



EPUSP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

IBGE

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Estudios de gravedad y el modelo cuasi-geoide para América del Sur



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE UBERLÂNDIA



Denizar Blitzkow
(e-mail: dblitzko@usp.br)
Ana Cristina Oliveira Cancoro de Matos
Daniel Silva Costa
Gabriel do Nascimento Guimarães
María Cristina Pacino
Eduardo Andrés Lauría
Carlos Alberto Correa e Castro Junior

Reunión SIRGAS 2014
24 al 27 de noviembre de 2014, La Paz, Bolivia

Sumario

- **Encuestas de gravedad en Brasil, Paraguay, Argentina, Ecuador**
- **Modelo de geoide en América del Sur - versión 2014**
- **Estudios de mareas terrestre en São Paulo**
- **Red Gravedad Absoluta en Argentina**
- **Red Gravedad Absoluta en São Paulo**
- **Red Gravedad Absoluta en Venezuela**

DATOS DE GRAVEDAD

Actividades desarrolladas por diferentes organizaciones, universidades y institutos de investigación en América del Sur.

- ❖ IBGE (CGED)
- ❖ NGA
- ❖ GETECH
- ❖ BGI
- ❖ Las instituciones civiles y militares de distintos países de América del Sur.

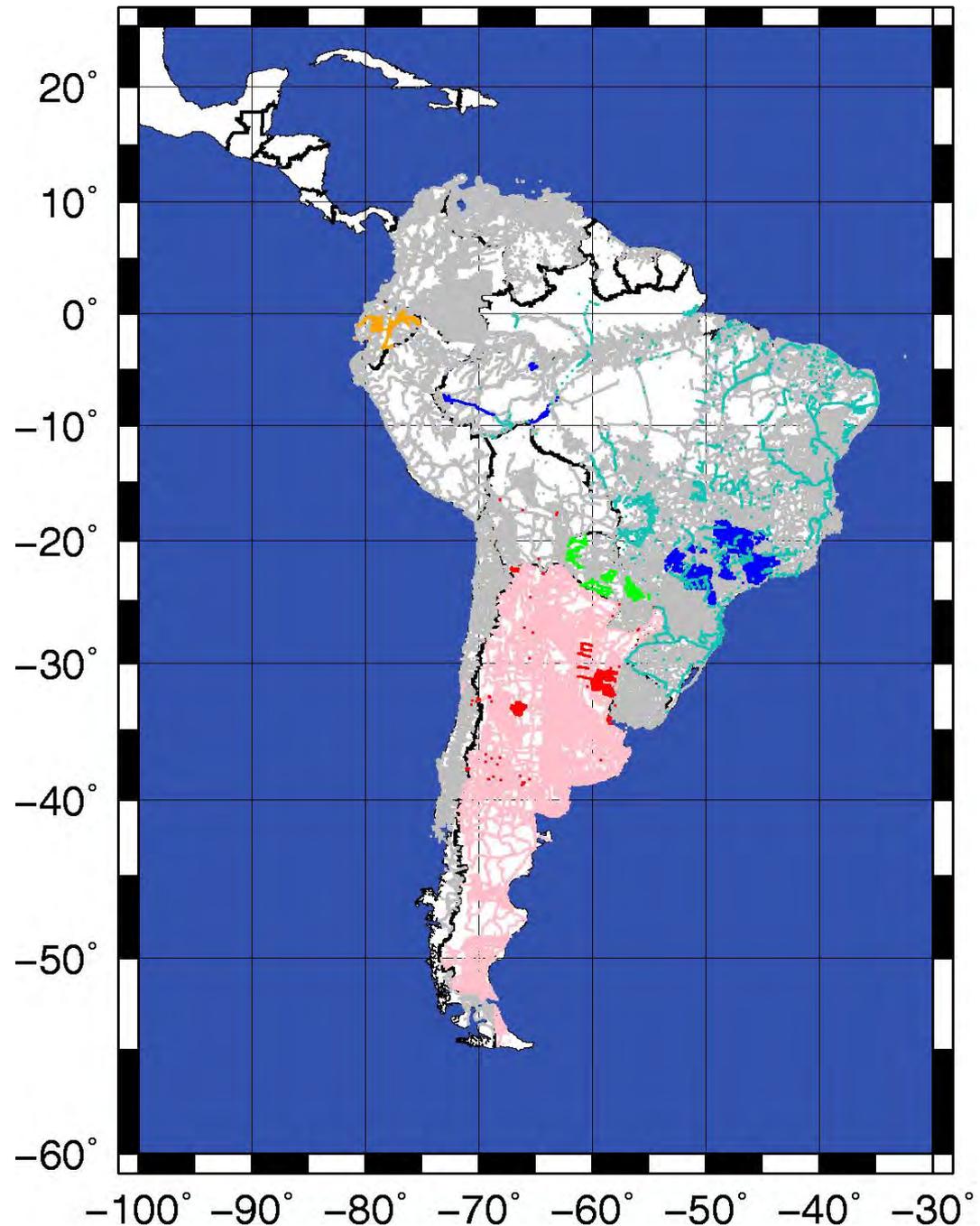
Los grandes esfuerzos realizados por diferentes organizaciones en los últimos años para mejorar la cobertura de los datos de gravedad.

892,604

puntos de gravedad en América del Sur

DISTRIBUCIÓN DE DATOS DE GRAVEDAD

- Las nuevas observaciones de gravedad han realizado con LaCoste y Romberg y/o CG5
- Receptores de doble frecuencia GPS se han utilizado para obtener las coordenadas geodésicas para las estaciones.
- El 'altura ortométrica' para los estudios recientes se deriva de la altura geodésica usando EGM2008 restringido a grado y orden 150.

