

WE LOOK AFTER THE EARTH BEAT

# Melhorar a navegação por satélite em América do Sul com tecnologia europeia

Mathias van den Bossche → FIESP

31/05/2016

01/10/2015

Ref.: 0005-0006081360

THALES ALENIA SPACE CONFIDENTIAL

ThalesAlenia  
A Thales / Finmeccanica Company  
Space

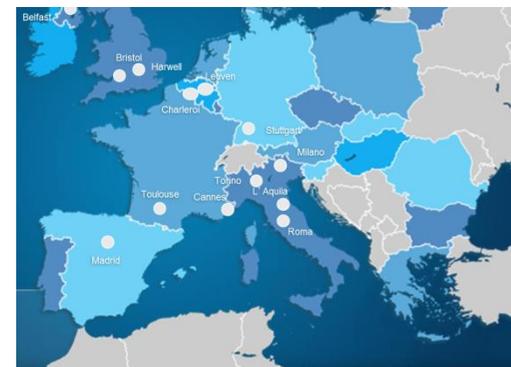
# Agenda

Esta apresentação é dedicada a explicar o ponto de vista dum industrial europeu maior da navegação por satélite sobre o que pode estar desenvolvido neste tema em América do Sul, e como este desenvolvimento pode ser feito.

- TAS, o ator industrial maior da navegação por satélite em Europa
- Os desafios da navegação por satélite e a situação mundial
- Funcionamento e ameaças para o posicionamento por satélite
- Soluções contra as ameaças
- A nossa experiência e proposta para América Latina
- O desempenho potencial
- Conclusões

# Apresentação de Thales Alenia Space em Navegação

- Thales Alenia Space é uma empresa **Franco-Italiana** de 7500 empregados em satcoms, observação, infraestrutura espacial, ciências e navegação
- Em navegação por satélite trabalham mais de 300 pessoas em TAS
- Depois os anos 1990 **trabalhamos em todos os numerosos projetos Europeus** de navegação por satélite, junto com a Comissão Europeia/GSA e ESA
  - Euridice para demonstração dum satélite de navegação
  - EGNOS System Test Bed como **prime** contractor
  - EGNOS como System Prime contractor depois 1998
  - Galileo Mission Segment prime contractor depois 2005
  - Galileo System Engineering contractor depois 2005
  - EGNOS system maintenance contractor depois 2011
- Temos responsabilidades de **engenharia geral** (desenho do sistema, procurement, integração, entrega, etc)
- Além do nível sistema, temos também a capacidade de produzir **varias partes** do sistema.



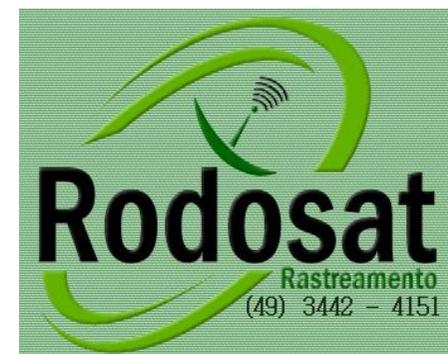


## Desafio : Serviços a nível estatal

Uso principal: forças armadas, mas também:

- Fonte de tempo para **sincronizar** infraestruturas críticas
  - Redes de telecomunicações
  - Redes de distribuição elétrica
- Vai ser usado cada vez mais para a **navegação aérea** (p.ex. Gol)
- Rastreamento de **frotas de caminhões** para gestão e fiscalização (p.ex. Rodosat)
- serviços de **socorro** em caso de emergência
- **agricultura de precisão** para melhorar a produção nacional
- Prospecção, proteção e gestão de **recursos naturais** (guarda florestal, mineração, etc)

**Gratuito, mas sem garantia para o usuário**



# Situação mundial da implementação dos sistemas de SatNav

## Constelações de satélites

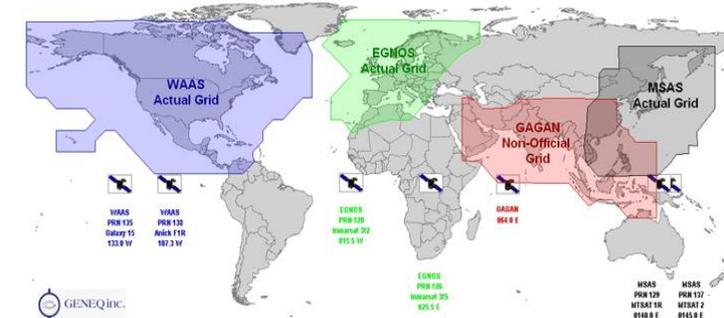
- Navstar '**GPS**' > 1992, US Air Force → 31 satélites operacionais
- ГЛОНАСС '**Glonass**' > 1996, Força de Defesa Aeroespacial russa → 24 satélites operacionais
- **Galileo** > 2020, Comissão Europeia → 11 satélites operacionais
- 北斗 **Běidǒu** > 2020 → 17 satélites operacionais

