

Sistema GPS – introdução

O GPS – Global Position System – foi proposto e desenvolvido nos anos 70 pelo Departamento de Defesa Norte-americano inicialmente para fins militares.

Mais tarde, interesses civis e comerciais trouxeram-lhe um uso mais alargado, tendo hoje um vasto conjunto de aplicações, entre as quais:

- Navegação;
- Localização;
- Mapeamento;
- Emergências;
- Aviação;
- Etc.

Este sistema utiliza, no total, 24 satélites para assegurar uma cobertura global.

A sua principal finalidade seria a de proporcionar, em termos genéricos, os meios necessários para rapidamente e de forma eficaz se determinar a posição tridimensional de um qualquer ponto localizado no globo terrestre (ou perto dele) a qualquer instante.

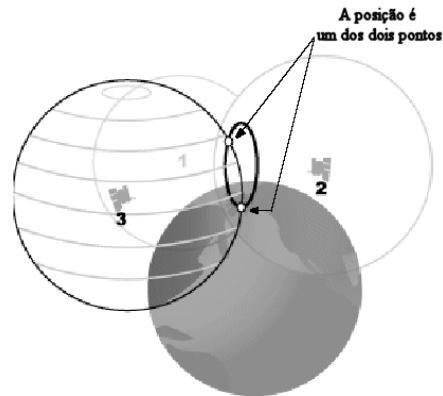
Sistema GPS – funcionamento

- São consideradas os seguintes pontos:
 1. Triangulação;
 2. Distância;
 3. Relógio;
 4. Posicionamento;
 5. Coordenadas;
 6. Erros.

Sistema GPS - triangulação

- De facto um sistema de posicionamento global recorre a 4 satélites.
- Pretende-se determinar os quatros valores referentes à total identificação de um receptor:

1. Três coordenadas espaciais;
2. O tempo.



1. Triangulação:

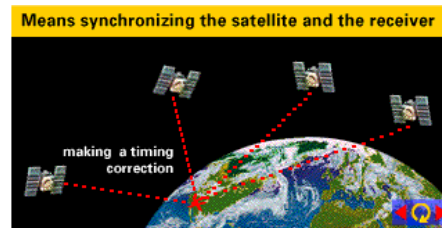
São necessários, no mínimo, um conjunto de 4 satélites.

- A distância calculada a um satélite permite calcular uma posição colocada numa esfera, cujo raio é a distância calculada ao primeiro satélite.
- O recurso a um segundo satélite permite reduzir a incerteza a um círculo (intersecção de duas esferas).
- O terceiro satélite utilizado intersecta o círculo anterior em dois pontos. Como normalmente um destes pontos se encontra muito distante da Terra (ou com velocidade muito elevada) a posição fica automaticamente calculada por exclusão de partes.
- O quarto satélite é finalmente utilizado como auxiliar. Envia ao receptor um quarto sinal que o auxilia a determinar o tempo preciso em que ocorrem as emissões evitando assim que o receptor use um relógio atómico para determinação do tempo. Deste modo um sistema de posicionamento global pode averiguar, de forma segura, a posição absoluta de um dado utilizador.

Sistema GPS - distância

Distância = Velocidade x Tempo

Considerando a velocidade de propagação dos sinais electromagnéticos, o tempo é da ordem de 0.06 segundos.



Exactidão: (+/- 0.000,000,001 s) = +/- 1 ns

2. Distância:

- Distância = Velocidade x Tempo

Considerando a velocidade de propagação dos sinais electromagnéticos, o tempo é da ordem de 0.06 segundos.

- Exactidão: (+/- 0.000,000,001 s) = +/- 1 ns

Como é calculado o tempo de propagação?

- Os satélites enviam um pseudo-código (próprio a cada satélite).
- O receptor adapta as suas sequências às sequências recebidas, atrasando-as ou adiantando-as.
- O tempo é calculado pelo atraso ou adiantamento.

Como separa o receptor os sinais provenientes dos diferentes satélites?

- Cada satélite possui uma sequência própria baseada numa fórmula que é enviada conjuntamente ao receptor.
- A distância aos satélites é calculada através do tempo de propagação.
- O satélite e o receptor geram os seus pseudo-códigos ao mesmo tempo.

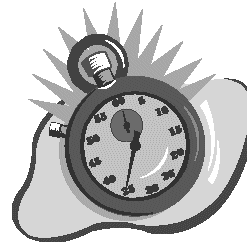
Sincronizando esses códigos pseudo-aleatórios, o atraso na recepção pode ser calculado. Esse atraso multiplicado pela velocidade de propagação dá a

distância à qual se encontra o receptor do satélite. No entanto, mesmo que os códigos estejam sincronizados, há ainda o problema relativo à fase. Um ligeiro atraso de fase nestes sinais da ordem de $1 \mu\text{s}$ corresponde, à velocidade da luz, a cerca de 300 metros de erro de posição. No entanto, a tecnologia utilizada actualmente é capaz de minimizar o erro de fase, não se conseguindo, porém, melhor que cerca de seis metros de erro de posição.

Sistema GPS - relógio

- A indicação temporal necessária ao funcionamento do sistema requer, entre satélites e receptores:

1. Sincronização
2. Localização dos satélites:
 1. Sistemas de coordenadas



3. Relógio:

Sincronização:

- A temporização a bordo de um satélite é extremamente precisa dado que se utilizam relógios atômicos.
- Todos os satélites estão sincronizados e enviam os seus códigos em momentos específicos.
- As unidades em Terra sincronizam os seus tempos por estes satélites.

De facto o quarto satélite é necessário exactamente para diminuir o erro introduzido pelas medidas de tempo dos três outros satélites.

Como localizar os satélites?

- Os satélites são lançados em órbitas precisas. No entanto:
- Os receptores de GPS usam um “almanac” para calcular de forma exacta as posições dos satélites, sendo este “almanac” enviado pelos próprios satélites.
- Este “almanac” é actualizado em Terra pela Força Aérea Norte-americana, que actualiza a informação e a envia de novo para os satélites.

Sistema GPS - posicionamento

Coordenadas ECEF

- Latitude/Longitude/Altitude
 - Latitude = Graus medidos em direcção Norte a partir do equador;
 - Longitude = Graus medidos a partir do meridiano de Greenwich, Este ou Oeste;
 - Altitude = Distância acima do nível médio da água do mar.
- O sistema GPS usa o elipsóide WGS84 (ECEF), podendo ser transformado noutros: NAD27, NAD83.

