

FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

1) **GPS: O SISTEMA GPS FOI BASEADO EM DUAS TECNOLOGIAS DESENVOLVIDAS ANTERIORMENTE:**

LORAN: Um sistema baseado em triangulação a partir dos transmissores de rádio baseados em terra. Entretanto você precisa estar dentro do alcance de mais de um transmissor, para poder usar a triangulação, usando a distância e o ângulo entre eles para encontrar a sua posição.

TRANSIT: Um tipo de satélite desenvolvido pelos cientistas do Laboratório de Físicas Aplicadas da Universidade de Johns Hopkins. O sistema está baseado no efeito Doppler (mudança de frequência quando o satélite entra e sai do horizonte).

GPS: utiliza o melhor das duas tecnologias. Este sistema é composto por uma constelação de satélites que provêm coordenadas precisas em qualquer parte do globo. Foi desenvolvido e mantido pelo governo dos EUA que pagou previamente pelo sistema, sendo que este pode ser usado gratuitamente ao redor do mundo por qualquer civil. É importante salientar que este alto custo inicial está sendo abatido devido a maioria dos fabricantes de aparelhos e fornecedores do sinal de correção, serem empresas americanas.

2) **PORQUE USAMOS SATÉLITES PARA O MAPEAMENTO?**

O GPS é uma ferramenta de mapeamento efetiva porque:

- Não é necessário visada entre as posições que se deseja levantar. Só se necessita de uma abertura para o céu. Isso quer dizer que não podem haver impedimento físicos entre a antena e os satélites, como por exemplo, copadas de árvores, coberturas, etc...
- Quando os satélites operam apropriadamente, estes permitem a captura de uma posição precisa, a mobilidade do usuário e a captura rápida de dados. Dessa maneira o posicionamento via satélite, revolucionou a coleta de dados para Sistemas de Informações Geográficas e de mapeamento. É importante salientar que o GPS é somente uma importante ferramenta, não é um remédio para toda a necessidade de mapeamento.

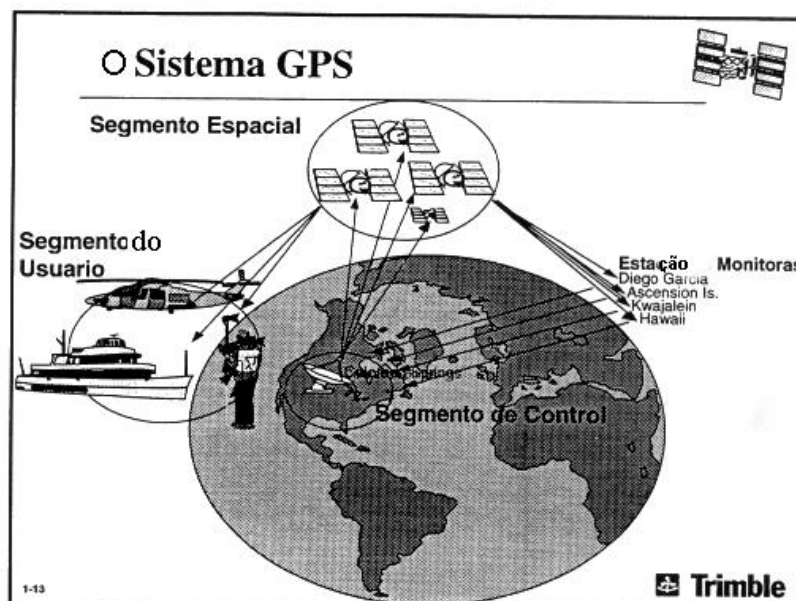
Veja na figura abaixo a questão da necessidade de visada entre os pontos.



3) O SISTEMA GPS

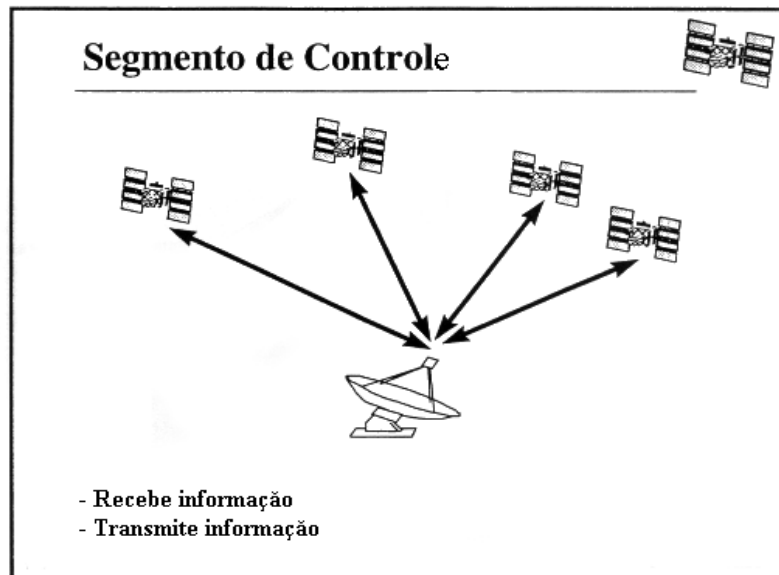
O sistema de posicionamento global (GPS) está baseado em três segmentos

- **Segmento de controle:** É o cérebro do sistema. É propriedade do Governo dos Estados Unidos, o qual o opera e controla.
- **Segmento espacial:** É a constelação de satélites que emite m sinais GPS.
- **Segmento do usuário:** São os usuários civis ou não, que utilizam os sinais para determinar suas posições de interesse.