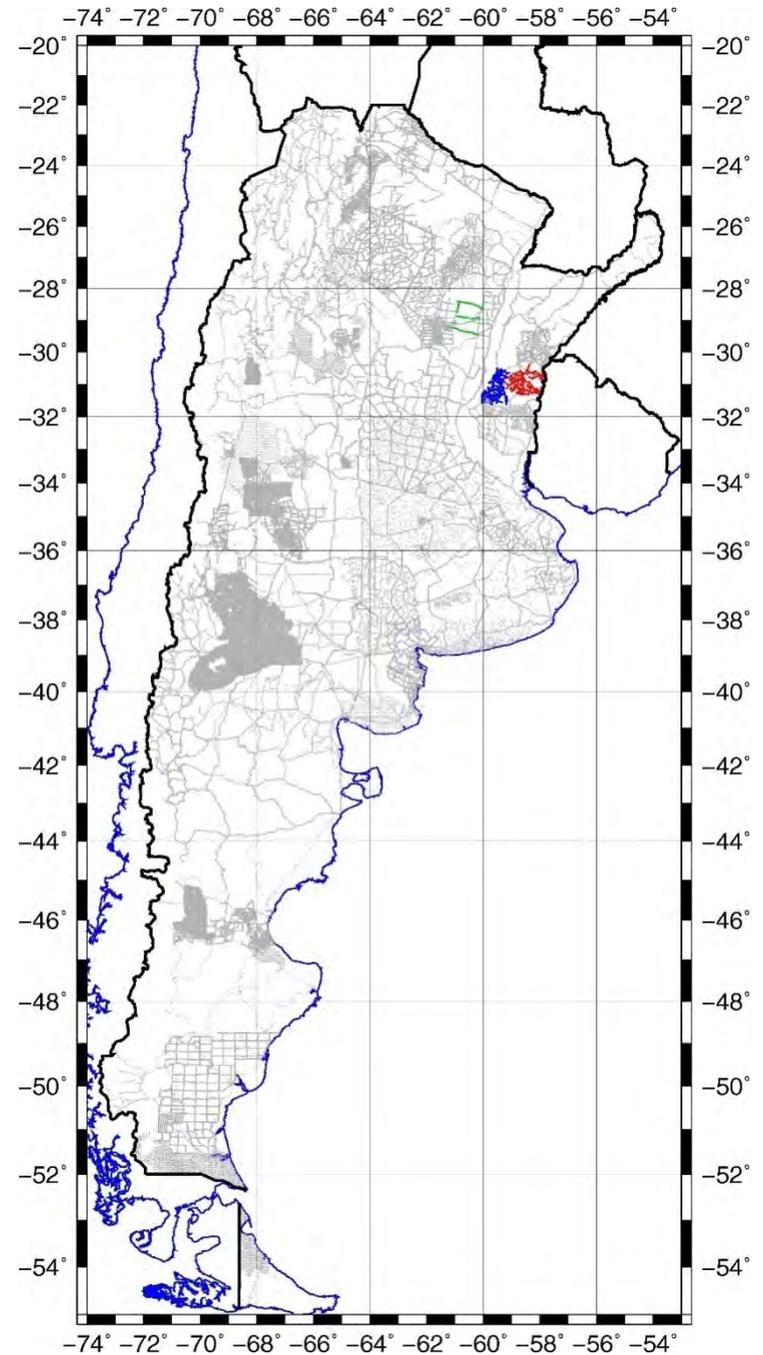


ESFUERZO RECIENTE

ARGENTINA

SAGS2011-2012

504 nuevas estaciones de gravedad se han
medido



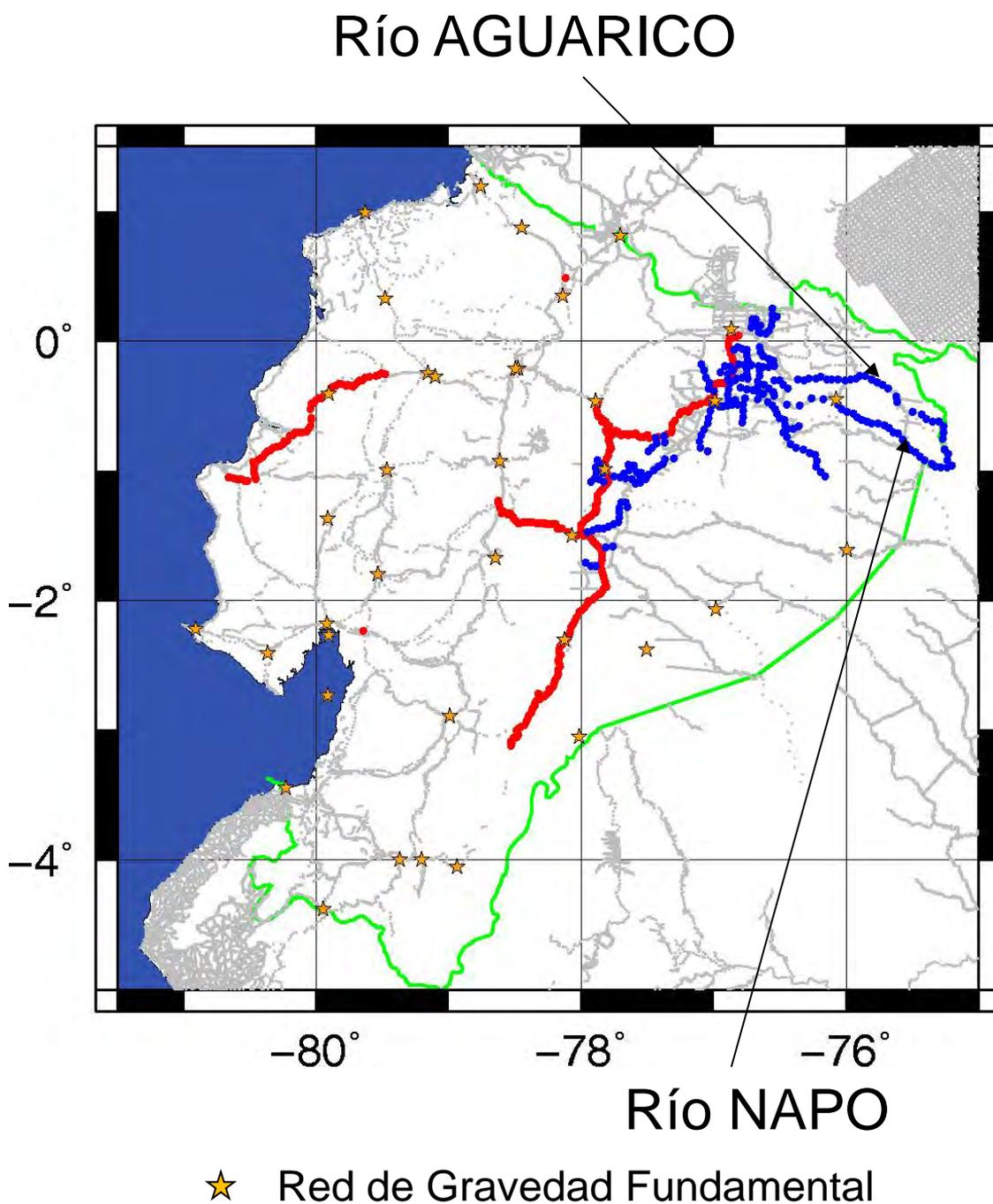
ESFUERZO RECIENTE ECUADOR

- SAGS2011-2012
235 nuevos puntos
- +
● 308 puntos IGM
(2009 hasta 2012)

Datos de gravedad SAGS fueron encuestados por IGM, IBGE y EPUSP en el periodo de 2011 y 2012.

Rios Napo e Aguarico e alguns sanderos.

La logística sofisticada fue creada para apoyar las investigaciones en los ríos. Los valores de gravedad fueron conectados al FGN (Fundamental Rede Gravidade).