UTM

- Abreviação de "*Universal Transverse Mercator*";
- Divisão em zonas cartesianas;
- Posicionamento cartesiano em metros.

Sistemas de coordenadas:

Coordenadas ECEF

- Latitude/Longitude/Altitude
- Latitude = Graus medidos em direcção Norte a partir do equador;
- Longitude = Graus medidos a partir do meridiano de Greenwich, Este ou Oeste;
- Altitude = Distância acima do nível médio da água do mar.
- O sistema GPS usa o elipsóide WGS84 (ECEF), podendo ser transformado noutros: NAD27, NAD83.

–

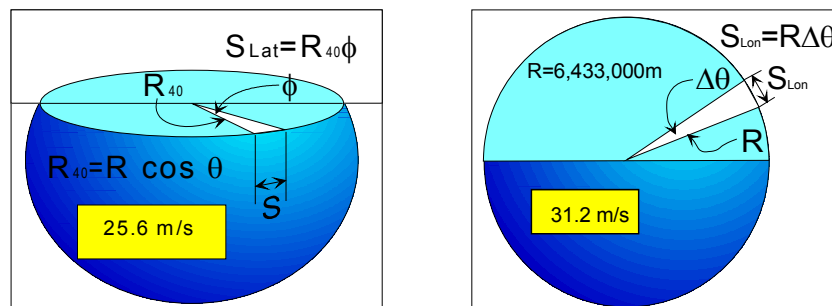
UTM

- Posicionamento cartesiano em metros;
- Abreviação de "*Universal Transverse Mercator*"
- Divisão em zonas cartesianas.

Datums

- Especificam um ponto inicial de medida (ex. NAD 1927 ou NAD 1983).

Sistema GPS - posicionamento



O posicionamento em Latitude, Longitude e Altitude é calculado com base em sistemas de coordenadas de referência que permitem a sua correcta identificação.

Contudo, esses valores vêm afectados de efeitos da velocidade da Terra e dos satélites.

Ao efeito Doppler acrescentam-se erros de medição devidos a efeitos relativistas que afectam a precisão do tempo. Os três aspectos principais são:

- Velocidade (dilatação do tempo)
 - Faz com que o relógio transportado se atrase em relação a um outro na Terra;
 - Apenas função da velocidade.
- Potencial gravitacional
 - Faz com que o relógio transportado se adiante em relação a um outro na Terra;
 - Apenas função da altitude.
- Efeito Sagnac
 - Faz com que o relógio transportado se adiante ou se atrase em relação a um outro na Terra;
 - Depende da trajectória e direcção escolhidas.

Dados obtidos:

- Efeito gravitacional:
 - Altitude orbital de 20,183 km;
 - O relógio adianta-se $45.7 \mu\text{s}$ por dia.
- Dilatação do tempo:
 - Velocidade do satélite de 3.874 km/s;
 - O relógio atrasa-se $7.1 \mu\text{s}$ por dia.
- Efeito Sagnac: $\pm 133 \text{ ns}$ para um receptor na Terra

Sistema GPS – erros

Erro tipo em satélites(metros):		
	GPS Standard	GPS Diferencial
Relógios de satélite	1,5	0
Erros de órbita	2,5	0
Ionosfera	5	0,4
Troposfera	0,5	0,2
Ruído no receptor	0,3	0,3
Multicaminhos	0,6	0,6
Satélites visíveis	30	0
Exactidão típica		
Horizontal	50	1,3
Vertical	78	2
3-D	93	2,8

Sistemas de Telecomunicações II

Carlos Correia FEUP - 2003

Relógio de satélite: o tempo não é preciso a bordo dos satélites. No entanto, dado que não é possível integrar um relógio atómico no receptor, o relógio deste é responsável pela introdução de uma imprecisão bastante superior à do satélite.

Erros de órbita: conhecidos como erros de “ephemeris”, representam imprecisões na localização divulgada pelo satélite.

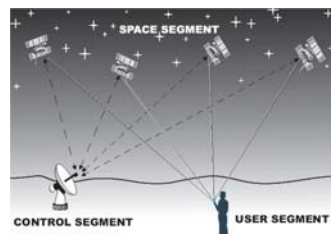
Atrasos na Troposfera e Ionosfera: erros devido ao atraso do sinal ao atravessar as camadas da atmosfera terrestre.

Multipercursos: erros devido à recepção de mais que um sinal proveniente da mesma fonte. Não pode ser facilmente quantificado, pois depende da zona onde se efectua a recepção (se em campo aberto se em área urbana).

Sistema GPS

Segmento espacial:

- 24 satélites em órbita alta, a cerca de 19000Km de altitude;
- Velocidade de cerca de 11200Km/h fazendo um círculo a cada 12 horas ;
- Potências de emissão entre 20W e 50W.



Segmento de controlo:

- 5 estações terrestres de controlo:
 - Enviam aos satélites correcções de tempo e de órbita;
 - Enviam os modelos da ionosfera para que se possam corrigir eventuais erros de recepção.

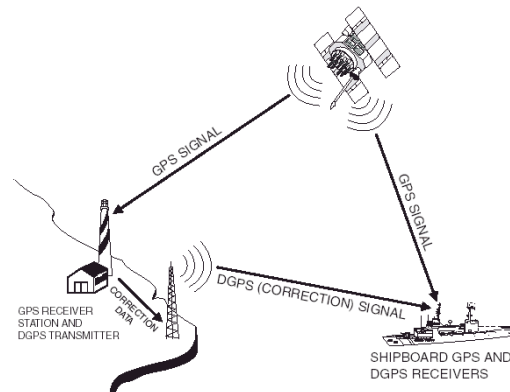
O sistema GPS recorre a 24 satélites para assegurar uma cobertura global com uma disponibilidade de cerca de 95%. Tem ainda aproximadamente 20m de precisão horizontal (16m para aplicações militares).

Entre as suas utilizações encontram-se algumas civis apesar de ser um sistema de origem militar. As versões futuras do sistema prevêem já algumas aplicações de utilização gratuita.

GPS diferencial

GPS diferencial:

- Princípio de funcionamento



Sistemas de Telecomunicações II

Carlos Correia FEUP - 2003

O GPS diferencial baseia-se no envio de duas medidas ao receptor.

A primeira destas medidas é aquela directamente recebida do satélite.

A segunda medida é enviada por uma estação terrestre (não muito longe do receptor) que recebe o sinal proveniente do satélite afectado sensivelmente pelo mesmo erro (dado que receptor e estação se encontram relativamente próximas).