3.1) Segmento de controle

O Segmento de Controle monitora as mensagens de navegação do satélite e envia os ajustes que forem necessários. O segmento opera a partir da Base Falcon da Força Aérea Americana em Colorado Springs, Colorado, USA. O segmento também contém quatro estações monitoras e três estações de carga distribuídas ao redor do mundo. Diariamente cada satélite passa sobre uma estação monitora.



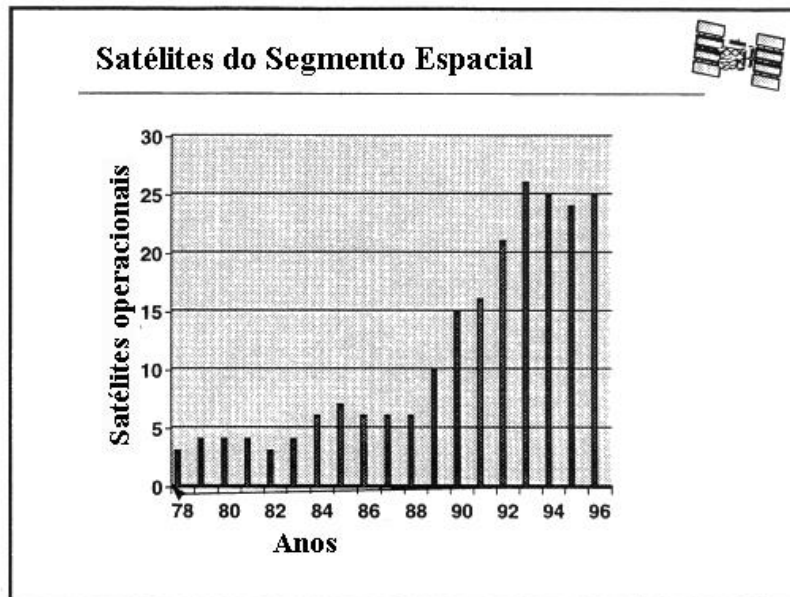
3.2) Segmento espacial

Até o momento, pelo que se sabe, existem 25 satélites operacionais. De qualquer maneira, este número flutua devido aos satélites que são desligados e os que são lançados e entram em funcionamento. Cada satélite pesa aproximadamente 862 kg e possui cerca de 5,5 m de altura com os painéis solares estendidos. Cada um deles contém motores para fazer os ajustes de órbita e tem em torno de 7,5 anos de vida útil. Este segmento está em desenvolvimento desde 1973, subdividindo os satélites em blocos ou gerações.

BLOCO I (1978-1985). Satélites desse bloco não possuíam degradação do sinal (SA). Não há mais satélites ativos deste bloco na constelação GPS.

BLOCO II/IIA (1989- ???). Estes satélites possuem degradação do sinal.

BLOCO IIR/IIF. São a próxima geração de satélites que serão lançados. Estes satélites terão a habilidade de se comunicar com os outros satélites, além da estação de controle em terra. Esta nova função elimina o problema de que um satélite tenha almanques desatualizados.



Com o passar dos anos tem crescido o número de satélites na constelação NAVSTAR. O sistema tornou-se completamente operativo quando o número de satélites alcançou 24 unidades.

3.3) Segmento do usuário

Atualmente ao redor do mundo os usuários civis são em maior número que os usuários militares. Dentro da aplicação civil, pode-se imaginar algumas das aplicações possíveis.

- Capturas de dados para SIG's;
- Navegação marítima e terrestre;
- Topografia;
- Serviços de emergência;
- Aviação;
- Posicionamento preciso;
- Agricultura;
- Fotogrametria
- Recreação;
- Outras...

4) PRECISÃO DO SISTEMA

Definir a precisão de um receptor GPS é uma tarefa difícil, já que existem muitas variáveis envolvidas. Algumas destas variáveis são listadas mais abaixo. A medida de que você aprender mais sobre GPS, o número de variáveis aumentará.

- a) **Tempo de coleta de uma posição geográfica:** como regra geral se tem que quanto maior o número de posições (leituras) coletadas em uma local, maior é a precisão. O tempo de coleta é muito importante quando se utiliza

receptores antigos, a nova tecnologia tem minimizado a importância desta variável. Imagine que esse novo aparelho faça a próxima leitura sempre igual ou muito parecida com as anteriores, então este tempo de coleta (nº de leituras da posição) não é tão importante.

b) **Projeto do receptor:** Os receptores de GPS são projetados para alcançar diferentes graus de precisão: por exemplo, os receptores de grau topográfico tem precisão sub-centimétrica ao passo que os receptores de grau cartográfico ou de mapeamento possuem precisão desde sub-métrico a 5 metros.

c) **Posição relativa dos satélites:** Como regra se tem que as melhores posições são obtidas quando se usam satélites que possuem uma grande distância entre eles. Por esta razão, as posições mais precisas são obtidas geralmente quando uma grande parte do céu está visível. Esta variável será melhor discutida futuramente.

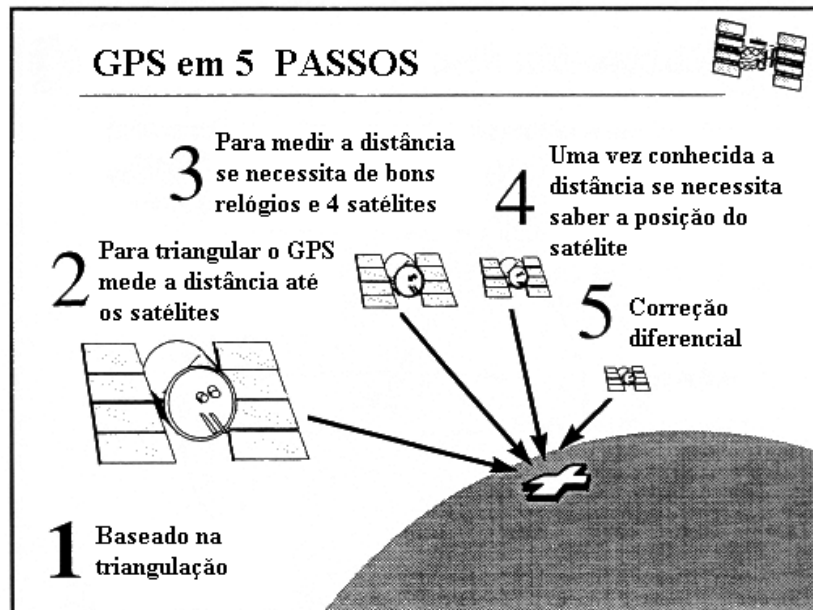
d) **Configuração do móvel:** A precisão pode depender do nível de tolerância estabelecida na configuração do móvel. Esta configuração será melhor discutida futuramente.

