etc...**
- **Correções ponderadas de acordo à localização em relação às estações de referência**
- **Sistema privado (assinatura)**
- **Saída RTCM e NMEA para interface com outros sistemas**
- **Precisão da correção 1 - 2m**
- **Vantagens**
 - **sinal permanente**
 - **grande cobertura**
 - **economia da base**
 - **aumento produtividade**
 - **navegação e locação**



EGNOS – European Geostationary Overlay Service



A Europa possui um serviço que tem como objetivo melhorar a precisão de sistema de navegação utilizando os sistemas de posicionamento por satélites existentes (GPS, GLONASS e futuramente GALILEU). Funciona do mesmo modo que o WADGPS.

- Área de cobertura do EGNOS

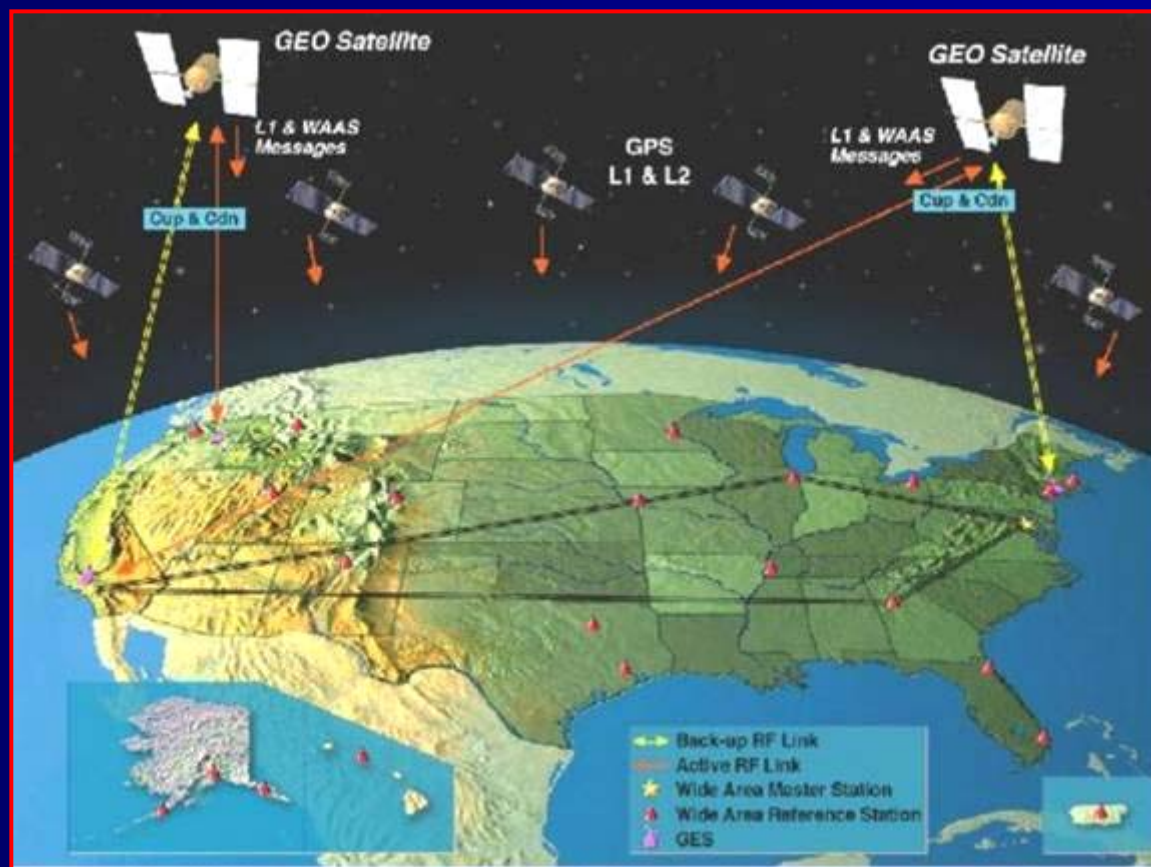


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

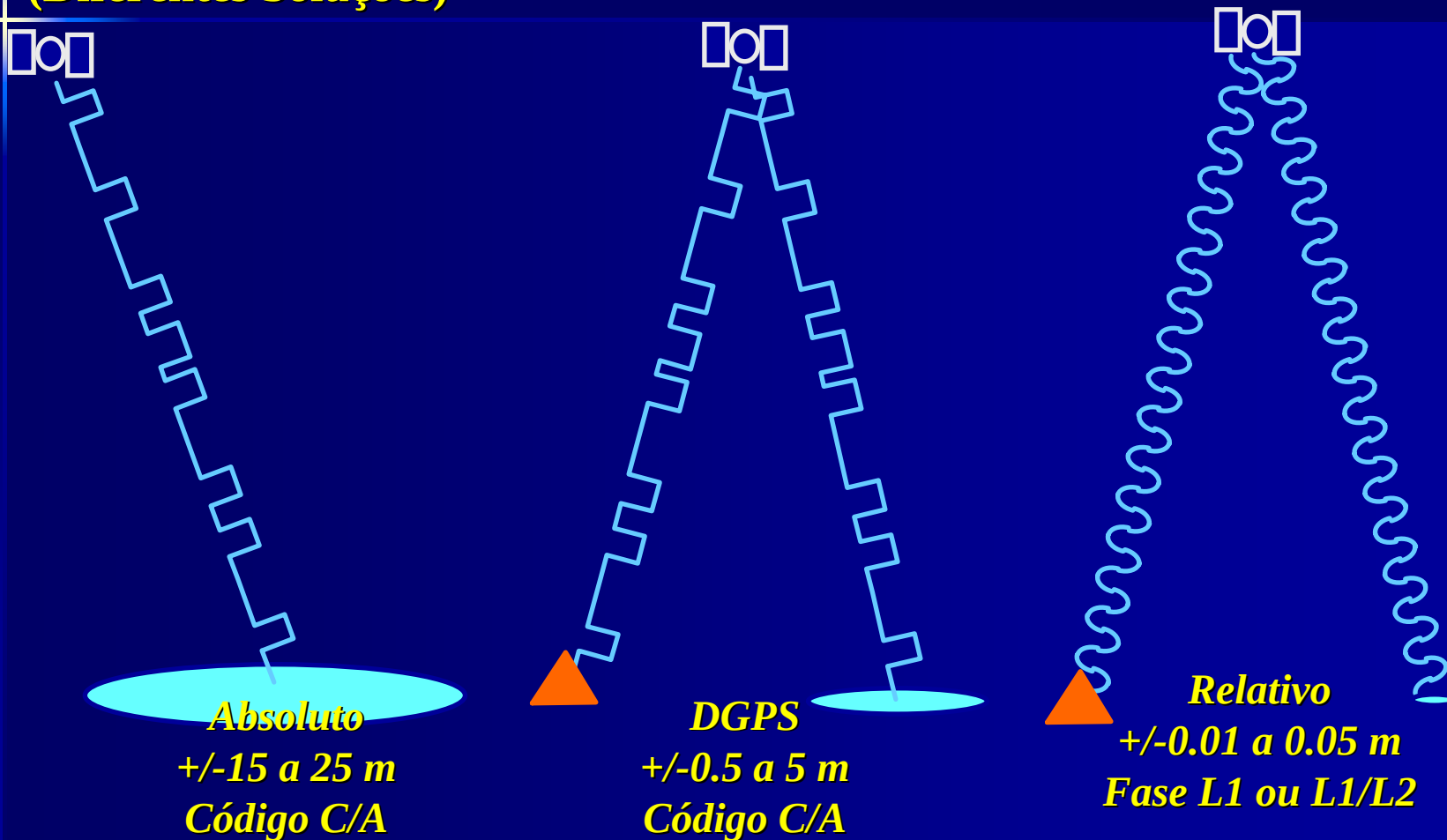
Laboratório de Topografia e Geodésia

WAAS – Wide Area Augmentation System





Acurácia no Posicionamento por GPS para um mínimo de 4 satélites (Diferentes Soluções)



