



Como

GEODESIA GLOBAL DAS NAÇÕES UNIDAS CENTRO DE EXCELÊNCIA

MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE REFERÊNCIA
GEOESPACIAL
OFICINA DE DESENVOLVIMENTO DE CAPACIDADES

Introdução à infraestrutura de sistemas de referência
geoespacial

Nicholas Brown
Chefe do Gabinete, UN-GGCE

Dia 1, Sessão 2 [\[1 3 1\]](#)

Agradecimentos: Zuheir Altamimi (FRA); Detlef Angerman (TUM); Johannes Bouman (GER); Jan Dostal (UN-GGCE); Richard Gross (NASA); Anna Riddell (AUS); Laura Sanchez (TUM); Jeffrey Verbeurgt (BEL).

Summary

- The Earth is dynamic. We must continuously monitor it because we need to know the 'place in space' of the Earth and satellites and at all times for accurate and reliable satellite services.
- Important geodetic ground infrastructure for reference frame creation includes Very Long Baseline Interferometry, Satellite Laser Ranging, Global Navigation Satellite Systems, DORIS and gravimetry. These techniques are complementary.
- Current geodetic ground infrastructure challenges include a northern hemisphere bias, aging technology and an overreliance on in-kind support.
- Stronger governance systems are needed both internationally and within Member States.



**STRONGER.
TOGETHER.**

Cadeia de abastecimento global de geodesia



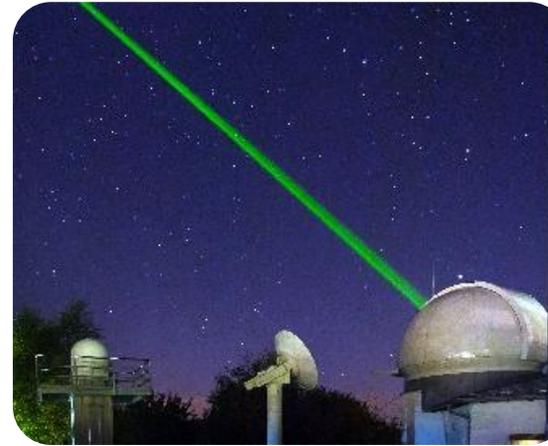
Técnicas geodésicas espaciais



VLBI

Interferometria de base muito longa

Rotação da Terra,
coordenadas da estação,
posições dos quasares



SLR

Telemetria por laser via satélite

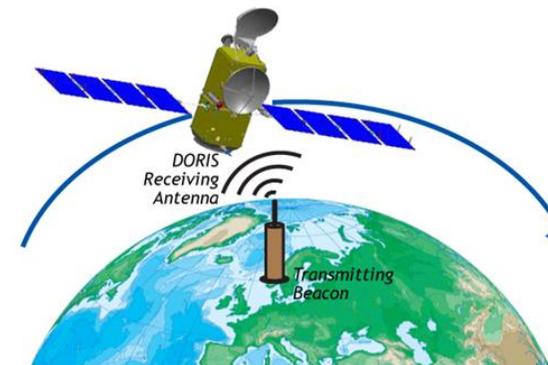
Órbitas dos satélites,
coordenadas das estações,
rotação da Terra, centro de
massa da Terra



GNSS

**Sistemas Globais de
Navegação via Satélite
(GPS, GLONASS,
Galileo, Beidou)**

Coordenadas da estação,
rotação da Terra,
geodinâmica



DORIS

**Orbitografia Doppler e
Radionavegação Integrados por
Satélite**

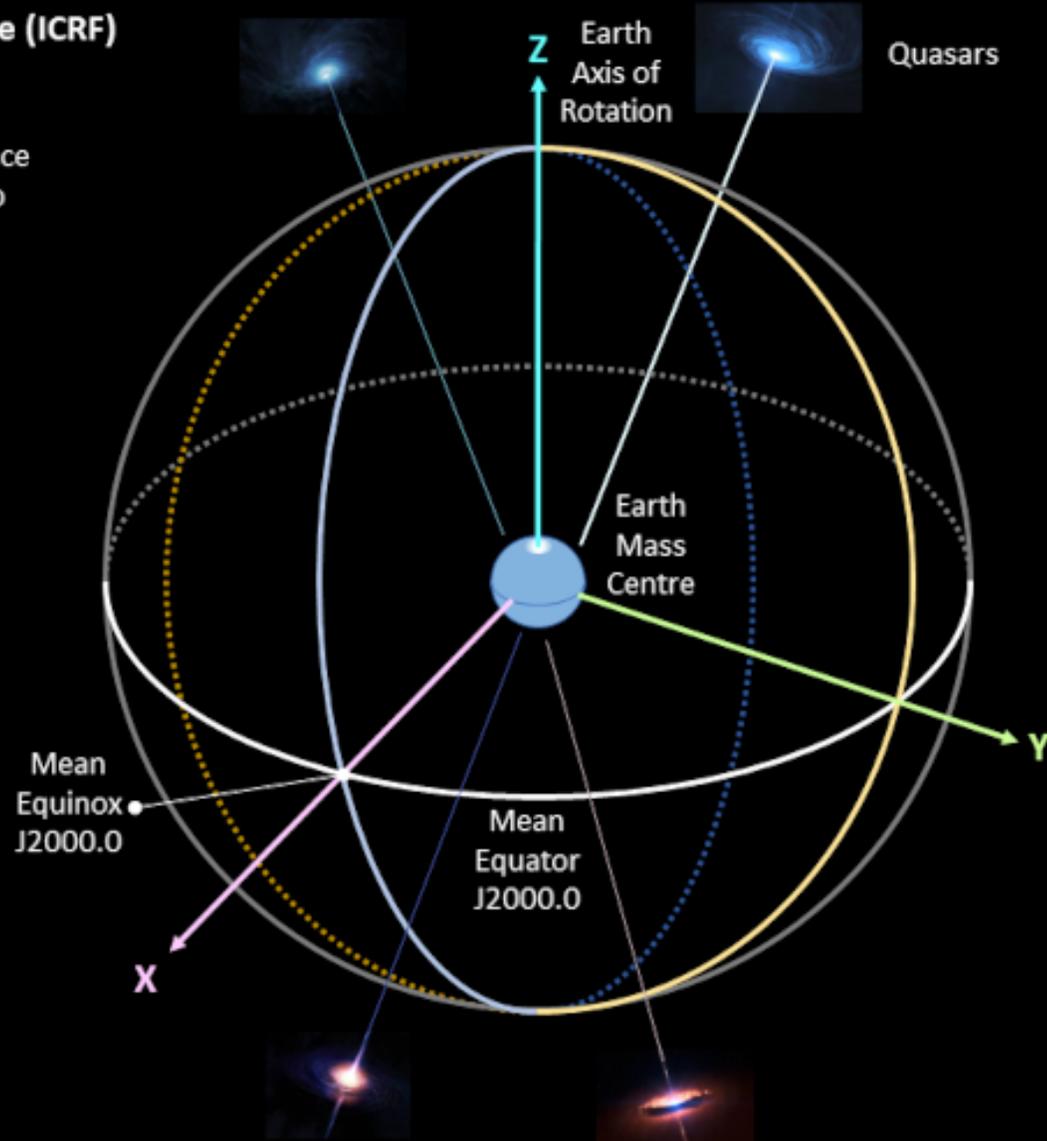
Órbitas de satélites,
coordenadas da estação,
rotação da Terra, campo
gravitacional

Referência Celestial Internacional (ICRF)

International Celestial Reference Frame (ICRF)

The International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS) was created in 1988 to establish and maintain a Celestial Reference Frame, the ICRF. The ICRF is defined by the position of significant celestial objects. Perhaps the most important of these are the so called radio-loud quasars. These are super massive black holes at the centre of galaxies that radiate huge amounts of energy. A quasar typically emits radiation with a unique signature - a pattern across the radiation spectrum. These quasars, to all intents and purposes, appear as fixed points in the sky and thus as fixed reference points in the ICRF.

J2000.0 is a standard Julian equinox and epoch - January 1, 2000 at 12:00 UT.



Estrutura de Referência Terrestre Internacional (ITRF)

International Terrestrial Reference Frame (ITRF)