e) **Métodos de posicionamento:**

- **Autônomo:** sem correção, menor precisão. Ao se coletar posições com qualquer receptor GPS, ocorrerá um erro de até 100 m.
- **Diferencial:** se aplicam correções diferenciais. A correção diferencial é o processo de utilizar dados de satélite, recoletados por um receptor localizado em uma posição conhecida, para ajustar as posições GPS calculadas por outros receptores móveis. Este método de correção produz resultados desde sub-métrica até 5 metros.
- **Diferenciamento de fases:** se aplicam correções, maior precisão. Esta é uma técnica alternativa que permite aos receptores “menos precisos” (de 2 a 5 metros), obter precisões sub-métricas. Os receptores de precisão sub-métrica podem obter precisões de até 10 cm.

5) OS CINCO PASSOS PARA ENTENDER O GPS

O entender dos conceitos básicos por detrás do sistema GPS, o ajudará a tomar boas decisões na captura de dados. Embora estas informações não sejam utilizáveis diretamente na coleta de dados, elas sem dúvida são de fundamental importância na prática da captura de dados.



Ao conhecer a posição e a distância de vários satélites, o receptor GPS pode calcular uma posição precisa.

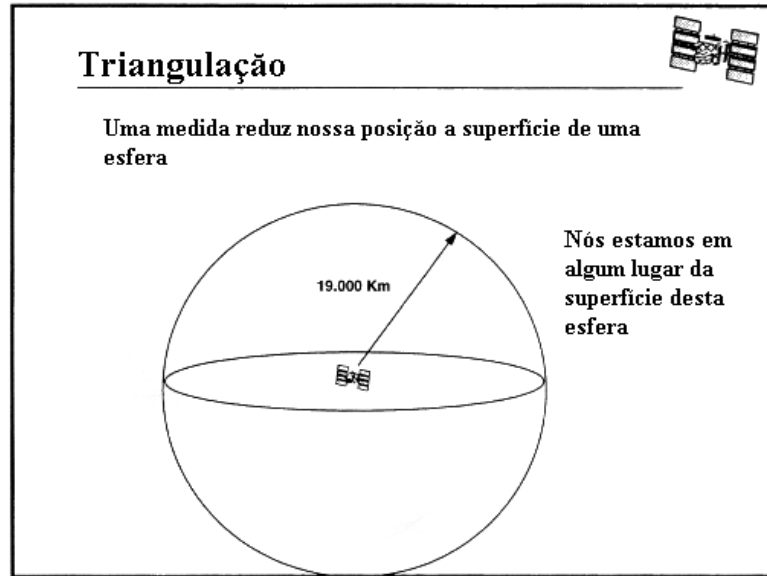
5.1- Triangulação:

Se calcula uma posição mediante o conhecimento da posição e da distância até um grupo de satélites. Os satélites atuam como pontos de referência precisos.

O seguinte exemplo explica a triangulação com maiores detalhes.

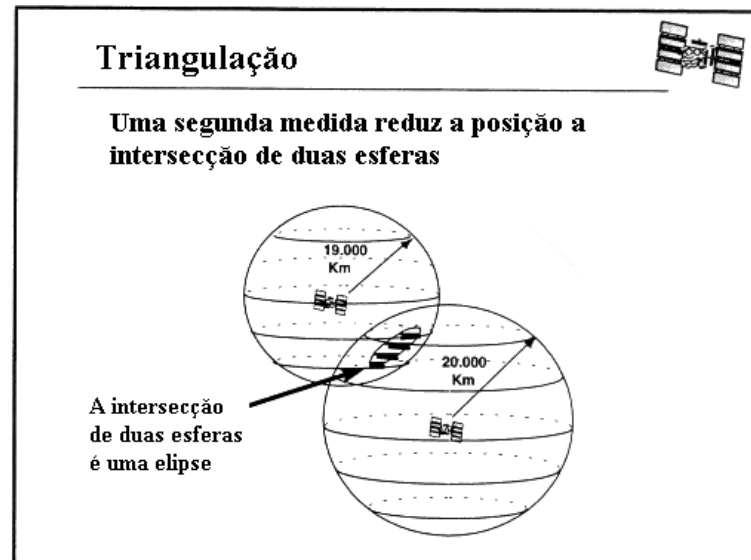
a) Primeira medição

Você está em alguma parte sobre a terra e quer determinar a sua posição, liga o seu receptor e ele localiza um satélite e calcula que sua altura é de 19.000 Km. Então você pode estar em qualquer ponto sobre uma esfera de 19.000 Km em relação ao satélite.



