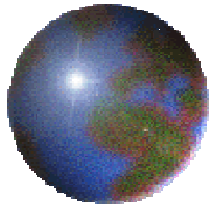
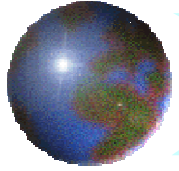


Universidade Federal do Paraná
Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura



GA119 - MÉTODOS GEODÉSICOS

Profa. Regiane Dalazoana



4 – Métodos baseados em Geodésia Espacial

4 – Métodos baseados em Geodésia Espacial

4.2 – Outras metodologias

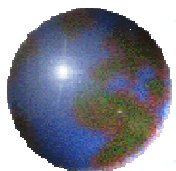
4.2.1 – LASER (SLR e LLR)

4.2.2 – VLBI

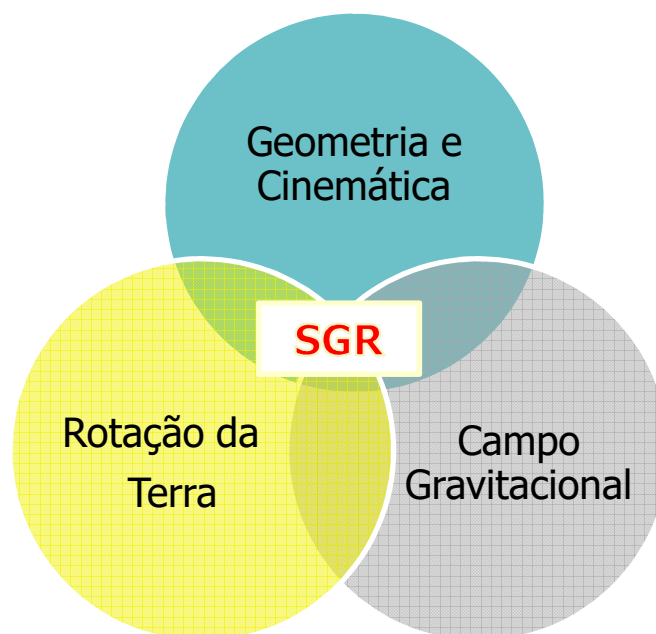
4.2.3 – DORIS

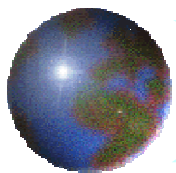
4.2.4 – Altimetria por satélites

4.2.5 – Gravimetria por satélites



- ❖ Novos **Métodos Geodésicos** permitem as observações aplicáveis a modelagens no contexto dos "três pilares da Geodésia" e Sistemas Geodésicos de Referência (SGRs).
- ❖ Métodos terrestres, aéreos e espaciais
- ❖ Monitoramento da forma da terra, campo gravitacional e rotação com acurácia, resolução e estabilidade sem precedentes.





AS BASES E FERRAMENTAS DA GEODÉSIA MODERNA



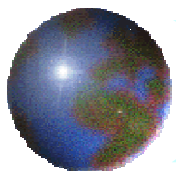
ADAPTADO DE: H.-P. Plag & M. Pearlman
(eds.), 2009. Global Geodetic Observing
System, Springer, pp. 24.



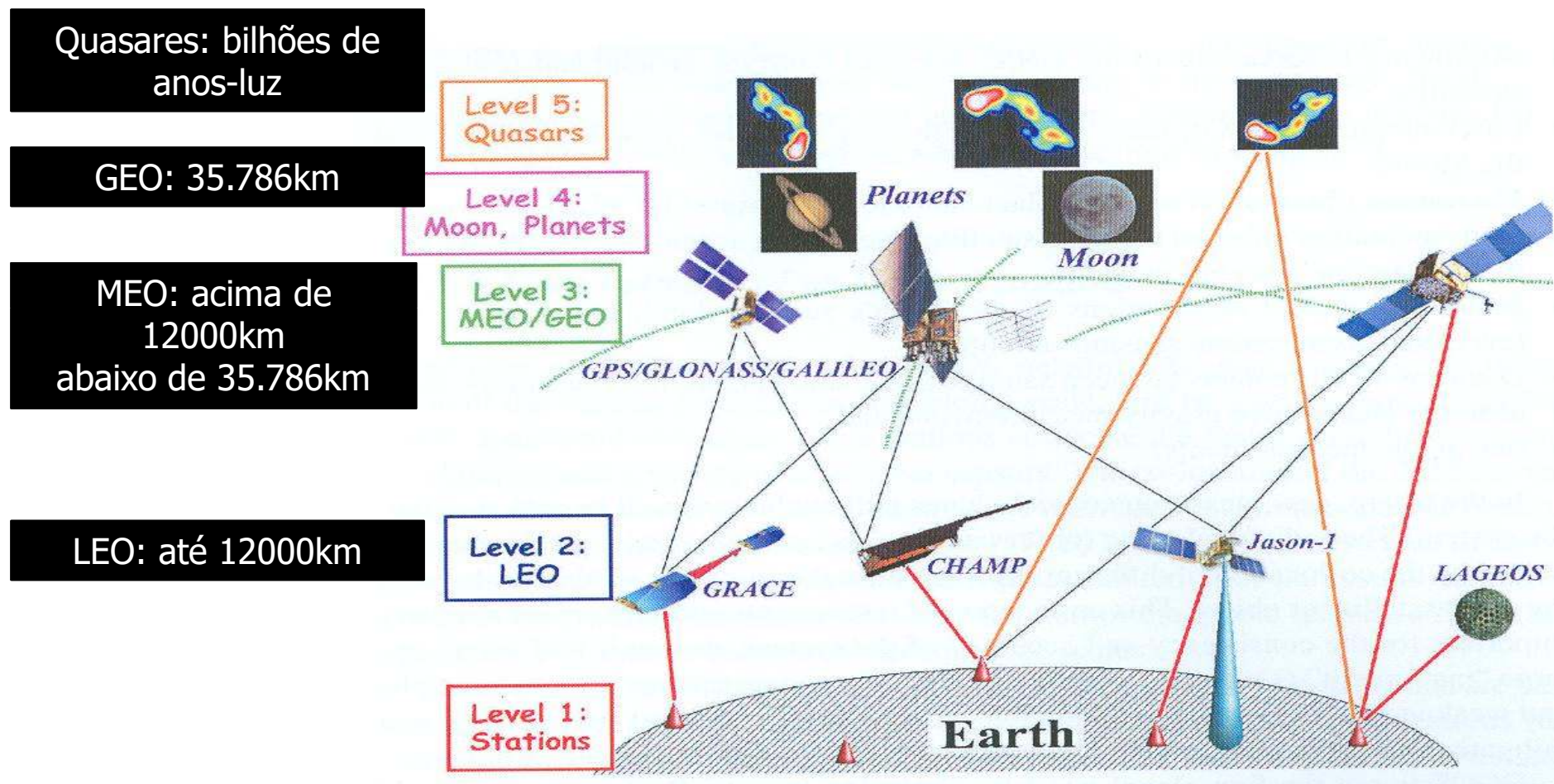
GGOS - Global Geodetic Observing System

- Estabelecido pela *International Association of Geodesy* (IAG)
 - integrar as três áreas fundamentais da Geodésia (3 pilares);
 - monitorar os parâmetros geodésicos e suas variações temporais;
 - realizar estas tarefas em um sistema de referência global com acurácia relativa de 10^{-9} ou melhor.

"Entender o Sistema-Terra e sua evolução no tempo"



5 Níveis do GGOS e suas interações com observações de vários tipos



FONTE: H.-P. Plag & M. Pearlman (eds.), 2009. Global Geodetic Observing System, Springer, pp. 239.



Métodos geodésicos espaciais

PASSIVOS: não emitem sinais mas somente recebem de fontes remotas

ATIVOS: emitem e recebem sinais

MÉTODOS
ATIVOS

SLR
LLR
DORIS

MÉTODOS
PASSIVOS

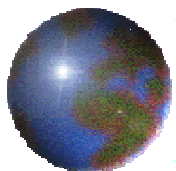
GNSS
VLBI



Estações ILRS (45 estações)



FONTE: <https://ilrs.cddis.eosdis.nasa.gov/network/stations/index.html>



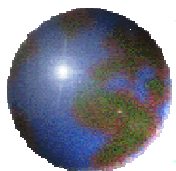
4.2.1 - LASER

Princípio do LASER

SLR - Satellite Laser Ranging

SLR é uma técnica de mensuração do tempo do duplo percurso de um feixe laser desde a estação terrestre até o conjunto retrorefletor no satélite (Terra-Satélite-Terra).





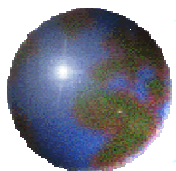
4.2.1 - LASER

- ✚ Provê medidas com precisão milimétrica que ajudam na definição de TRF e suporte à determinação das órbitas precisas;
- ✚ Grande parte dos satélites vinculados às aplicações geodésicas têm retrorefletores para uso desta técnica;
- ✚ É a técnica fundamental para **determinação do geocentro**;
- ✚ Com base em uma rede de cerca de 40 estações, tem atividades coordenadas pelo ILRS.

