



UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
BCA156 – TOPOGRAFIA

## INTRODUÇÃO AO GNSS

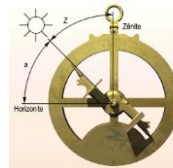
**Prof. André Medeiros de Andrade**  
andre.medeiros@ufvjm.edu.br



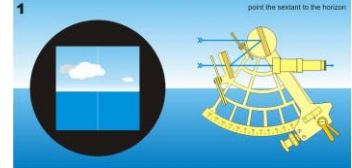
## Posicionamento e Navegação

Como se posicionar no planeta?

**No passado, satélites naturais**



astrolábio  
(altura dos astros)  
Uso somente de noite



sextante  
(altura dos astros - Latitude)



## Posicionamento e Navegação



Frank Worsley (Nova Zelândia)  
Comandante do Endurance (1914-1917)



## Posicionamento e Navegação

**Solução na década de 1970 com o lançamento do NAVSTAR-GPS**

### Guerra Fria

- **1978:** departamento de defesa dos EUA lançam satélites (restrito ao EUA).
- **1983:** aeronave civil coreana é abatida ao errar a navegação e entrar no espaço aéreo soviético (269 mortos).
  - EUA disponibiliza o sistema GPS para uso civil.
- **1985:** declarado operacional conjunto de 24 satélites em órbita.
- **2005:** 29 satélites operacionais.
- **2007:** 30 satélites operacionais.
- **Reposições periódicas (vida útil do satélite: 7 anos).**



## GNSS

**SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO GLOBAL POR SATÉLITE  
(GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM)**



## GNSS

Por que o GNSS é tão importante?



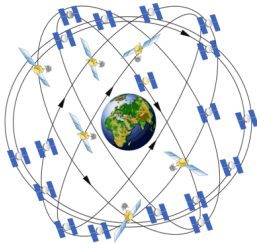
GNSS – Global Navigation Satellite System

- NAVSTAR-GPS (EUA): 1985 – 24 satélites.
- GLONASS (Rússia): 1995 – 24 satélites (2006 a constelação estava reduzida a 10 satélites operacionais).
- Galileo (União Europeia): operação plena em 2020 – 30 satélites.
- BeiDou/Compass (China): início operacional em 2008 na China e regiões vizinhas. Gradualmente tornará um sistema global – 35 satélites.

## GPS

SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL  
GLOBAL POSITIONING SYSTEM

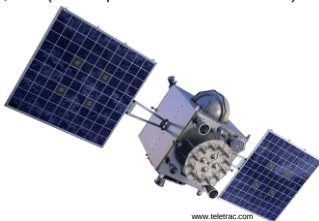
- Constelação de satélites orbitando em torno da Terra.
- Projetado com **24 satélites** de órbita média.
- **Pelo menos 4 satélites** visíveis em qualquer parte da Terra e em qualquer horário.



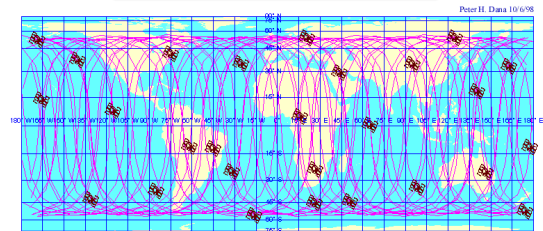
O GPS é composto por três segmentos:

**Características técnicas:**

- Velocidade de deslocamento: 13.917 km/h.
- Órbita ≈ 20.200 km de altitude.
- Peso: 882 kg (cada um).
- 55° de inclinação em relação ao equador.
- Extensão: 5,18 m (com os painéis solares estendidos).



**27 satélites: 24 operacionais e 3 reservas**



## Segmento Espacial

## Cobertura dos satélites GPS



24 Horas  
transmissões  
contínuas



Cobertura Global



Qualquer tempo  
atenuação  
mínima

## Segmento de Controle

## Principais tarefas do segmento de controle:

- **Monitorar e controlar** continuamente a constelação de satélites.
- Calcular as **correções dos relógios** dos satélites.
- **Atualizar** periodicamente as mensagens de navegação de cada satélite.