b) Segunda medição

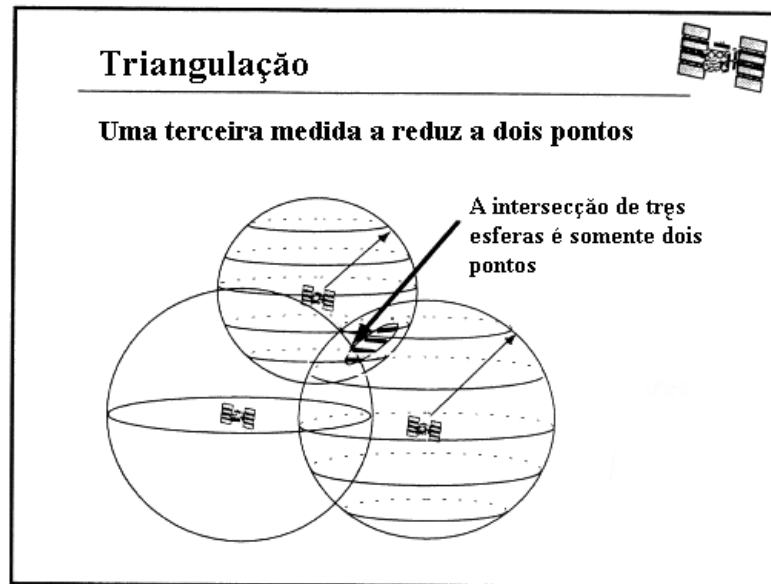
Ao receber o sinal de um segundo satélite, seu receptor calcula que a distância até ele é de 20.000 Km. Então outra esfera de raio 20.000 Km é criada, e você está sobre essa esfera na região onde ela é comum (faz contato com a primeira esfera) a outra esfera. Como a área de contato entre duas esferas é uma elipse, sua posição só pode estar em qualquer ponto desta área. A figura abaixo representa essa situação.



c) Terceira medição

Ao receber o sinal de um terceiro satélite, uma terceira esfera é criada. Então sua posição potencial em dois pontos sobre a elipse criada pelas duas esferas

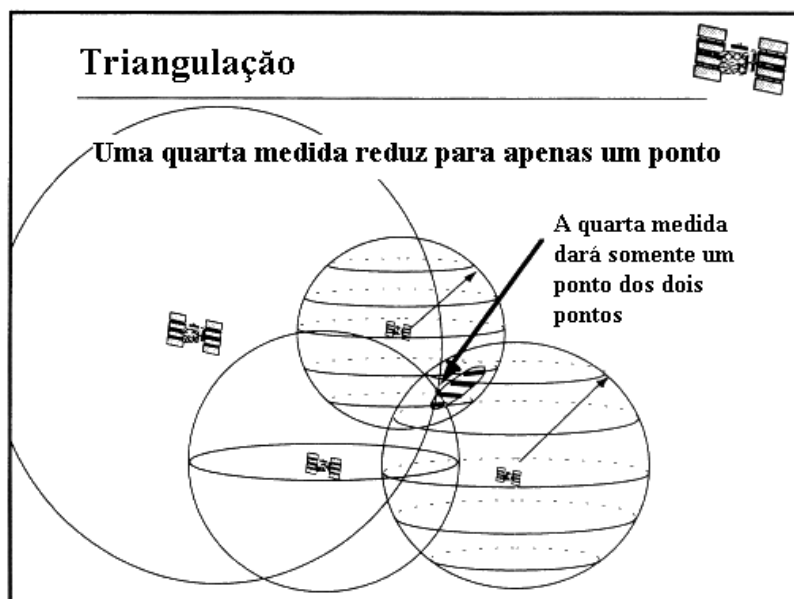
anteriores. Com estas três medições, o receptor seria capaz de determinar a posição correta, porque, um dos dois pontos apresenta um valor absurdo e poderia ser eliminado por procedimentos matemáticos. Entretanto esta posição é determinada em 2D.



d) Quarta medição

Uma quarta medição decide entre as duas posições determinando assim a posição GPS.

Em resumo, a triangulação é um processo mediante o qual se determina a distância de uma posição desconhecida a quatro pontos de referência conhecidos. Isto permite calcular a posição 3D de uma localização desconhecida.



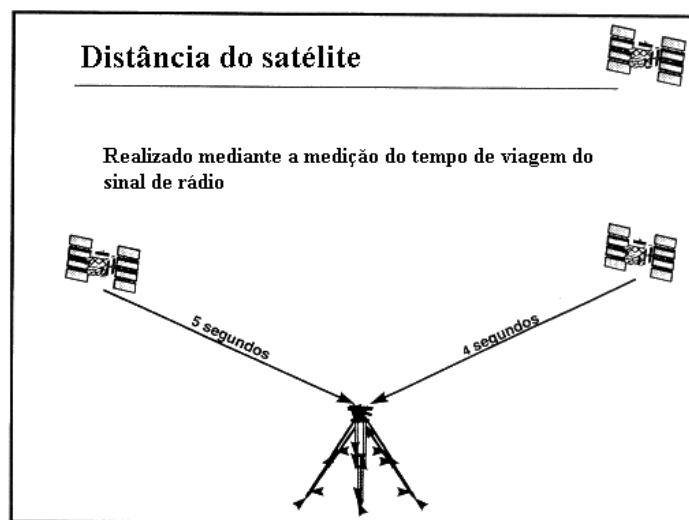
5.1.1) Por que quatro medições

O sistema GPS pode determinar uma posição 2D usando somente 3 satélites. Esta posição 2D é convertida a uma posição 3D quando o usuário fornece um valor de altitude. Para calcular posição 3D quatro satélites devem estar visíveis.

OBS: os valores de altitudes incorretos tem um impacto significativo na posição GPS resultante. Como regra temos que cada metro de erro na altitude que você dar causará pelo menos três metros de erro na horizontal na posição calculada pelo receptor GPS.

5.2) Distância do satélite.

Para medir a distância até um satélite desde a nossa posição na terra, necessitamos conhecer quanto tempo demora o sinal que captamos.