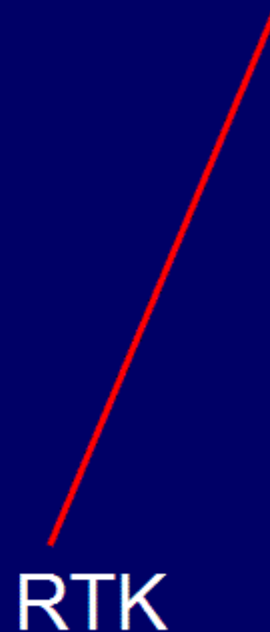
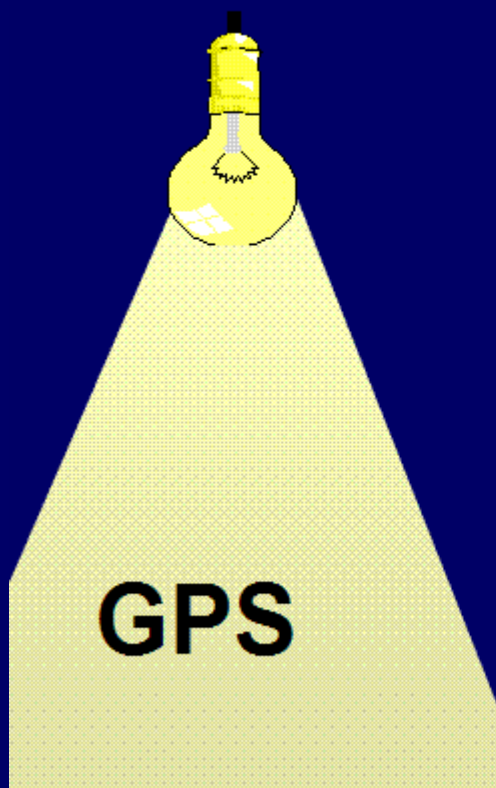


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Acurácia no Posicionamento por GPS para um mínimo de 4 satélites (Diferentes Soluções)



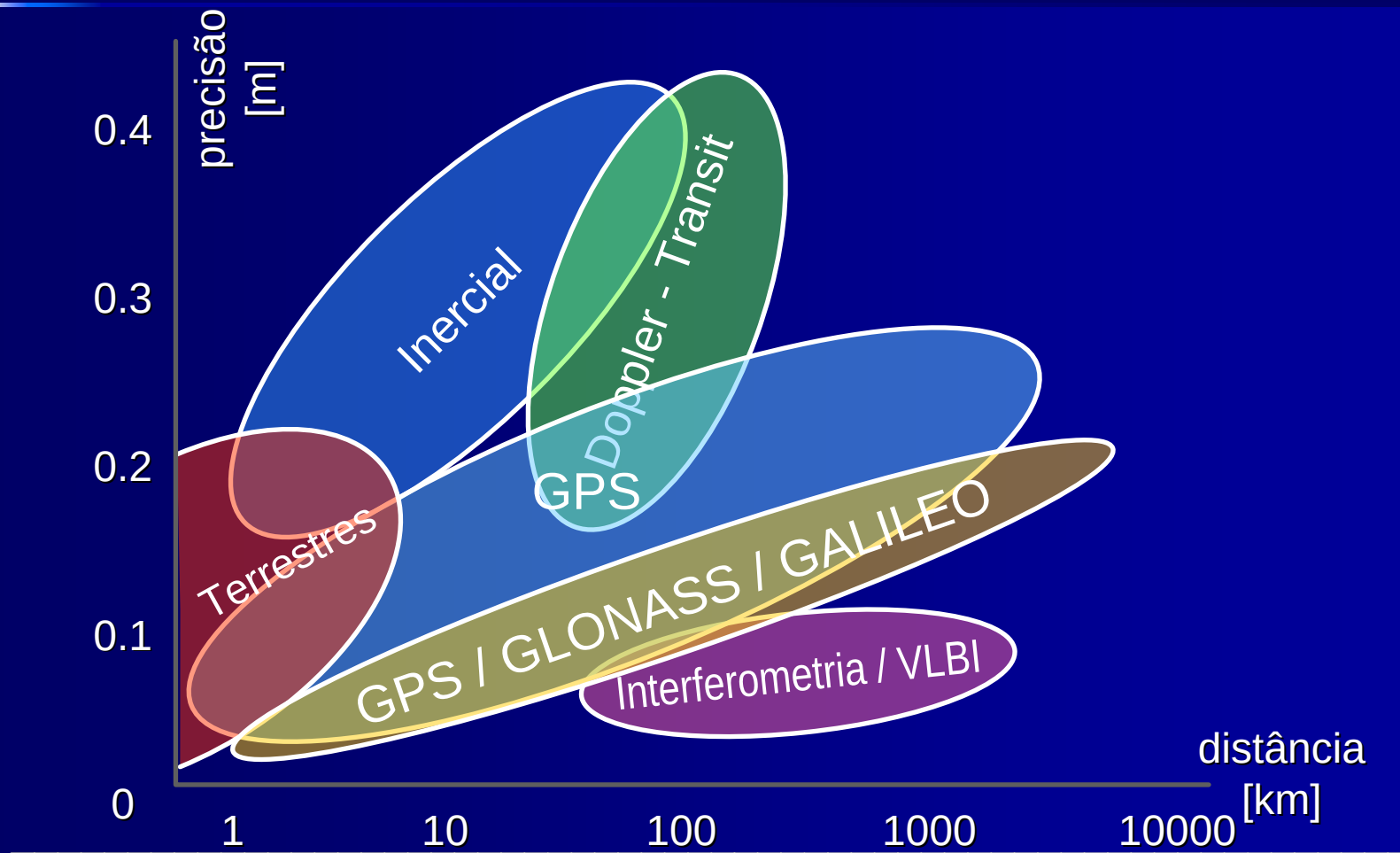


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Precisão relativa / métodos





Exemplos de aplicação do sistema GPS

Engenharia

- Navegação
- Mapeamento
- Cadastro
- Monitoramento de estruturas

Ambiental

- Monitoramento de animais
- Reflorestamento

Transportes/Logística

- Controle de frotas
- Bombeiros / Polícia / Resgate

Agricultura

- Agricultura de Precisão

Lazer

- Caminhadas
- Esportes





ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Exemplo de Aplicação: Mapeamento de mina a céu aberto