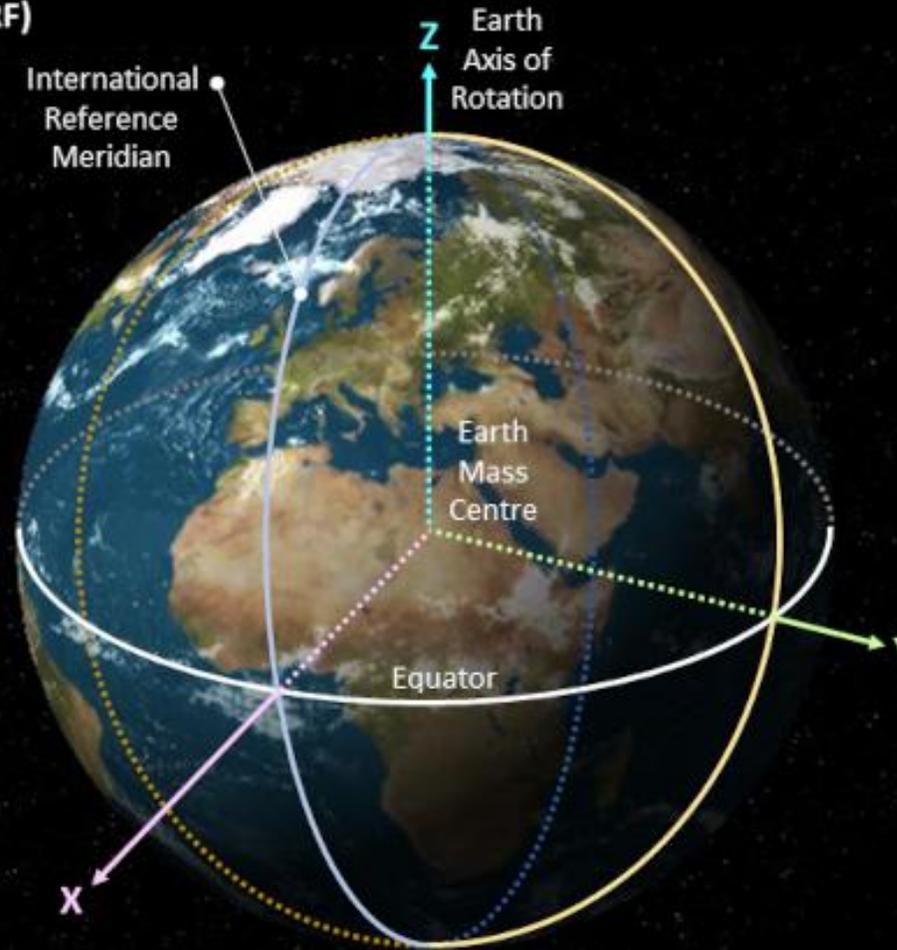
The IERS also maintains the Terrestrial Reference Frame, the ITRF. The ITRF is based on three axes, X, Y and Z with the origin placed at the Earth's centre of mass. The ITRF rotates with and as the Earth rotates across a day. A position in X, Y and Z coordinates can be converted to geographical coordinates (Longitude, Latitude and Height) using a geodetic datum such as WGS84 (world) or GDA2020 (Australia).

Curiously the Earth is not a perfect sphere. It's radius is bigger at the equator than it is at the poles. It also has lumpy gravity. If you ran an altimeter over Earth and plotted out all the points of equal gravity, the picture would look a bit like a potato. This gravity potato is called the geoid.



IERS iers.org
Rupert W Brown December 2021

The relationship between the ICRF and ITRF is defined by Earth **Orienta**ção Parameters (EOP).



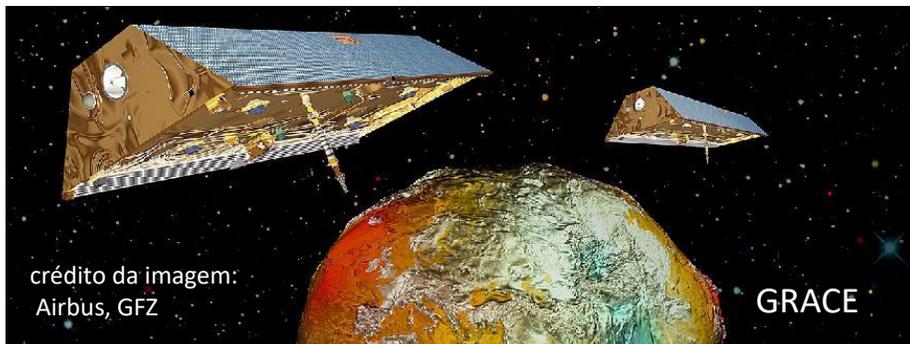
The International Reference Meridian runs approximately 100 m to the west of the original Greenwich Mean Meridian

Técnicas geodésicas

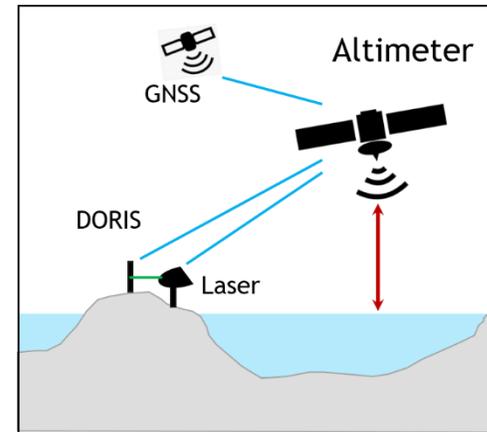


Gravimetria

Forma da Terra
Campo gravitacional
Valor zero para altura
Transporte de massa
Ciclo da água
Monitoramento climático