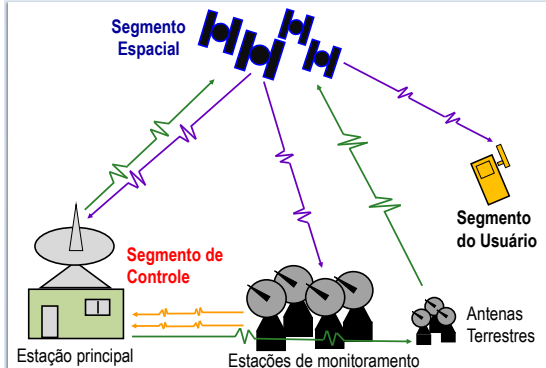
## Segmento de Controle

1. Controle central **capta dados** das estações de monitoramento.
2. **Calcula a órbita e os parâmetros** do relógio de cada satélite.
3. As **correções são enviadas** aos satélites via antenas de transmissão.



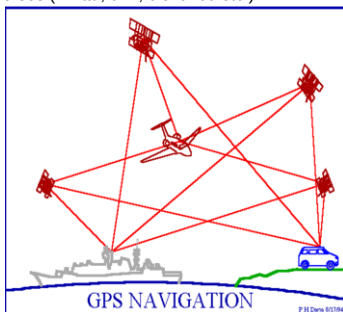
ITC  
+ Controle central    ♦ Estações Monitoras    ▲ Transmissão para o satélite

## Segmento de Controle



## Segmento de Usuário

- Usuários utilizando receptores GPS.
- Usos diversos (militar, civil, científico etc.).



## Segmento de Usuário

## Tipos de receptores GPS:

- Erros no posicionamento absoluto são em média:
  - o Horizontal: 9 m.
  - o Vertical: 15 m (95% das medidas).
- Até o ano 2000 os erros eram de:
  - o Horizontal: 100 m.
  - o Vertical: 156 m.

**Erro ou ruído proposital  
(Selective Availability S/A)**



## Tipos de receptores GPS:

- **Topográficos** (erros abaixo de 1 m).
- **Geodésicos** (erros abaixo de 1 cm).

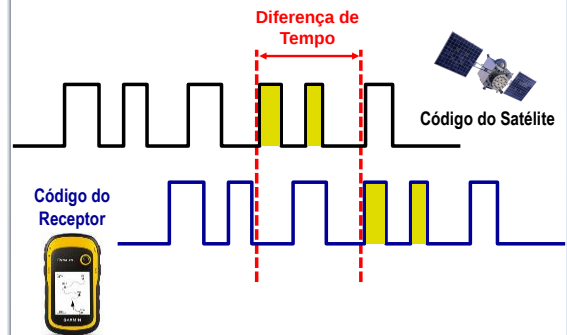


## TEORIA BÁSICA DE FUNCIONAMENTO

- Cada satélite GPS transmite 2 sinais:
  - L1: 1575,42 MHz e  $\lambda$ : 19 cm – Código: C/A e P.
  - L2: 1227,60 MHz e  $\lambda$ : 24 cm – Código: P.
- O satélite e o receptor geram o sinal simultaneamente (o tempo de deslocamento será a diferença de fase entre os sinais).



- O receptor calcula sua **posição com base na distância** entre ele e os satélites visíveis.



## GPS Navegação:

Código C/A em L1 (m)



## GPS TOPOGRÁFICO:

Código C/A e fase em L1 (cm)



## GPS GEODÉSICO:

Código C/A em L1 e fase em L1 e L2 (mm)



## GPS Militar:

Tudo!

## ➤ Etapas para determinar a posição de um ponto sobre a superfície:

## 1º) Medir a distância entre o ponto e os satélites GPS:

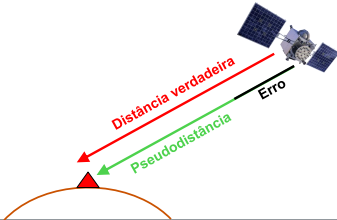
- Distância obtida pela medida do tempo de deslocamento dos sinais enviados pelo satélite até atingir o receptor (vel. da luz  $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ ).
- Velocidade da radiação eletromagnética (REM) é constante apenas no vácuo.

## Importância da exatidão: 0,1 segundo de erro faz diferença?

- Erro de 0,1 s no tempo resultará em uma distância deslocada de **29.979 km!!!** ( $0,1 \times 299.792,458 \text{ ms}^{-1} = 29.979 \text{ km}$ )

## 2º) Medir o tempo de deslocamento do sinal:

- O tempo de deslocamento do sinal do satélite até o receptor é multiplicado pela velocidade da luz e é obtida a distância.
- Esse valor é uma **pseudodistância**.
- É uma distância "falsa" por existirem erros inerentes na medida de diferenças de tempo.