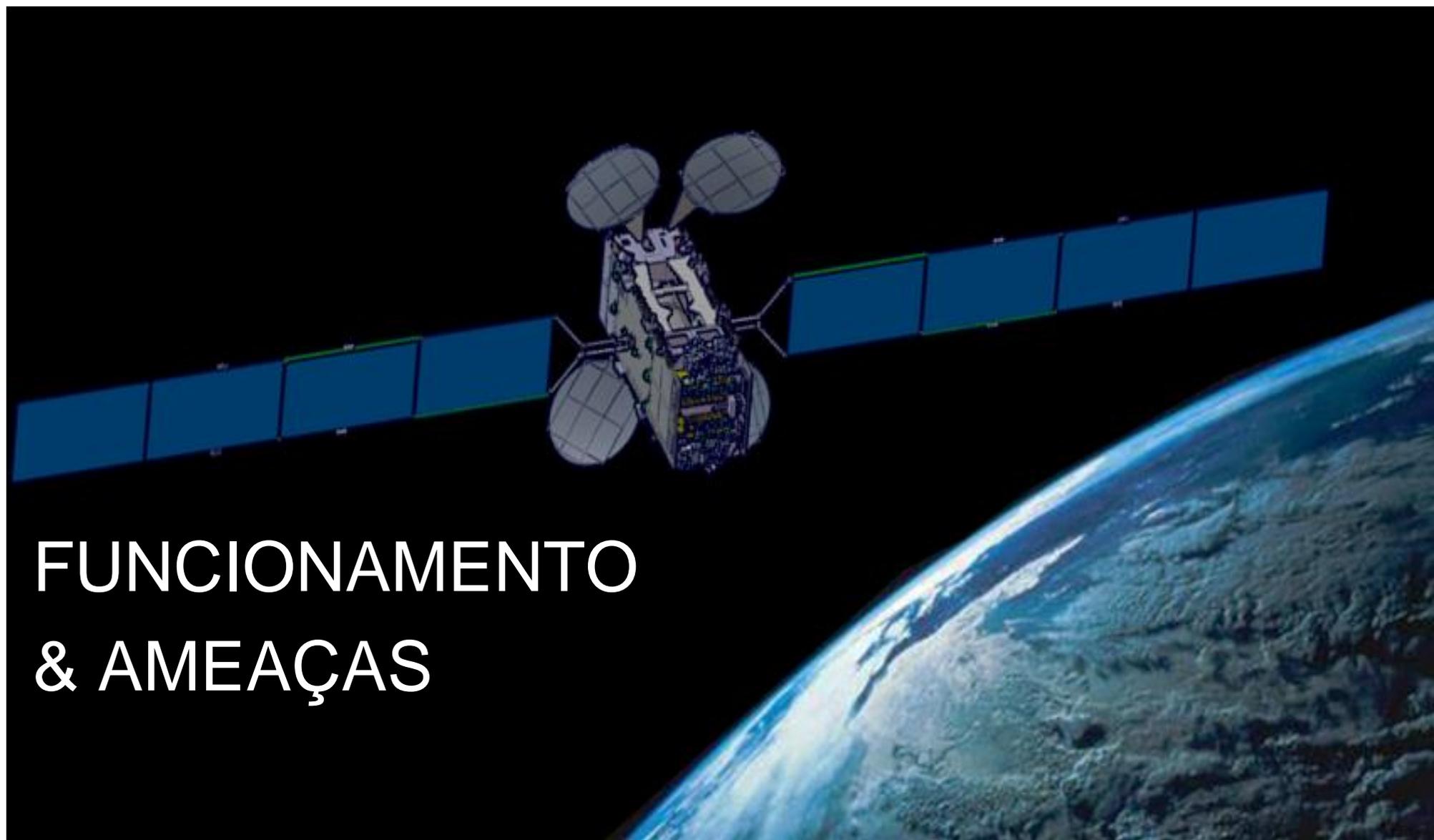
## Sistemas de melhoria: informações adicionais às das constelações

- **SBAS**: WAAS, **EGNOS**, MSAS, GAGAN (SDCM, QZSS)  
→ cobrem **continentes**, garantem que o erro < 35m com uma probabilidade > 0.9999998
- **GBAS**: Newark, Houston, Bremen, Málaga, Sydney (RJ)  
→ **20 km** em torno dos aeroportos garante o erro < 15 m com probabilidade > 0.9999998
- Serviços comerciais de melhoria da precisão StarFire and Omnistar oferecem ~ 1m, mas **sem garantia**.