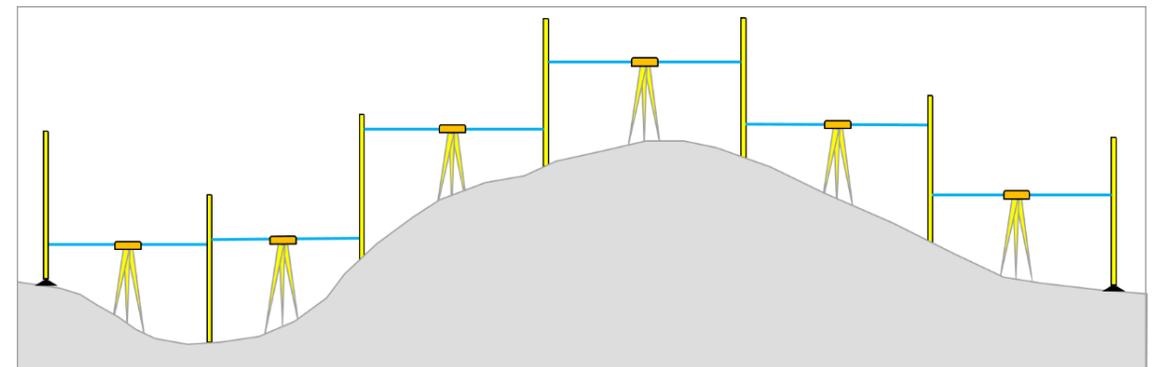


crédito da imagem:
Airbus, GFZ



Nivelamento, Altimetria, Medidores de maré

Sistema de referência vertical
Componente altura
Nível do mar



Técnicas de observação da ITRF



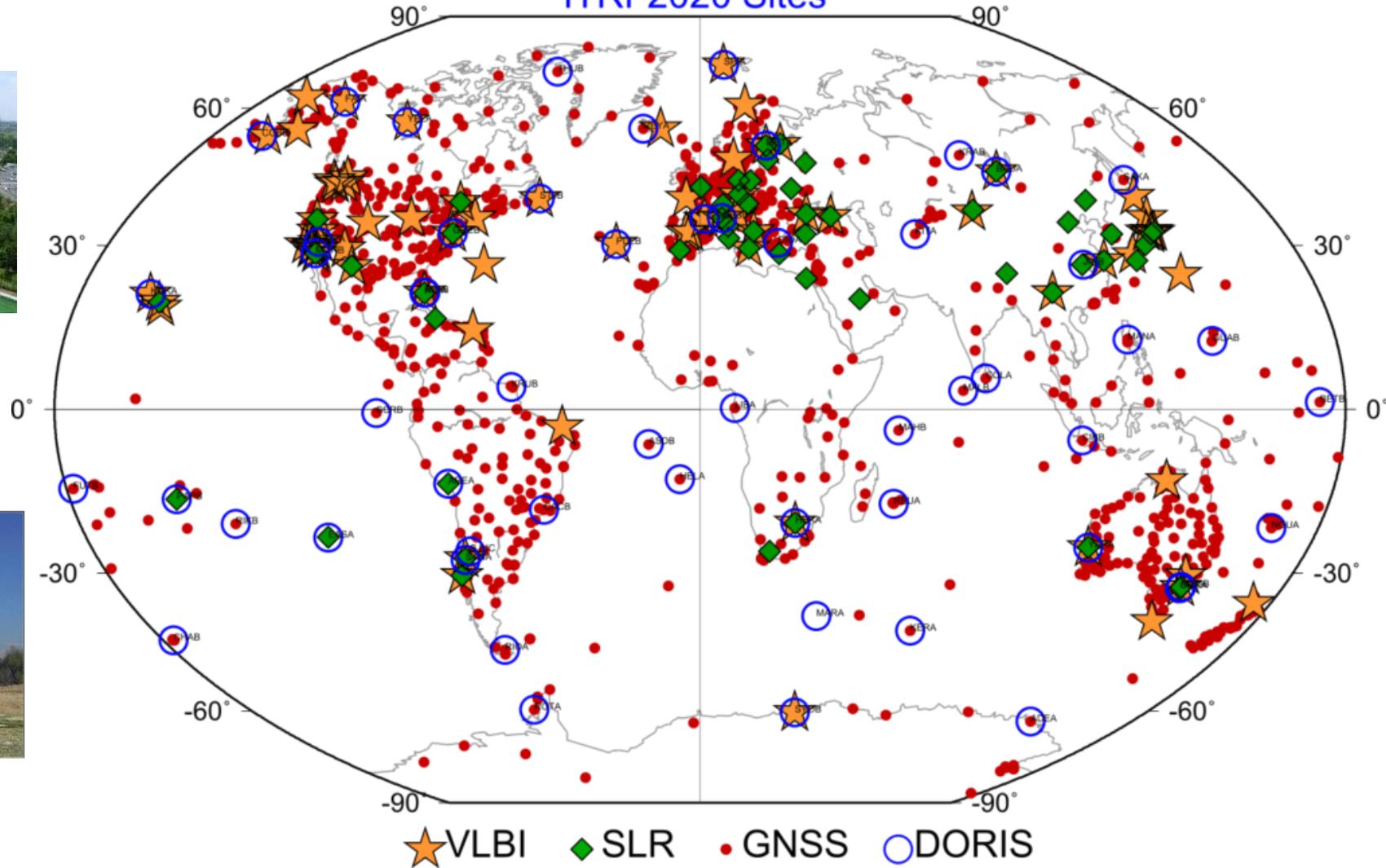
VLBI



SLR



ITRF2020 Sites



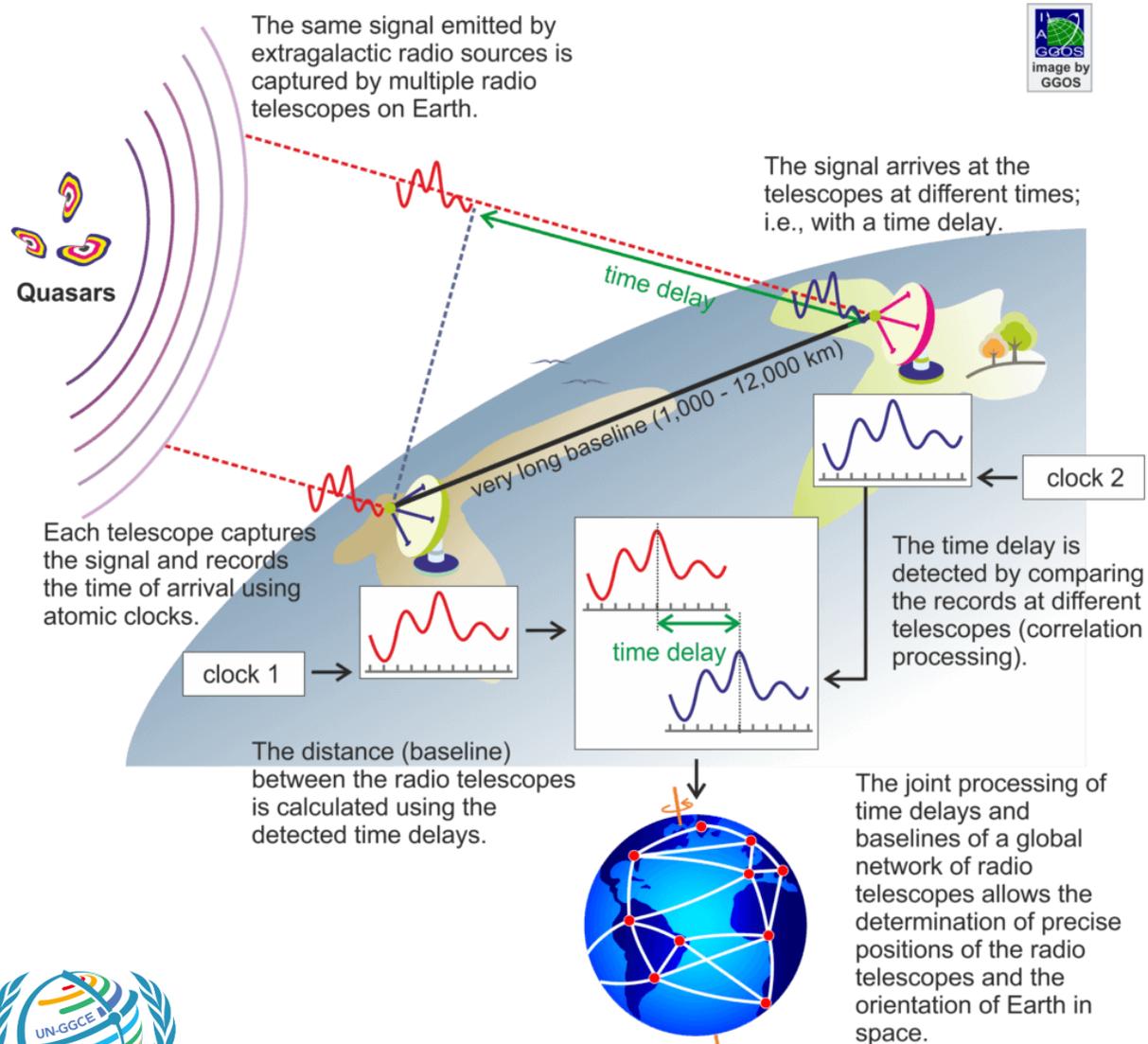
GNSS



DORIS



Interferometria de base muito longa (VLBI)



Registro da radiação eletromagnética proveniente de objetos muito distantes no espaço (quasares) na faixa de frequência de micro-ondas

Método interferométrico: são necessários pelo menos dois telescópios, requisitos de tempo mais elevados (são necessários relógios atômicos)

Determinação da diferença exata do tempo de viagem através da correlação dos dados registrados após a medição em um correlacionador

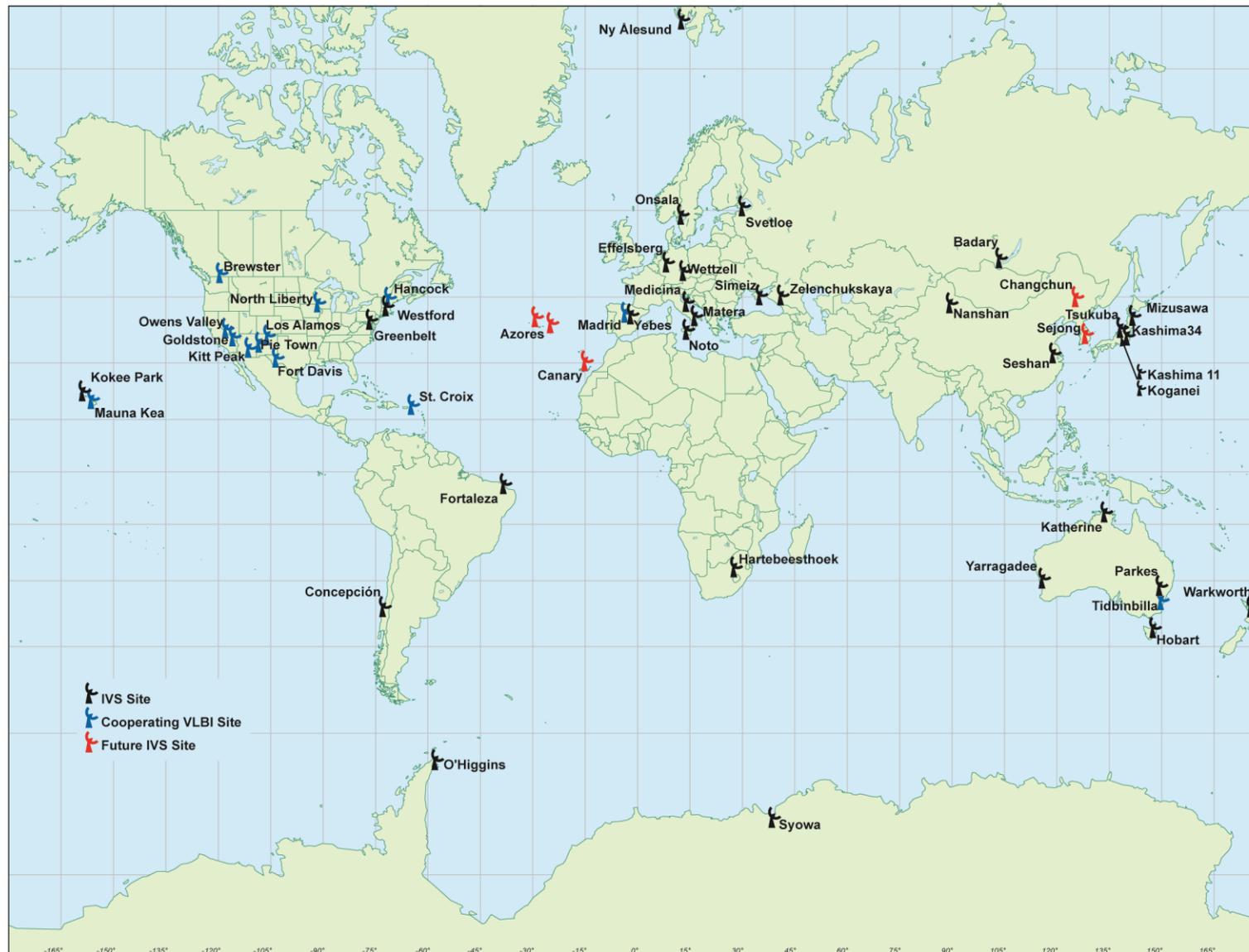
Cálculo das linhas de base entre as estações VLBI

Com base nos tempos registrados em diferentes locais, é possível determinar com precisão milimétrica a **orientação** da Terra, a **velocidade de rotação** da Terra e a **distância entre as antenas** (que podem estar a milhares de quilômetros de distância).