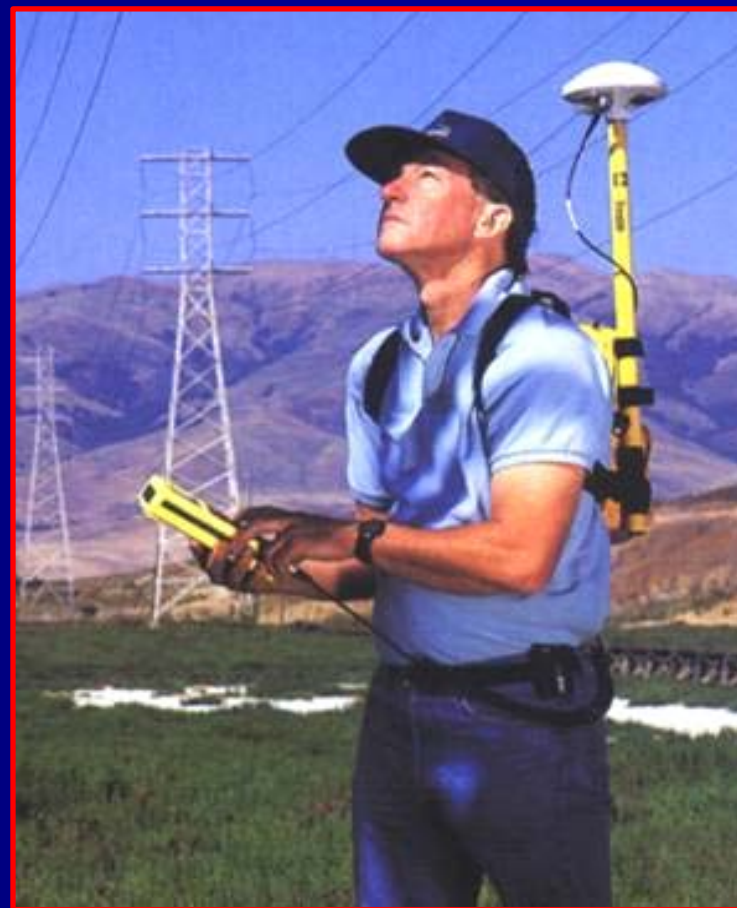
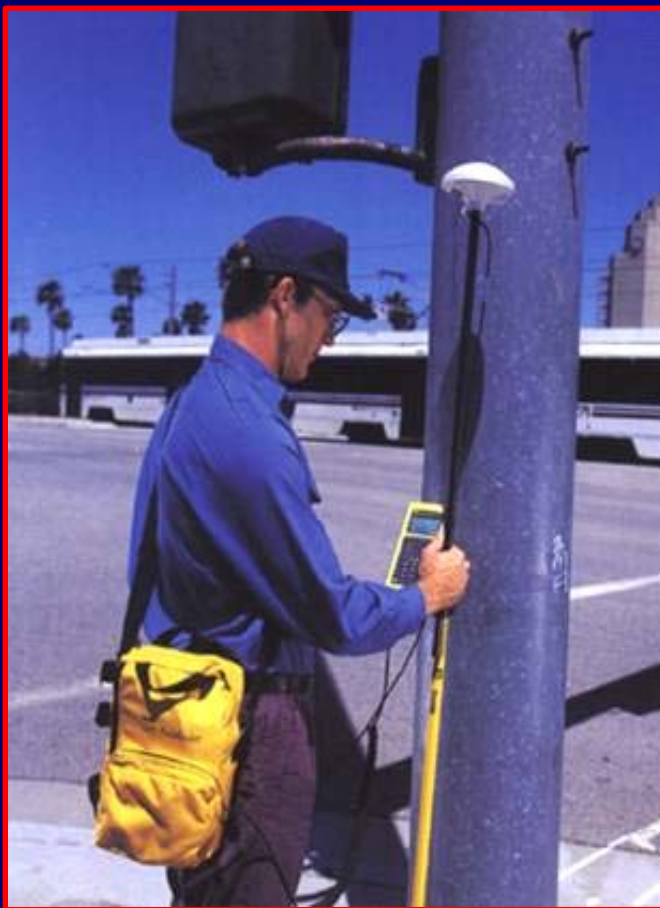


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Exemplo de Aplicação: Cadastramento de postes / linhas de alta-tensão





ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Exemplo de aplicação: Agricultura de Precisão





ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Exemplo de Aplicação: Controle de Frotas e navegação





ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Exemplo de Aplicação: Implantação de estradas / construção civil





ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Monitoramento estático e dinâmico de estruturas

Pontes , Viadutos , Estádios,
Edifícios, Portos, Etc...



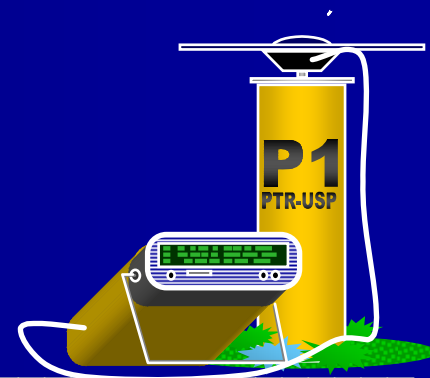


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

É fácil utilizar o GPS no mapeamento?





É necessário a
utilização de pontos
das Redes de
Referência ...



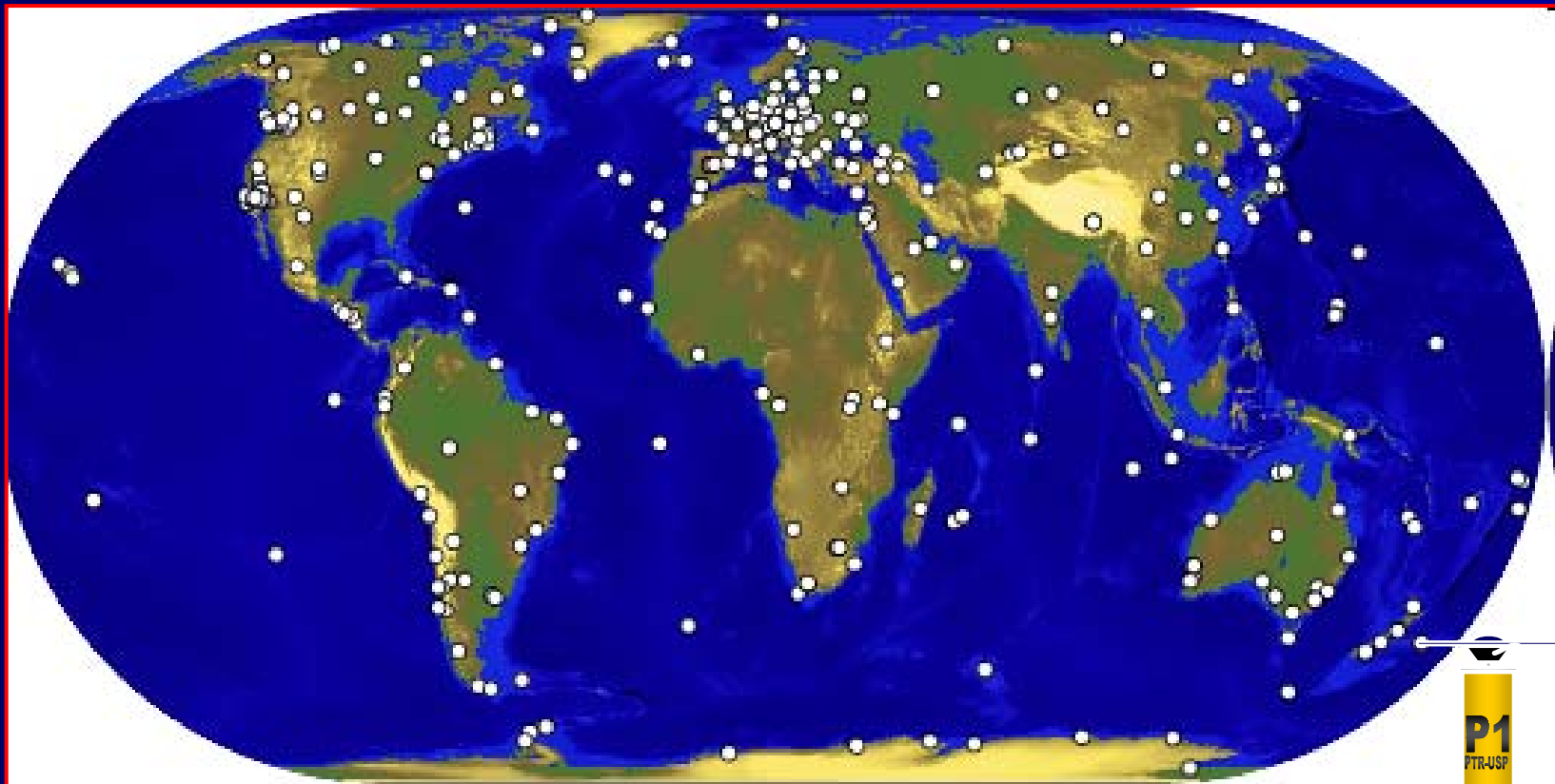


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Rede IGS (International GNSS Service)