## 3º) Determinar a posição de um ponto na superfície:

- A posição de um ponto na superfície é obtida a partir da distância para **quatro satélites** diferentes e com posições conhecidas.

## Exemplo:

- O receptor GPS na superfície recebe o sinal de um satélite (24.000 km).
- A **posição** do receptor está em algum ponto sobre a superfície da esfera imaginária de raio 24.000 km cujo centro é o satélite.

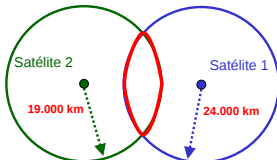


A posição do receptor está em algum ponto sobre a superfície dessa esfera

McCormac et al. 2016

## Exemplo:

- Posteriormente, o receptor recebe o sinal de 2 satélites simultaneamente.
- A distância para os 2 satélites são: (S1) 24.000 km e (S2) 19.000 km.
- A **posição do receptor** está localizada em algum ponto onde as duas esferas se interceptam.

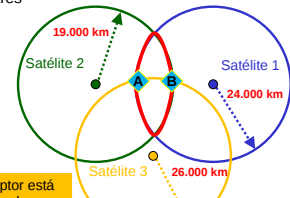


A posição do receptor está em algum ponto onde as duas esferas se interceptam (cor vermelha)

McCormac et al. 2016

## Exemplo:

- O receptor recebe o sinal de três satélites simultaneamente.
- A distância para os 3 satélites são: (S1) 24.000 km, (S2) 19.000 km e (S3) 26.000 km.
- Existem **2 pontos** onde as três esferas se interceptam (A e B).



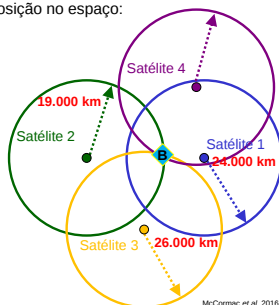
O receptor está localizado na posição A ou B

McCormac et al. 2016

## Exemplo:

- Com um quarto satélite, em apenas um dos dois pontos há interseção. Pode-se a partir de então definir a posição no espaço:

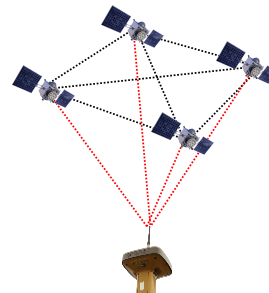
- Latitude;
- Longitude; e
- Altitude.



O receptor está localizado na posição B

McCormac et al. 2016

- São necessários **quatro** satélites para efetuar as correções dos erros do relógio do receptor.
- Com três satélites é possível medir uma posição fixa.



## Erros que atuam no GNSS:

- Precisão: valor medido repetidamente sob mesmas condições em torno do valor médio.
- Exatidão: quão próximo o valor medido está em relação ao valor real.
- Precisão: afetada pelos **erros aleatórios** no processo de medição.
- Exatidão: afetada pela **precisão e erros** desconhecidos ou sistemáticos.



A medida pode ser **precisa e não exata**, mas só pode ser **exata se for precisa**

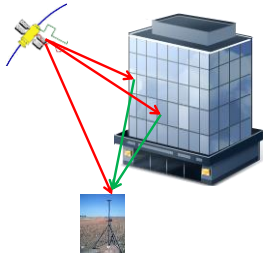
## Erros que atuam no GNSS:

- **No satélite:**
  - Relógio atômico: erro de 0,1 microssegundo representa 30 m de erro na distância.
  - Desvio de órbita: alteração na posição, altitude e velocidade.
- **Na propagação do sinal:**
  - Refração na velocidade da REM (ionosfera e troposfera).
  - Incertezas geradas pelos atrasos de sinal causam os maiores erros de posicionamento.
- **Campos eletromagnéticos (rede elétrica).** (Hillebrand et al., 2015 – Análise do efeito corona gerado por redes elétricas sobre o posicionamento absoluto com receptor GPS).
- **No receptor:**
  - Precisão do relógio do receptor é inferior à precisão do relógio do satélite.
  - Ruídos na decodificação do sinal.