## Nos receptores

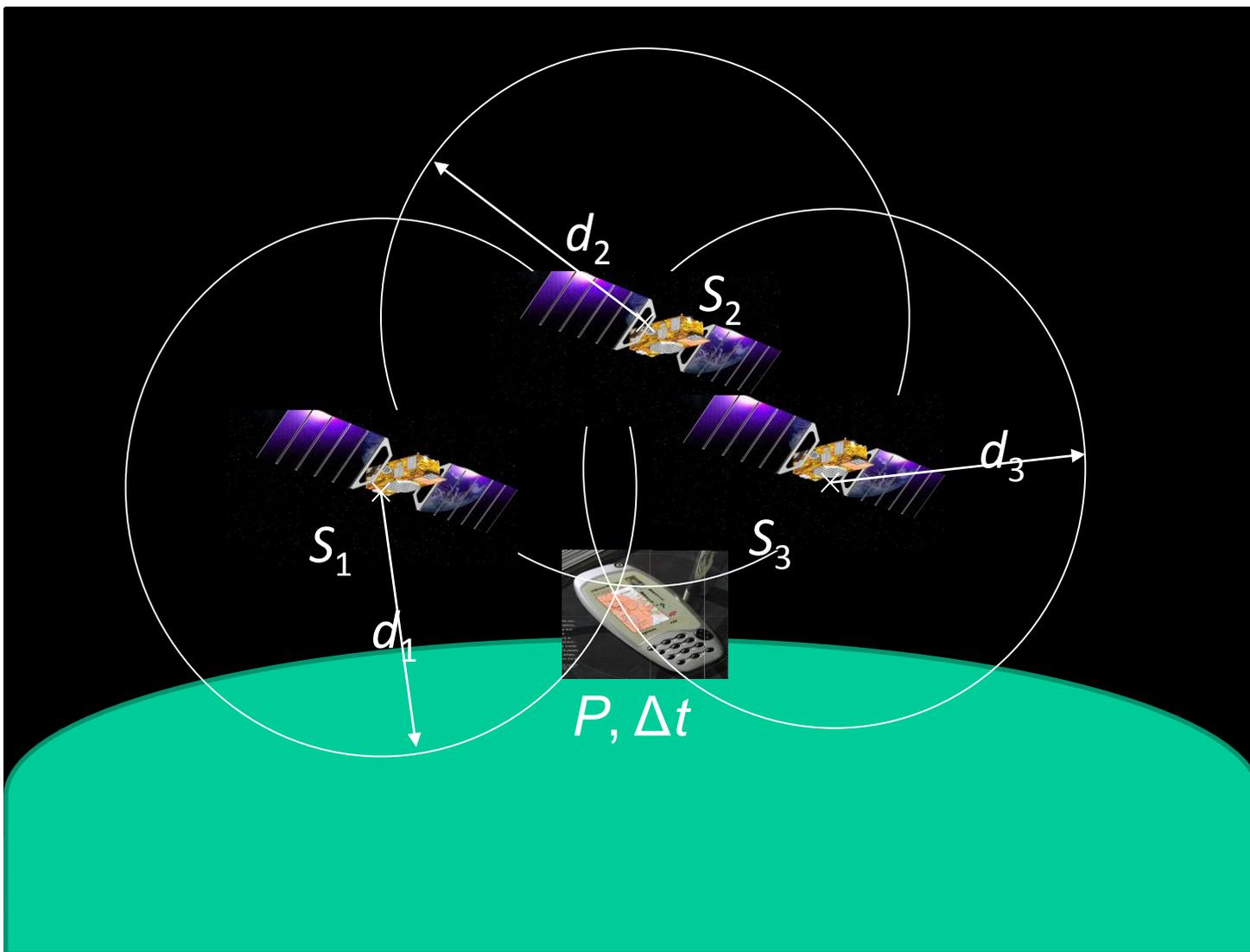
- GPS e GPS+SBAS certificados para aviação e também no mercado de massas,
- GPS + GLONASS: nos telefones **Samsung e i-phones**
- Galileo, BeiDou: ainda principalmente experimentais