Satélite
LAGEOS-1

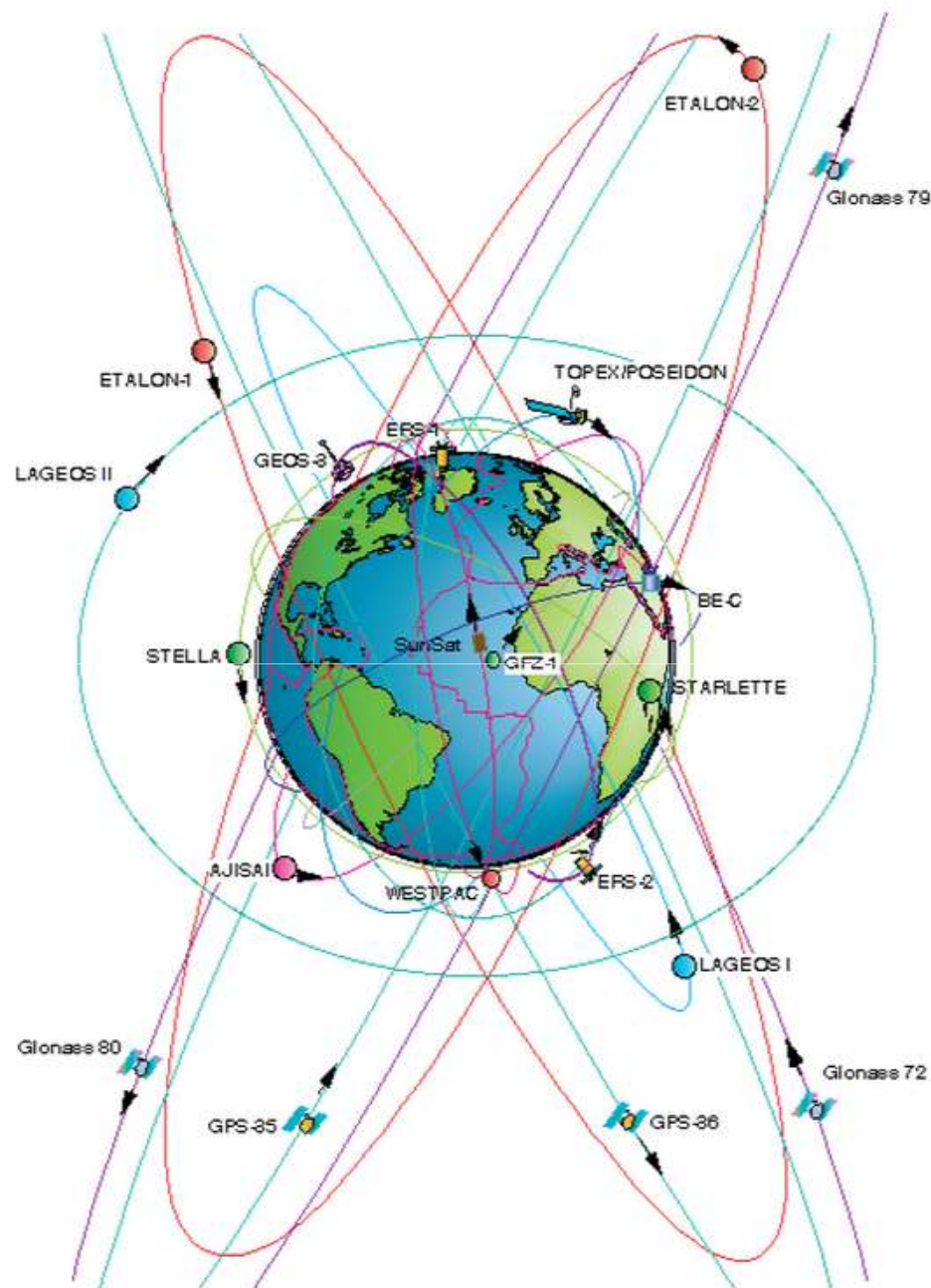
Diâmetro 60cm
Peso ~400kg



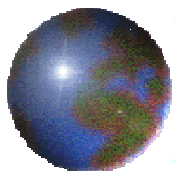


4.2.1 - LASER

*Missões que
utilizam a tecnologia
Laser*



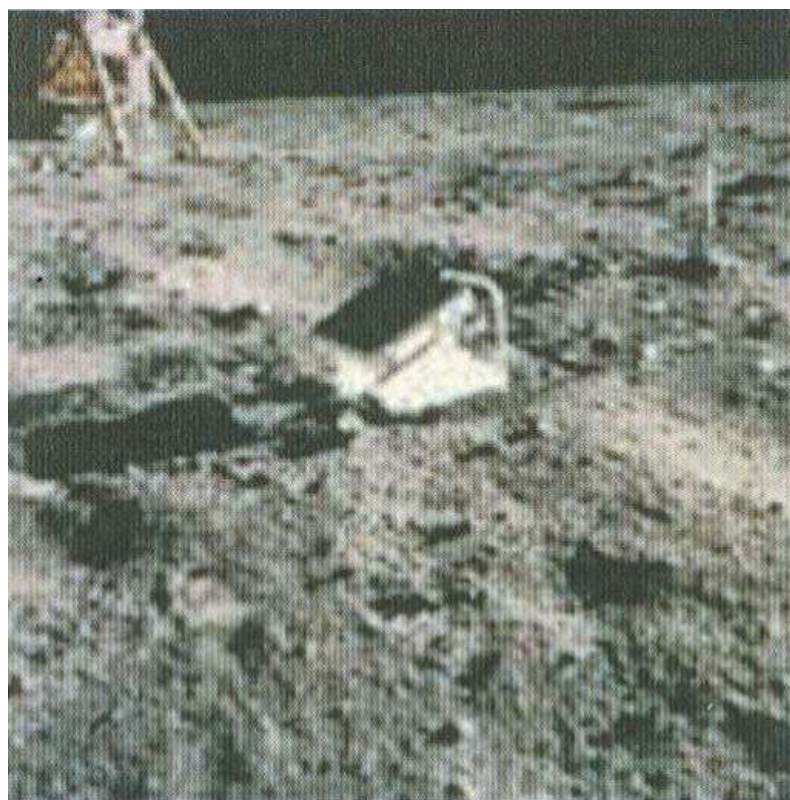
FONTE: http://ilrs.gsfc.nasa.gov/missions/satellite_missions/index.html



4.2.1 - LASER

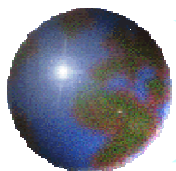
LLR - Lunar Laser Ranging

- Mesmo princípio do SLR, com retrorrefletores instalados na Lua.



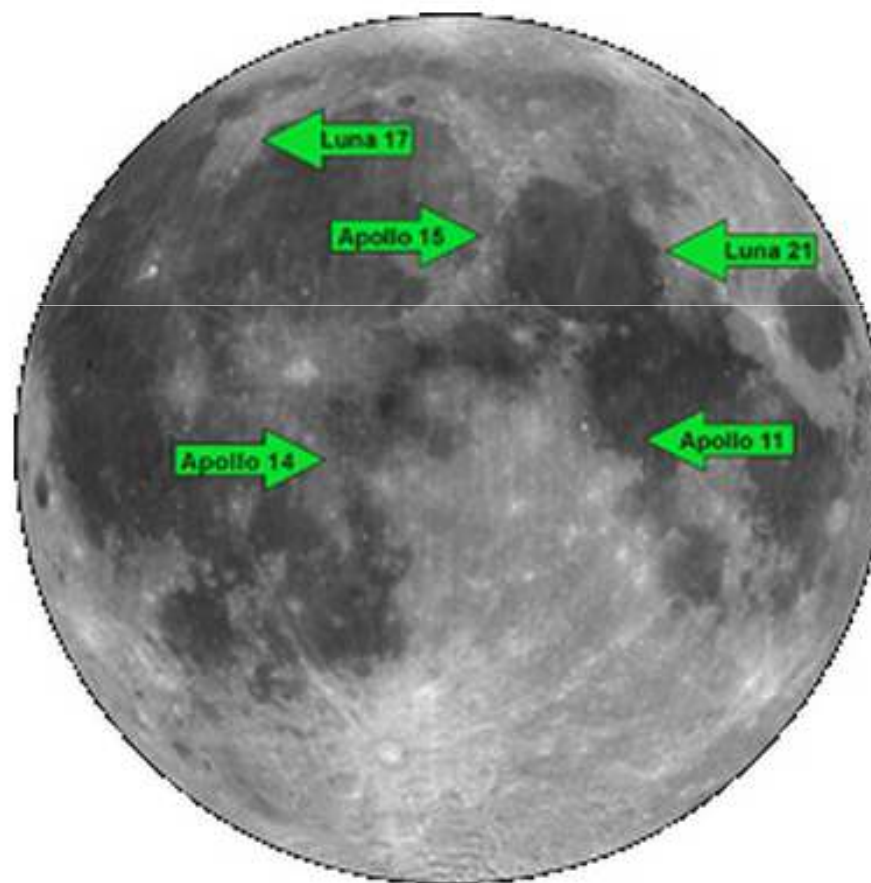
Refletor laser na lua

FONTE: H.-P. Plag & M. Pearlman (eds.), 2009. *Global Geodetic Observing System*, Springer, pp. 31

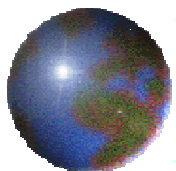


4.2.1 - LASER

LLR - Lunar Laser Ranging
Localização de refletores na Lua



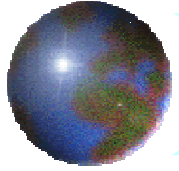
FONTE: <http://ilrs.gsfc.nasa.gov/science/scienceContributions/lunar.html>



4.2.1 - LASER

PRODUTOS DISPONIBILIZADOS PELO ILRS:

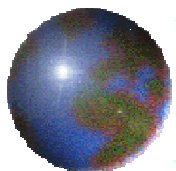
- Parâmetros de Orientação da Terra (movimento do pólo e duração do dia);
- Coordenadas das estações e velocidades dos sistemas de rastreio ILRS;
- Variação no tempo das coordenadas do geocentro $\Delta(T_x; T_y; T_z)$;
- Coeficientes estáticos e variáveis no tempo do campo gravitacional ;
- Efemérides dos satélites com acurácia centimétrica;
- Constantes físicas fundamentais;
- Efemérides lunares e libração;
- Parâmetros de orientação da lua.