2010 Mar 14 18:45:20



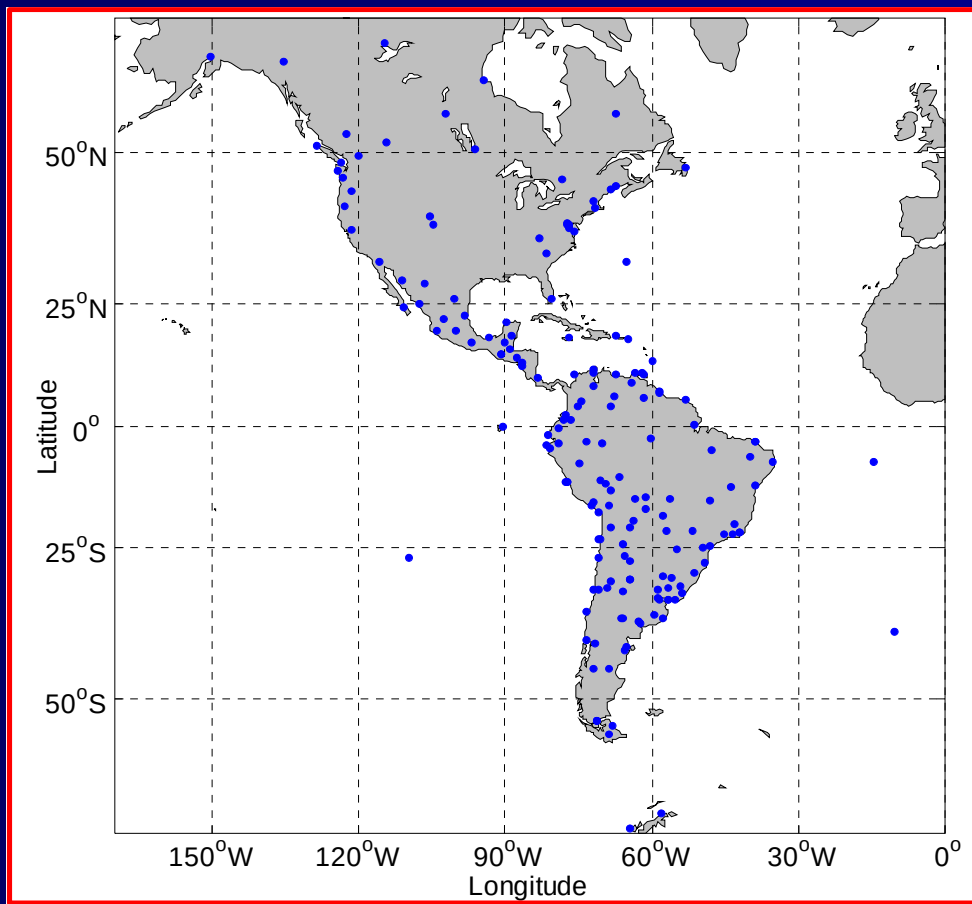


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas)



**184 Estações ocupadas
em 2000**



Redes GPS no território nacional

Existem dois tipos de redes GPS no Brasil

Rede Passiva: Rede constituída de pontos de coordenadas conhecidas, materializadas com pilares apoiados em rocha (impenetrável) com pino de centragem forçada, homologados pelo IBGE

Rede Ativa: Rede constituída de pontos de coordenadas conhecidas, materializadas com pilares apoiados em rocha (impenetrável) com pino de centragem forçada, homologados pelo IBGE, porém com um receptor GPS de dupla frequência que coleta dados continuamente 24 h por dia. Um exemplo é a RBMC (Rede de Monitoramento Contínuo) e também a RIBAC do INCRA (receptores de simples frequência).



ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

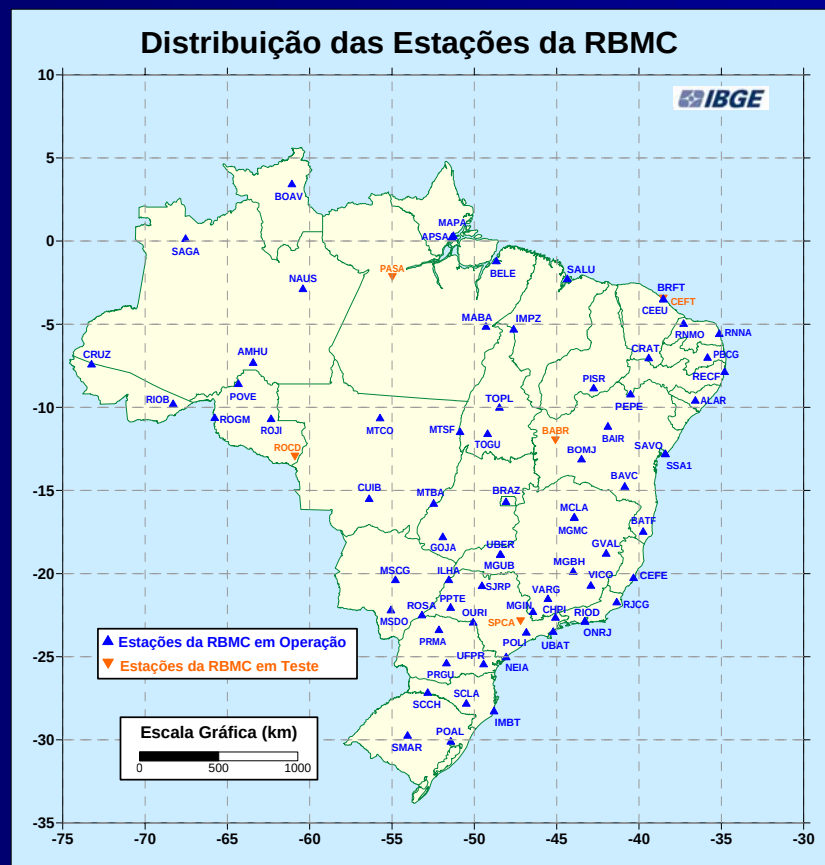
Características dos vértices com dispositivo de centragem forçada