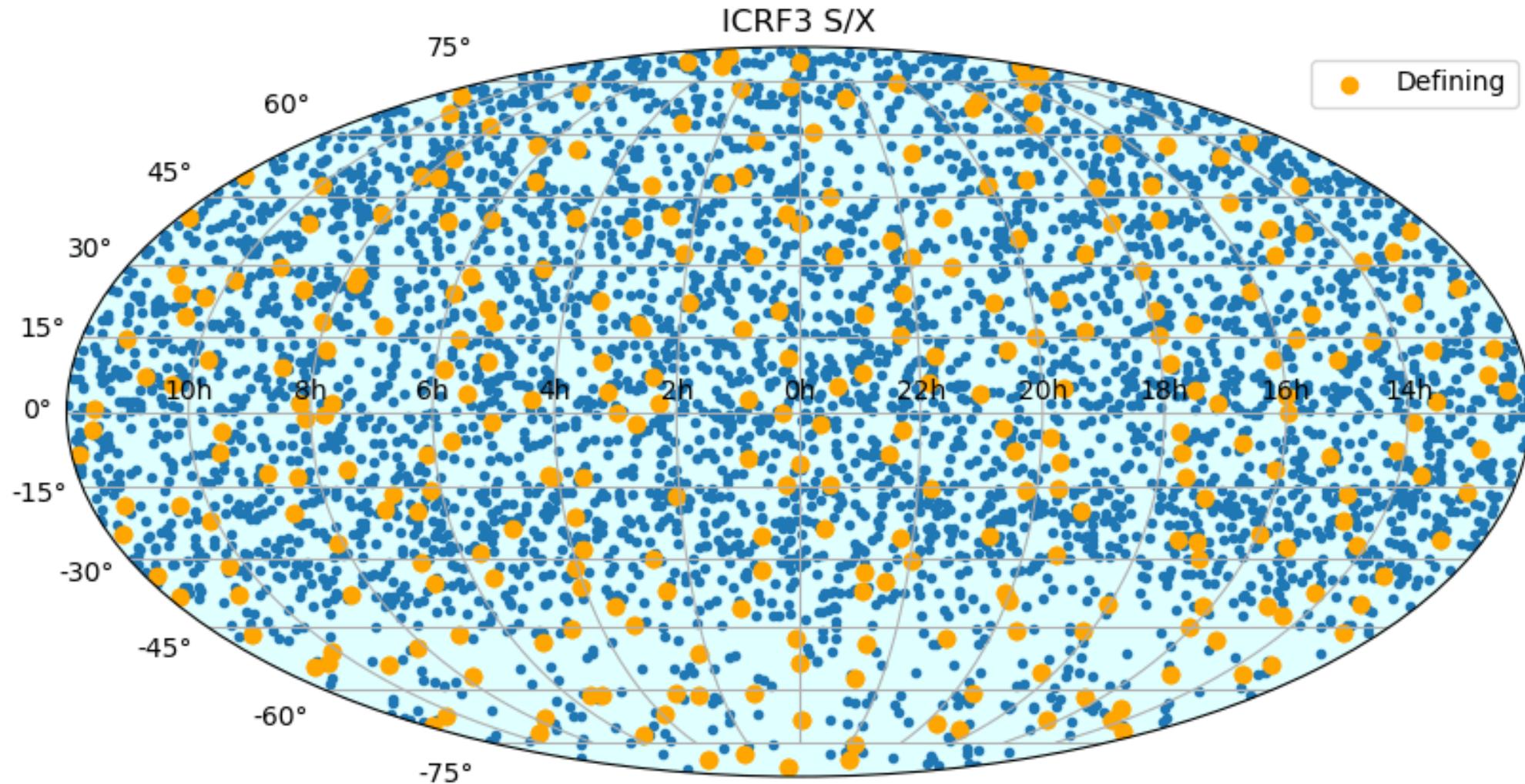
<https://ggos.org/item/vlbi> (criado por Laura Sanchez)

**MAIS
FORTES.
JUNTOS**

Serviço Internacional VLBI para Geodésia e Astrometria



Interferometria de base muito longa (VLBI)



<https://ggos.org/item/celestial-reference-frame/>

(Charlot P. et al, (2020) The third realization of the International Celestial Reference Frame by very long baseline interferometry. Astronomy and Astrophysics, Vol. 644, A159, 28 p., DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202038368>)



**MAIS
FORTES.
JUNTOS**

Radiotelescópios operados pela BKG

20 m RTW (Wetzell)



Telescópio duplo de 13 m (Wetzell)



Radiotelescópio AGGO de 6 m
(La Plata)



Radiotelescópio O'Higgins de 9 m

Crédito da imagem: BKG

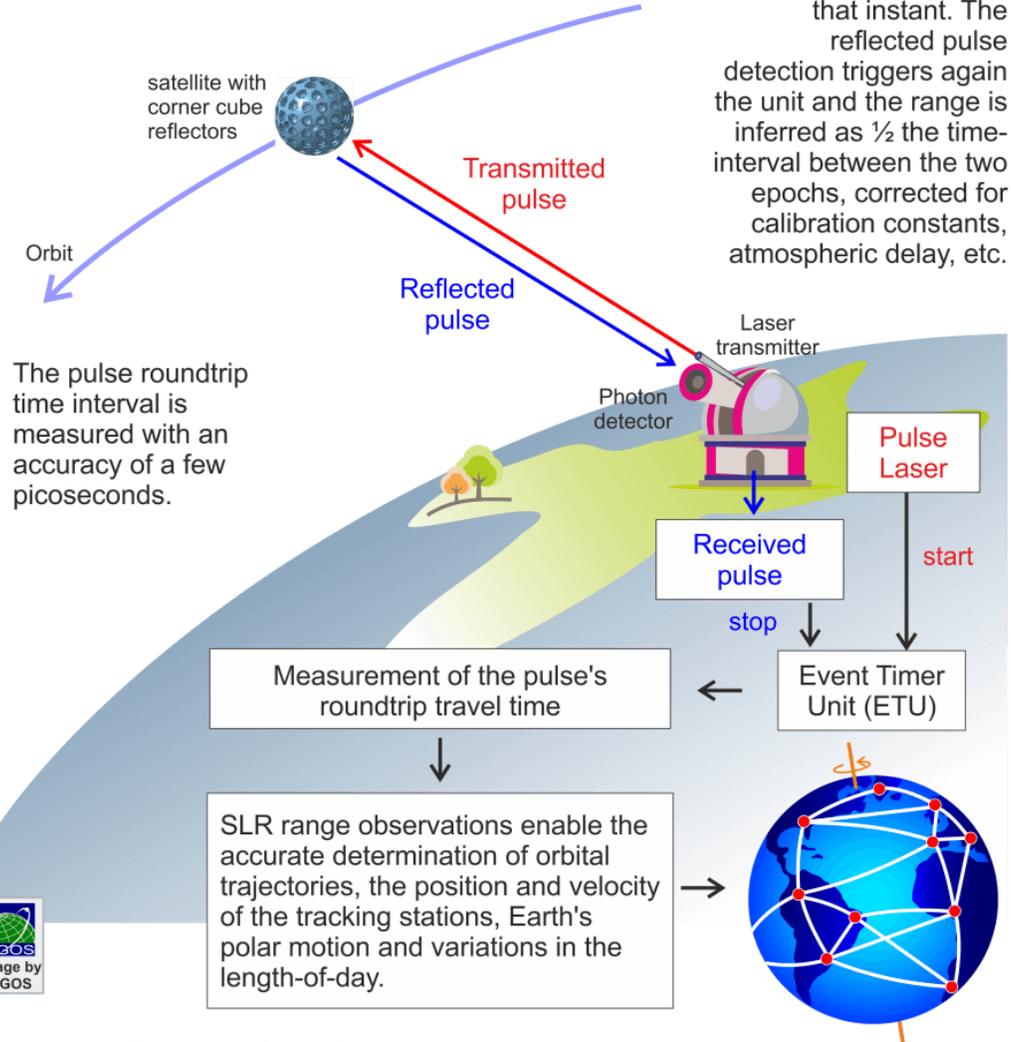


**MAIS
FORTES.
JUNTOS**

Telemetria por laser via satélite (SLR/LLR)

Earthbound observatories emit ultra-short laser pulses towards retroreflector arrays on satellites or the moon surface, which reflect the pulses back towards their origin.

The emission of the pulse triggers an Event Timer Unit that records the precise epoch of that instant. The reflected pulse detection triggers again the unit and the range is inferred as $\frac{1}{2}$ the time-interval between the two epochs, corrected for calibration constants, atmospheric delay, etc.



Os operadores de telemetria por laser via satélite disparam lasers a partir de observatórios terrestres em direção aos satélites e medem o tempo que a luz laser leva para retornar.

Com base no atraso de tempo, os geodestas podem monitorar as órbitas dos satélites com precisão de centímetros.

Para algumas aplicações de satélite, é importante saber com precisão onde um satélite se encontrava quando transmitiu um sinal, a fim de garantir a precisão e a fiabilidade (por exemplo, GNSS).