4.2.2 - VLBI

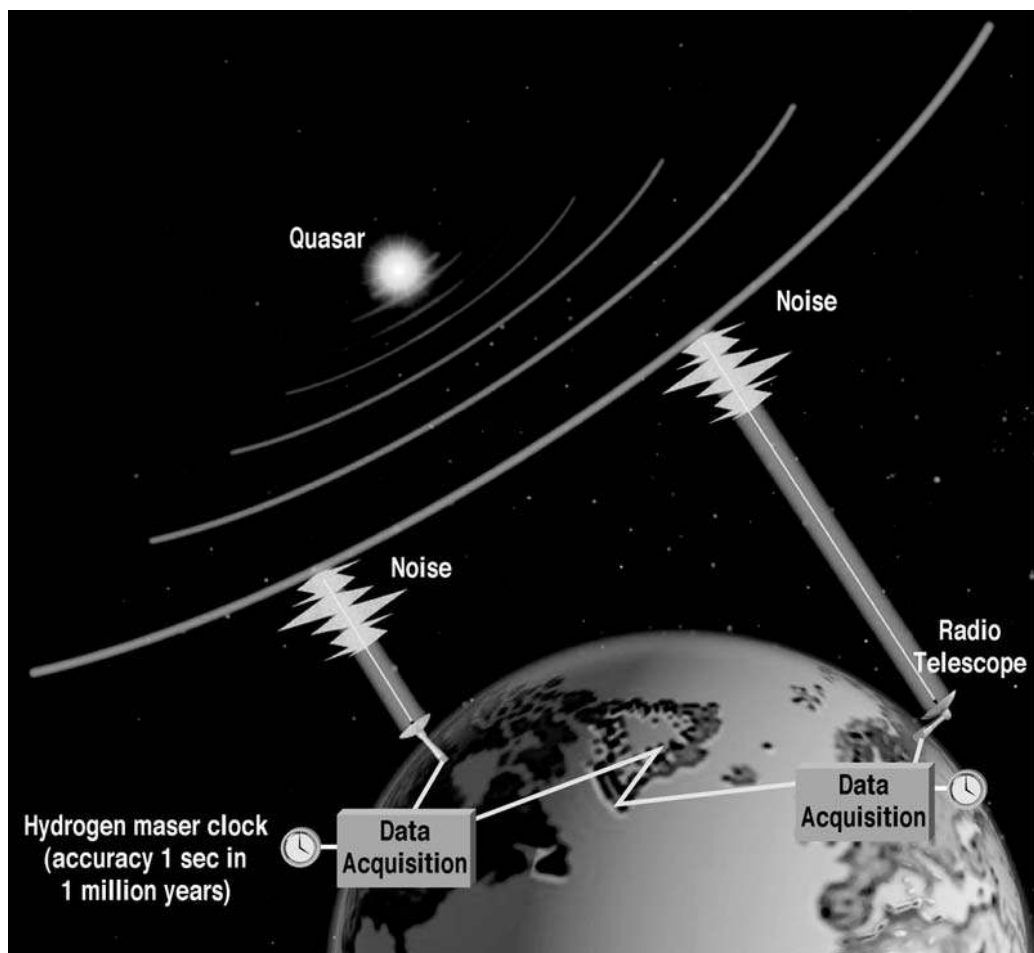
VLBI - Very Long Baseline Interferometry

- Técnica geodésica espacial baseada em rádio astronomia desenvolvida nos anos 70;
- Rádio-interferômetro: um par de antenas direcionais (rádiotelescópios) recebem rádio sinais de objetos extragaláticos (quasares);
- O rádio sinal do quasar é recebido e gravado pela estação VLBI com tempo preciso (estabilidade $\sim 10^{-12}s \Rightarrow 3\text{mm}$);
- O atraso no recebimento do sinal entre as duas estações é utilizado para estimar a posição das estações com precisão melhor que 1cm, e a velocidade relativa pode ser medida com observações de vários anos.



4.2.2 - VLBI

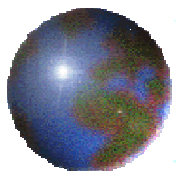
Princípio de funcionamento



Radiotelescópio de 14,2m em Fortaleza

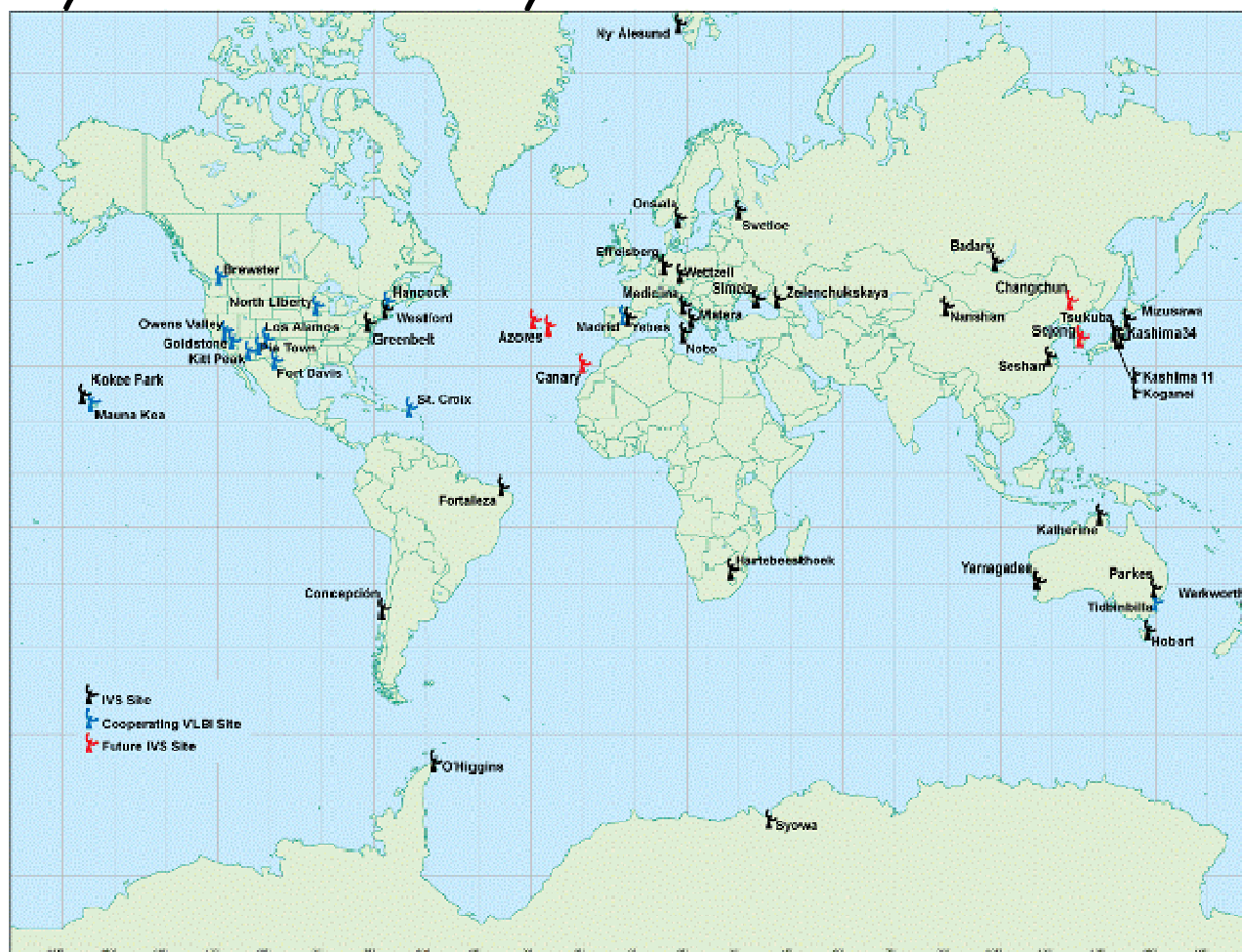
FONTE: <http://ivscc.gsfc.nasa.gov/publications/ar2012/nsfort/>

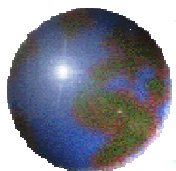
FONTE: H.-P. Plag & M. Pearlman (eds.), 2009. Global Geodetic Observing System, Springer, pp. 28.