Redes GPS no território nacional

RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS



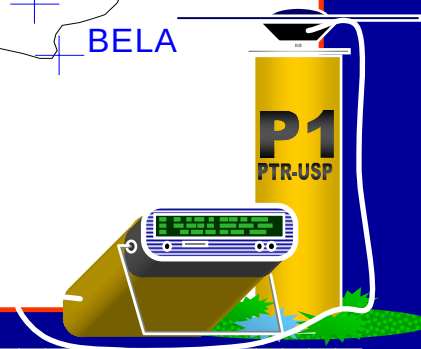
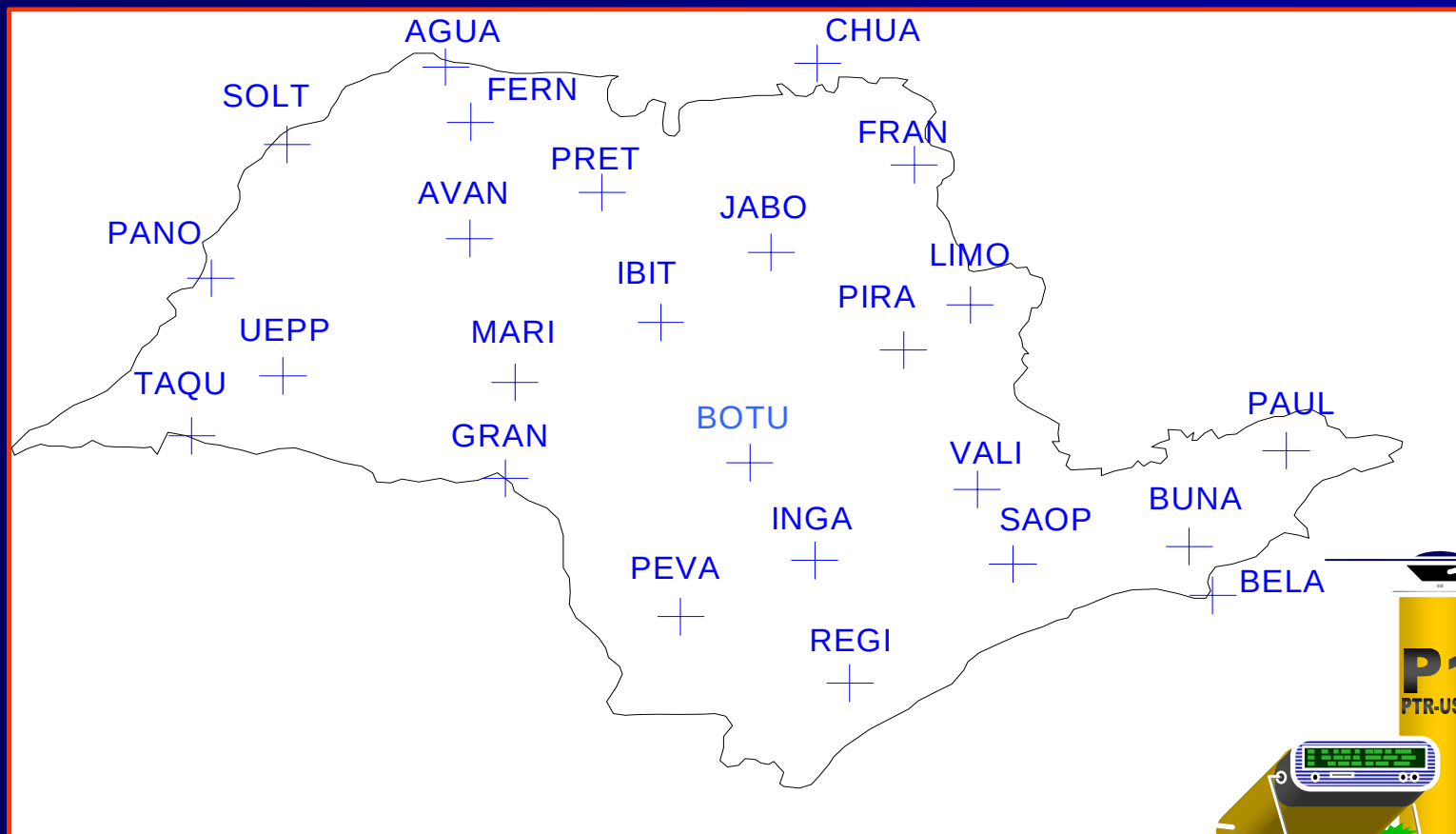


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

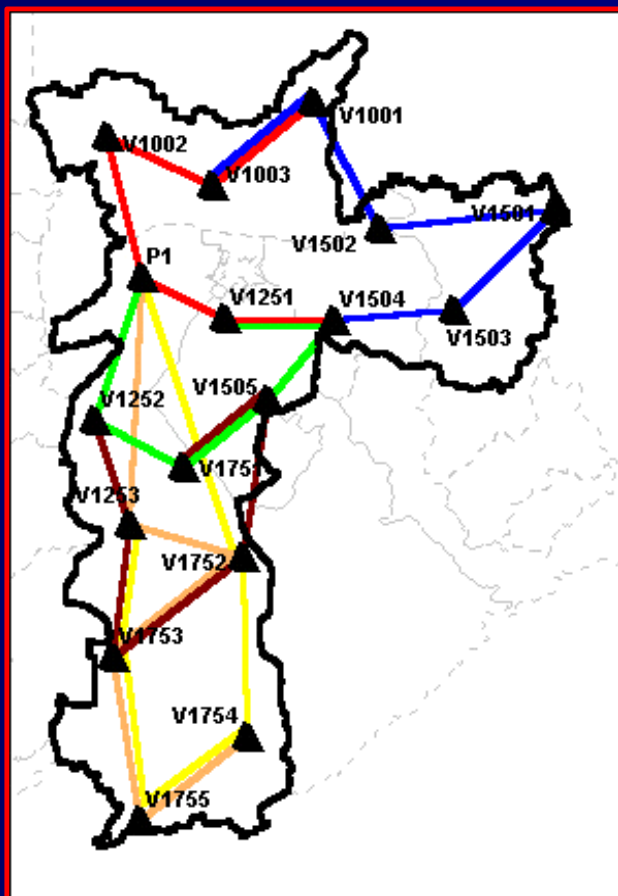
Laboratório de Topografia e Geodésia

Rede GPS do Estado de São Paulo





Rede GPS do Município de São Paulo



- **Rede Principal**

17 vértices

1 vértice / 100 km²

Precisão = 1/500.000

- **Rede Secundária 1**

60 vértice

1 par vértices / 50 km²

Precisão = 1/250.000

- **Rede Secundária 2**

223 vértice

Precisão = 1/100.000





Redes GPS no território nacional

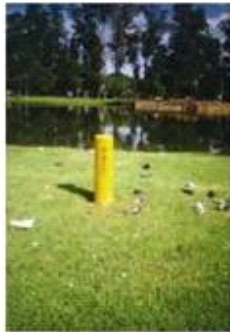
Assim Como São Paulo, outros estados e municípios do território nacional também possuem sua própria rede de referência.

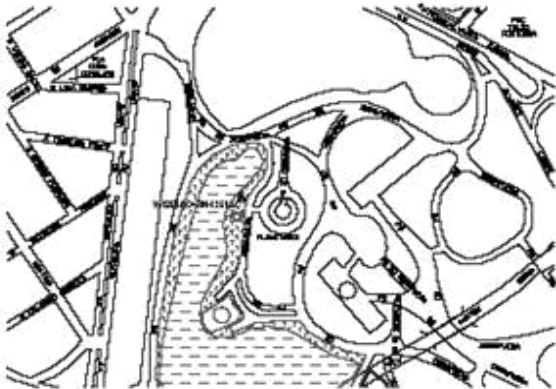


V1251-AC



Exemplos de monografia

 Prefeitura do Município de São Paulo - PMSP Secretaria Municipal de Planejamento Urbano Mapeamento Digital do Município de São Paulo P.A. n.º 2002-176.520-5 Rede Básica de Referência Geodésica do Município de São Paulo Monografia da Rede Geodésica - Rede Principal			
Nome do Pilar V-1251 AC = RN-1251 AC	Obra-Area: 02-103 Data de Ocupação: 08/2 / 2003 Código do Pilar: 0046 3546-132	Subestação: Vila Mariana Distrito: Moema Setor: 1004 36	
Descrição da Identificação: Pilar de concreto, cilíndrico, medindo 1,10 m x 0,30 m, com o piso retilho. Uso obrigatório de base nivelante; código de identificação pintado no seu lateral. Tipos de Instrumentos e Métodos Utilizados: Receptor GPS L1/L2, estação satelital; Altimetria; Nivelamento Geométrico.			
Elipsóide	WGS-84	SAD-69/90	Hayford
Datum Horizontal		Chico	Córrego Alegre
LAT	23° 35' 03,53900" S	23° 35' 01,70866" S	23° 35' 02,15021" S
LONG	46° 36' 42,36253" W	46° 36' 40,75321" W	46° 36' 41,17466" W
Coordenadas UTM	N = 7.390.810,077 m E = 330.425,116 m	N = 7.390.856,076 m E = 330.466,496 m	N = 7.390.918,495 m E = 330.461,244 m
Altitude Geom. (GPS)	h = 742,572 m	h = 745,228 m	h = 746,304 m
Datum Vertical	Marsigrati-Indústria - SC		
Altitude Ortométrica	H = 745,462 m		
ERRO AO NÍVEL DE CONFIANÇA DE 2σ = 35%			
LAT	LONG	ALT	
0,005 m	0,008 m	0,016 m	
Coordenadas no Plano Topográfico Local (PTL)	X = 157.125,080 m Y = 246.291,274 m	H = 34,5462 m (Altitude no PTL)	
Marco de Referência	Altitude no PTL	Distância ao PTL	
Origem do PTL	Xo = 150.000,00 m Yo = 250.000,00 m	H do PTL = 760,000 m	
Foto 1 - Local	Foto 2 - Panorâmica		
			