Las fotos siguiente muestran las condiciones típicas de los trabajos em los ríos

Río Aguarico



Río Napo



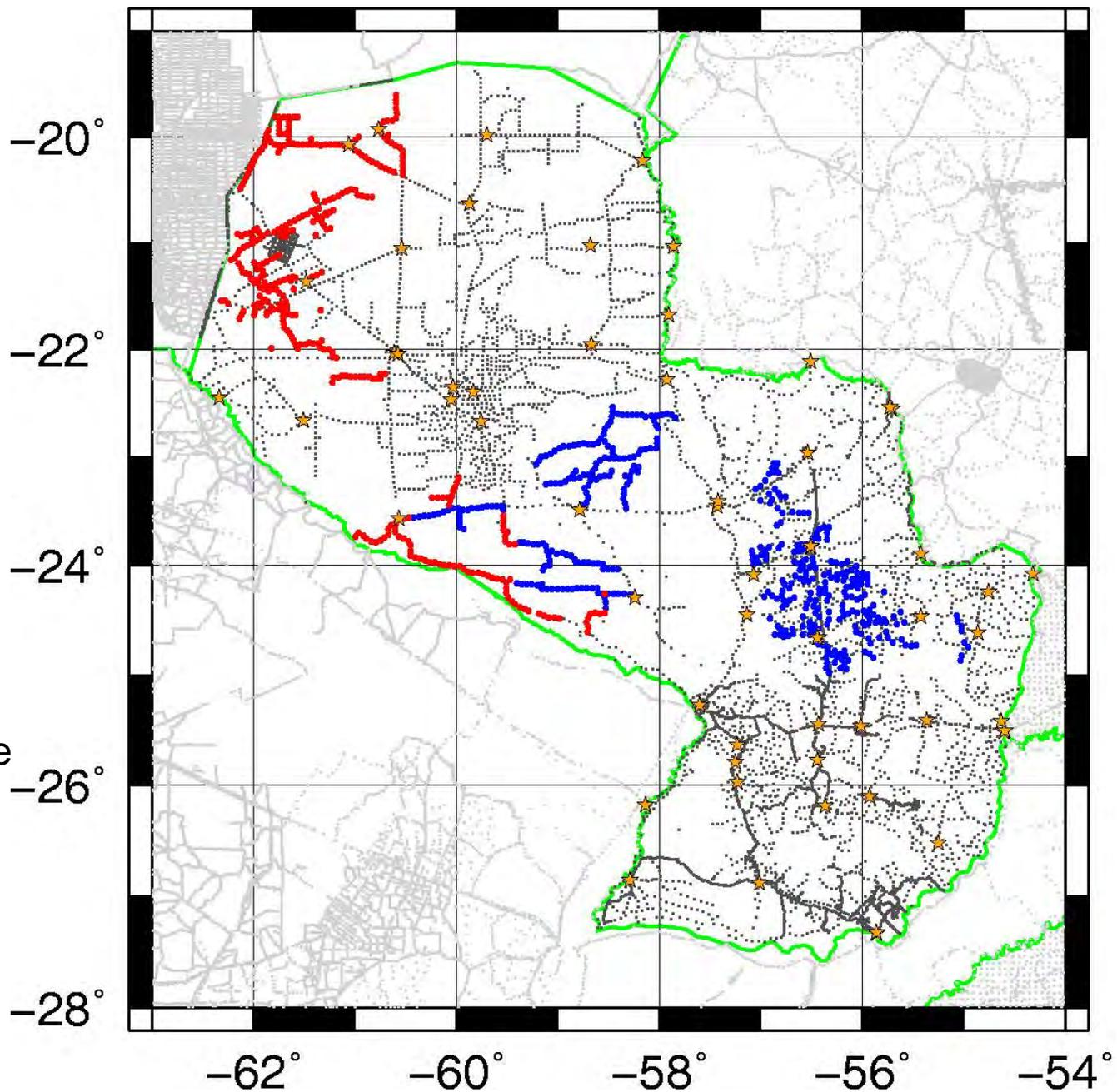
ESFUERZO RECIENTE PARAGUAY

● SAGS2010-2011

● SAGS2011-2012

★ Red de Gravedad
Fundamental

771 nuevas estaciones de
gravedad



Condiciones típicas de la encuesta en el Chaco

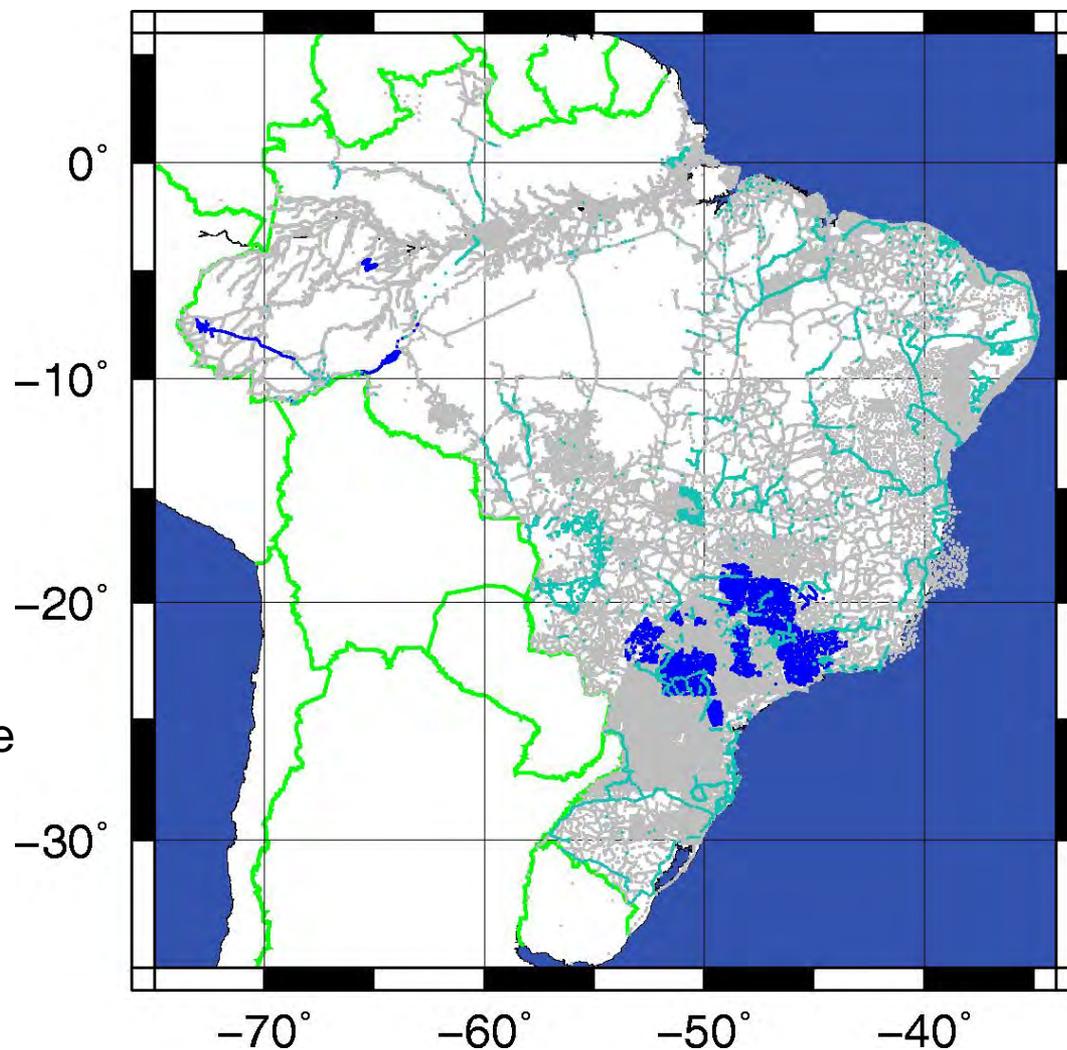


ESFUERZO RECIENTE BRASIL

SAGS2010-2011
SAGS2011-2012
PROYECTO TEMÁTICO
PROYECTOS LTG / USP
IBGE

11.594

nuevas estaciones de gravedad se
han medido

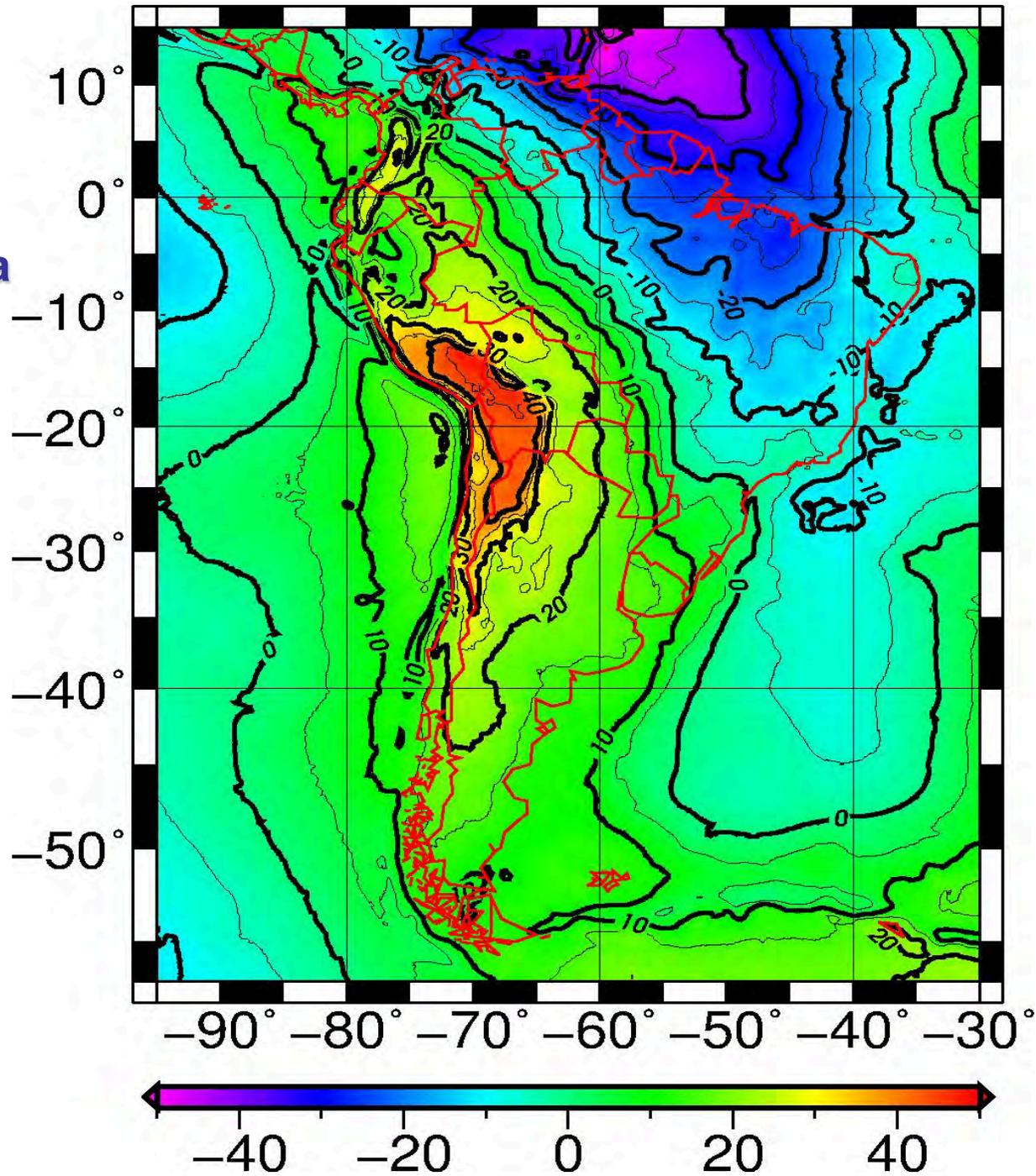


**Geoid (quasi-geoid)
model in South America
GEOID2014**

5' x 5' geoid model

15° N and 57° S
in latitude

95° W and 30° W