4.2.2 - VLBI

- Rede com cerca de 40 estações distribuídas em todo o globo
- Atividades coordenadas pelo IVS - *International VLBI Service for Geodesy and Astrometry*

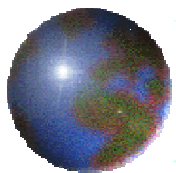




4.2.2 - VLBI

PRODUTOS DISPONIBILIZADOS PELO IVS:

- *Terrestrial Reference Frame (TRF);*
- *International Celestial Reference Frame (ICRF), e*
- *Earth Orientation Parameters (EOP). VLBI é a principal ferramenta na determinação dos EOP;*
- *Única ferramenta para a determinação das coordenadas de quasares;*
- *Vários parâmetros geodinâmicos, astronômicos e meteorológicos.*



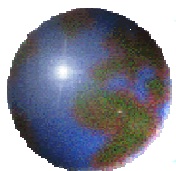
4.2.3 - DORIS

Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite

- Principal objetivo: Determinação das órbitas precisas dos satélites – acurácia na ordem do centímetro
- Manutenção de acessibilidade global e melhoria do *International Terrestrial Reference Frame* (ITRF);
- Monitoramento da rotação da Terra;
- Determinação da posição relativa e absoluta de estações fixas
- Atividades coordenadas pelo IDS – *International DORIS Service*



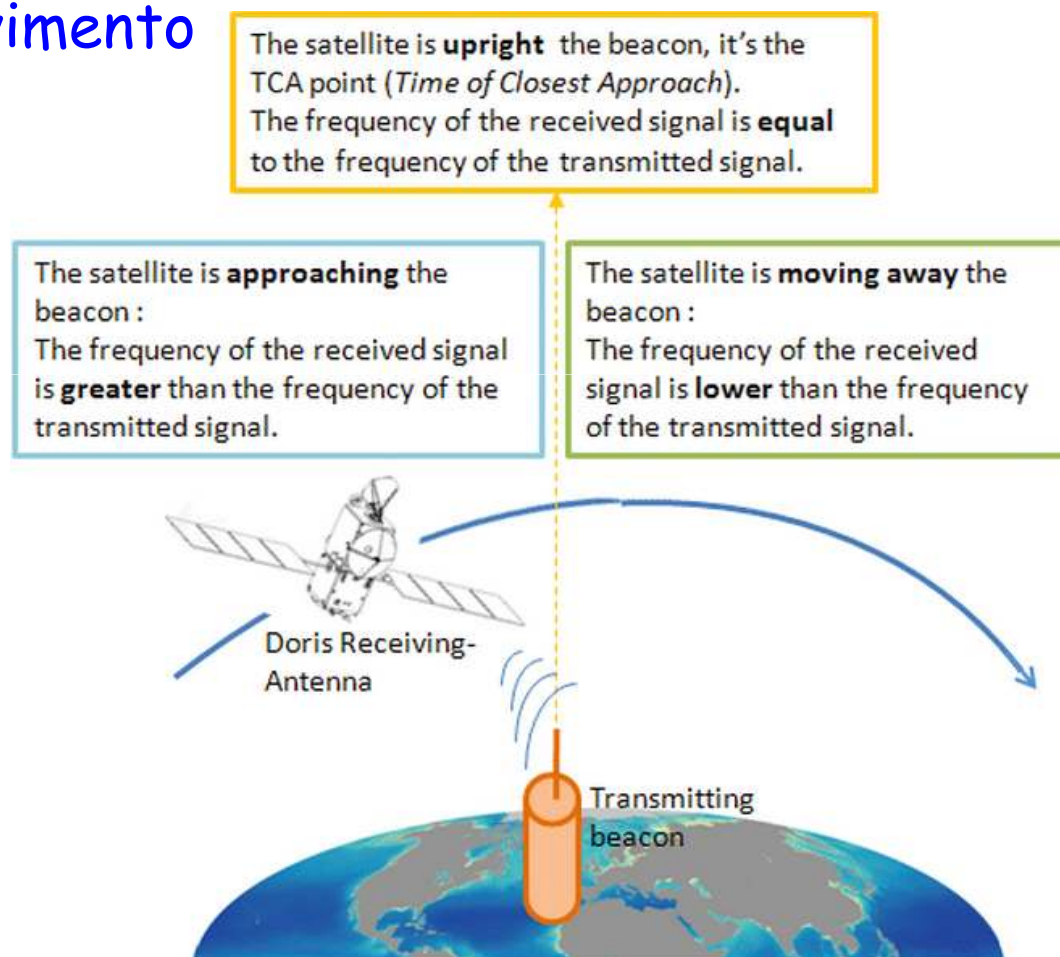
FONTE: <http://ids-doris.org/welcome.html>

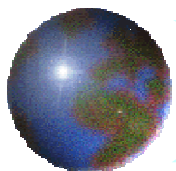


4.2.3 - DORIS

Princípio de funcionamento - Efeito Doppler

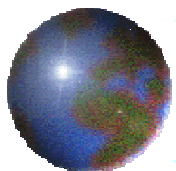
Diferença entre o comprimento de onda emitido e recebido de objetos em movimento





4.2.3 - DORIS



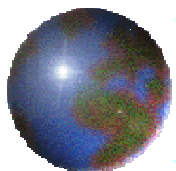


4.2.3 - DORIS

Centros de controle e processamento para o cálculo das órbitas

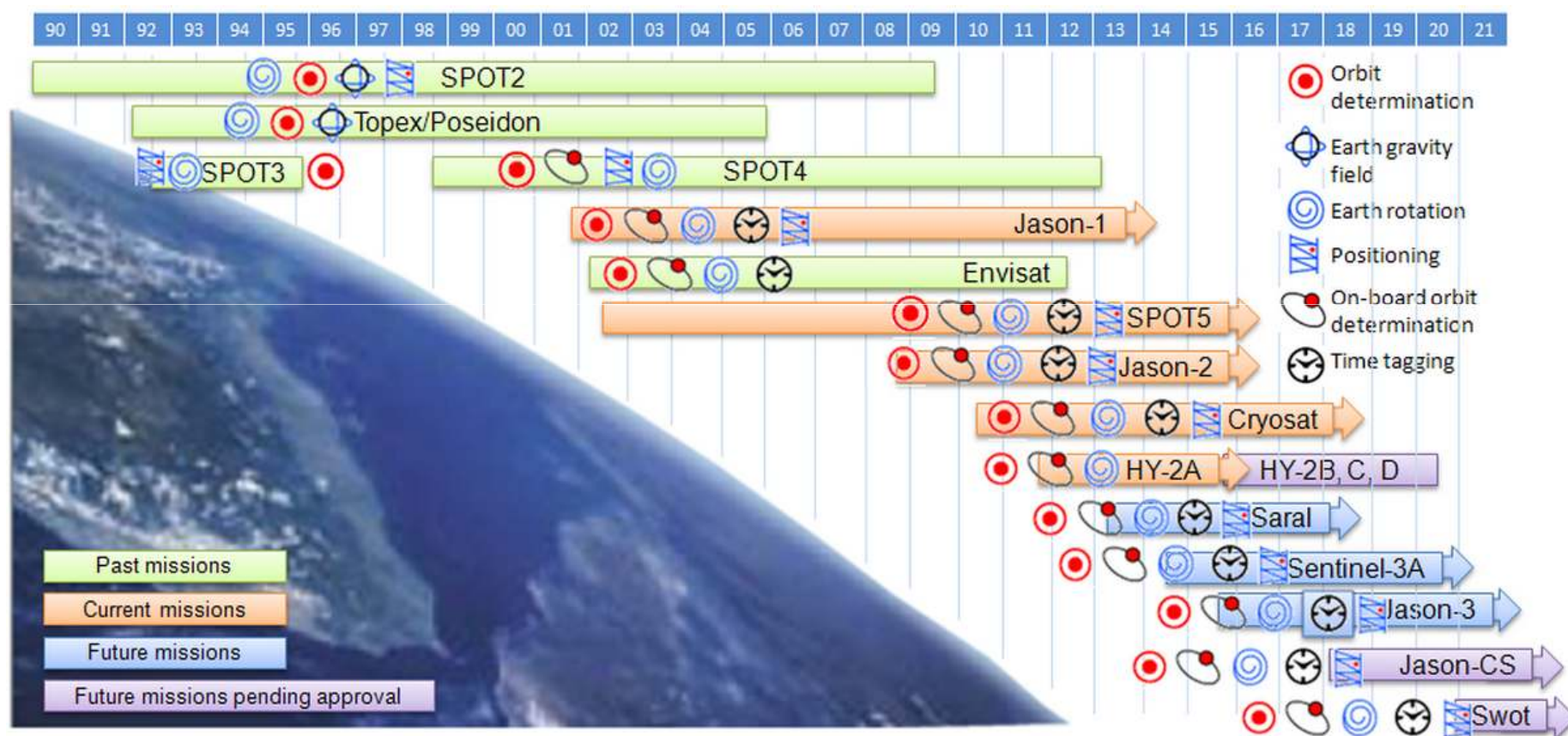


FONTE: <http://www.aviso.oceanobs.com/en/doris/system/control-and-processing-center.html>