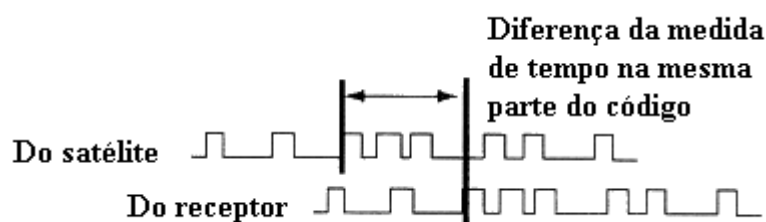


a) medição da velocidade da luz

O sinal GPS viaja a velocidade da luz. Conhecemos o tempo exato em que o sinal deixou o satélite. Também conhecemos em que tempo o sinal chegou no receptor. Conhecendo esses 2 tempos, o receptor determina a diferença e multiplica pela velocidade da luz para calcular a distância entre o receptor e o satélite.

b) código GPS

Para medir o tempo de viagem do sinal GPS, o receptor determina quando o sinal deixou o satélite. Isso se realiza usando um código pseudo-aleatório que é gerado ao mesmo tempo em ambos, receptor e satélite. O receptor examina o código de entrada e logo verifica quanto tempo faz desde que ele gerou o mesmo código.



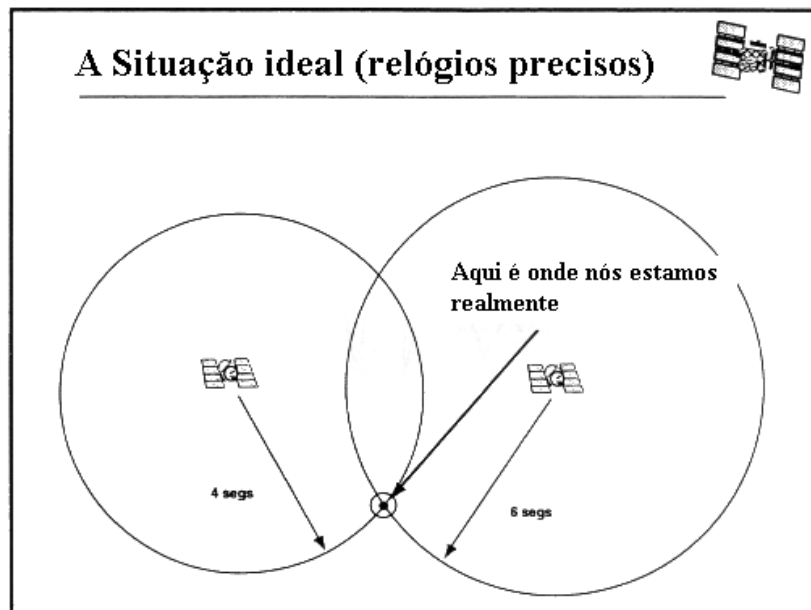
c) Porque um código.

Cada satélite emite um código pseudo-aleatório (PRN) único. Seu receptor GPS conhece cada código e espera captá-los quando está ligado. Já que o receptor conhece o que tem que captar, o código se torna facilmente reconhecível apesar de um ambíguo ruído atmosférico de fundo. Além do mais, os diferentes códigos permitem ao satélite emitir informação e uma frequência comum. Isso significa que os sinais GPS não tem que ser poderosos e que os receptores podem usar antenas mais pequenas e econômicas.

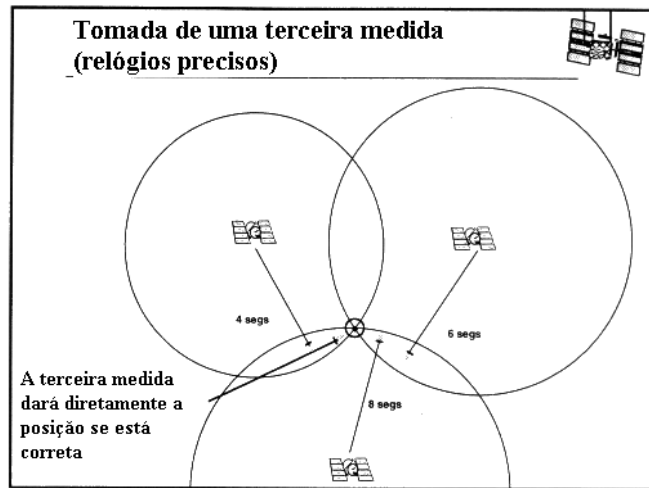
5.3) Relógios precisos.

A cronometragem é importante já que o código em ambos, o receptor e o satélite, devem estar sincronizados. Os satélites tem relógios atômicos que são precisos até o nanosegundos, porem estes relógios são muito caros para serem colocados nos receptores de terra. Esses receptores usam relógios consistentes e utilizam a medição de um quarto satélite para remover os erros do relógio.

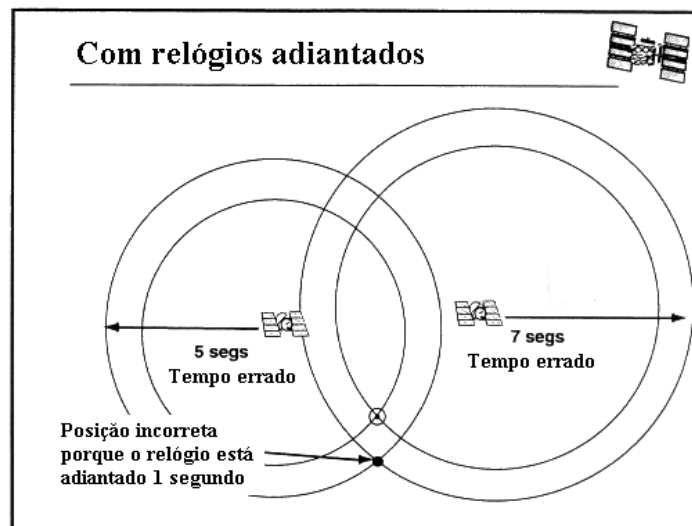
Quando os relógios do satélite e do receptor estão sincronizados, a posição pode ser reduzida a medição das distâncias até os satélites. A figura abaixo representa uma condição ideal onde os relógios são precisos.