in longitude



El modelo de geoide GEOID2014

- El modelo fue basado en **EIGEN-6c3stat*** hasta **grado y orden 200** como campo de referencia.
- La **zona de los oceanos** fue completada con la gravedad media aire-libre derivada del **modelo de altimetría de satélite** *Danish National Space Center, DTU10*.
- Las **anomalías completas de Bouguer, las anomalías de gravedad de Helmert y el efecto topográficos indirecto primario** fue derivado a través del paquete canadiense **SHGEO (DTM →SAM3s_v2)**.
- La **componente de longitud de onda corta** fue estimada por **FFT** con la modificación del Kernel propuesta por Featherstone.

* EIGEN-6c3stat was downloaded by site of the International Centre for Global Earth Models (ICGEM)

El análisis estadístico de **1.861 GPS/nivelación** en **América del Sur**

	Las discrepancias entre GPS /NIV y	Media (m)	RMS Dif (m)	Max. (m)	Min. (m)
GEOID esferóide de referência EIGEN-6C3stat	Geoid2014 (200)	0.21	0.55	2.24	-2.52
GEOID esferóide de referência (200)	GO_CONS_GCF_2_DIR_R4	0.21	0.55	2.23	-2.52
	GO_CONS_GCF_2_DIR_TIM4	0.21	0.55	2.28	-2.46
	EGM08	0.20	0.55	2.25	-2.49
GGM MÁXIMO GRADO	EGM08 (n=2190 and m=2159)	0.18	0.50	2.58	-2.89
	EIGEN-6C2 (1949)	0.17	0.49	2.65	-3.20
	GO_CONS_GCF_2_DIR_TIM4 (250)	0.19	0.60	3.05	-2.65
	GOCO3S (250)	0.20	0.64	2.99	-2.35
	DGM-1S (250)	0.21	0.68	3.08	-2.30
	GO_CONS_GCF_2_DIR_R4 (260)	0.19	0.60	2.99	-2.39