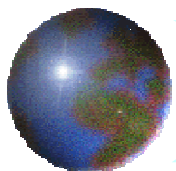


4.2.3 - DORIS

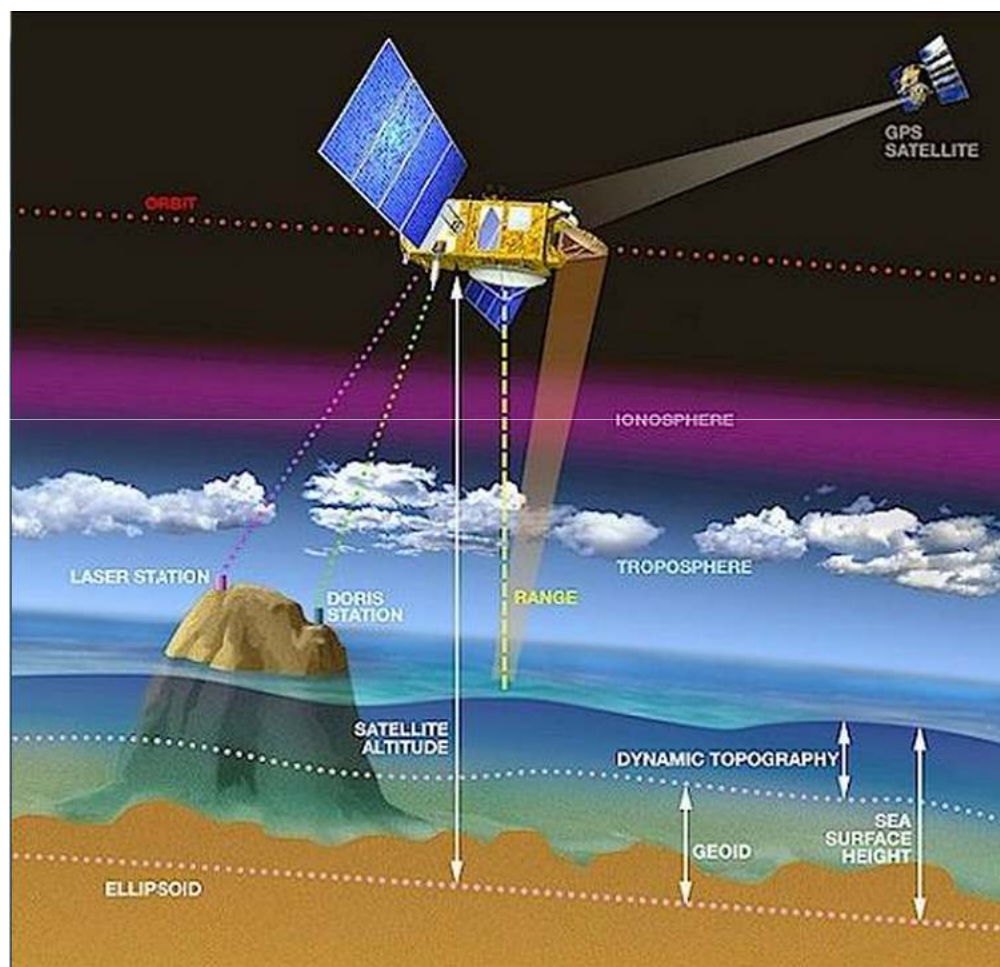
Satélites com DORIS a bordo e suas aplicações



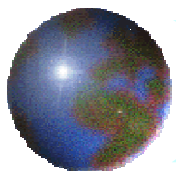
FONTE: <http://www.aviso.oceanobs.com/en/doris/doris-applications.html>



4.2.4 – Altimetria por satélites

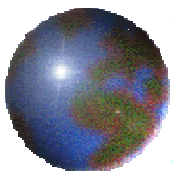


Atividades coordenadas pelo IAS – *International Altimetry Service*

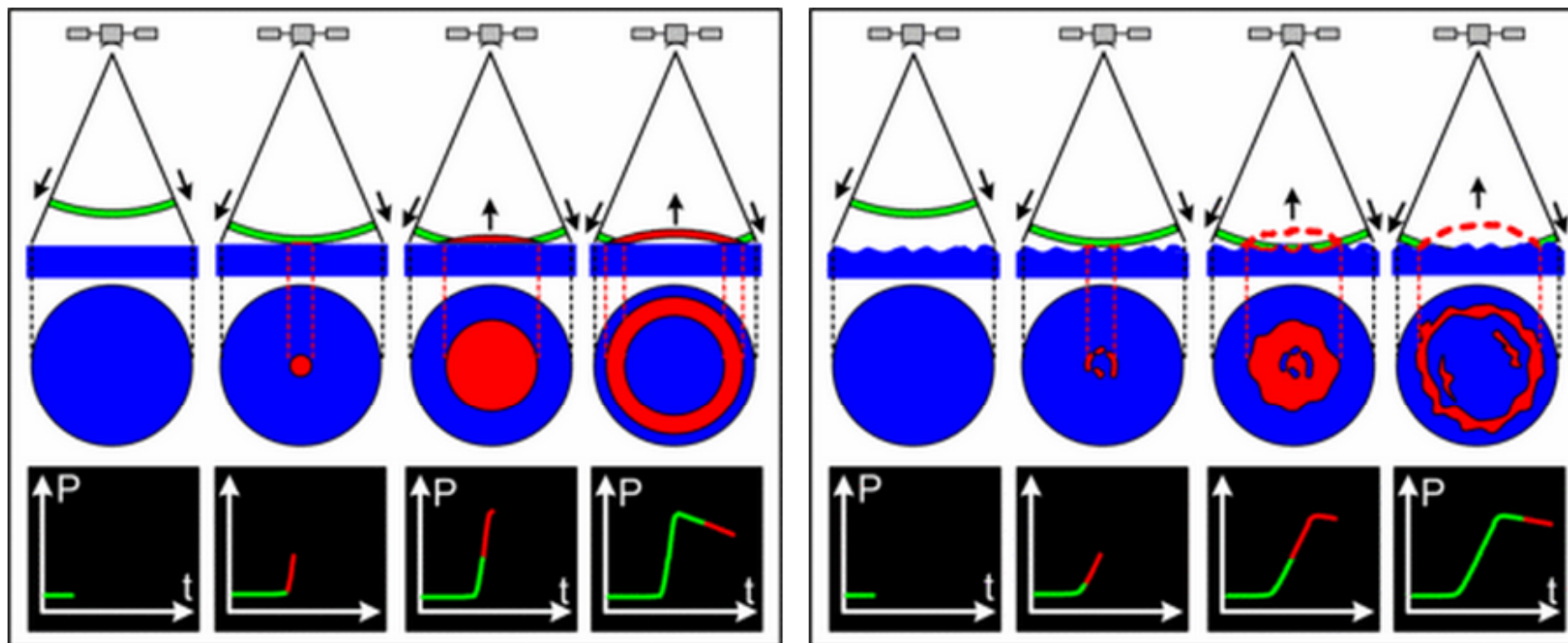


4.2.4 - Altimetria por satélites

- Radar altímetro: medidas de altitude da superfície instantânea (mar, gelo), em relação ao elipsóide de referência;
- Altímetro emite o sinal para a Terra, e recebe o eco da superfície do oceano, após a sua reflexão. A altitude do oceano é representada pela distância satélite - superfície e a posição do satélite em relação a uma superfície de referência arbitrária (elipsóide de referência).
- A posição do satélite com acurácia é determinada pelo sistema DORIS;
- As perturbações referentes à refração atmosférica, efeitos geofísicos e outros são corrigidos por modelos.