A estação terrestre processa o sinal e, dado que a sua posição é conhecida, envia a correcção ao receptor que, de forma diferencial, procede à correcção da informação anteriormente recebida.

Galileo



Sistemas de Telecomunicações II

Carlos Correia FEUP - 2003

Galileo é um sistema de posicionamento global ainda em fase de desenvolvimento na Europa. Prevê-se que forneça serviços de alta precisão com taxas de disponibilidade acima de 99%.

Foi concebido para integrar funcionalidades que lhe permitam funcionar com aplicações de mercado de massas, profissionais, de segurança e de busca e salvamento. Foi também assumida total independência de outros sistemas de posicionamento global estando, no entanto, assegurada a interoperabilidade com esses sistemas.

Galileo - introdução

Galileo é um sistema de posicionamento global, que funcionará independentemente sendo inter-operacional e aberto à cooperação internacional.

Fornecerá informação espacial e local com a necessária garantia de disponibilidade e de integridade.

Funcionará em parceria com os serviços CASPAS, SARSAT e EGNOS.

De facto a Europa já deu um importante contributo para os sistemas de posicionamento global com o programa EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service). Este programa consiste no aumento de funcionalidade do GPS e do GLONASS, sobretudo para obter melhorias nas aplicações de transportes (terra-água-ar) no território europeu e arredores. Baseia-se no envio, a partir de 3 satélites geostacionários, de sinais GPS e GLONASS com a devida introdução de correcções diferenciais (actualizadas a partir de 30 estações de controlo e monitorização da integridade do sinal, de 4 centros de controlo principais e de 6 estações de emissão).

A precisão estará abaixo de 2m (muito menor que os cerca de 20m do sistema GPS).

Está previsto que funcione com total operacionalidade, a partir da Primavera de 2004, estando já em testes desde 2000.

Galileo – características principais

Principais características de funcionamento:

Tipo de receptores	Frequência simples ou dupla
Computação de integridade no receptor	Não
Precisão da posição (95%)	Freq. Simples: H-15m V - 35m
	Freq. Dupla: H - 4m V- 8m
Precisão temporal	50 nsec para frequência dupla
Disponibilidade	99% - 99.9%
Integridade	Obrigatória em serviços relacionados com segurança

Novo tipo de disponibilidade: calculada para cada estado da constelação e não como

$$D_t = \sum \text{Disp}(e) \times P(e)$$

Como se pode inferir da análise do quadro anterior, o sistema Galileo possuirá características standard de funcionamento bastante melhoradas relativamente aos seus congéneres, nomeadamente o GPS. Note-se que será possível obter precisões de cerca de 4 metros, sem recorrer a sistemas diferenciais.

Galileo - constelação

A constelação MEO tem três planos, cada um com uma inclinação de 56° com satélites operacionais igualmente espaçados a uma altitude de 23666 km.

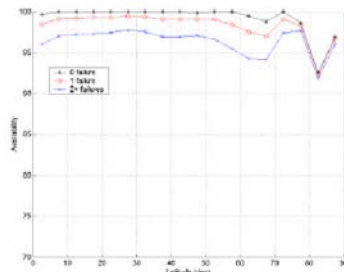
O tempo orbital é de cerca de 14 horas.



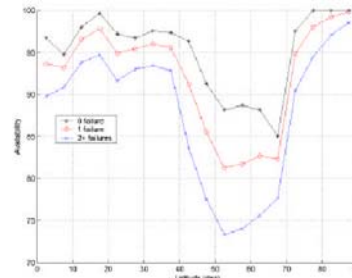
A definição do sistema Galileo, nomeadamente a sua componente global, é ainda hoje alvo de discussões. Mostra-se, em seguida, com se obteve a configuração actual, e os estudos empreendidos complementares.

Galileo - constelação

Testes levados a cabo com diferentes configurações de satélites:



Disponibilidade para constelação de 30 satélites MEO



Disponibilidade para constelação de 27 satélites MEO + 3 GEO, assumindo falha de 1 satélite GEO

Sistemas de Telecomunicações II

Carlos Correia FEUP - 2003

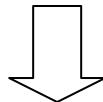
Escolha do tipo de informação:

Os resultados de disponibilidade mostram claramente que a configuração “só MEO” tem maior relevância.

Em adição, o facto de que falhas de serviço em satélites GEO se mantêm sobre a mesma região (enquanto que em MEO a falha não permanece na mesma localização) levou à escolha desta configuração.

Escolha da configuração de satélites:

- Elevado tempo para substituição de satélites lançados a partir da Terra (cerca de 5 meses).
- Substituição de satélite por um outro já em órbita apenas pode ser efectuada se se encontrarem na mesma órbita ou, em caso contrário, com gasto enorme de combustível.



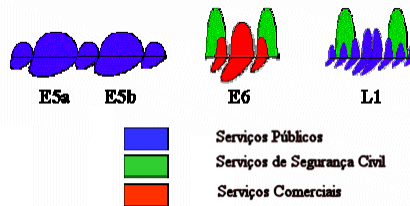
- Optou-se por uma configuração 27+3 satélites (9+1 em cada órbita).

Galileo – Componente Global

O projecto Galileo compreende a transmissão de 10 sinais:

- 6 abertos aos serviços de segurança (embora parte possa também ser usada para serviços comerciais);
- 2 para serviços comerciais;
- 2 para serviços regulados publicamente.

As emissões públicas serão transmitidas nas seguintes bandas de frequência :



Visão geral

O sistema Galileo pode ser decomposto em três componentes distintas: a Global, a Regional e a Local.

Componente Global

A componente espacial do sistema Galileo é constituída pela constelação de 30 satélites, em órbita média, em três planos inclinados 56° do equador, a 23666 km de altitude.

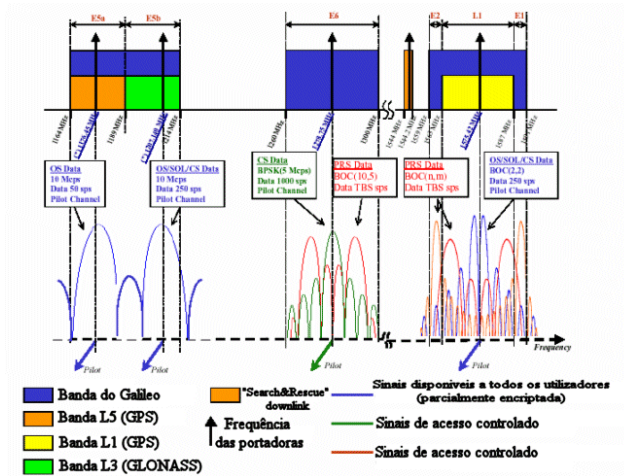
Cada plano conterà 10 satélites, sendo 1 de substituição. Este último terá a capacidade de substituir um qualquer outro satélite do mesmo plano em cerca de 6 horas. O tempo de órbita rondará as 14 horas.