## Erros que atuam no GNSS:

## ➤ Multicaminhamento:

- Reflexão do sinal recebido pelo receptor.
- O sinal do satélite atinge a antena, mas outro sinal pode ser recebido após ter refletido em uma barreira (natural ou não).
- Colaboram com erros de até 2 m em receptores com código C/A.

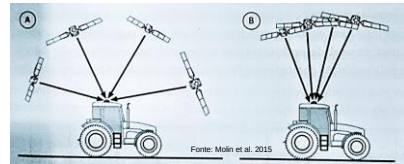


Fonte de erro **pouco expressiva** em aplicações agrícolas (exceto próximo de lâminas de água e montanhas).

## Erros que atuam no GNSS:

## ➤ Geometria dos satélites:

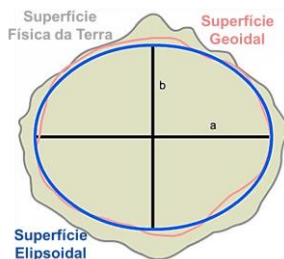
- Quantidade e distribuição de satélites visados pela antena do receptor.
- Boa geometria: satélites igualmente distribuídos e bem espaçados.



MELHOR  
exatidão

PIOR  
exatidão

- O GPS utiliza o datum WGS-84 (World Geodetic System 1984).
- A altura obtida por um GPS é elipsoidal (geométrica).



## AQUISIÇÃO E POSICIONAMENTO

## Posicionamento Absoluto ou Autônomo:

- Utiliza apenas um receptor para determinar as coordenadas de um ponto.
- Pode ser gerado por receptores GNSS na forma estática ou cinemática.

## Cinemático:

- Rastreamento de posições enquanto o **receptor** está **em movimento**.
- Aplicações: aviões coletando imagens para fotogrametria.

## Estático:

- Um **receptor** posicionado em um ponto com **coordenadas conhecidas** e **outro receptor** é posicionado em um ponto cuja **coordenada será obtida**.
- Aplicações: levantamentos de controle (alta exatidão).
- Obs: demanda mais tempo (o rastreamento pode demorar 30 a 60 min).

## Posicionamento Diferencial:

- Desenvolvido para **minimizar a degradação do sinal** obtido por um posicionamento absoluto (principalmente quando havia a disponibilidade seletiva).
- São necessários pelo menos 2 receptores:
  - Um posicionado na **estação de referência**:
    - ❖ Gera as correções diferenciais.
    - ❖ Recebe o posicionamento dos satélites e calcula o erro no seu posicionamento.
  - Outro receptor **móvel**.
    - ❖ Recebe a informação do erro da estação de referência.

## Posicionamento Diferencial:

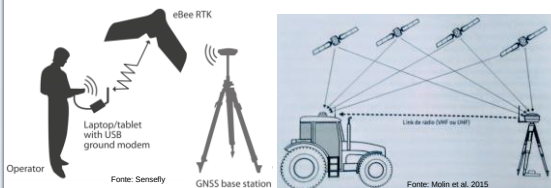


## Processamento:

- Os dados coletados podem ser pós-processados para correção ou corrigidos em tempo real.
- Na Agricultura de Precisão é fundamental a correção em tempo real:
  - **Real Time Kinematic (RTK)**.
  - **Local Area Augmentation System (LAAS)**.
  - **Satellite-Based Augmentation System (SBAS)**.

## RTK:

- Composto por dois receptores (dupla ou simples frequência) e um link de rádio para transmissão de dados.
- Uso limitado a distâncias de 5 km a 15 km com visada direta.
- Redes de estações locais de GNSS com links de rádio ampliam a ação RTK (pode ser pública, privada, cooperativa etc).

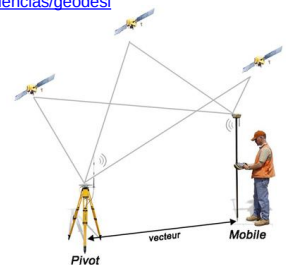


## Pós processamento:

- Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo.

## RBMC – IBGE:

<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtml>





UFVJM

# Integração dos dados GPS com:

## SIG

### Sensoriamento Remoto

### Geoprocessamento

\*\*\*

  
**UFVJM**  
 Universidade Federal de Viçosa

Obrigado

andre.medeiros@ufvjm.edu.br