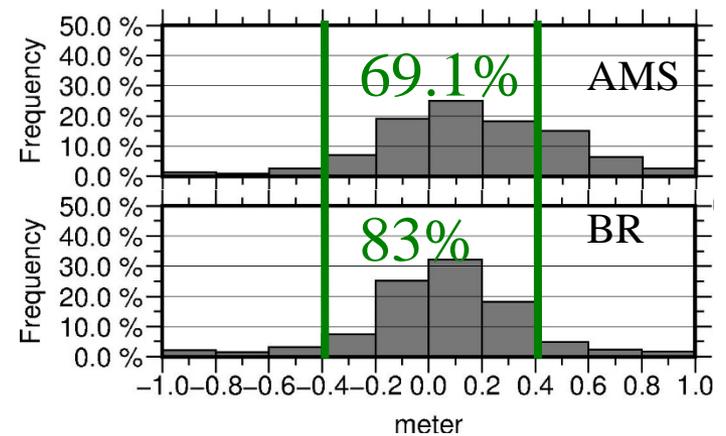
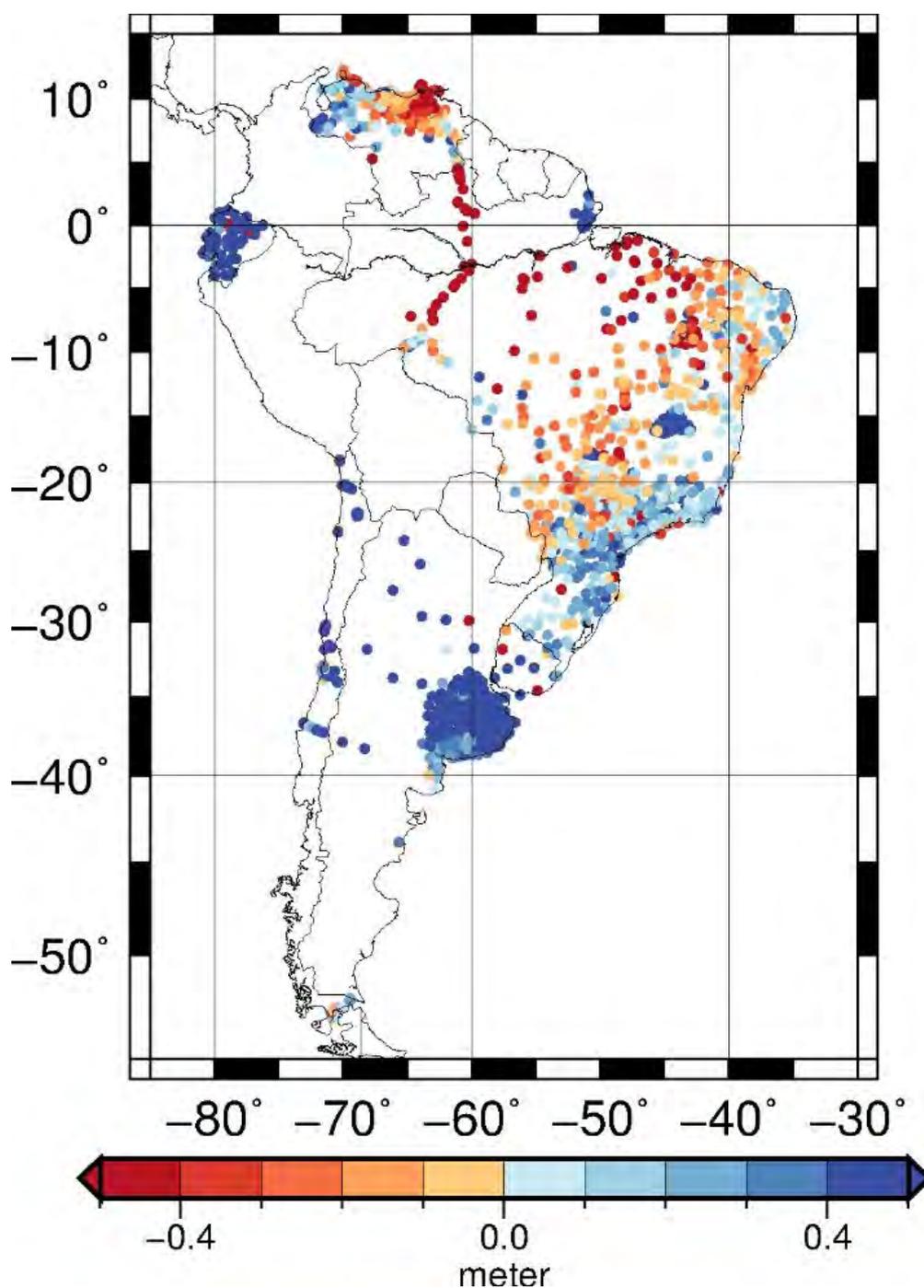
Statistical analysis of 1,113 GPS /BM points located in Brazil

	Discrepancies among GPS/BM and	Mean (m)	RMS Dif (m)	Max. (m)	Min. (m)
GEOID Reference spheroid EIGEN-6C3stat	Geoid2014 (200)	0.06	0.44	2.15	-1.97
GEOID Reference spheroids (200)	GO_CONS_GCF_2_DIR_R4	0.06	0.44	2.23	-1.87
	GO_CONS_GCF_2_DIR_TIM4	0.06	0.44	2.18	-1.88
	EGM08	0.04	0.44	2.23	-1.81
GGM MAXIMUM DEGREE	EGM08 (n=2190 and m=2159)	0.14	0.48	2.52	-2.89
	EIGEN-6C2 (1949)	0.14	0.46	2.22	-1.94
	GO_CONS_GCF_2_DIR_TIM4 (250)	0.10	0.52	2.40	-1.89
	GOCO3S (250)	0.11	0.52	2.49	-1.98
	DGM-1S (250)	0.11	0.53	2.48	-2.05
	GO_CONS_GCF_2_DIR_R4 (260)	1.10	0.52	2.43	-2.02

El análisis estadístico de 1.861 GPS/NIV ubicado en América del Sur

GEOID2014

**EIGEN-6C3stat
(200)**



CONCLUSIÓN – Geoid 2014

- ❖ A pesar de los esfuerzos realizados en los últimos años de las diferentes organizaciones, universidades e institutos de investigación para llenar las áreas sin datos de gravedad terrestre, todavía hay grandes vacíos.
- ❖ Las alturas del geoide asociados con GPS / BM tienen su inexactitud debido al error del espíritu de nivelación, así como del GPS. Sin embargo, la comparación es muy útil para cuidar la coherencia entre las dos alturas. El estado de Maranhão (noreste de Brasil), Venezuela y la Provincia de Buenos Aires (Argentina) muestran los mayores discrepancias con el puntos GPS/BM en modelos de geoide.
- ❖ Se espera que los estudios de nueva gravimetría y GPD/NIV en Amapá Estado para 2014/2015. Acuerdo entre el gobierno del estado de Amapá, IBGE, LTG ya establecido.