# FUNCIONAMENTO & AMEAÇAS

# Como funciona um sistema de posicionamento por satélite?



Os satélites difundem suas posições  $S_1, S_2, S_3, \dots$

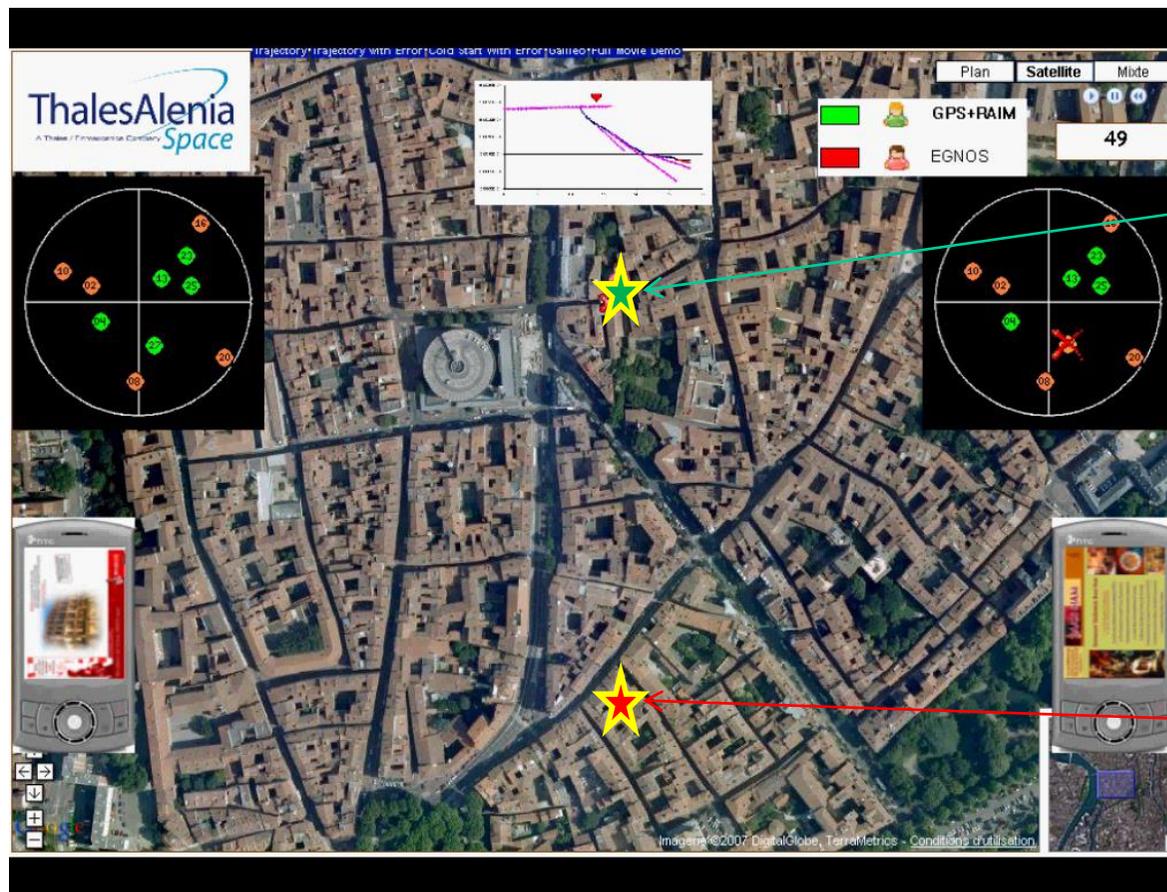
O terminal mede as distâncias  $d_1, d_2, d_3, \dots$  por tempo de propagação:

$$d_1 = c (t_{r1}^{Rx} - t_{e1}^{Const})$$

=> O terminal calcula a sua posição  $P$  e atraso de relógio  $\Delta t$  (i.e.  $t^{Rx} - t^{Const}$ ) 'a intersecção dos círculos'

# As ameaças para o posicionamento por satélite

- Ameaça **geopolítica**: impede o acesso à constelação
- Ameaça **técnica**: avaria de um satélite



Posição real



Avaria do relógio  
do GPS 29

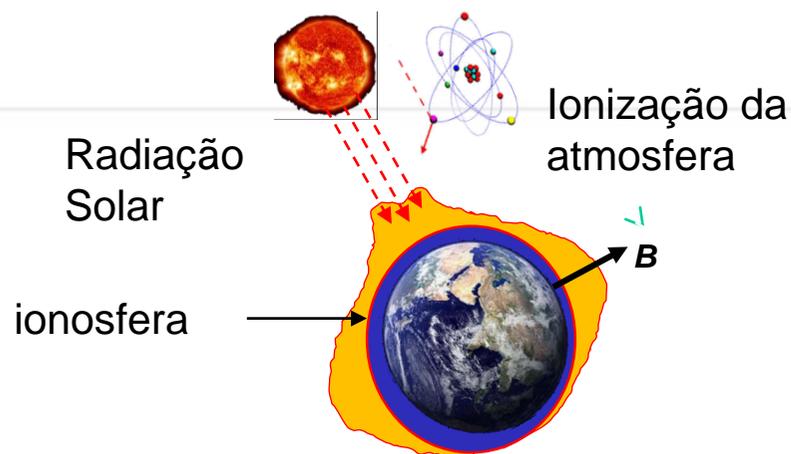


Posição calculada

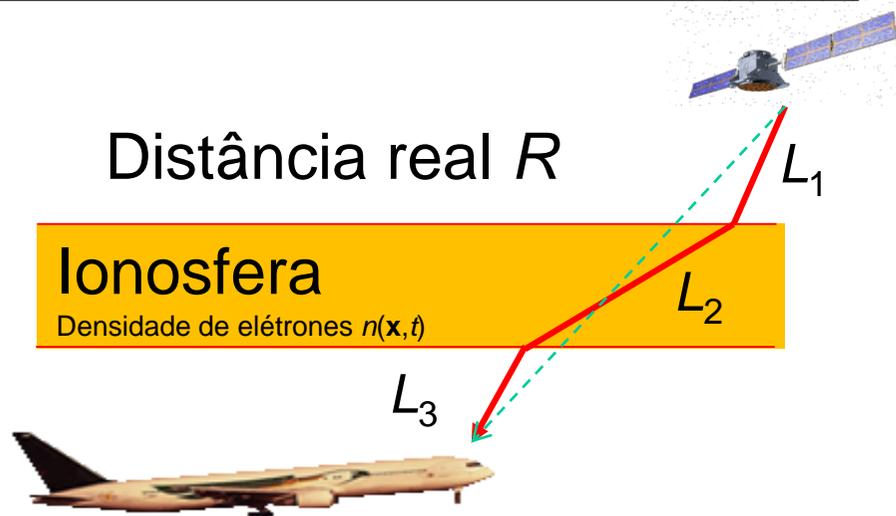
- Ameaça **natural**: ionosfera

# A ameaça ionosférica

A causa: a luz do sol ioniza a atmosfera e cria um plasma ao redor da Terra: a ionosfera