O projecto Galileo compreende a transmissão de 10 sinais:

6 abertos aos serviços de segurança (embora parte possa também ser usada para serviços comerciais), 2 para serviços comerciais e 2 para serviços regulados publicamente. As emissões públicas serão transmitidas nas seguintes bandas de frequência:

Galileo – Componente Global

Detalhe das bandas de frequência dedicadas aos sinais Galileo:



Sistemas de Telecomunicações II

Carlos Correia FEUP - 2003

O sistema Galileo compreende a transmissão de quatro portadoras (que necessitarão de multiplexagem no andar de saída) e um conjunto de modulações digitais adaptadas aos conteúdos que se pretendem transmitir em cada uma dessas portadoras.

Galileo – Componente Global

Principais parâmetros das ligações:

- Frequências;
- Modulações;
- Taxas de transmissão;
- Potência na recepção.

freq. Bands	E5a		E5b		E6			E2-L1-E1		
Central freq.	1176 MHz		1207 MHz ¹		1278 MHz			1575 MHz		
Channel	I	Q	I	Q	A	B	C	A	B	C
modulation type	being optimised AltBOC(15,10) or two QPSK ²				A → BOC(10,5) B → BPSK ³ (5) C → BPSK(5)			A → flexible BOC(n,m) B → BOC(2,2) C → BOC(2,2)		
chip rates	10.23 Mcps	10.23 Mcps	10.23 Mcps	10.23 Mcps	5.115 Mcps	5.115 Mcps	5.115 Mcps	m × 1.023 Mcps	2.046 Mcps	2.046 Mcps
symbol rates	50 sps	N/A	250 sps	N/A	TBD sps	1000 sps	N/A	TBD sps	250 sps	N/A
user min. received power at 10° elevation	-158 dBW	-158 dBW	-158 dBW	-158 dBW	-155 dBW	-158 dBW	-158 dBW	-155 dBW	-160 dBW	-160 dBW

Sistemas de Telecomunicações II

Carlos Correia FEUP - 2003

Espaço-Terra (down-link):

E5A-E5B, 1164-1215 MHz;

E6, 1260-1300 MHz;

E2-L1-E1, 1559-1591 MHz (já em uso pelo GPS).

Terra-Espaço (up-link):

1300-1350 MHz

5000-5010 MHz

Signal	Bandwidth [MHz]	Power Level [dBW]	Nominal C/N ₀ [dB-Hz]	Code Rate [Mcps]	Chip Length [m]	1σ Code Noise [m]
L1 C/A-Code	24-30 (IIF)	-157	41	1.023	293.1	0.38
L1 P(Y) - Code	24-30 (IIF)	-160	38	10.23	29.3	0.17
L1 M - Code Low Power	24-30 (IIF)	-158	40	5.155 (10.23 bin off-set)	58.6	0.12
L1 M - Code High Power Spot Beam	24-30 (IIF)	-138	60	5.155 (10.23 bin off-set)	58.6	0.01
L5	24	-154-3 ¹¹	41	10.23	29.3	0.12
E1 = E2	4	-155-3 ¹¹	40	2.046	146.5	0.74
E1 RC	4	-155-3 ¹¹	40	3.069 (β = 0.303)	97.7	0.50
E5	24	-152-3 ¹¹	43	10.23	29.3	0.10
E6	40	-155-3 ¹¹	40	20.46	14.7	0.07

Figura 1: Quadro resumo das bandas de frequência e das características de cada portadora

Canais	Tipo de Dados	Duração da Sequência	Comprimento do código primário	Comprimento do código secundário
E5a _I	OS	20 ms	10230	20
E5a _Q	no data	100 ms	10230	100
E5b _I	OS/CS/SoL	4 ms	10230	4
E5b _Q	no data	100 ms	10230	100
E6 _A	PRS	TBD	-	-
E6 _B	CS	1 ms	8184	-
E6 _C	no data	100 ms	10230	50
L1 _A	PRS	TBD	-	-
L1 _B	OS/CS/SoL	4 ms	8184	-
L1 _C	OS/CS/SoL		8124	25

Figura 2: Quadro resumo das características dos códigos de dispersão utilizados no sistema Galileo.

Galileo - Componente Global

Os sinais que serão usados no sistema Galileo terão como características:

- Utilização de um piloto para sinalização:
 1. Melhora a recepção com baixas potências;
 2. Reduz o tempo médio de perda de ligação;
 3. Reduz os multipercursos em ambientes dinâmicos – por exemplo aterragem de aviões.
- Débitos binários entre 250 e 1500 bit/s
 1. Débitos baixos reduzem distúrbios nos sinais de navegação;
 2. Débitos mais elevados permitem aumentar a capacidade de inúmeras aplicações :

Mensagens auxiliares em serviços relacionados com a segurança	Mensagens auxiliares para uso comercial
Mensagens de integridade: Mensagens de busca e salvamento: <ul style="list-style-type: none">•Coordenação•Socorro Alertas meteorológicas: <ul style="list-style-type: none">•Aviso de tempestades;•Aviso de cheias. Avisos de acidentes.	Actualização de mapas: Mudanças temporárias de mapas: <ul style="list-style-type: none">•Desvios;•Engarrafamentos. Informação extra: <ul style="list-style-type: none">•Estações de combustível;•Restaurantes;•Hotéis...

Sistemas de Telecomunicações II

Carlos Correia FEUP - 2003

Os satélites foram projectados para transmitir até quatro portadoras nas bandas mencionadas.