Modelo de marea terrestre

**Un proyecto en Brasil
coordinado por
EPUSP / LTG y CENEGEO
(Centro de Estudios de
Geodesia) para establecer un
modelo de marea de la Tierra**



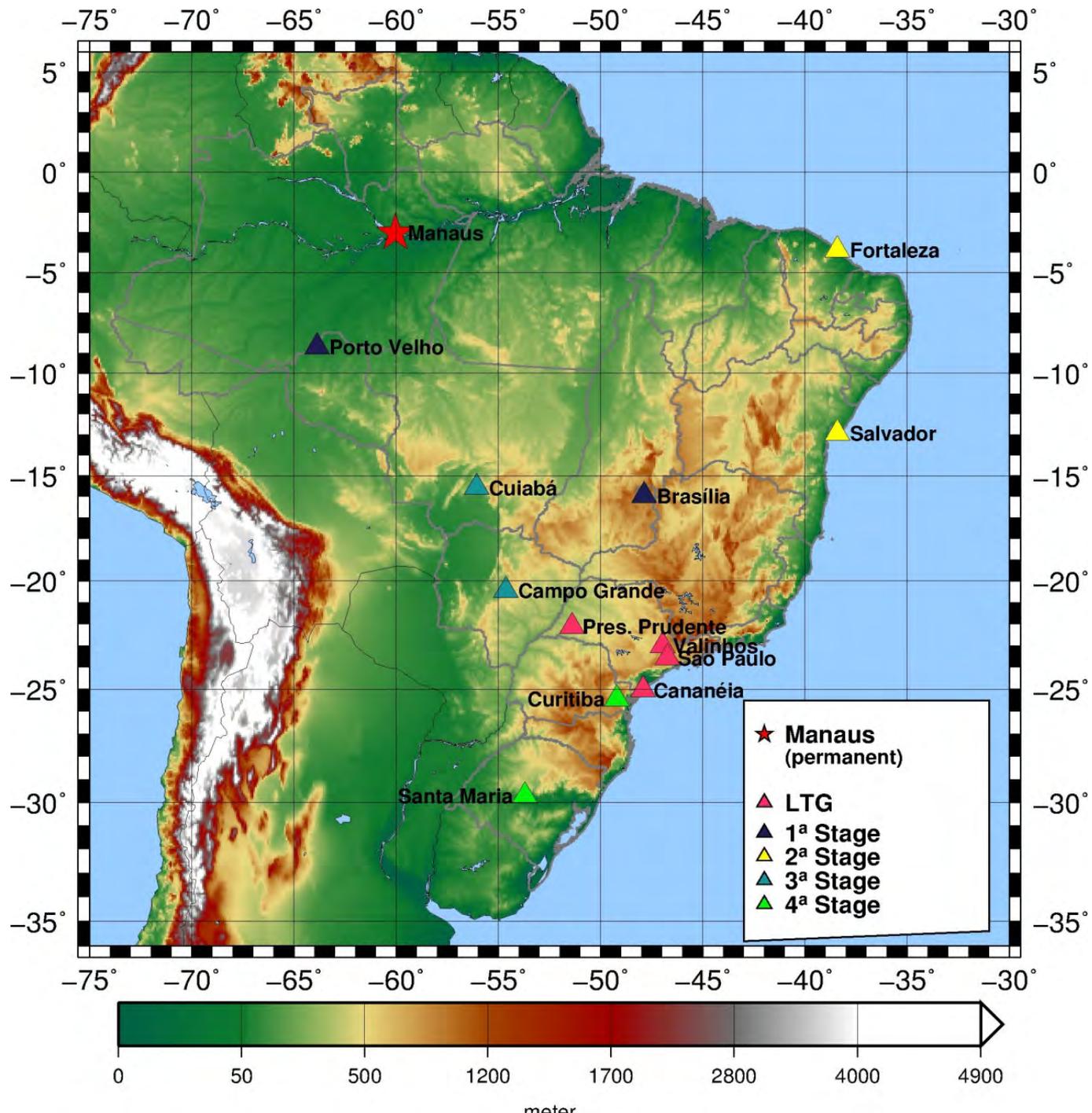
Soporte:
GEORADAR Levantamentos Geofísicos S.A.



La primera fase del proyecto se pretende lograr la determinación de un modelo preliminar para la marea de la Tierra en el estado de São Paulo (cuatro estaciones).

El proyecto tiene como objetivo establecer 9 estaciones bien distribuidos en Brasil:

- ✓ Una a largo plazo en Manaus, Amazonas.
- ✓ Otras ocho en una secuencia de cuatro años de operación en diferentes lugares. En todos los casos un receptor GPS permanente está disponible.



gPhone Micro-g LaCoste 105 – Presidente Prudente - UNESP



Durante el año 2012 los dos gPhones se instalaron respectivamente:

1. Universidad de São Paulo, la ciudad de São Paulo;

2. observatorio Abrahão de Moraes, ciudad Valinhos.

Los lugares pertenecen al Instituto de Astronomía, Geofísica y Ciencias Atmosféricas de la Universidad de São Paulo (IAG-USP).

Año 2013/2014

1. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), en Presidente Prudente;

2. La base de la investigación del océano Dr. João de Paiva Carvalho, Instituto de Oceanografía, Universidad de São Paulo (IO-USP), situado en Cananea.

3. Universidad de São Paulo, la ciudad de São Paulo;

Estamos utilizando programas de computadora TSoft y ETERNA para la preparación de los datos y para el análisis de las mareas. Después de muchos problemas para el procesamiento de datos, llegamos a una mejora muy importante recientemente.