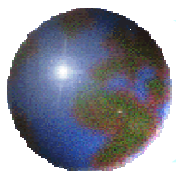


4.2.4 - Altimetria por satélites



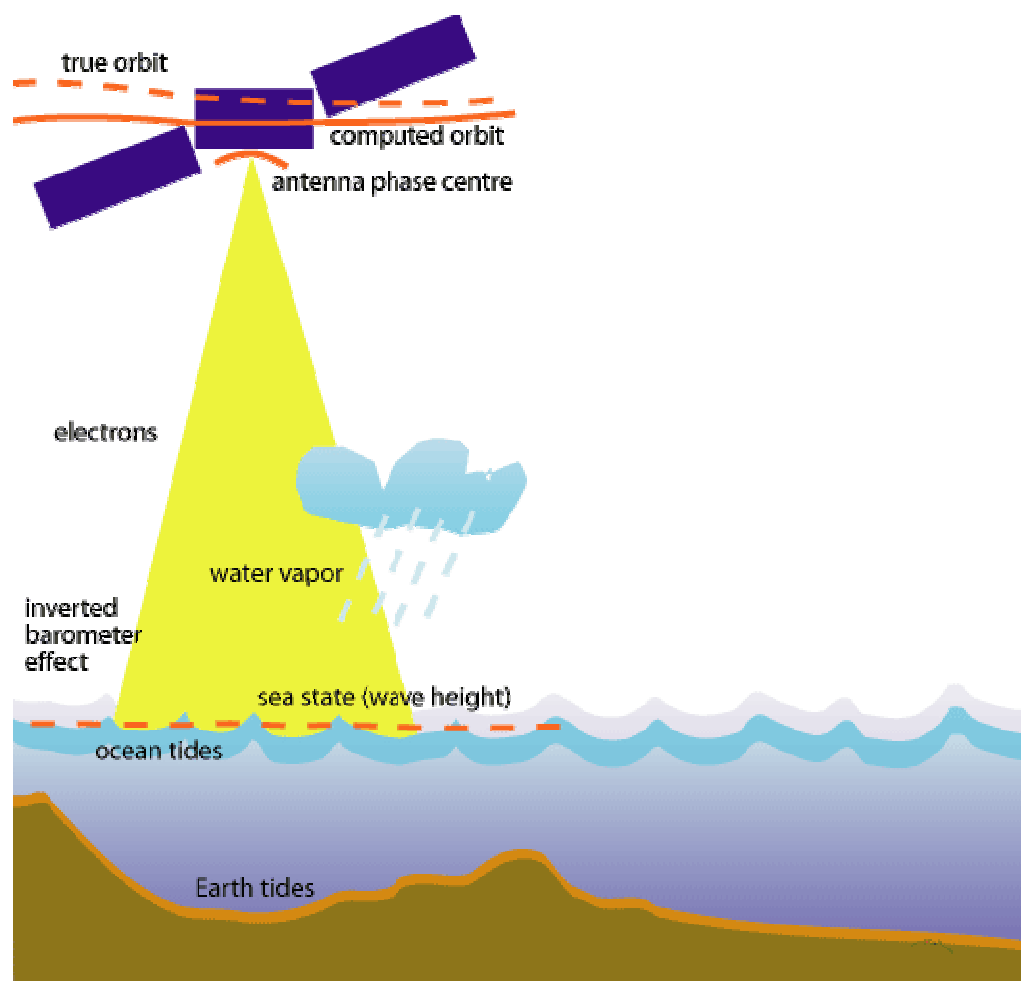
- O radar altímetro recebe o eco refletido, que varia em intensidade com o tempo. Onde a superfície do oceano é plana (esq.) a amplitude da onda refletida aumenta bruscamente desde o momento em que a vanguarda do sinal do radar atinge a superfície.
- Entretanto, em mares agitados ou com muitas ondas (dir), o sinal atinge a crista de uma onda e então uma série de outras cristas que fazem com que o aumento da amplitude da onda refletida seja mais gradual.
- Desta onda refletida pode ser derivada a altura da onda do mar, desde que a declividade da curva que representa sua amplitude ao longo do tempo seja proporcional à altura da onda. Créditos : Cnes

FONTE: <http://www.aviso.oceanobs.com/en/altimetry/principle/pulses-and-waveforms.html>



4.2.4 - Altimetria por satélites

ERROS DE OBSERVAÇÃO



CRÉDITO: W. Bosch

Efeitos instrumentais

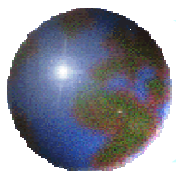
- ⊖ Atraso no tempo eletrônico
- ⊖ Deriva do relógio (oscilador)
- ⊖ Offset no centro de fase da antena
- ⊖ Centro de gravidade
- ⊖ Tempo de marcação das observações
- ⊖ Erro no doppler

Refração atmosférica devido a:

- ⊖ ionosfera
- ⊖ troposfera, componente seca
- ⊖ troposfera, componente úmida

Alvo (superfície do oceano)

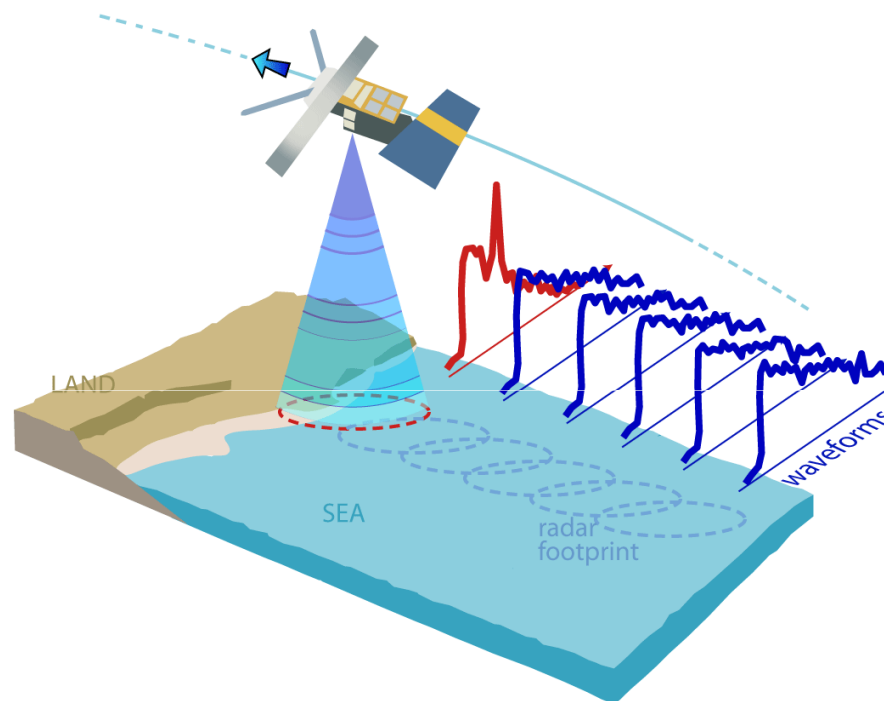
- ⊖ Marés oceânicas, efeitos de carregamento,
- ⊖ Marés terrestres, maré polar
- ⊖ Influência eletromagnética (estado oceânico)
- ⊖ Efeito de inversão barométrica



4.2.4 - Altimetria por satélites

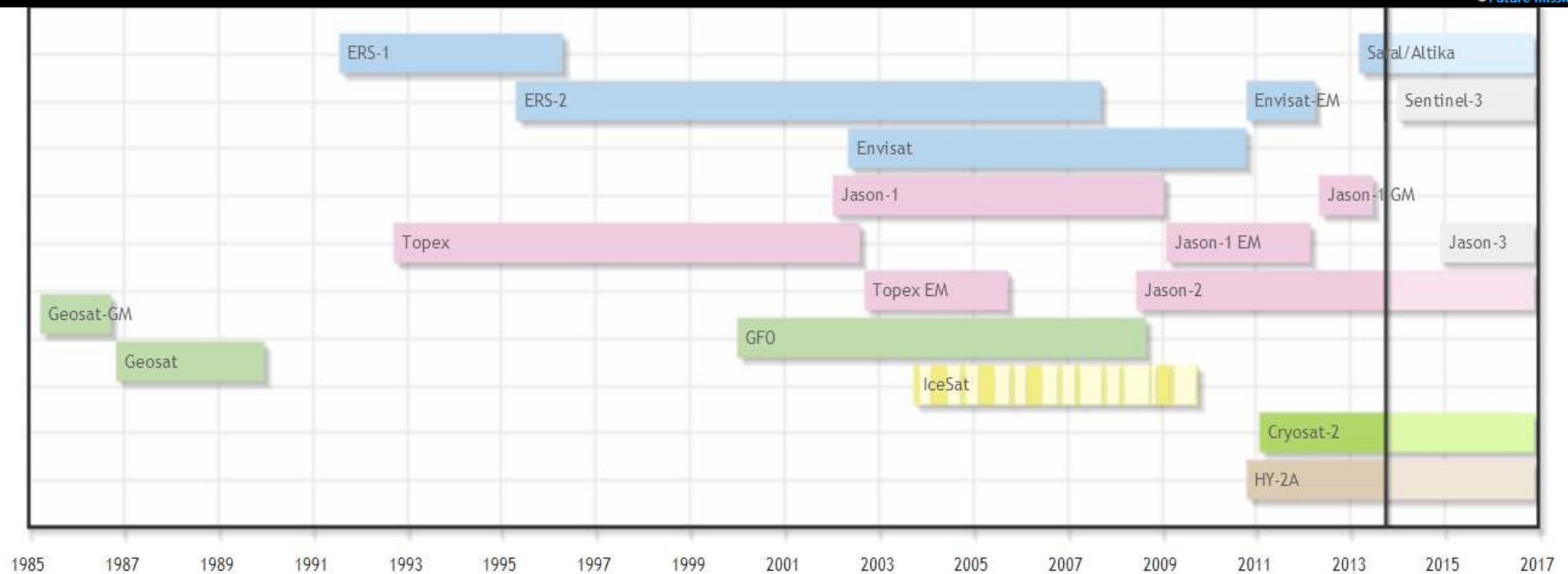
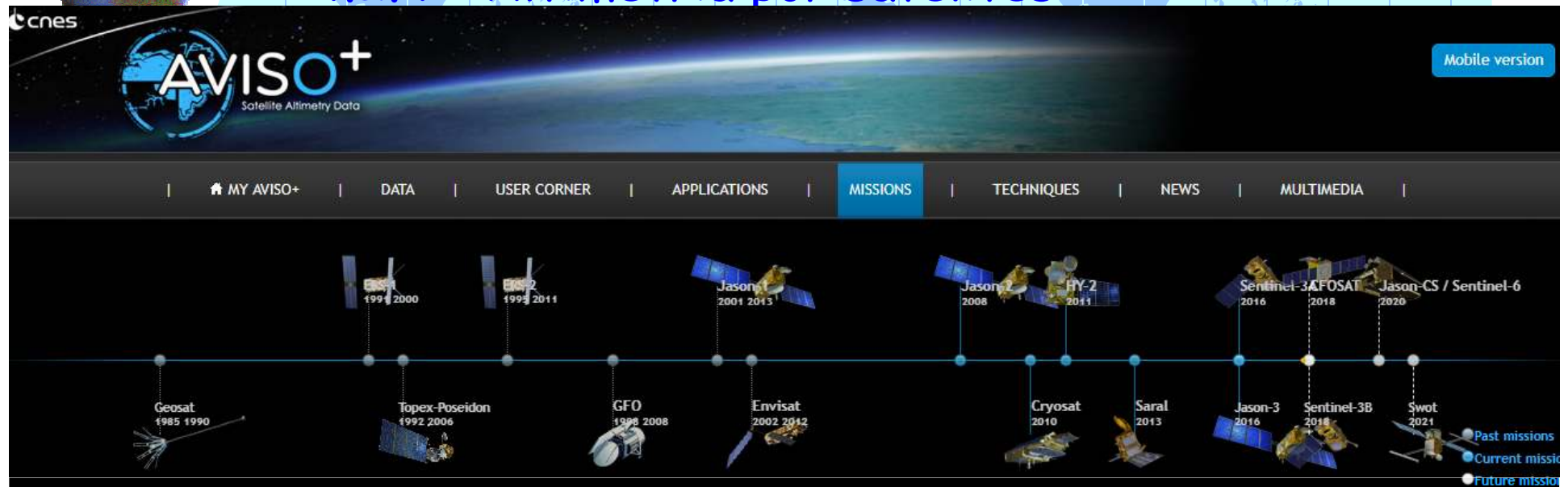
DEGRADAÇÃO DO SINAL NA COSTA