 Prefeitura do Município de São Paulo - PMSP Secretaria Municipal de Planejamento Urbano Mapeamento Digital do Município de São Paulo P.A. n.º 2002-176.520-5 Rede Básica de Referência Geodésica do Município de São Paulo Monografia da Rede Geodésica - Rede Principal	
Nome do Pilar V-1251 AC = RN-1251 AC	
DIAGRAMA DE LOCALIZAÇÃO 	
Descrição de Referência: O V-1251 AC = RN-1251 AC está localizado atrás do Planetário, à beira do lago (Pradaria), dentro do Parque do Ibirapuera.	
Executado por:  COORDENADOR GERAL DE SÃO PAULO	RESP. TÉCNICO: Eng.º Soraia Soares CRIA: 022401D



Redes GPS do território nacional

No site do IBGE é possível ter acesso às monografias dos pontos da rede geodésica brasileira, bem como ter acesso aos dados das estações da RBMC.

www.ibge.gov.br → geociências → geodésia

As monografias da rede municipal de São Paulo podem ser acessadas em:

http://ww2.prefeitura.sp.gov.br/arquivos/secretarias/planejamento/mapas/0002/marcos_sp.asp

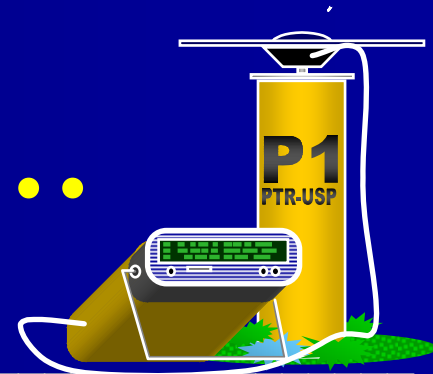


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

É necessário o conhecimento do Sistema Geodésico Brasileiro ? ...





SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

No Brasil, o Datum utilizado para levantamentos topográficos até 1979 foi o elipsóide de Hayford. A partir daquele ano foi usado o Datum UGGI 1967

■ Até 1979

- Origem: Córrego Alegre
- Elipsóide: Hayford (internacional)
- $a(\text{semi-eixo maior}) = 6.378.388 \text{ m}$
- $e^2 = 0,00672267$

■ Após 1979

- Origem: Chuá
- Elipsóide: UGGI 1967.
- $a = 6\,378\,160 \text{ m}$
- $e^2 = 0,0066946053$

Obs.: Grande parte do mapeamento do Estado de São Paulo e de outros estados está referido ao sistema Córrego Alegre.



SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

- O Sistema GPS:
 - WGS 84 (G1150)
 - Elipsóide: GRS 80
 - $a = 6\,378\,177\text{ m}$

- Atual sistema para o Brasil: SIRGAS 2000
 - Elipsóide: GRS 80



Processamento GPS

Como foi visto o sistema GPS possui uma série de fontes que causam erros nas medidas das distâncias entre o satélite e a antena do receptor.

Com o uso do posicionamento relativo, seja ele estático ou cinemático, muitos desses erros são minimizados.

Assim, para mapeamentos que exige maior precisão, é fundamental o processamento dos dados GPS para corrigir as posições obtidas nos rastreios.