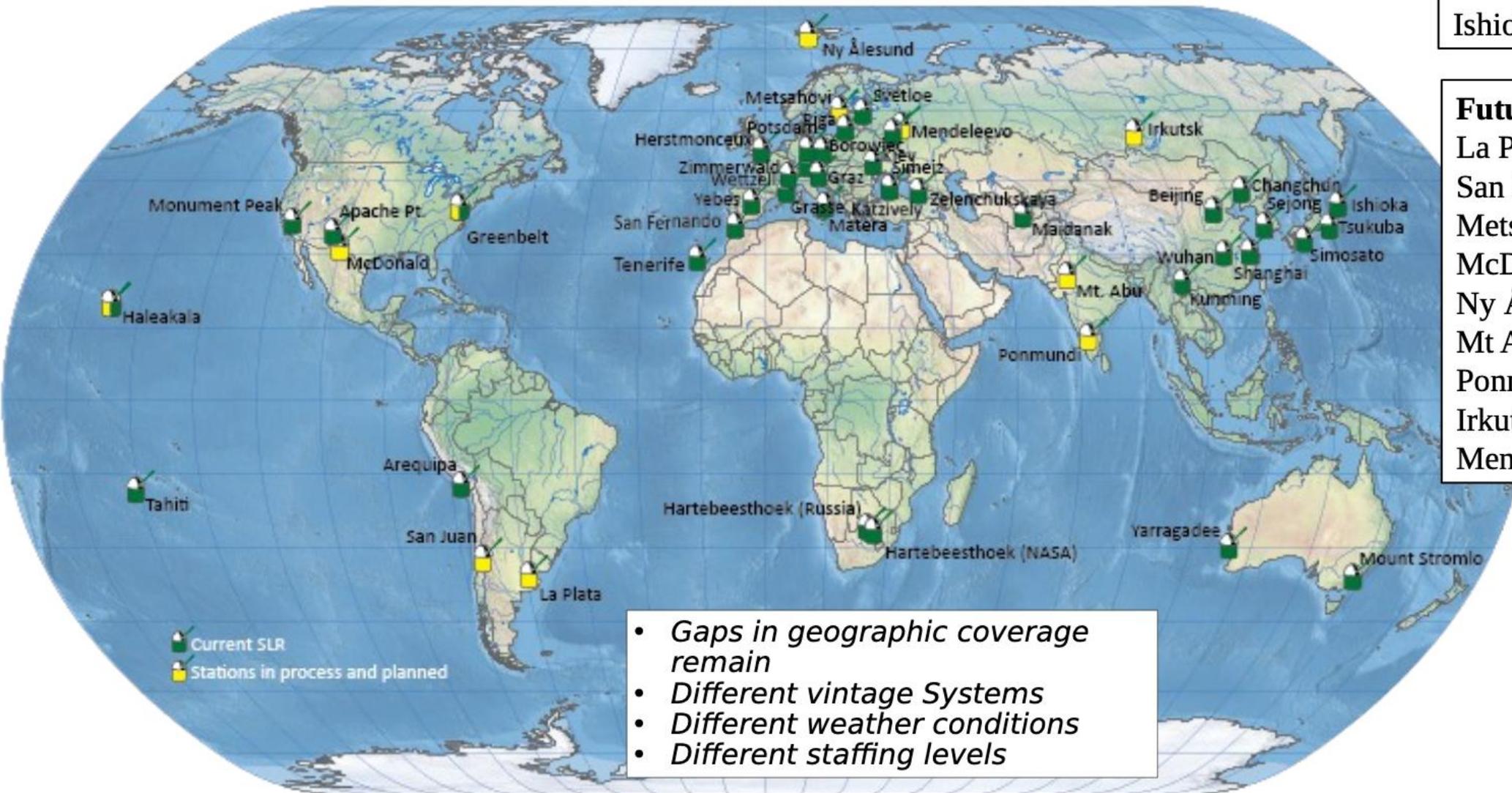
A telemetria por laser via satélite também é utilizada para definir o diâmetro da Terra, a força do campo gravitacional, o centro de massa da Terra (o ponto em torno do qual os satélites orbitam) e o centro do sistema de coordenadas global de referência.

<https://ggos.org/item/slr-llr> (criado por Laura Sanchez)

**MAIS
FORTES.
JUNTOS**

Serviço Internacional de Telemetria a Laser

Current and Planned ILRS Network



New Stations (2023-2024)

Yebes, Spain
Ishioka, Japan

Future Stations (2024-2027)

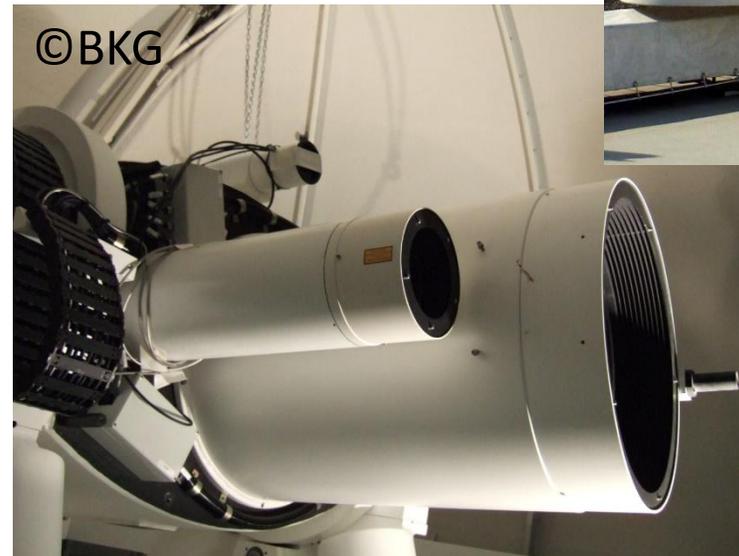
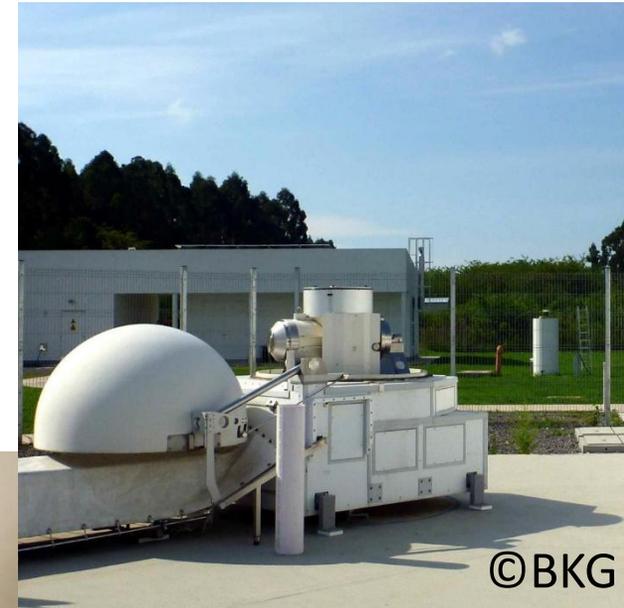
La Plata, Argentina
San Juan, Argentina
Metsähovi, Finland
McDonald, TX, USA
Ny Ålesund, Norway
Mt Abu, India
Ponmudi, India
Irkutsk (Tochka), Russia
Mendeleevo (Tochka), Russia

Sistemas de medição a laser da BKG



WLRs (Wetzell), telescópio de 75 cm, monoestático

AGGO-SLR (La Plata),
Telescópio de 50 cm, monoestático



SOSW (Wetzell)
Telescópio receptor de 50 cm
Telescópio transmissor de 16 cm



**MAIS
FORTES.
JUNTOS**

Sistemas Globais de Navegação por Satélite

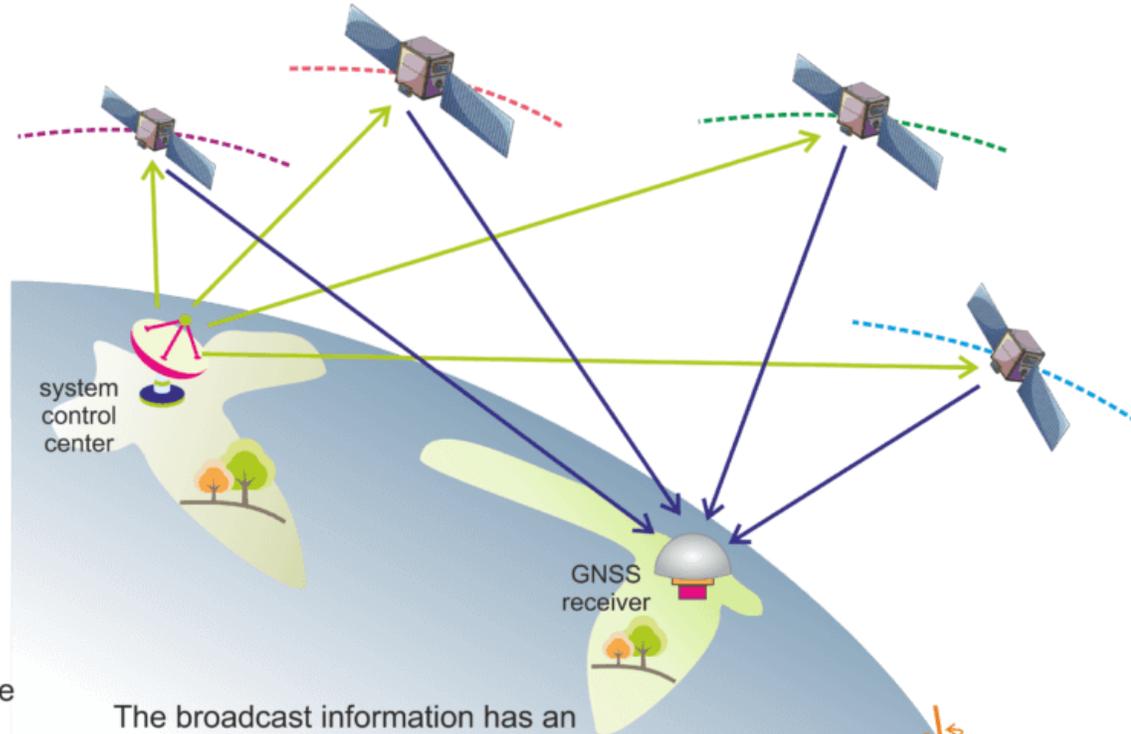
(1) The system operator calculates satellite orbits and clock synchronization using ground stations with known coordinates.

(2) The operator loads the calculated orbits and satellite clock corrections to the satellites.

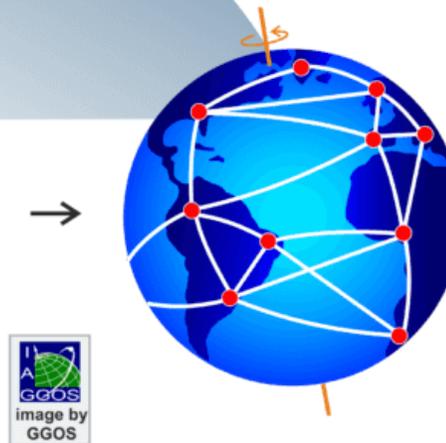
(3) Orbits and clock corrections are broadcast together with a very stable time stamp from an atomic clock, so that a receiver can continuously determine the time when the signal was broadcast.

(4) The difference between the time of arrival and the time of transmission gives the travel-time of the signal, which, multiplied by the speed of light, provides the distance (or range) satellite - receiver.