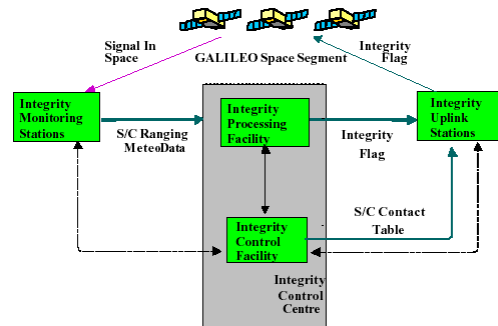
Taxas mais baixas causam um menor distúrbio no sinal de navegação, enquanto que taxas mais elevadas maximizam o potencial para serviços de valor acrescentado tais como: alertas do tempo, avisos de acidente, informação do tráfego e actualizações de mapas. A capacidade de transmissão dos dados nos sinais de navegação será maximizada sem comprometer a sua exactidão. São fornecidos componentes piloto (códigos sem mensagens de dados) melhorando a robustez e a aquisição do sinal sob circunstâncias de recepção adversas.

O uso da banda C foi também considerada, tendo-se concluído que serviços nesta banda devem ser implementados numa segunda geração de satélites Galileo. Entretanto, o teste de técnicas relativas à banda C faz já parte do programa de desenvolvimento actual do Galileo.

A componente do utilizador é constituída pelos receptores dos sinais provindos dos satélites Galileo. Existirão receptores apenas com capacidade de descodificação de mensagens emitidas pelos satélites e receptores com capacidade de descodificar adicionalmente informação proveniente de estações locais podendo, em ambos os casos, receber sinais do sistema GPS e GLONASS.

Galileo - Componente Regional

Surge como uma extensão da componente global, onde é verificada, em estações terrestres, a integridade dos sinais provenientes do sistema Galileo.



A componente regional fornecerá de forma independentemente integridade aos serviços Galileo.

Este serviço assegura que qualquer utilizador receberá sempre sinal de dois satélites até uma elevação de 25°.

Galileo – Componente Regional

Precisão de navegação

São consideradas várias contribuições para o aumento da precisão de navegação:

- DOP - Dilution of precision - mede a efectividade com a qual a constelação fornece a geometria ideal para que estejam sempre 4 satélites igualmente espaçados.
- UERE - User Equivalent Range Error - proveniente de imprecisões de predição da órbita do satélite e da sincronização do tempo (OD&TS), da correcção imperfeita dos atrasos na ionosfera e na troposfera e da distorção do sinal devido a multipercursos e reflexões na vizinhança do receptor (por exemplo um edifício junto de um veículo).

O segmento de controlo é constituído por estações terrestres, espalhadas por todo o globo, com a responsabilidade de controlar as órbitas dos satélites e os parâmetros dos seus relógios.

Algumas destas estações estarão dedicadas à avaliação da integridade dos sinais, recorrendo aos métodos DOP e UERE, encarregando-se do reenvio dessa informação para os satélites a fim de corrigirem os seus sinais.

Galileo – Componente Local

Dedicada a aplicações onde as características da componente global não são suficientes (exactidão, integridade do sinal, condições de aquisição). Nestes casos poder-se-ão instalar localmente os dispositivos encarregues pela melhoria dos sinais recebidos. Entre eles:

1. Posicionamento diferencial;
2. Monitorização de integridade local, com tempos reduzidos de disparo de alarme;
3. Dados extra;
4. Informação adicional proveniente da integração do Galileo com os sistemas GSM/UMTS.

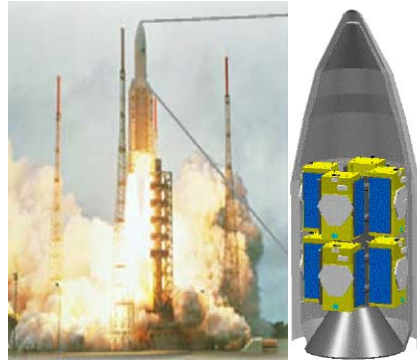
A componente local melhorará a componente regional através de ligações rádio ou redes de comunicação, no sentido de melhorar a precisão em locais como portos ou aeroportos.

Mais tarde prevê-se que as mesmas técnicas e dispositivos possam ser utilizados em edifícios e casas particulares.

Galileo - Criação da Constelação

Serão transportados múltiplos satélites num único lançamento, recorrendo a um lançador/distribuidor para colocar oito satélites nas suas órbitas médias.

Lançadores mais pequenos serão utilizados em missões de validação, tais como Ariane-5, Soyuz, Proton e Zenith.



A ideia inicial para criar a constelação é a de transportar múltiplos satélites num único lançamento, recorrendo a um lançador/distribuidor para colocar oito satélites nas suas órbitas médias.

Lançadores mais pequenos serão utilizados em missões de validação, tais como Ariane-5 (3 lançamentos), Soyuz (3 lançamentos), Proton e Zenith.

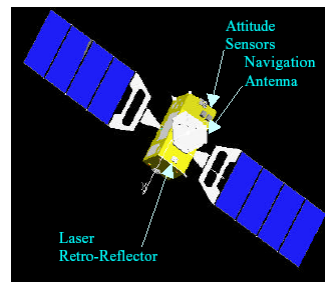
Galileo – Estrutura dos satélites

A fuselagem do satélite rodará em torno de si mesma (em torno do eixo que aponta para o centro da Terra), garantindo que os seus painéis solares apontem sempre para o Sol.

Os elementos internos do satélite serão colocados numa estrutura que agrupa os elementos da plataforma e de carga (payload) em painéis diferentes.

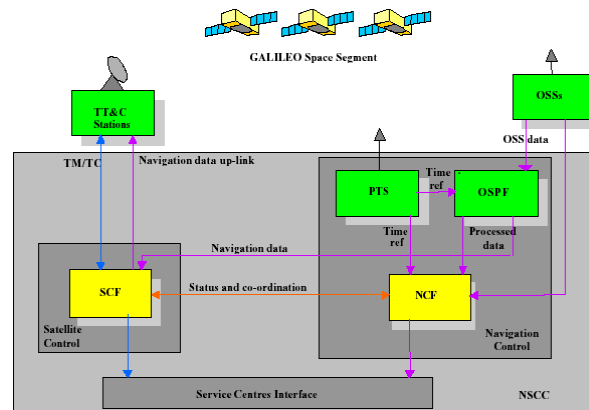
Os relógios serão colocados ao abrigo de quaisquer distúrbios assim como de elementos móveis (discos de momento).

O peso de cada satélite rondará os 700 Kg. Serão obtidos valores de potência de pico de 1500W.



A estrutura mecânica dos satélites assegura o seu bom funcionamento e a geração de potências elevadas (até cerca de 1500W).