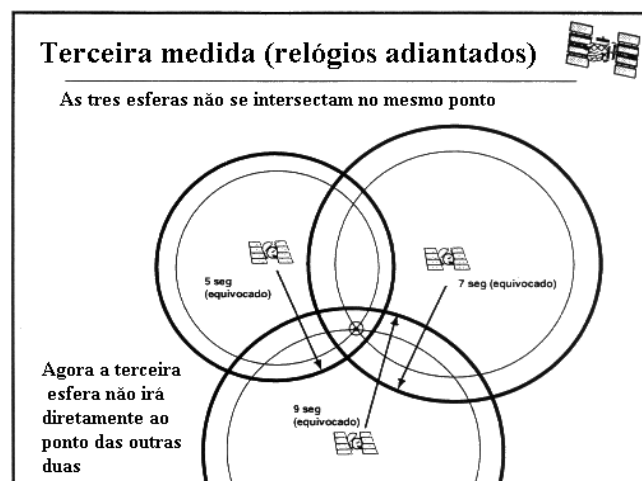
Se todos os relógios estão sincronizados, uma terceira medida intersectará perfeitamente, produzindo uma posição precisa.



Se os relógios do receptor e do satélite não estão sincronizados, a posição resultante é alterada significativamente.



O Grau de erro devido a relógios incorretos é mais evidente quando é mostrado com três medidas. Se perde a interseções das medições e se obtém como resultado uma grande área em que o ponto pode estar localizado.



Felizmente, o receptor ajusta seu relógio com o relógio do satélite, o que permite que as esferas dos três satélites se intersectem em um único ponto.

5.4) Conhecer a posição de um satélite

Embora a cronometragem e os códigos são importantes, todos estariam perdidos se não se conhece-se a posição de cada satélite. As posições dos satélites são transmitidas aos satélites pela estação de controle. Logo, o satélite transmite sua posição e outros dados para o seu receptor. Se um satélite falha em manter sua órbita apropriada, são feitas as correções necessárias. Se existe um problema no veículo espacial (satélite) o segmento de controle o considera “doente”.

5.5) Almanaque

Um almanaque é um conjunto de parâmetros usados para calcular a posição grosseira de cada satélite. Este conjunto de parâmetros são usados para pré-planejamento da missão.

As mensagens de almanaque são enviados ao receptor continuamente, predizendo as posições futuras de todos os satélites. Antes de começar um novo projeto você deveria coletar um almanaque, carrega-lo em seu computador e usa-lo para planejar a missão através do software que acompanha os aparelhos.

Para coletar um almanaque, ligue o aparelho e deixe-o parado por mais de 15 minutos. Também se podem obter os almanaques desde os arquivos base coletados por bases instaladas pelos fabricantes ou representantes dos aparelhos. É importante que você não use um almanaque com mais de uma semana anterior a data de coleta de dados, ou faça um planejamento com mais de uma semana de antecedência.

5.6) Efemérides

Uma efeméride é um conjunto de parâmetros usados para determinar a posição exata de um satélite indispensável para a determinação de uma posição GPS.

As mensagens Efemérides nos dizem as posições exatas dos satélites individuais. Estas posições são usadas durante o passo 2, distância do satélite. Sem as mensagens de Efemérides a triangulação seria impossível e não poderíamos obter posições GPS confiáveis.

5.7) Correção diferencial

Sem a correção diferencial as mediadas aplicadas a qualquer posição GPS estariam desviadas de até 100 m em 95% do tempo de coleta. Dois receptores trabalhando juntos podem melhorar a precisão para 0.1 a 5 m, através do processo de correção diferencial. Este processo será discutido mais adiante.

ALGUMAS QUESTÕES PARA FIXAÇÃO DO CONTEÚDO

- 1) O que é uma Estação Base?
- 2) Defina GPS?
- 3) Por que se desenvolveu o GPS?
- 4) Quais são os três segmentos GPS?
- 5) Quantos satélites são usados no sistema GPS?
- 6) A que altura em média orbitam os satélites?
- 7) Qual o período de translação de um satélite GPS?
- 8) Qual a diferença entre um satélite do bloco II e do bloco IIR?
- 9) Defina PRN. Por que é importante?
- 10) Cite algumas aplicações do GPS. Dê preferência as que se encaixam mais em seu campo de trabalho?
- 11) Qual a principal razão para usarmos satélites para mapeamento?

12) Quais são as quatro variáveis que determinam a exatidão da posição?

13) Explique a diferença entre posicionamento autônomo e diferencial?

14) Qual o número mínimo de satélites que devem ser captados para se obter uma posição 3D?

15) Como o receptor mede a distância entre ele e os satélites individuais?

16) Por que o sistema GPS utiliza um código?

17) Que classe de relógios usam os satélites e os receptores, porque os dois não usam relógios atômicos?

18) Por que os relógios dos receptores precisam ser ajustados com os relógios dos satélites?

19) Como o receptor determina a posição do satélite?

6.0) UTILIZANDO O GPS

6.1) Fontes de erro

Existem muitas fontes de erro que interferem na obtenção de uma posição GPS.