O efeito: o plasma modifica a propagação do sinal GPS e as medidas são inexatas de ~ 30 m, o que tem um efeito de ~ 50 m no erro de posição.



$$\text{Medida } d = L_1 + L_2 + L_3$$

$$\text{Erro} = L_1 + L_2 + L_3 - R$$

$$= \lambda^2 n L_2 + o(\lambda^3)$$

$$= \lambda^2 (\text{conteúdo total em elétrons}) \sim 30 \text{ m}$$

=> E preciso corrigir os efeitos ionosféricos para um posicionamento confiável!

# O caso da ionosfera brasileira

## A ionosfera equatorial é muito ativa

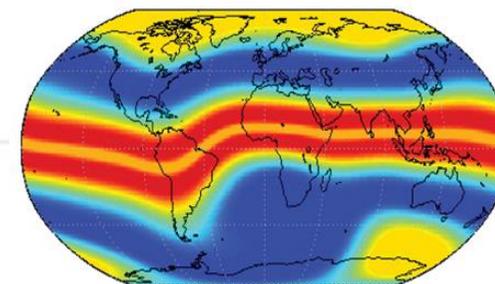
- A exposição à radiação solar é máxima
- O campo magnético horizontal + movimentos verticais de maré
  - => Correntes equatoriais => pico de ionização

## A anomalia do Atlântico do Sul é próxima ao Brasil

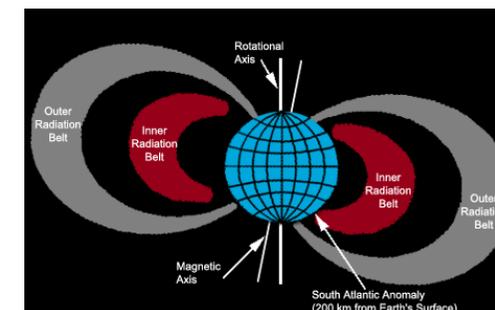
- A cinta de Van Allen está mais próxima da superfície da Terra
- => Ainda mais plasma !

## Resultado : o conteúdo total em elétrons

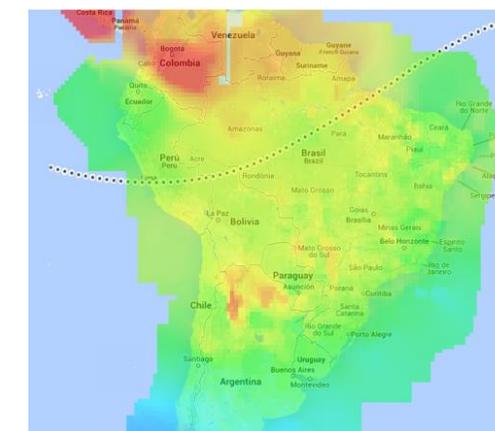
- É alto → atrasa e absorve os sinais de navegação
- Varia fortemente sobre escalas curtas
  - gradientes fortes, depleções, bolhas de plasma
  - desvia e volta a focalizar os sinais
- Varia fortemente com o tempo
  - com a rotação da Terra (1500 km/h)
  - Com a cinética da recombinação do plasma