Galileo – Sistema de Controlo Terrestre



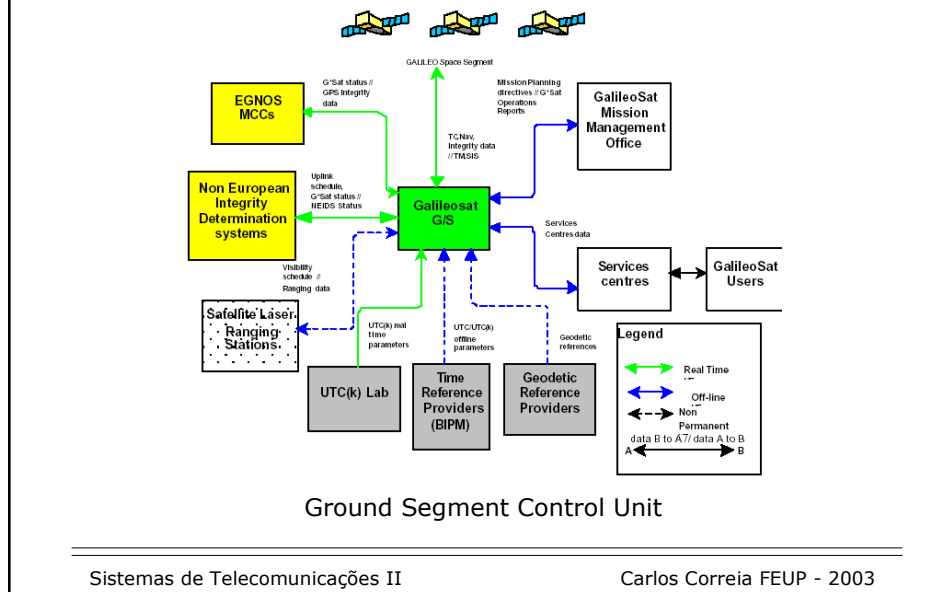
Sistemas de Telecomunicações II

Carlos Correia FEUP - 2003

Dois centros de controlo na Europa encarregar-se-ão da monitorização dos satélites, bem como da sincronização dos seus relógios atómicos, dos sinais e da integridade dos dados.

Uma rede global de telecomunicações dedicada, conectará todas as estações terrestres e instalações, utilizando para tal ligações terrestres ou ligações por satélite VSAT.

Galileo – Sistema de Controlo Terrestre



A transferência de dados de e para os satélites far-se-á a partir de uma rede global de estações de emissão (UpLink), cada uma das quais com sistemas de telemetria e telecomunicações. Será garantida a recepção de sinal no mínimo de 2 satélites, com um mínimo de elevação de 25 °. A isto juntar-se-ão estações locais para permitir recepção no interior de edifícios e maior acuidade na sinalização de portos, aeroportos e serviços críticos.

Sinais de navegação:

Os sinais de navegação do Galileo compreenderão códigos e mensagens de dados.

Os códigos serão gerados por relógios altamente estáveis, autónomos, a bordo de cada satélite.

As mensagens de dados serão enviadas aos satélites a partir da Terra, armazenadas e transmitidas continuamente usando uma estrutura de dados por pacotes, que permita que mensagens urgentes sejam transmitidas sem atrasos. Espera-se que as mensagens de dados incluam não somente informação do “almanac” de órbita e parâmetros relativos ao estado da constelação, mas também um sinal extremamente preciso que dê aos utilizadores uma predição do tempo excelente. Permitirá que os receptores avaliem as medidas de cada satélite e melhorem a sua exactidão de navegação.

Galileo – Desenvolvimentos Tecnológicos

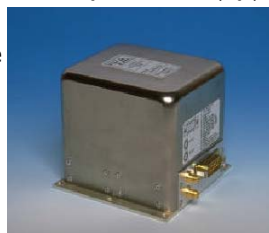
Relógio

Completado o primeiro estágio de desenvolvimento do modelo atômico do relógio de Rubidium em Maio de 2000.

Principais características:

- Estabilidade: 5×10^{-13} em 100 s
- Massa: 1.4 kg
- Volume: 1.3 litros
- Consumo de potência: 20 W

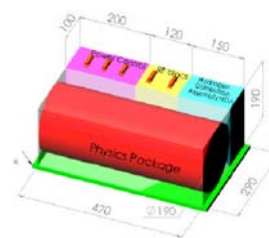
Electrical Qualification Model (EQM).



O Passive Hydrogen Maser (PHM) possui performances de funcionamento bastante melhoradas relativamente ao relógio de rubidium.

Principais características:

- Estabilidade: 1×10^{-14} em 10 000 s
- Massa: 15 kg
- Volume: 25 litros
- Consumo de potência: 60 W



Sistemas de Telecomunicações II

Carlos Correia FEUP - 2003

Fazem parte da fuselagem dos satélites as secções de sincronismo, geração de sinal e transmissão, assim como antenas dedicadas a operações de busca e salvamento (COSPAS SARSAT). Também aqui se encontram os andares de conversão de frequência e de transmissão e recepção.

A secção de sincronismo representa o cerne deste módulo, com uma pulsação de disparo atômico que fornece uma referência exacta do tempo. O erro deste pulso de disparo, medido na superfície terrestre em termos de posição, está abaixo de 30 cm.

Estão em desenvolvimento dois relógios atômicos:

O Rubidium Atomic Frequency Standard (3.3 kg), na sequência da sua utilização comercial em redes de comunicação. Este dispositivo tem frequências de oscilação na banda visível, com uma frequência em microondas de cerca de 6.2GHz;

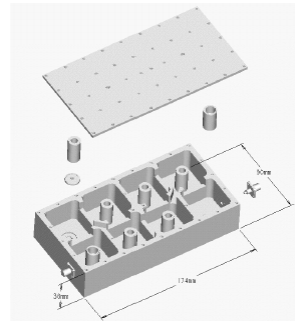
O segundo modelo consiste no Passive Hydrogen Maser, cuja concepção começou em 2001. Terá um peso de cerca de 15kg, com frequência de oscilação de 1.4GHz. A precisão relativamente ao outro modelo é largamente melhorada.

Galileo – Desenvolvidos tecnológicos

Multiplexador de saída:

Principais características:

- Perdas de adaptação: 0.4 dB
- Variação absoluta do atraso de grupo: 0.05 ns
- Isolamento do canal: 40 dB
- Massa: 0.5 kg



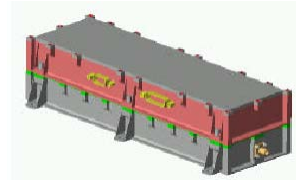
O andar seguinte – de transmissão – amplifica cada uma das portadoras até cerca de 50W. Os sinais amplificados são multiplexados e finalmente enviados para a recepção.