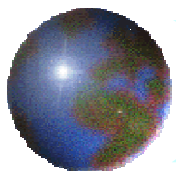
Quando o satélite altímetro se aproxima da costa, a entrada do *footprint* em terra modifica a forma da onda (em vermelho na figura) tornando a estimativa da distância superfície-satélite e outras quantidades derivadas mais difícil.



Alternativas em terra:
SAR, p.ex. ALOS

4.2.4 - Altimetria por satélites

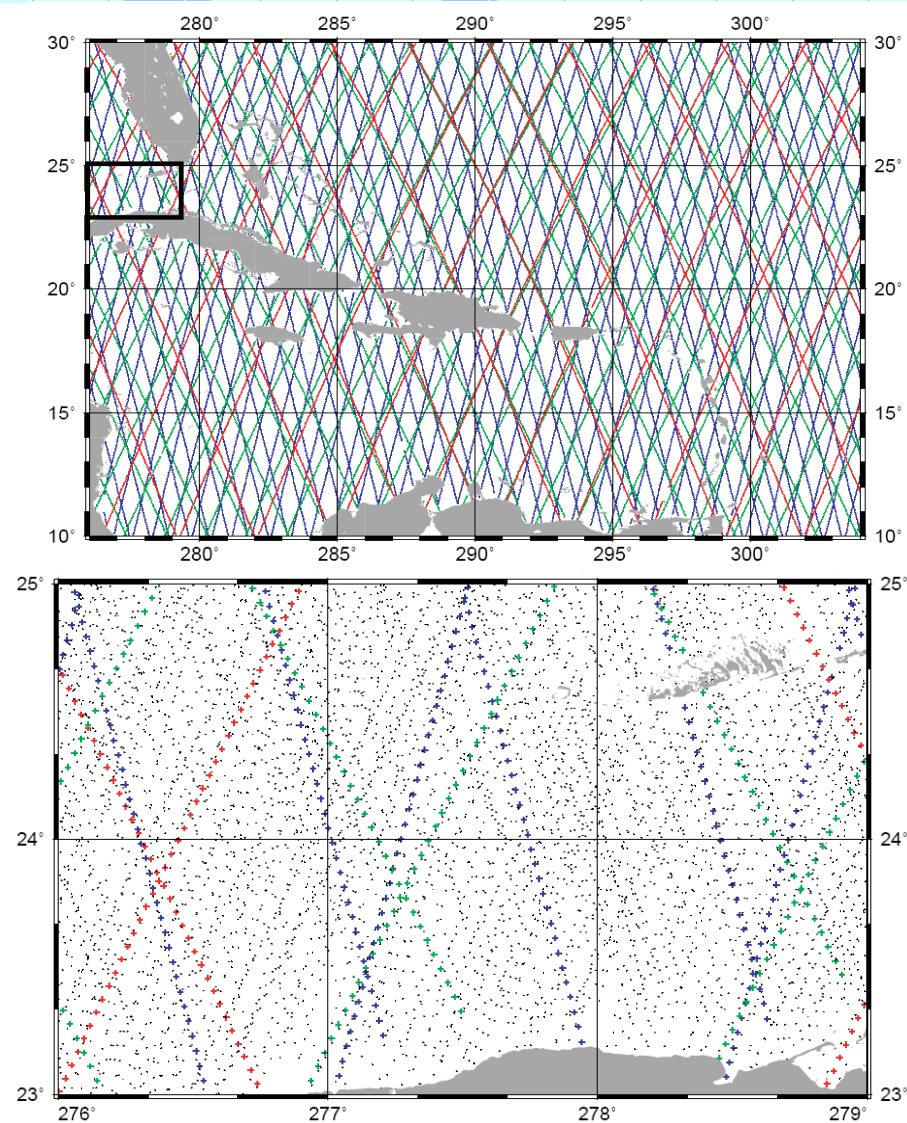




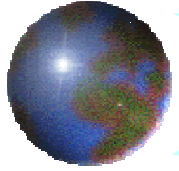
4.2.4 - Altimetria por satélites

Trilhas das missões
Repetidoras (observam sempre
sobre a mesma trilha)
(T/P GFO ERS)

Pontos das missões
sequenciais
(ERS1 e Geosat)
Trilhas das missões
repetidoras
(T/P- JASON; GFO;
)