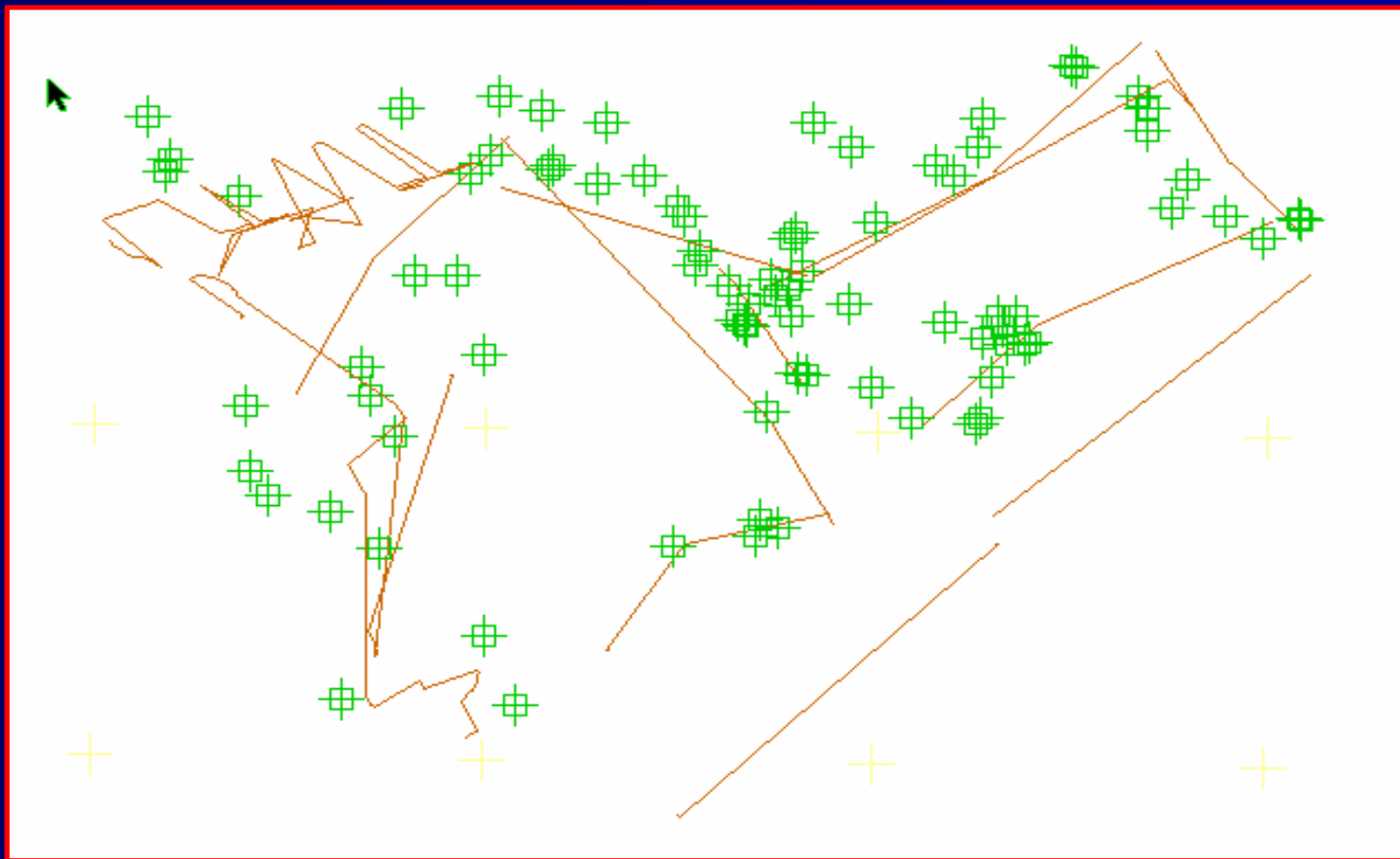


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Posições GPS não corrigidas



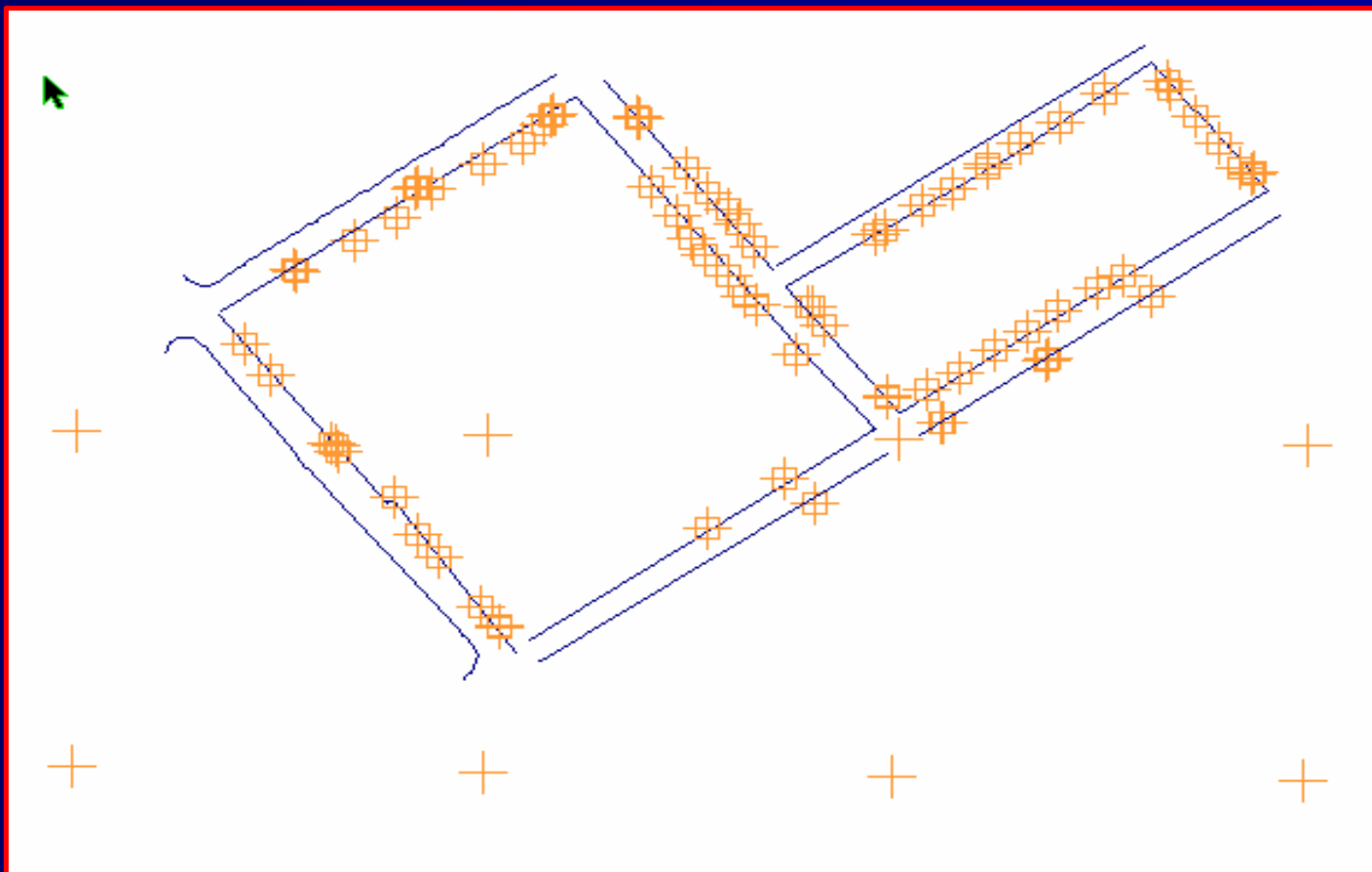


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Posições GPS corrigidas



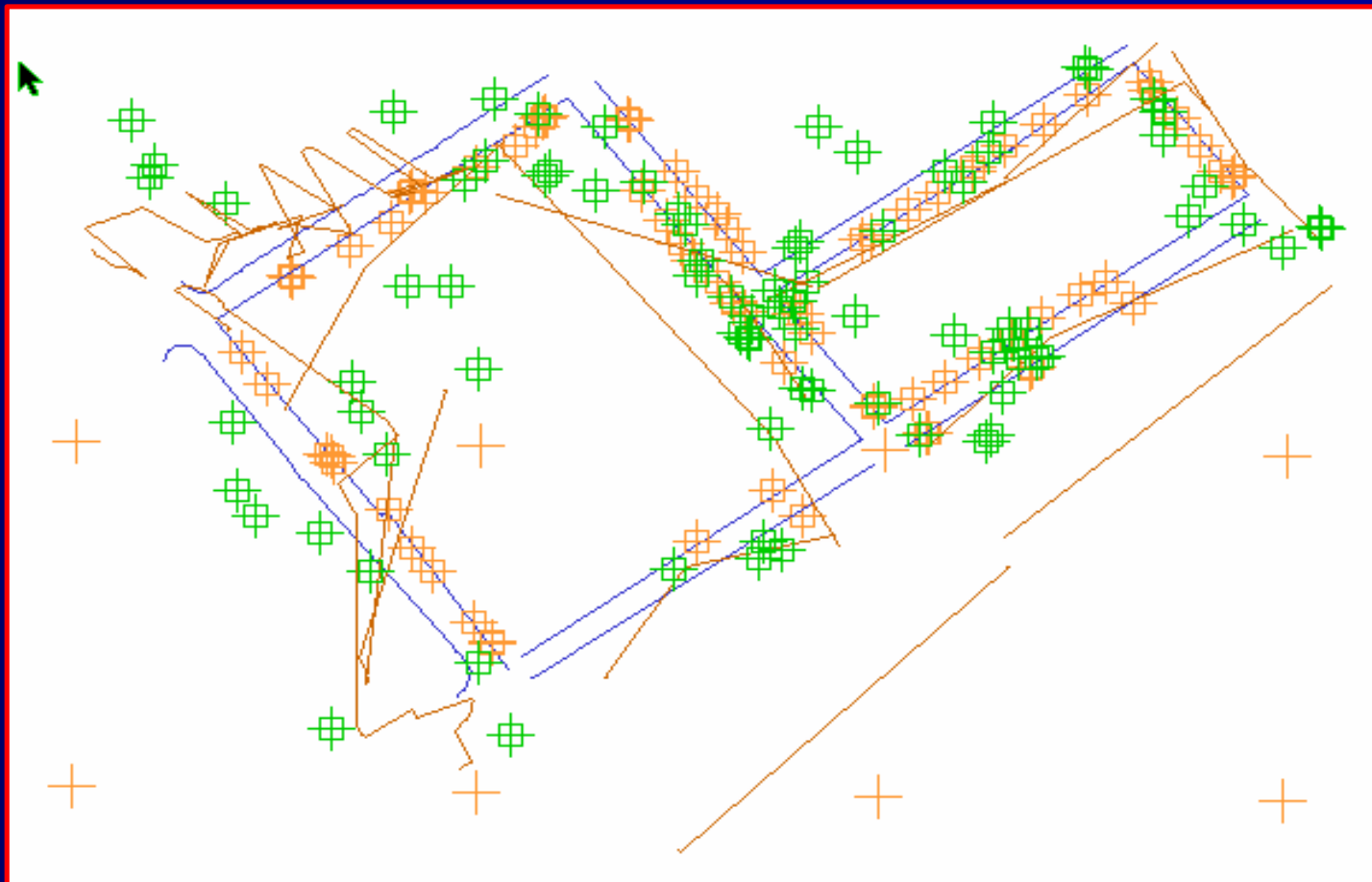


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Comparação (corrigidas x não corrigidas)





Devemos Lembrar ao utilizarmos GPS que:

- ✓ **O referencial é o sistema geocêntrico WGS-84 (G1150);**
- ✓ **Nossa navegação, a cartografia e os mapas, em geral, NÃO estão referenciados ao WGS84;**
- ✓ **Data mais usados no Brasil: SAD69 e Córrego Alegre;**
- ✓ **SAD69 e Córrego Alegre NÃO são coincidentes com WGS84 e também não são geocêntricos;**
- ✓ **A diferença entre sistemas de referencia pode ser maior o de mesma dimensão que o maior erro do sistema GPS;**
- ✓ **As coordenadas planas (ex. UTM) são referenciadas à um determinado datum;**
- ✓ **A altitudes tem origem local (ex. marégrafo de Imbituba-SC).**

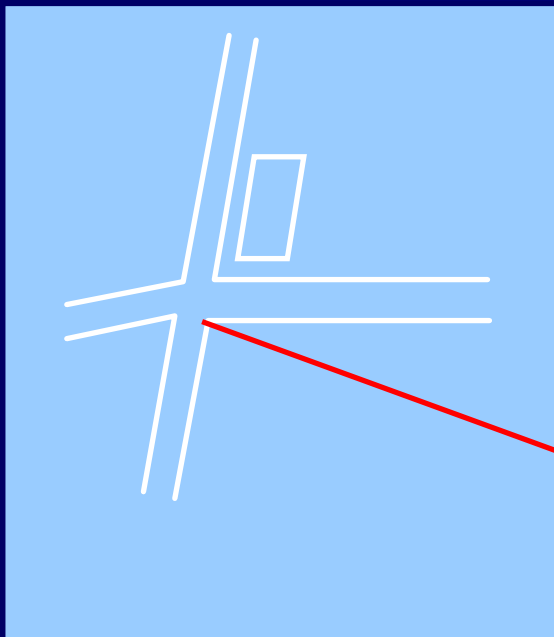


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

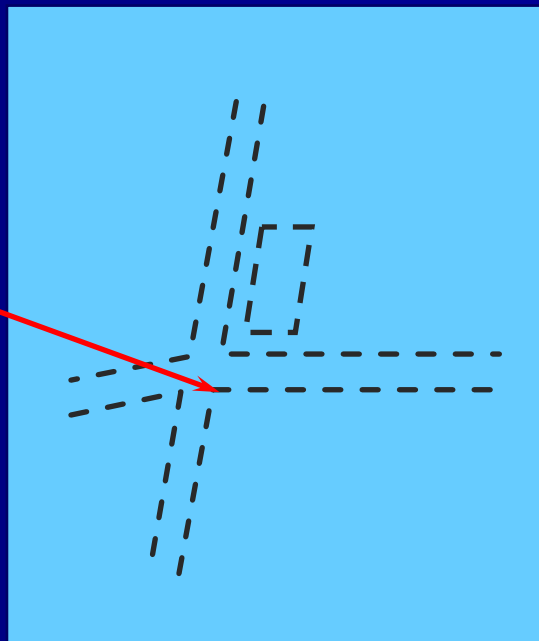
1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

Erro planimétrico devido à mudança de datum ou erros do sistema GPS



As diferenças podem ser de até centenas de metros





ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

MAPEAMENTO URBANO ESCALA 1/1.000 – Foto aérea



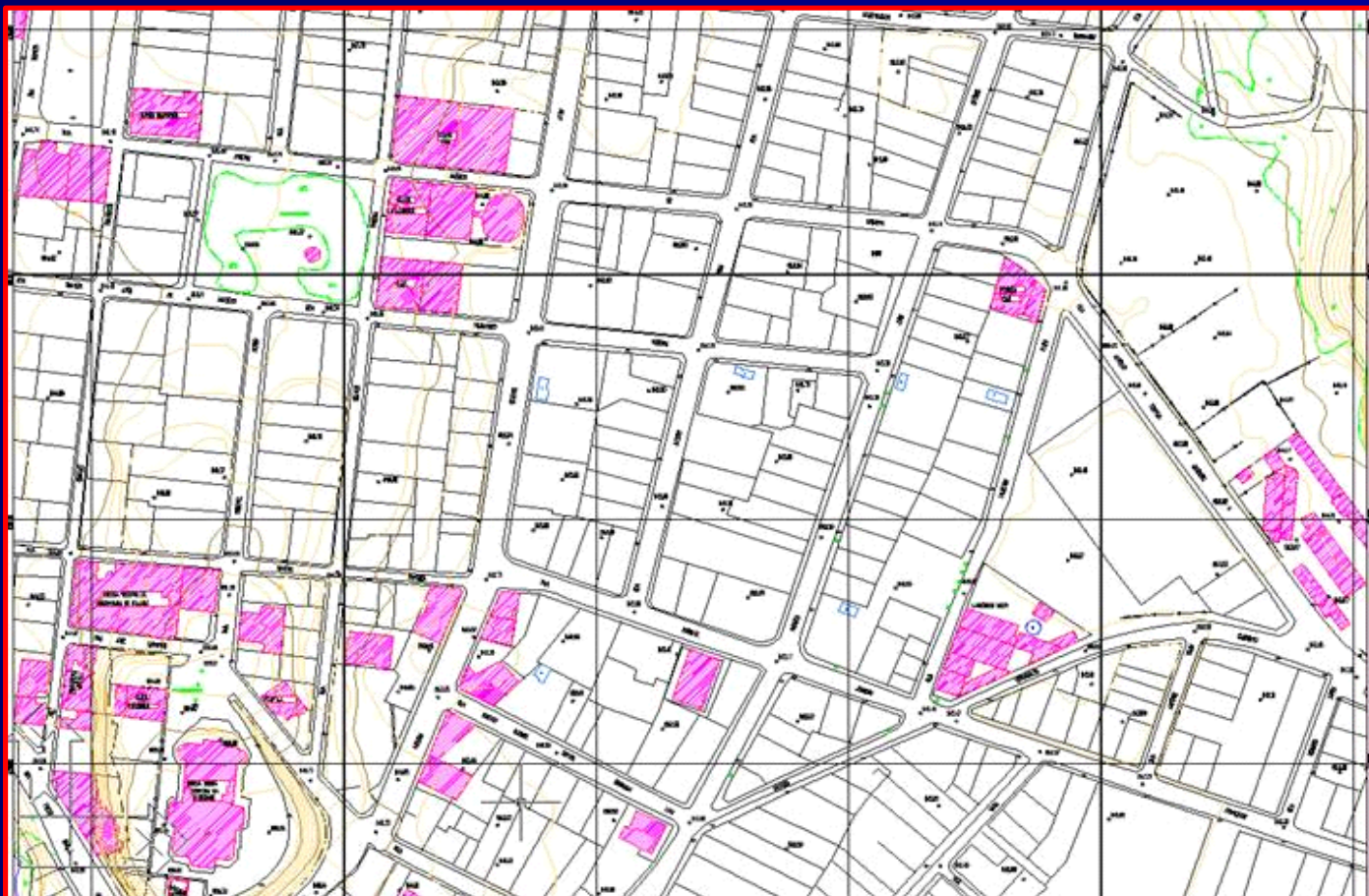


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

MAPEAMENTO URBANO ESCALA 1/1.000 – Mapa





ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia

MAPEAMENTO URBANO ESCALA 1/1.000 – Mapa sobre foto





ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia



Quer saber mais ...

Órbitas precisas: <http://igscb.jpl.nasa.gov>

Informações sobre GPS: <http://tycho.usno.navy.mil/gps.html>

GALILEO home-page: www.galileo-pgm.org

GLONASS home-page: http://www.glonass-center.ru/frame_e.html

PMRG/IBGE: <http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/srg/>

Projeto SIRGAS:

<http://www1.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/sirgas/principal.htm>

Dados da RBMC:

<http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/rbmcpesq.shtm>

Rede GPS do Estado de São Paulo:

<http://www.ptr.poli.usp.br/ltg/proj/RedeSP/Rede-SP.htm>





ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

1893 - 2010

Laboratório de Topografia e Geodésia



Dúvidas ?

Perguntas ?