Credits ICAO



Credits Wikimedia



Credits INPE



Credits Wikimedia



# Soluções contra as ameaças

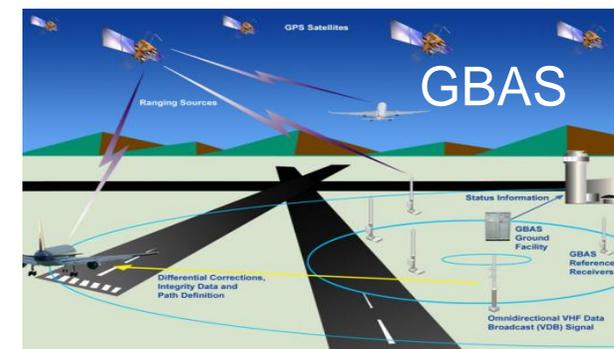
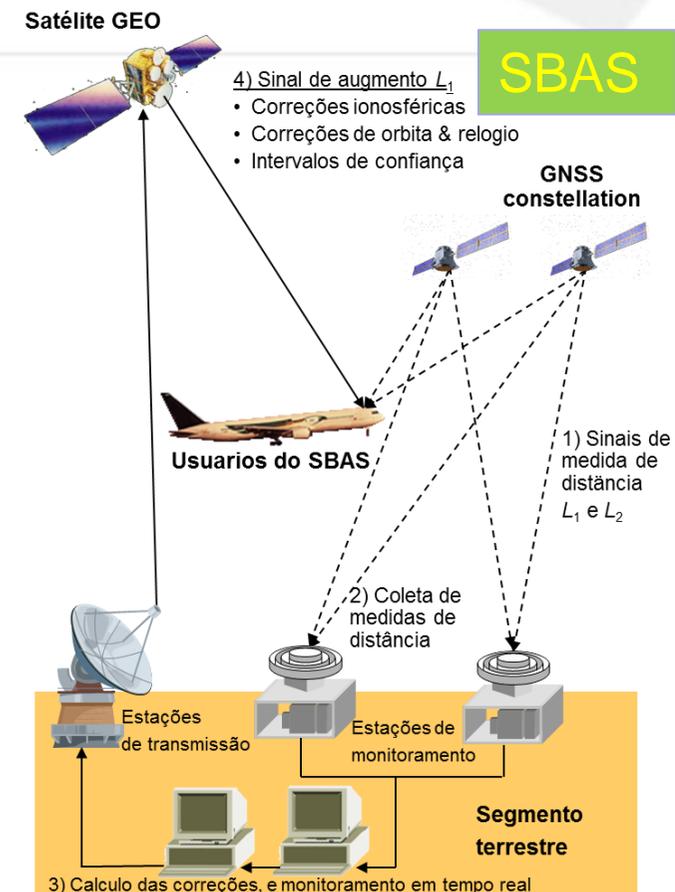
No passado, a solução era implantar uma constelação

Atualmente, outras soluções existem: o importante é:

- não depender de uma constelação única (4 estarão disponíveis em 2020)
- ter um sistema de validação do funcionamento (e de correção adicional) em tempo real :
  - dos satélites ; sat #N OK ou não OK
  - da ionosfera (lat, lon) OK ou não OK
- controlar este sistema a nível nacional

As soluções são :

- desenvolver um sistema original
- adoptar uma solução já padronizada
  - Para servir um país ou um continente → SBAS (sat, iono separados)
  - Para servir uma zona de ~ 20 km → GBAS (sat + iono juntos, com risco de contaminação pela iono)



# A ionosfera e a navegação por satélite no Brasil

**Caso o objetivo seja melhorar a confiabilidade do posicionamento por satélite no Brasil, é preciso:**

- ter o **número máximo de satélites** no cálculo para resistir às perdas de medidas,
- **corrigir o atraso ionosférico** dos sinais de navegação,
- **tomar as medidas necessárias** quando o estado da ionosfera não for compatível com a segurança dos usuários,
- **separar a ionosfera dos satélites**, para poder monitorizar a ionosfera precisamente, p.ex. com mapas tipo meteorológicos
- saber **modelar para prever** a ionosfera brasileira, que tem condições que são as piores do mundo! o INPE tem especialistas de nível mundial neste tema!



# NOSSAS EXPERIENÇA & PROPOSTA

# A nossa experiência

## A Thales Alenia Space desenvolve EGNOS

Depois de 1998, a Thales Alenia Space desenvolve EGNOS, o sistema de melhoria baseado em informações satelitais (SBAS) usado pela navegação aérea na Europa.

## O sistema implantado – certificado no 2011

- 39 estações com relógios atômicos Rb ou Cs
- Uma rede de informação em tempo real transcontinental
- 4 centros de controle de missão
- 3 GEOs: 2 para operações e 1 para testes
- 6 estações de transmissão (NLES) para os 3 GEOs

## Uma comunidade de usuários cada mês maior

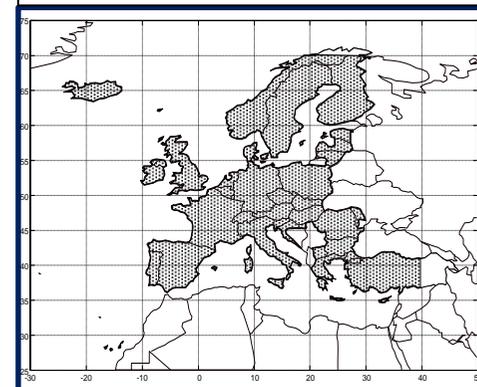
- **Aeroportos** em toda Europa
- **Agricultores** em toda Europa
- A próxima comunidade são os usuários **marítimos e fluviais**

## Uma experiência original

- Um sistema **espacial com segurança** aeronáutica
- Uma forte capacidade de **modelização da ionosfera** europeia