6.1.1) Disponibilidade seletiva (SA)

A disponibilidade seletiva é uma codificação intencional do sinal GPS que reduz a exatidão de posicionamentos autônomos a até 100 m em 95% do tempo de coleta. Esta é a maior fonte de erro no sistema GPS, porém pode ser removida utilizando as técnicas de correção diferencial. Essa fonte de erro atua sobre os parâmetros de efemérides e em variações do relógio.

CONSELHO: Existem muitos rumores acerca do futuro da SA na comunidade GPS. Assuma sempre que ela está ativa. Para obter maiores informações a respeito, consulte a página da Web da Guarda Costeira dos Estados Unidos ou a página da Navstar GPS em WWW.laafb.af.mil/smc/cz/homepage/.

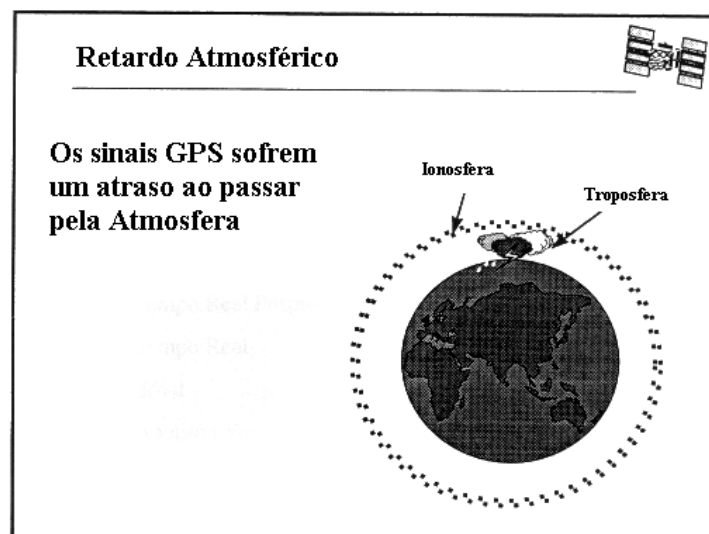
OBS: Nestes últimos dias recebemos informações de que a SA foi retirada do sistema, permitindo que receptores autônomos possam coletar posições com exatidão de aproximadamente 30 m (veja mais detalhes no tópico sobre precisão do sistema).

6.1.2) Retardo Atmosférico

Os sinais GPS sofrem retardos quando atravessam a ionosfera e a troposfera, com isso, o tempo que o sinal leva para alcançar a terra é maior, interferindo na posição calculada.

O retardo atmosférico é maior nas horas mais quentes do dia, quando a ionosfera e a troposfera se encontram em seu período de maior atividade.

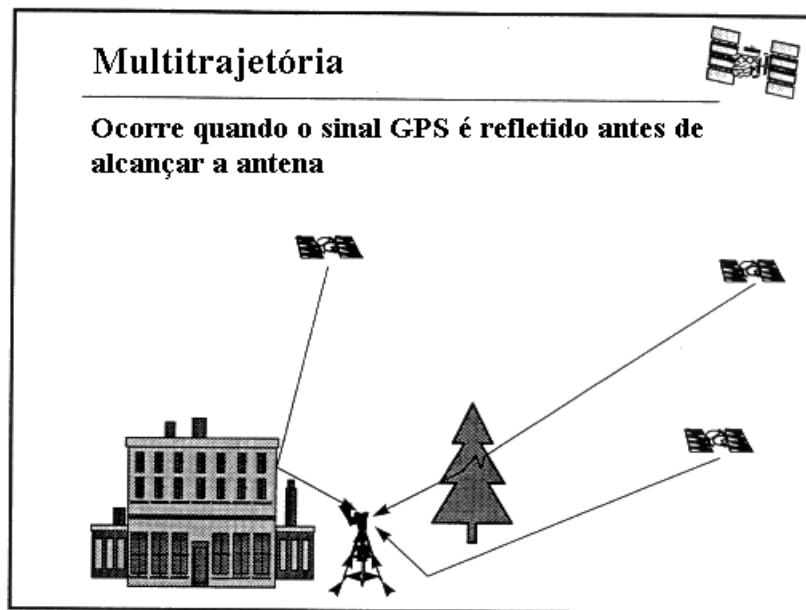
OBS: o GPS trabalha em qualquer condição climática, que respeite as temperaturas mínimas e máximas dos componentes eletrônicos.



6.1.3) Multitrajectoria

A multitrajectoria ocorre quando o sinal GPS é refletido em um objeto antes de alcançar a antena.

O erro de multitrajectoria depende de vários parâmetros atmosféricos. Estes ocorrem sem nenhum aviso prévio e pode ser mínimo ou alterar suas posições GPS em muitos metros. Não existe atualmente nenhuma forma de prevenir a ocorrência da multitrajectoria, entretanto as técnicas de campo e de firmware do receptor podem reduzir seus efeitos. Os erros graves de multitrajectoria são usualmente reconhecíveis e facilmente editáveis em alguns softwares que acompanham o aparelho.



6.1.4) Ruído do receptor

Quase todo (ou todos) os aparelhos eletrônicos geram ruídos. O ruído eletrônico de um receptor pode interferir no sinal GPS. Este erro (pequeno) não pode ser corrigido, o que resta é adquirir um receptor de boa qualidade.

6.2) Especificações de precisão

a) Posicionamento autônomo

A melhor precisão que qualquer receptor GPS pode obter sem aplicar um método de correção diferencial (posicionamento autônomo) é de 100 m com 95% de chance com a SA ativa. Em 68% de chance, esta distância é menor que 50 m e me 50% que seja menor que 40 m. ISSO VALE PARA QUALQUER RECEPTOR PROVENIENTE DE QUALQUER VENDEDOR.