Galileo – Desenvolvimentos tecnológicos

Amplificador de estado sólido:

Principais características:

- Potência: 50 W
- Estabilidade de potência: 0.2 dB p-p
- Atraso absoluto de estabilidade: 0.05 ns
- Ganho: 60 dB
- Massa: 0.8 kg
- Dimensões: 250 x 80 x 60 mm
- Consumo de potência: 120 W



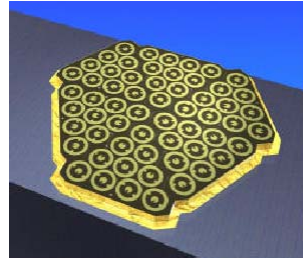
O andar de geração de sinal é responsável pela entrega dos sinais de navegação. Estes sinais consistem em quatro códigos que são combinados inicialmente com as mensagens de navegação mais relevantes e mais tarde reconvertidas antes da sua entrega ao andar de saída. As mensagens contêm dados relativos à órbita do satélite (ephemeris) bem como à referência do relógio.

Galileo – Desenvolvidos tecnológicos

Antena

Principais características:

- Ganho: 15 dBi no ponto de máxima cobertura
- Variação do ganho < 2 dB na zona de cobertura
- Massa: 8 - 10 kg
- Dimensões médias: 1.4 x 1.6 x 0.2 m



Relativamente às antenas, serão utilizadas antenas dedicadas a operações de busca e salvamento – SAR – Search and Rescue.

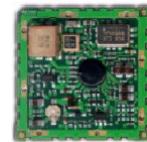
A concepção das antenas é alvo de estudo de duas equipas separadas, com o objectivo de conceber uma antena que possua um fluxo de radiação constante em qualquer ponto iluminado pelo satélite, independentemente de se estar directamente abaixo do satélite ou numa posição bastante inclinada.

Galileo – Desenvolvimentos tecnológicos

Receptor

Principais características:

1. Aumento da complexidade devido ao aumento de sinais recebidos;
2. Novas modulações *;
3. Taxas de transmissão mais elevadas;
4. Diminuição de erros de multipercursos;
5. Detecção de interferência;
6. Detecção e correcção de "deslizes" da portadora.



2.5 cm

* Alternate Binary Offset Carrier Modulation (BOC)

Sistemas de Telecomunicações II

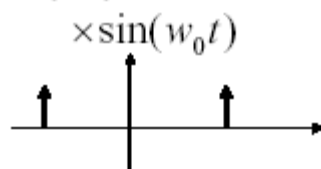
Carlos Correia FEUP - 2003

Os receptores Galileo asseguram o funcionamento com sinais GPS e GLONASS, o que implicou um enorme aumento na sua complexidade.

No entanto, requisitos de mercado obrigam a que os receptores sejam de pequenas dimensões e com preços acessíveis aos utilizadores alvo.

Modulação BOC (Binary Offset Carrier Modulation):

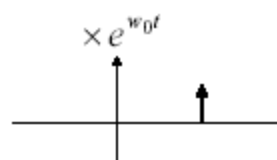
Ideia: Multiplicar a portadora por uma sub-portadora quadrada complexa de modo que o espectro não seja dividido mas apenas transladado para frequências ora superiores ora inferiores. Com este método é possível transmitir diferentes sinais em cada um dos lobos laterais, com aproveitamento de potência:



$$s_s(t) = s(t) * \text{sign}(\sin(2\pi f_s t))$$

$$S_s(f) \approx \alpha S(f) \otimes (\delta(f - f_s) - \delta(f + f_s))$$

BOC



$$s_s(t) = s(t) * \text{sign}(\cos(2\pi f_s t) + j \text{sign}(\sin(2\pi f_s t)))$$

$$S_s(f) \approx \alpha S(f) \otimes (\delta(f - f_s))$$

Alternate BOC

Galileo – Programas

Projectos Piloto que usam os sinais EGNOS

- NAUPLIOS: melhoria na monitorização de tráfico marítimo e em serviços de Busca e Salvamento utilizando as funcionalidades Galileo
- GALLANT: Melhoria na segurança das estradas e na mobilidade dos utilizadores
- GADEROS: Sistema para caminhos de ferro
- INSTANT: Serviços de utilização crítica em aplicações terrestres, marítimas ou aéreas

Nauplios:

- Numerosos acidentes marítimos alertaram para a necessidade de um serviço de monitorização mais apertado.
- O sistema Galileo é um bom candidato para esta tarefa mas é necessário que esteja associado a medidas técnicas e administrativas para que possa melhorar a segurança no mar.
- O objectivo deste programa é testar o Galileo nestas condições.

Gallant:

- Desenvolvimento de especificações, arquitecturas e interfaces.
- Integração de dispositivos próprios com o objectivo de demonstrar os benefícios da utilização de serviços de navegação por satélite na melhoria da segurança e mobilidade terrestres (estradas).

Gaderos:

- Desenvolvimento do princípio, concepção da arquitectura e dos procedimentos da aplicação do sistema Galileo a transportes por via-férrea.
- Testes e simulações da aplicação.

Instant:

- Gestão de eventos e emergências de larga escala.
- Desenvolvimento da interoperabilidade entre os receptores Galileo e receptores de outras aplicações por satélite.
- Aplicação nos Jogos Olímpicos de 2004.

Galileo - Serviços



Sistemas de Telecomunicações II

Carlos Correia FEUP - 2003

“Open Service”: este serviço fornece a posição e o tempo gratuitamente. É especialmente direccionado para aplicações de uso alargado, como por exemplo navegação terrestre.

A informação temporal poderá ser utilizado em mecanismos que necessitem de sincronização, como por exemplo redes de computadores.

Serviço comercial: é basicamente uma extensão do “Open Service”, mas com valor acrescentado. É fornecida uma precisão até 1m (um metro) em aplicações diferenciais.

Segurança: também neste caso o serviço prestado é idêntico ao “Open Service”, para frequência dupla. No entanto, para este serviço é efectuada a computação de integridade de sinais no receptor, tornando-o extremamente seguro. Está também a estudar-se a possibilidade de fornecer este serviço utilizando apenas uma frequência recorrendo a modelos detalhados da ionosfera (mantendo as mesmas características de receptores para duas frequências). No entanto, terá que ter em linha de conta assuntos e responsabilidades territoriais, que poderão ser difíceis de tornar.