**A TAS desenvolveu EGNOS, o SBAS Europeu, certificado**

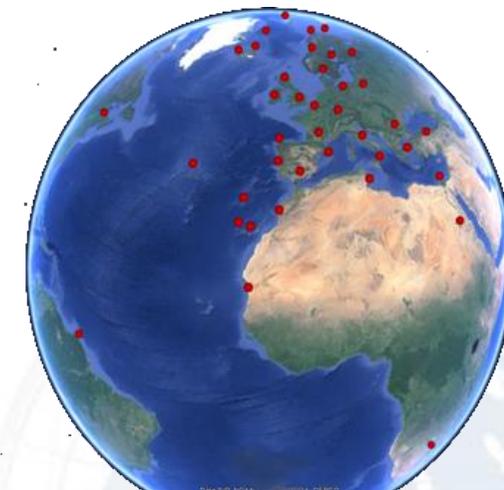
The ECAC land masses



A RIMS de Tromsø



A NLES de Fucino



As estações  
EGNOS

**ThalesAlenia**  
Space  
A Thales / Finmeccanica Company

## Para Brasil, propomos um sistema ...

... para melhorar a navegação por satélite com Galileo em mais do GPS

- controlado pelas autoridades brasileiras
- que valide o uso de **várias constelações** (GPS, GAL, GLO...) para não depender de um País particular
- que cubra todo o **Brasil**, ou mais, (países vizinhos)
- que observe a ionosfera e difunda **correções do atraso ionosférico**
- que permita detectar as perturbações de ionosfera e **alertar os usuários** quando o serviço não é mais confiável
- que possa satisfazer as **regras aeronáuticas** ou evoluir facilmente para satisfaze-las.

## Propomos um desenvolvimento ...

... colaborativo franco-brasileiro; para esta solução:

➤ baseado na **experiência com o EGNOS**

➤ Já temos equipamentos de serie

➤ Já temos uma base algorítmica para o Centro de Processamento

➤ E temos experiência na certificação aeronáutica; caso necessário

➤ para e **com atores** brasileiros

➤ autoridades da **navegação** aérea, e outras instituições

➤ **especialistas brasileiros** do clima espacial → INPE, ICEA, etc

➤ fabricantes de **equipamentos** → para desenvolver a capacidade brasileira

➤ fornecedores de **serviços locais** → comunicações, operações, etc

A primeira etapa proposta é realizar estudos preliminares para estabelecermos a viabilidade do sistema.



# DESEMPENHO POTENCIAL

## Exemplo: viabilidade e desempenho inicial

Utilizamos as medidas de 30 estações da rede do IBGE 'RBMC'

- Um dia de condições normais (20/04/2015)
- O pior dia dos últimos 3 anos (01/03/2014)

Inserimos as medidas em nossos algoritmos para saber quão longe estávamos do objetivo

~ sistema experimental de melhoria

Calculamos o desempenho como no caso do serviço aeronáutico APV-I:

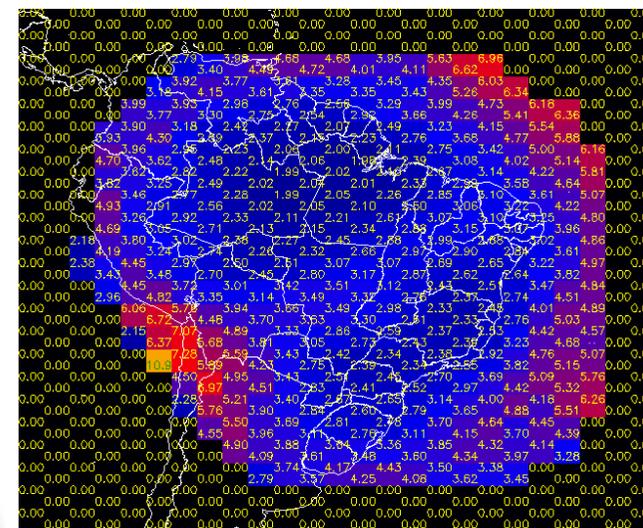
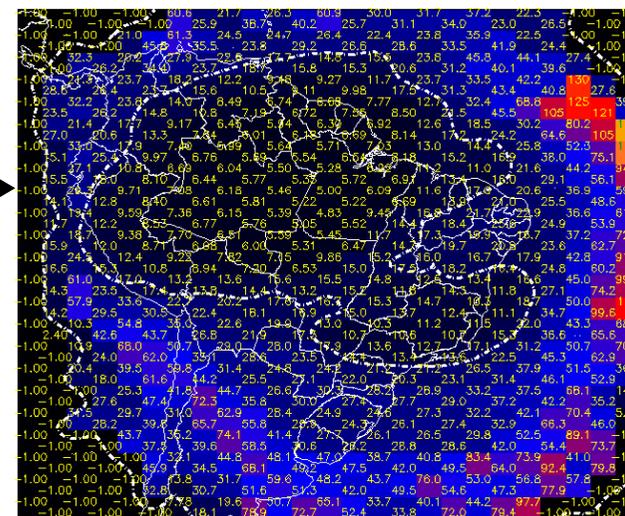
- precisão sem e com correção
- margens de segurança
- mapa de disponibilidade do serviço



*A rede de estações do IBGE  
→ Usamos as vermelhas*

# Exemplo: comparação da precisão de posicionamento

	Só GPS (RMS)	GPS + correções (RMS)
20/04/2015 Horizontal	entre 2.5 e 11 m	Entre 1 e 1.5 m
20/04/2015 Vertical	Entre 10 e 15 m	Entre 2 e 3.5 m
01/03/2014 Horizontal	Entre 6.5 e 22 m	Entre 4 e 5 m
01/03/2014 Vertical	Entre 15 e 35 m	Entre 4 e 5 m