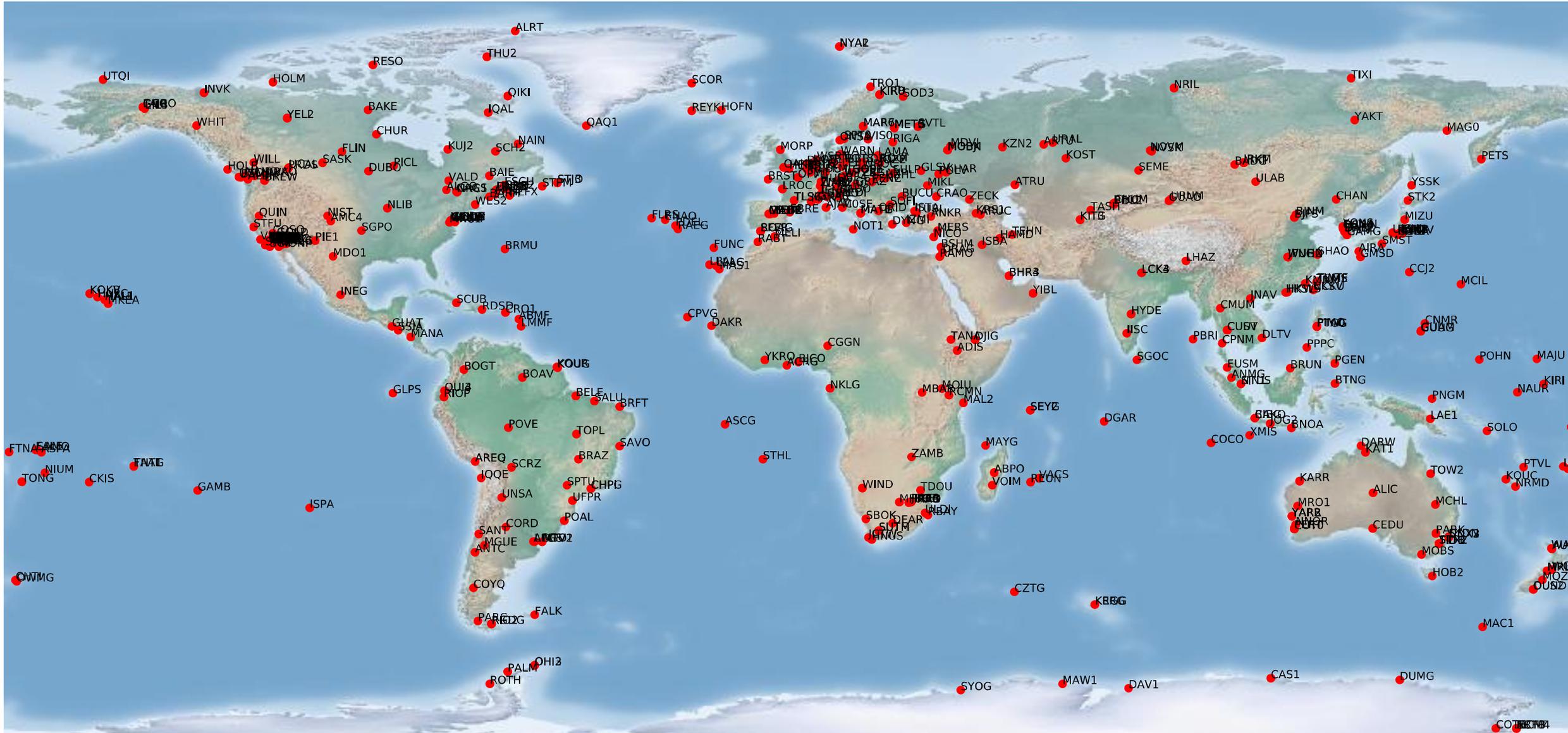
(5) With information about the ranges to four satellites and the location of the satellite when the signal was sent, the receiver can compute its own three-dimensional position.



The broadcast information has an accuracy of about one metre and is usually employed for navigation applications. For the precise observation of the Earth, geodesists calculate orbits and clock corrections with a very much higher accuracy (in the centimetre and picosecond ranges). This requires the simultaneous determination of station positions, satellite orbits and Earth orientation parameters in a single consistent calculation.

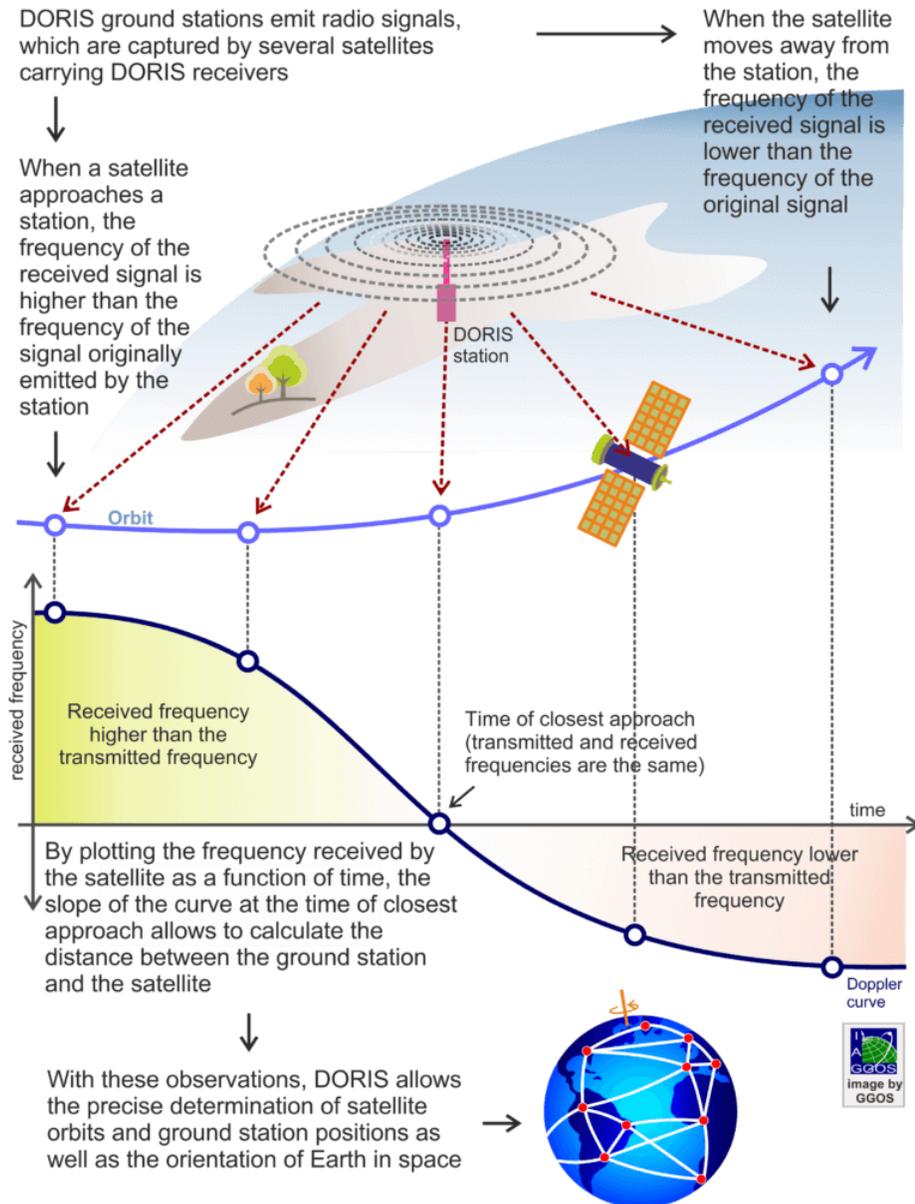


Serviço Internacional de GNSS



(fonte: igs.org)

Orbitografia Doppler e Radionavegação Integrados por Satélite (DORIS)



- O Orbitografia Doppler e Radionavegação Integrados por Satélite (DORIS) é um sistema francês de satélites utilizado para ajudar a determinar e monitorar as órbitas dos satélites e para posicionamento.
- O princípio do DORIS é semelhante ao do GNSS, mas ao contrário.
- Os radiofaróis terrestres ativos enviam um sinal que é detectado pelos satélites receptores.
- Ocorre uma mudança na frequência do sinal, causada pelo movimento do satélite (efeito Doppler).
- A transmissão em duas frequências (400 e 2036 MHz) permite determinar os atrasos na propagação do sinal através da atmosfera.
- Determinação da órbita dos satélites de observação da Terra
- Determinação da coordenação do farol na superfície da Terra
- Colocalização com outros métodos espaciais e contribuição para o GGRF

<https://ggos.org/item/doris> (criado por Laura Sanchez)

**MAIS
FORTES.
JUNTOS**

Serviço Internacional de DORIS



Gravimetria

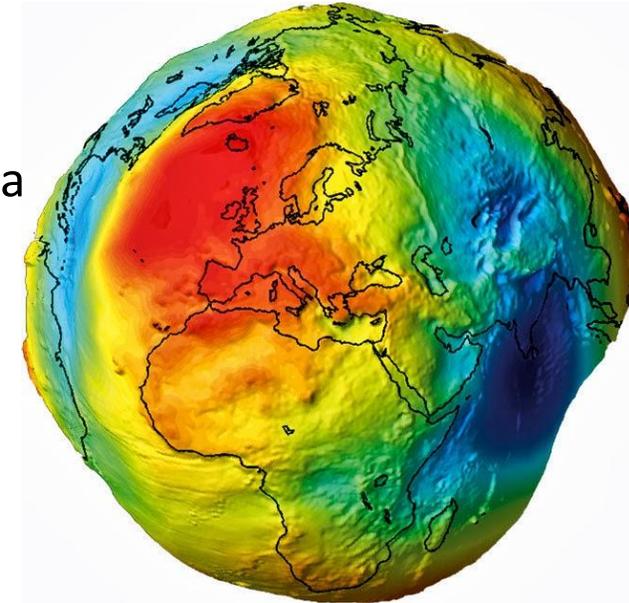
Princípio

- Os instrumentos de gravimetria observam a aceleração gravitacional
- Dois tipos diferentes de gravímetros:
 - Absoluto, por exemplo, gravímetro de queda livre
 - Relativo, por exemplo, gravímetro de mola ou supercondutor,
- Tipos de medições:
 - Terrestre
 - Aerotransportado
 - Satélite