Serviço regulado publicamente: serviço disponibilizado em múltiplas frequências, estando especialmente dedicado a aplicações de Serviços de Segurança, tais como polícia, protecção civil e emergências entre outros. São também considerados transportes, telecomunicações, energia bem como algumas aplicações industriais estratégicas para a Europa, que recorrem a sinais com elevada resistência a interferências.

Serviço de Navegação Local: serviço baseado na utilização de estações locais capazes de fazer atingir precisões abaixo de 1m (um metro). De facto, com a utilização da TCAR (triple carrier technique) poder-se-á inclusivamente obter precisões até 1 decímetro!

Socorros e salvamentos: o sistema Galileo está equipado com transponders para “socorros e salvamentos” que suportam um serviço CASPAS-SARSAT melhorado (COSPAS-SARSAT – serviço internacional para socorros e salvamentos).

Quando um utilizador envia um pedido de socorro, este sistema de satélite reenvia a mensagem para uma estação terrestre, encarregue de encaminhar a mensagem para o centro de processamento adequado. Depois de processada segue o caminho inverso até se poderem dar as indicações necessárias ao utilizador.

Serviço de comunicações direccionadas à navegação: está em estudo a possibilidade de integração de dispositivos de comunicações directamente na fuselagem do satélite, especialmente direccionado a aplicações que requerem uma utilização em todos os pontos do globo, de forma rápida, segura e com a disponibilidade oferecida pelo Galileo.

Galileo - Serviços

Quadro resumo dos serviços e suas principais características:

	Open Service OS	Commercial Service CS		Public related service PRS		Safety of Life Service (SoL)
Coverage	Global	Global	Local	Global	Local	Global
Accuracy	15-30 m (single frequency) 5-10 m (dual frequency)	5-10 m (dual frequency)	< 10 cm - 1 m (local augmentation signals)	4-6 m (dual frequency)	1 m (local augmentation signals)	4-6 m (dual frequency)
Availability	99%	99%	99%	99-99.9%	99-99.9%	99-99.9%
Integrity	Not generally required	Value-added services		Mandatory requirement		Yes
Access Control	Free open access	Controlled access of value- added data	Controlled access of local correction data	Controlled access of navigation code and/or value-added data	Controlled access of local correction data	Controlled access of value-added data
Certification and Service Guarantees	No	Guarantee of service possible		Blatid for certification, guarantee of service possible		Yes

Serviços de Busca e Salvamento:

Disponibilidade: 99% Capacidade: até 150 pedidos simultâneos

Sistemas de Telecomunicações II

Carlos Correia FEUP - 2003

Para além de fornecer a posição e informação correcta do tempo em todo o mundo, o sistema de posicionamento global Galileo engloba ainda vários serviços:

Distribuição de energia: sincronização de mecanismos de monitorização.

Finanças, Bancos e Seguros: aumento de segurança nas transacções financeiras on-line.

Agricultura e pescas: monitorização e controlo de pragas.

Navegação pessoal: através da interligação do sistema Galileo e de sistemas de telecomunicações, abrem-se expectativas de serviços que recorram a dados de posição para transmissão dos seus sinais.

Salvamentos: no auxílio a vítimas de desastres naturais.

Controlo de crises: no uso rápido e adequado dos recursos.

Gestão Ambiental: novas possibilidades de investigação em áreas ambientais, em projectos aplicados a áreas territoriais mais abrangentes.

Recreação: aviação e desportos marítimos.

Transportes: aviação civil e comercial, transportes férreos e marítimos.

Acrónimos:

CS: Commercial Service
EC: European Commission
EGNOS: European Geostationary Navigation Overlay Service
ESA: European Space Agency
ESTB: EGNOS System Test Bed
Eurocontrol: European Organisation for the Safety of Air Navigation
GNSS: Global Navigation Satellite System
GOC: Galileo Operating Company
GPS: Global Positioning System
GSFF: Galileo System Simulation Facility
GSM: Global System for Mobile Communications
GSTB: Galileo System Test Bed
ICAO: International Civil Aviation Organisation
IGS: International GPS Service
IMO: International Maritime Organisation
ITU: International Telecommunications Union
JU: Joint Undertaking
MSAS: MT Sat-based Augmentation System
OS: Open Service
PRS: Public Regulated Service
RIMS: Ranging and Integrity Monitoring Station
RNSS: radionavigation satellite service
SAR: search and rescue
SoL: Safety-of-Life
TAI: Temps Automatique International
TC: telecommand
TM: telemetry
TT&C: Tracking, Telemetry & Command
UMTS: universal mobile telecommunications system
UN: United Nations
UTC: Universal Time Coordinated
VSAT: very small aperture terminal
WAAS: Wide Area Augmentation System
WRC: World Radio Conference

Referências:

CUNHA, Telmo Reis – **High Precision Navigation Integrating Satellite Information – GPS – and Inertial System Data**. Porto: Edições FEUP, 2002.

SALEMA, Carlos – **Feixes Hertzianos** – Lisboa: IST,1994.

KARAMALI, Apostolia – **Galileo The European Programme for Global Navigation Services** – The Netherlands: ESA Publications Division, 2002. Disponível em <http://ravel.esrin.esa.it/docs/GalileoBrochure.pdf>.

BENEDICTO,J., S.E.Dinwiddy, G. Gatti, R. Lucas, M. Lugert - **GALILEO : Satellite System Design and Technology Developments** : : ESA Publications Division, November 2000.

Disponível em

http://ravel.esrin.esa.it/docs/galileo_world_paper_Dec_2000.pdf

Fisher, James, Steve Simpson, Thomas Welsh - **An Urban Canyon Multipath Model for Galileo** - European Navigation Conference, Copenhagen 2002.

FERNADÉZ, António, José Díez - **Galileo Receiver Simulator (GARSIM)** – Genève, Junho 2003.

Galileo – Services and applications - EC/ESA Seminar on Space – Warsaw 20th June 2002.

Informação diversa na INTERNET:

<http://www.esa.int/export/esaSA/navigation.html>

<http://www.polestar-corporate.com>

<http://www.trimble.com/gps/>

<http://www.garmin.com/aboutGPS/>

ESA LEAFLETS:

http://www.esa.int/export/esaSA/SEMP0I5V9ED_navigation_0.html

soil4213.okstate.edu/2003/gps2002.ppt