## Conclusão preliminar

- Forte melhoria da precisão de posicionamento, em todas as condições da ionosfera
- Com as correções e os alertas, a precisão é garantida

# Exemplo : serviço APV-I para Aproximação de Precisão

## Margens de segurança

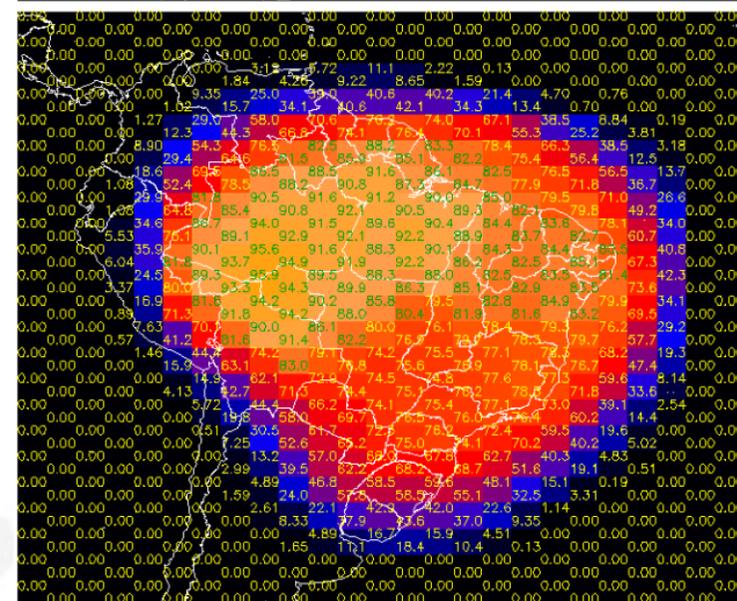
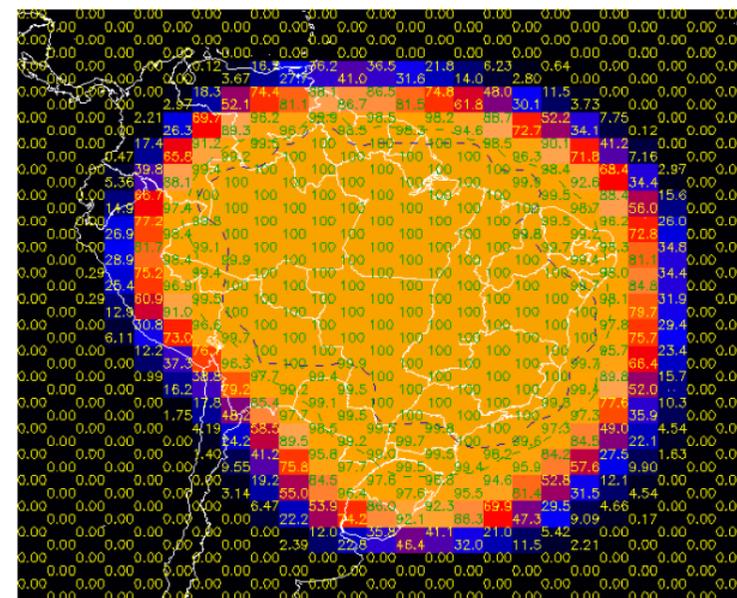
- 50% em média, 22% no pior caso
- Tanto para o dia normal quanto para o pior dia

## Disponibilidade

- O dia normal cobre quase todo o país com 99% de disponibilidade
- No pior dia, a disponibilidade é de 75% no sul, devido às condições ruins da ionosfera, ainda assim, seguro.

**Conclusão preliminar:** sem adaptar os algoritmos do sistema, já vemos que um nível de serviço adequado é viável.

Como esperado, apesar da interferência da ionosfera, o sistema disponibiliza dados seguros todo o tempo.





# Conclusão

- O posicionamento por satélites é um serviço que tem abrangência global e deve ser gerido ou monitorado/melhorado pelo estado
- Este serviço pode sofrer ameaças humanas, técnicas ou naturais que podem degradar o impedir seu uso
- Existem soluções como as desenvolvidas em Europa para um País continental como o Brasil ter um serviço confiável
- A solução é um sistema de melhoria do sinal das constelações GPS, Galileo, etc disponíveis pelo uso dum sinal difundido por um ou dois satélites brasileiros.
- A TAS propõe trabalhar junto com atores da indústria e das instituições brasileiras para definir e estudar a viabilidade e, possivelmente, implementar tal serviço.
- Já temos elementos preliminares para demonstrar que a viabilidade não deve ser um problema, contudo queremos melhorar estes elementos com especialistas brasileiros.

WE LOOK AFTER THE EARTH BEAT



**Muito  
obrigado!**

27/11/2014

Ref.: 0005-0006081360

THALES ALENIA SPACE CONFIDENTIAL

ThalesAlenia  
A Thales / Finmeccanica Company  
Space