Crédito: Micro G Lacoste

Gravímetro de queda livre



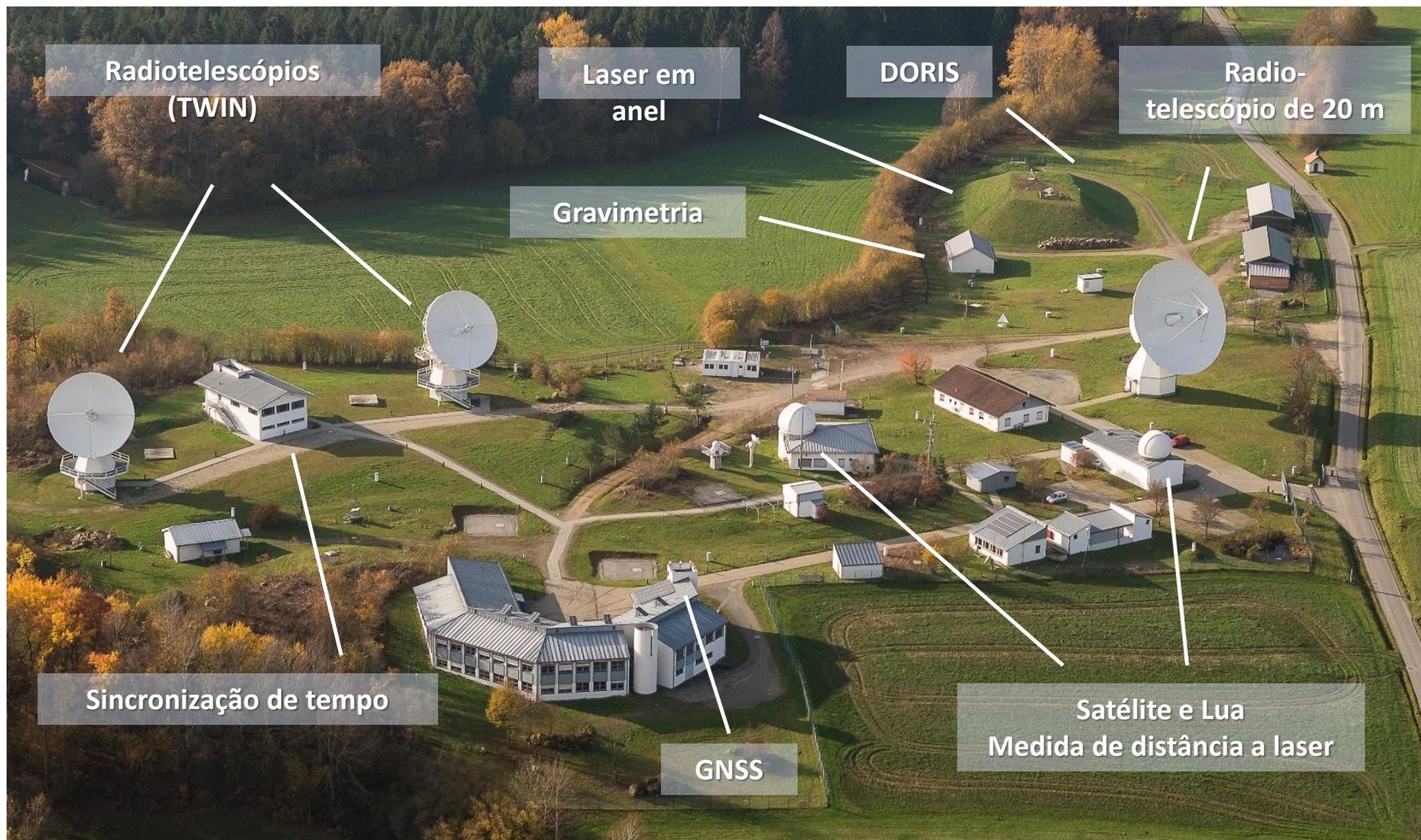
Geóide, a forma física da Terra

Finalidade

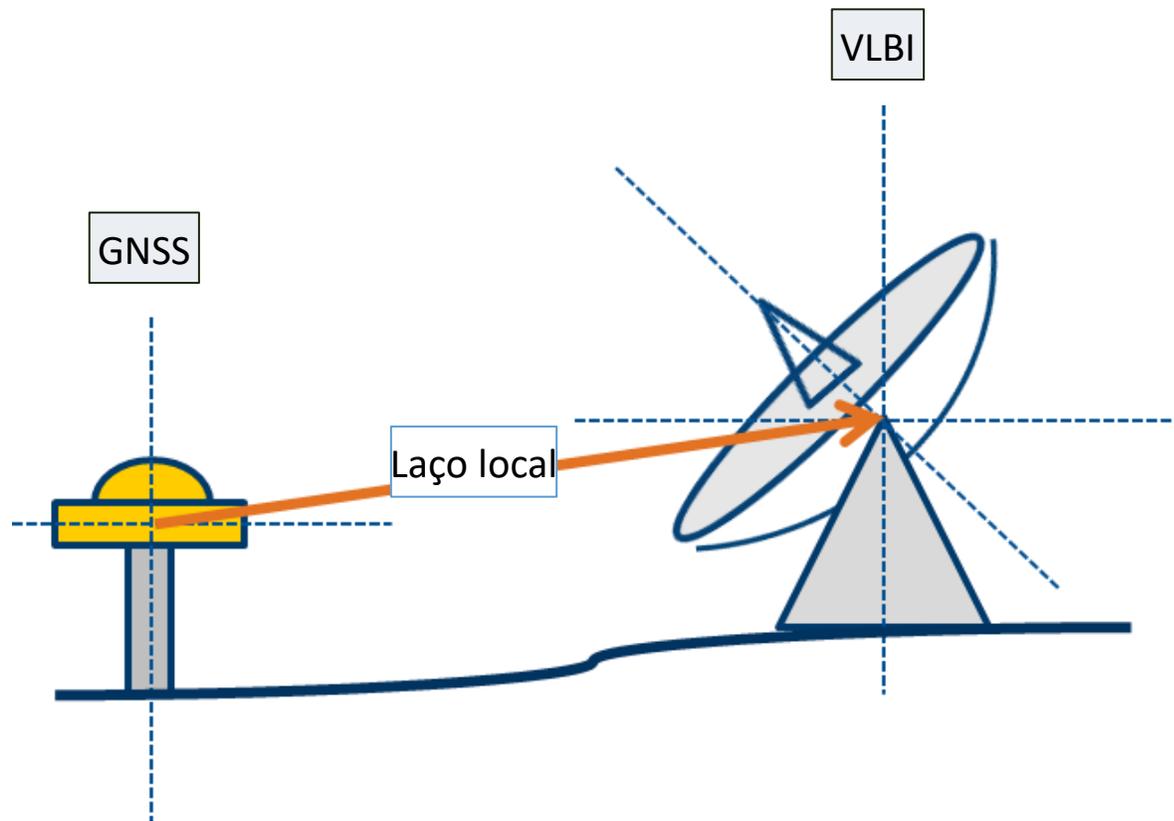
- Determinação da forma física da Terra definida pela superfície equipotencial da gravitação
- Determinação do centro de massa da Terra
- Monitoramento da dinâmica geofísica



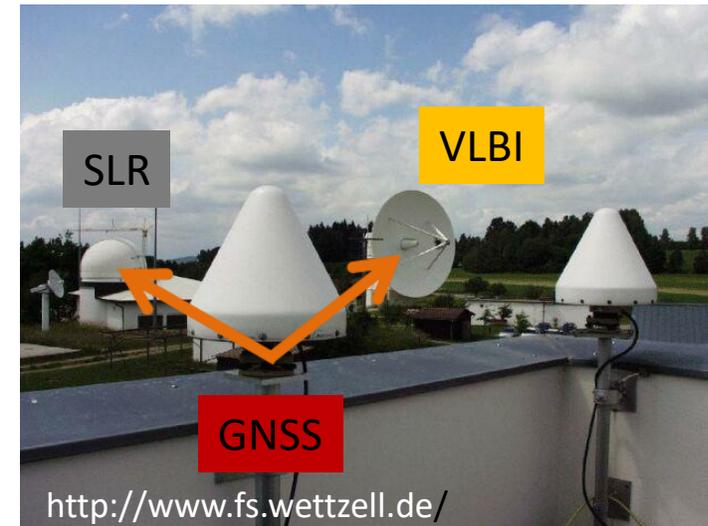
Observatório Geodésico Wettzell, Alemanha