Com a retirada da SA, esta precisão (o termo correto seria exatidão), passou a ser de aproximadamente 30 m, PARA QUALQUER RECEPTOR PROVENIENTE DE QUALQUER VENDEDOR

b) Precisão diferencial

Quando se aplica um método de correção a precisão melhora notavelmente. Muitos sistemas topográficos conseguem precisões sub-métricas quando as condições ótimas existem:

- PDOP: ≤ 6
- SNR: ≤ 6
- Máscara de ângulo de elevação de 15° ou maior
- Distância da base ≤ 250 km
- 5 ou mais satélites visíveis
- Ambiente de baixa multitrajectoria
- Estação de base coletando medidas sincronizadas sobre um ponto conhecido

c) Precisão vertical

A precisão horizontal é de 1 a 3 vezes melhor que a precisão vertical. A componente vertical é difícil de calcular porque os satélites tem uma perspectiva limitada na qual medem a altitude. Uma das forma de testar esta precisão é levantar alguns pontos em uma superfície plana e depois verificar as altitudes medidas nestas posições.

6.3) Correções e diferenciais

É necessário dois receptores para corrigir os dados diferencialmente. Um desses receptores deve ser instalado sobre um ponto conhecido e configurado como base e o outro operará como móvel.

6.3.1) Critério da estação base:

- Estar em uma posição conhecida;
- Registrar os dados ao mesmo tempo que o móvel, ou mesmo em tempo múltiplo;
- Deve ter uma visão clara do céu e poder captar o máximo de satélites;
- Recoletar dados sincronizados;
- Deve estar em um raio de 1500 km do móvel para operar completamente e dentro de um raio de 250 km para obter resultados submétricos.

6.3.2) O móvel

O móvel em algumas posições conhecidas, recoleta dados ao mesmo tempo que a estação base. Este usa um subconjunto de satélites seguidos pela base. Os mesmos erros ocorrem em ambos os setores.

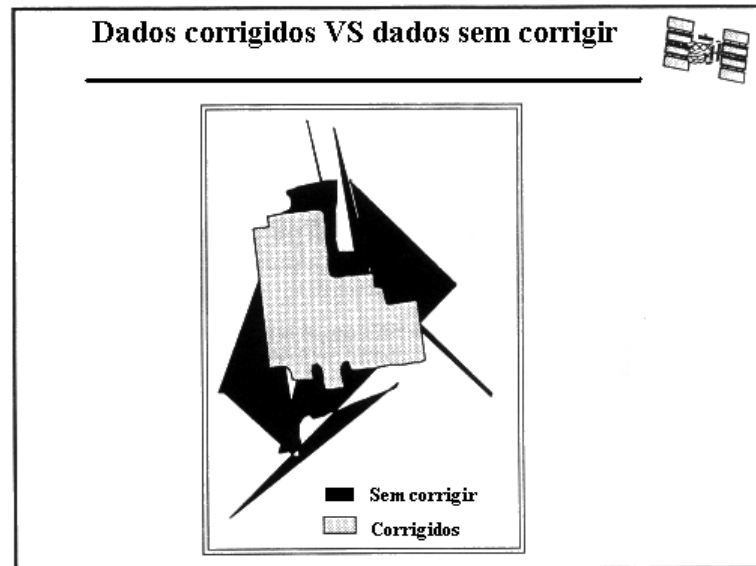
6.3.3) Como nos livrarmos dos erros

A correção diferencial determina a diferença entre a posição de referencia da estação base e a informação recoletada pelo GPS. A diferença então se aplica aos dados do móvel. O tempo é usado como um enlace de ajuste de erros.

OBS: a distancia entre a base e o móvel afetam a precisão. Existe uma degradação de aproximadamente 2 cm para cada 100 km de distância entre a base e o móvel.

6.4.4) Corrigido versus sem corrigir

A figura abaixo mostra um estacionamento antes e depois da correção. Observe-se que a forma da área é totalmente indefinida antes da correção dos dados.



7) PÓS PROCESSAMENTO VS TEMPO REAL.

Existe duas maneiras de se realizar a correção diferencial:

- a) Pós processamento: é a maneira mais comum e precisa de processar os dados GPS. Os dados autônomos são capturados no campo e os dados de base são coletados em um ponto conhecido por um aparelho configurado para tal. O conjunto dos dados é processado em um software que acompanha os aparelhos receptores.
- b) Tempo real: o receptor GPS é conectado a estação base mediante link de rádio. As correções são emitidas continuamente ao receptor e aplicadas aos dados GPS no campo. Outra maneira de corrigir os dados em tempo real é utilizar o sinal de correção emitido pelos rádios faróis da marinha espalhados ao longo da costa brasileira. Esse tipo de correção só é possível quando o usuário estiver trabalhando em uma faixa menor igual a 250 km da costa. Existe ainda uma terceira maneira que consiste em adquirir o sinal de correção via satélites fornecido por empresas, entretanto esse serviço ainda é muito caro. Os dados corrigidos em tempo real são de um a dois metros menos precisos que os pós processados.

8) PROCESSAMENTO DE FASE PORTADORA.

A fase portadora é quando usamos a própria onda que transporta o código GPS para determinar a distância entre o receptor e o satélite através da contagem do número de ondas entre o receptor e o satélite.

Portadora vs código:

A diferença chave entre o código superposto e a portadora é a precisão. A onda portadora é um instrumento de medição muito mais preciso que o código superposto.

Precisão:

Código: 0.75-5 m

Fase: 10-100 cm

ALGUMAS QUESTÕES SOBRE O ASSUNTO

- 1) Defina disponibilidade seletiva (SA).
- 2) O que é multitrajetória e quando ocorre?
- 3) Quais são as fontes de erro corrigíveis?
- 4) Qual é a precisão autônoma de qualquer receptor GPS?