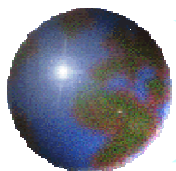
Crédito: W. Bosch



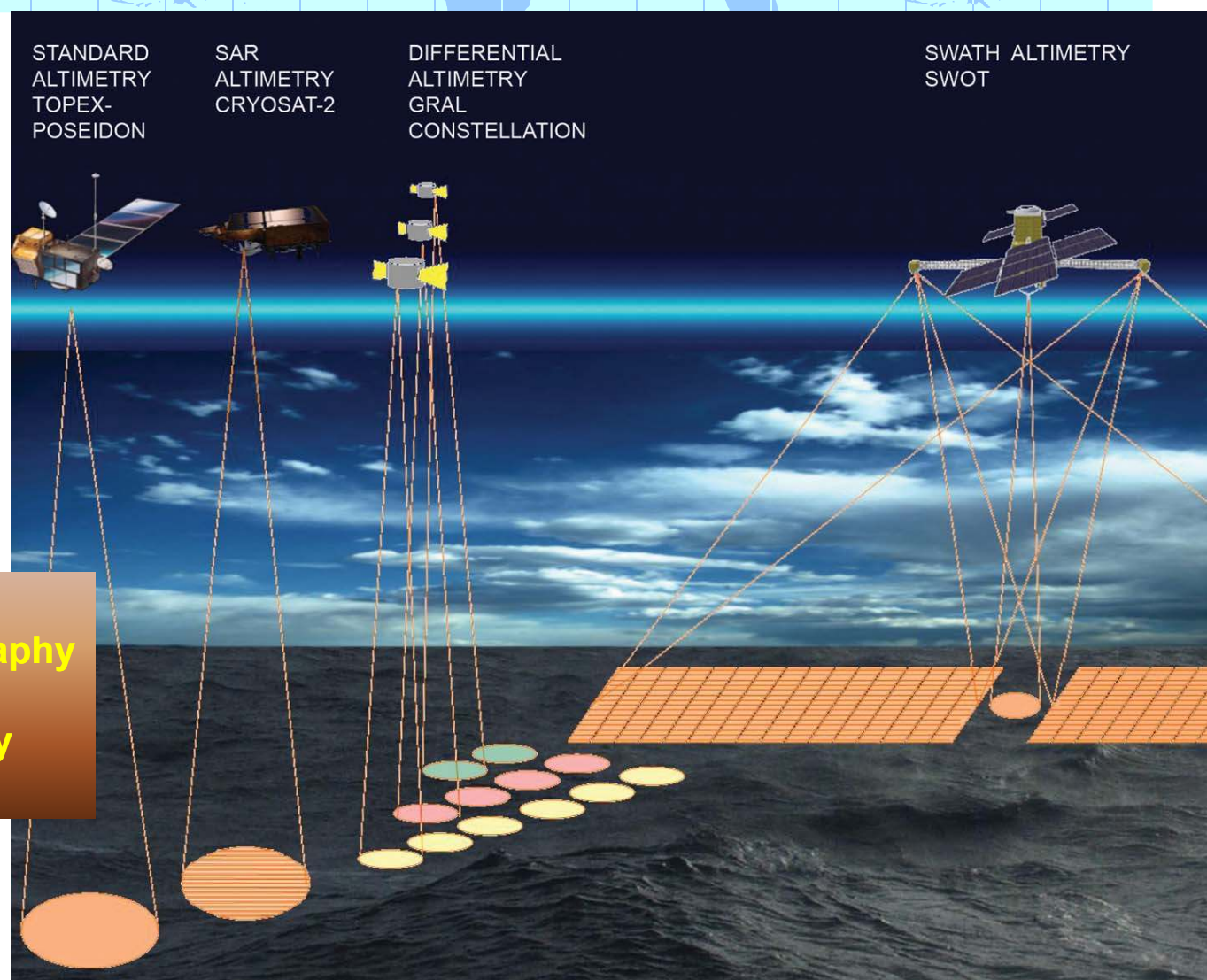
4.2.4 - Altimetria por satélites

APLICAÇÕES

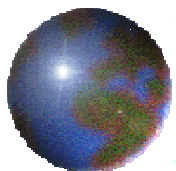
- Geóide marinho global com alta precisão e resolução;
- Geofísica marinha (tectônica marinha, litosfera oceânica, topografia do fundo do mar, etc.);
- Variações temporais da superfície dos oceanos;
- Correntes de superfície, dinâmica da topografia dos oceanos, El Niño, conteúdo de calor, aumento do nível dos oceanos, marés, ondas, etc;
- Mudança na elevação das camadas de gelo;
- Nível de água de lagos, rios e inundações.



4.2.4 - Altimetria por satélites



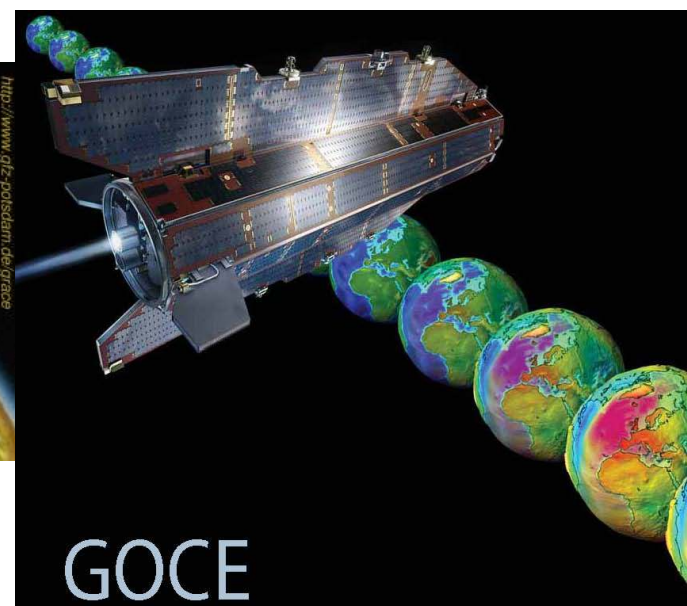
**Surface
Water and Ocean Topography
(SWOT) project
Gravity From Altimetry
(GRAL)**



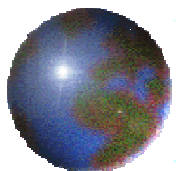
4.2.5 - Gravimetria por satélites

MISSÕES GRAVIMÉTRICAS:

Merecem destaque, ao par das missões espaciais referidas as missões gravimétricas LEO (Low Earth Orbit); CHAMP - Challenging Mini-Satellite Payload; GRACE – Gravity Recovery And Climate Experiment; GOCE - Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer.



FONTES: http://op.gfz-potsdam.de/grace/index_GRACE.html
http://op.gfz-potsdam.de/champ/index_CHAMP.html
<http://www.esa.int/export/esaLP/goce.html>

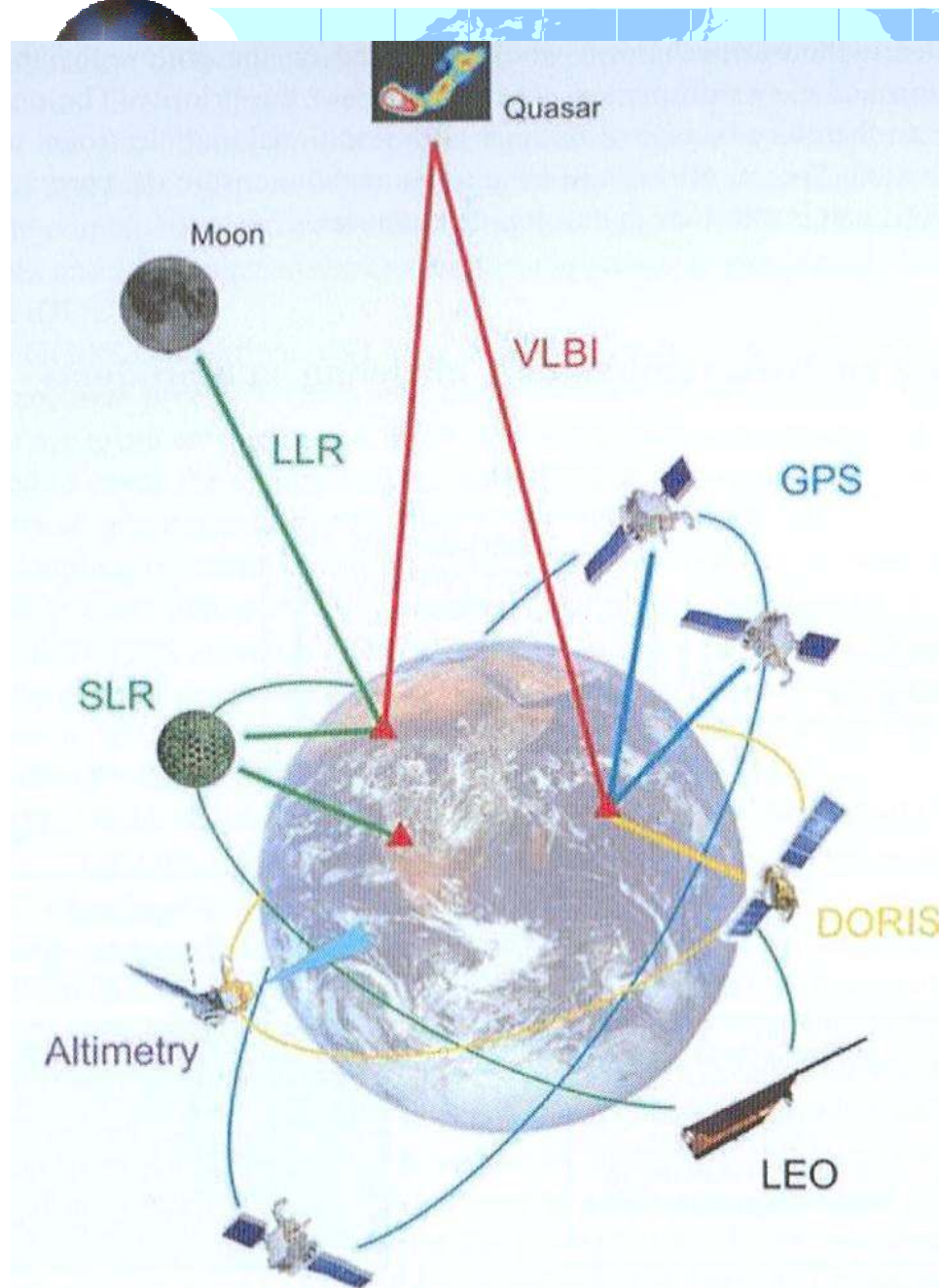


AS FERRAMENTAS DA GEODÉSIA MODERNA

Nº	PARÂMETRO A SER CONTROLADO	VLBI	GNSS	DORIS PRARE	SLR	LLR	ALT. SAT.
1	Coordenadas de Quasars	X					
2	Nutação	X	(X)		(X)	X	
3	Movimento do Pólo	X	X	X	X	X	
4	Tempo Universal	X					
5	Duração do Dia		X	X	X	X	
6	Coordenadas e Velocidades	X	X	X	X	X	(X)
7	Geocentro		X	X	X		X
8	Campo da Gravidade		X	X	X	(X)	X
9	Órbitas		X	X	X	X	X
10	Órbitas Terrestres Baixas (LEO)		X	X	X		X
11	Ionosfera	X	X	X			X
12	Troposfera	X	X	X			X
13	Tempo e Frequência	(X)	X		(X)		

Combinações de técnicas geodésicas espaciais para controle de parâmetros Sistema de Observação da Terra. Entrada 1 define o ICRF. As entradas 2 a 5 definem os EOP. Entradas 6 e 7 definem o ITRF enquanto as entradas 7 a 10 estão relacionadas com o campo da gravidade. A atmosfera é coberta pelas entradas 11 e 12 e a entrada 13 relaciona-se com Sistemas de Tempo.

ADAPTADO DE: H.-P. Plag & M. Pearlman (eds.), 2009. Global Geodetic Observing System, Springer, pp. 268.



Combinação e integração de técnicas de observação geodésicas

- Infraestrutura combinada permite a determinação e manutenção dos Sistemas Geodésicos de Referência Globais, e a determinação do campo de gravidade da Terra e rotação.