Integração de técnicas espaciais



Observatório Geodésico Wettzell

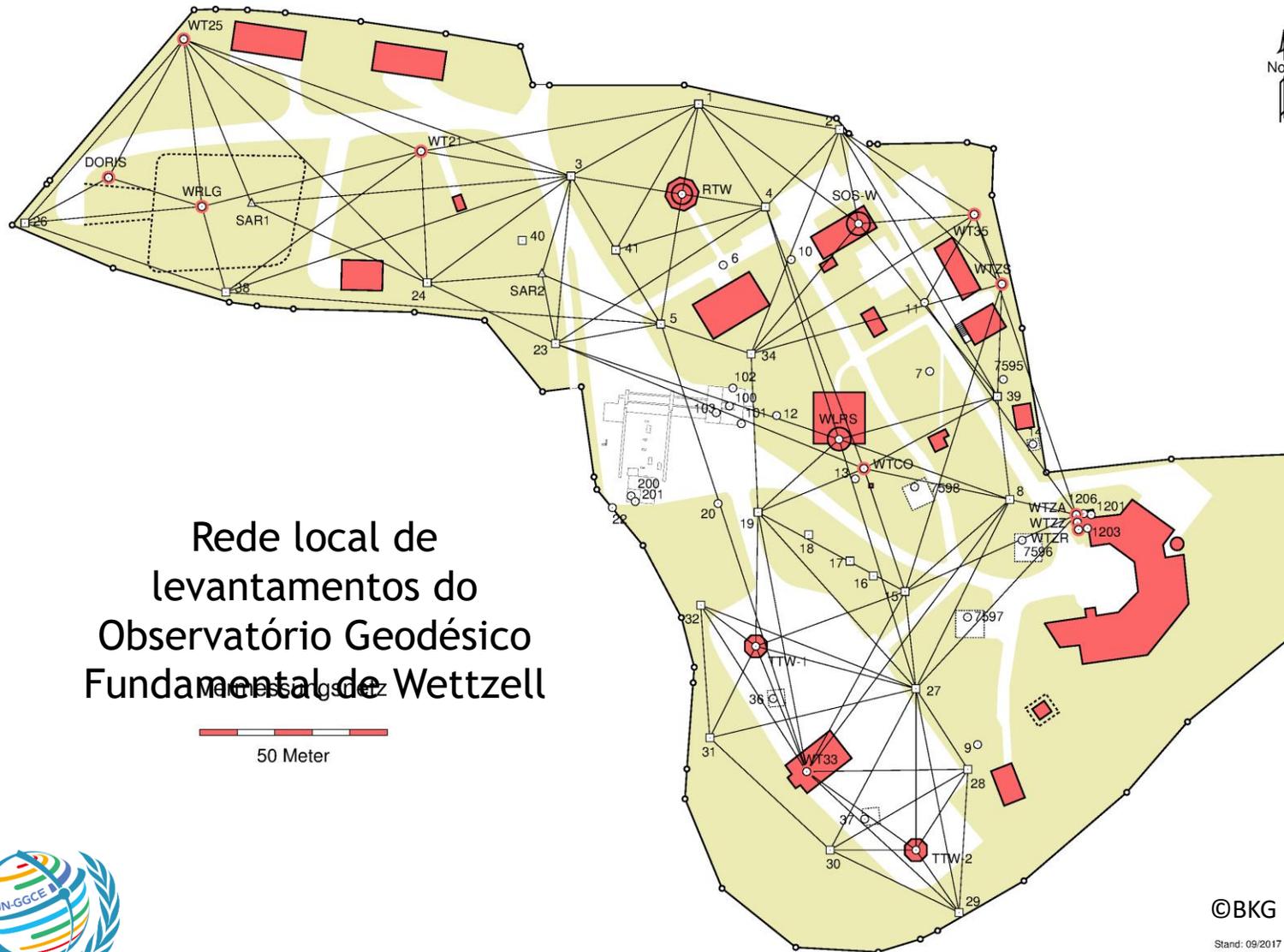


Os locais de co-localização e os laços locais desempenham um papel fundamental na integração de diferentes técnicas de observação geodésica espacial.



**MAIS
FORTES.
JUNTOS**

Rede local de pesquisa de laços



- Conexão precisa entre os componentes de observação individuais
- Fornece vetores de ligação entre as técnicas espaciais
- Permite a combinação de dados a partir de técnicas geodésicas
- Prova da estabilidade local dos pontos de referência



©BKG

Stand: 09/2017

**MAIS
FORTES.
JUNTOS**

Hora e frequência



Relógios de
césio

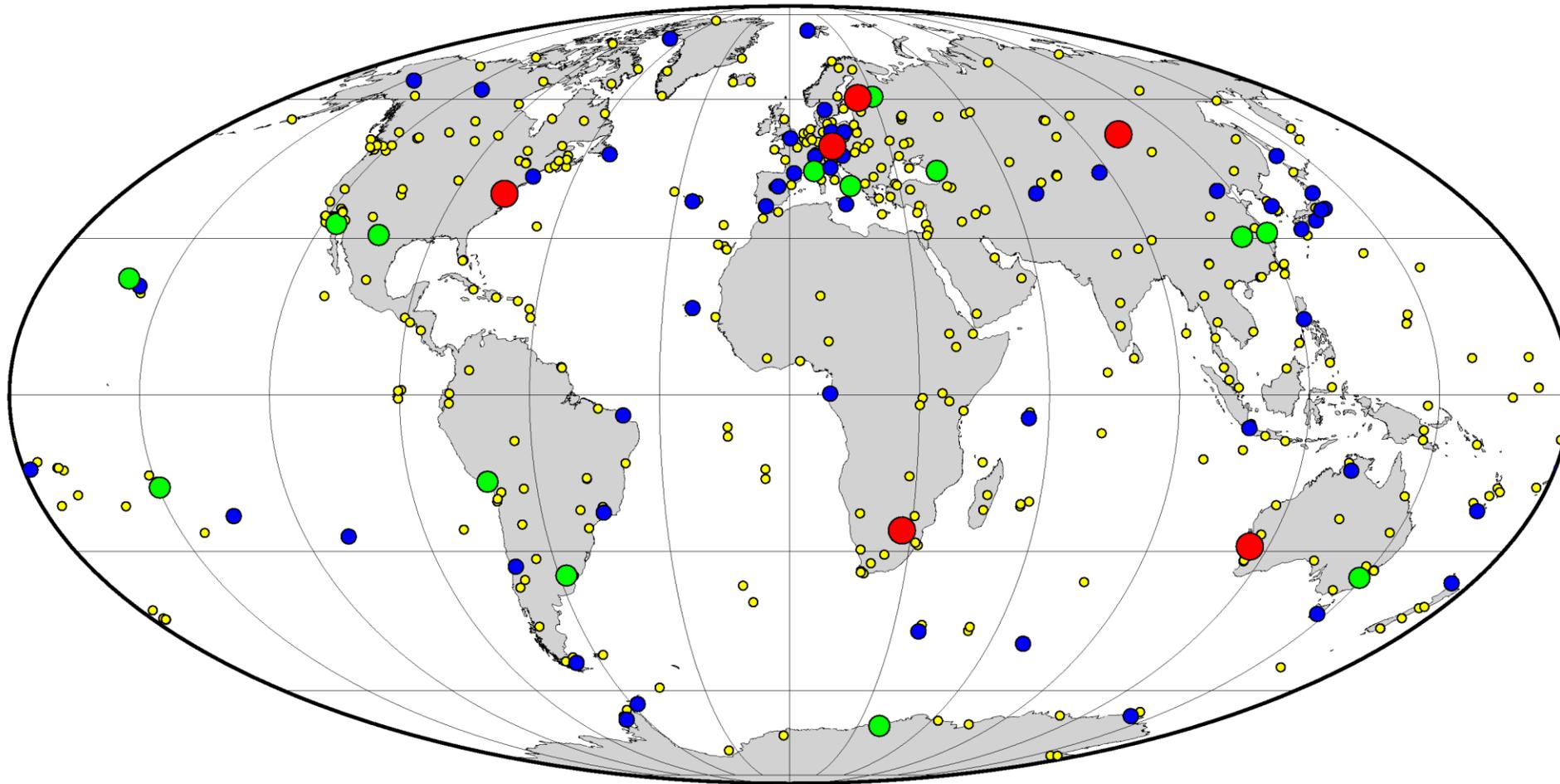
Maser de
hidrogênio
Estabilidade
máxima
10^{-15} seg.



- As observações geodésicas dependem da precisão da frequência e da medição da hora
- Os instrumentos devem ser conectados a frequências e horas precisos
- Relógios atômicos em observações geodésicas
 - Precisão até o nível de picossegundos (ps)
 - Sincronização temporal entre diferentes técnicas geodésicas
 - Contribuição para a UTC
 - Contribuição para a comparação da medição do tempo
- Sistemas GNSS
 - trabalhar com controle de tempo próprio
 - Transmissão e sincronização de hora entre diferentes locais de observação no mundo
 - Transferência e sincronização da hora UTC

Colocação das técnicas

ITRF: Estrutura de Referência Terrestre Internacional



● 1 Technique

● 2 Techniques

● 3 Techniques

● 4 Techniques

- Apenas um continente possui pelo menos três locais onde VLBI e SLR estão localizados.
- A cadeia de abastecimento global da geodesia não é robusta.

Contribuições das técnicas espaciais

- Diferentes técnicas permitem medições independentes.
- Cada técnica é única e tem contribuições diferentes para os produtos geodésicos.

Type of Parameter	VLBI	GNSS	DORIS	SLR	LLR
Quasar Coordinates (ICRF)	■				
Nutation	■	■		■	■
Polmotion	■	■	■	■	■
UT1	■				
Long of the day (LOD)		■	■	■	■
Subdaily Earth Rotation Parameters (ERP)	■	■			
ERP Oeantide amplitudes					
Coordinates and Velocities (ITRF)	■	■	■	■	■
Geocenter					
Gravitation Field					■
Satellite Orbits					■
LEO Satellite Orbits					■
Ionosphere	■	■	■		
Troposphere	■	■	■		
Time Transfer and Synchronization	■	■	■	■	■

Recursos

- Mais informações sobre ITRF e ICRF -
<https://geoscienceaustralia.github.io/ginan/theory.html>
- Técnicas geodésicas e serviços da Associação Internacional de Geodesia -
<https://ggos.org/services/>