La presión atmosférica mostró un comportamiento perfecto teniendo en cuenta que varía inversamente proporcional a la gravedad. Un análisis de regresión aplicado a los datos de presión observadas como resultado un coeficiente de 2,69 . Es necesario eliminar este efecto a partir de los datos de la gravedad .

La deriva del equipo era muy pequeña. La estimación de la deriva por un análisis de regresión dio como resultado los siguientes coeficientes para la ecuación lineal de primer orden:

$$g = 5.58158 \times 10^{-13} T - 0.000224227$$

donde

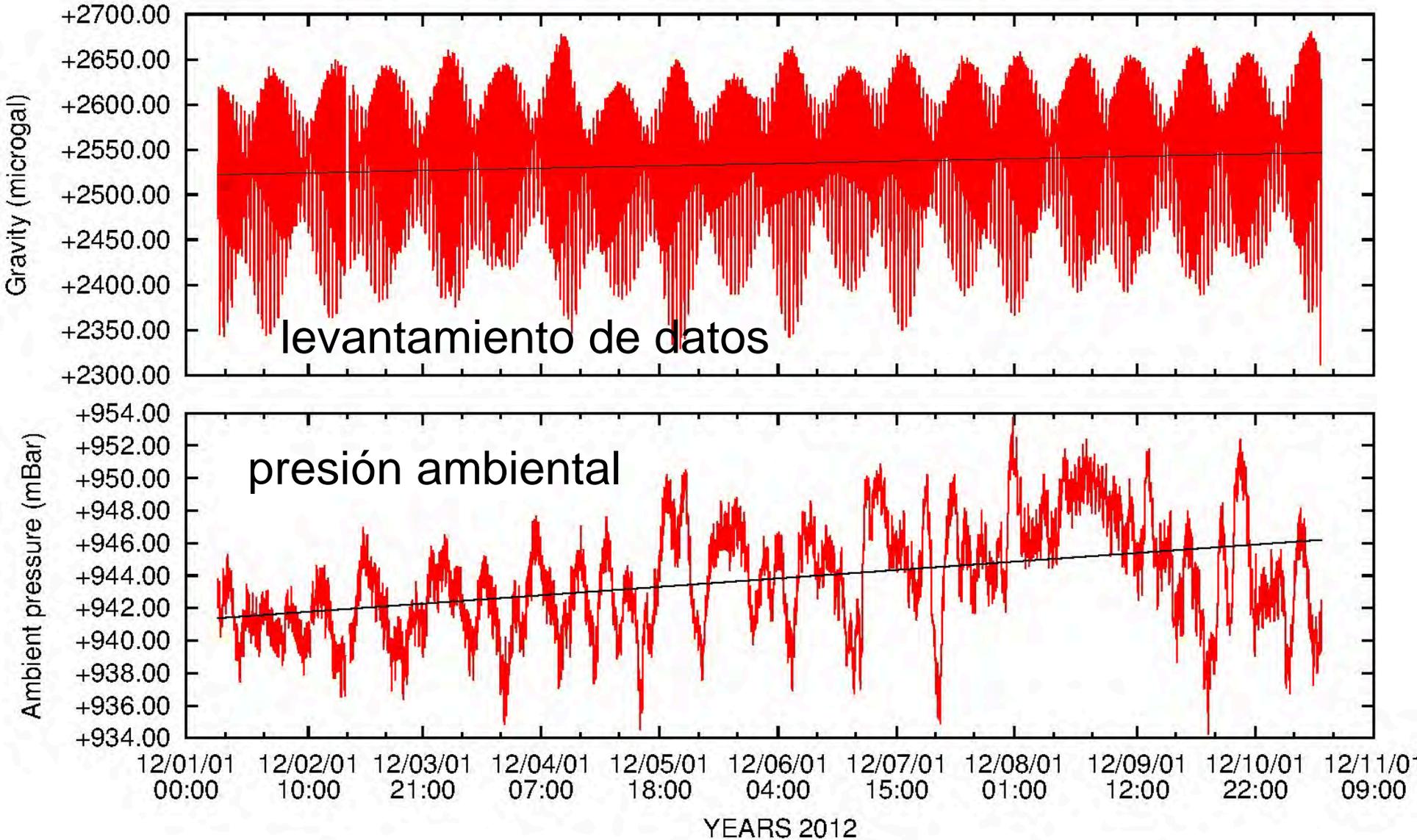
g valor de gravedad

T tiempo

IAG-USP

(Enero a octubre, 2012)

IAG/USP Sao Paulo



IAG-USP

wave	ampl.	ampl.fac.	stdv.	ph. Lead	stdv.
	nm/s**2	nm/s**2	nm/s**2	deg	deg
Q1	43.5419	1.1703	0.0255	-2.6759	1.2499
O1	227.4148	1.1649	0.0061	-2.4218	0.3010
M1	17.8759	1.1035	0.0641	-3.5965	3.3110
K1	319.6977	1.1515	0.0040	-0.8067	0.1981
J1	17.8824	1.1941	0.0703	-1.0152	3.3640
OO1	9.7820	1.3041	0.1428	-2.0101	6.2746
2N2	19.2922	1.1467	0.0199	2.8625	0.9930
N2	120.7935	1.1848	0.0051	-0.2420	0.2448
M2	630.8874	1.1668	0.0011	-0.0530	0.0554
L2	17.8339	1.2148	0.0407	-3.4183	1.9215
S2	293.4950	1.1665	0.0025	0.2309	0.1208
M3M6	11.3582	1.2085	0.0515	-0.5252	2.4433

Latitude:-25.0202 deg, longitude:-47.9250 deg,
20130314...20140108

Hartmann+Wenzel (1995) TGP

Rigid Earth model used.

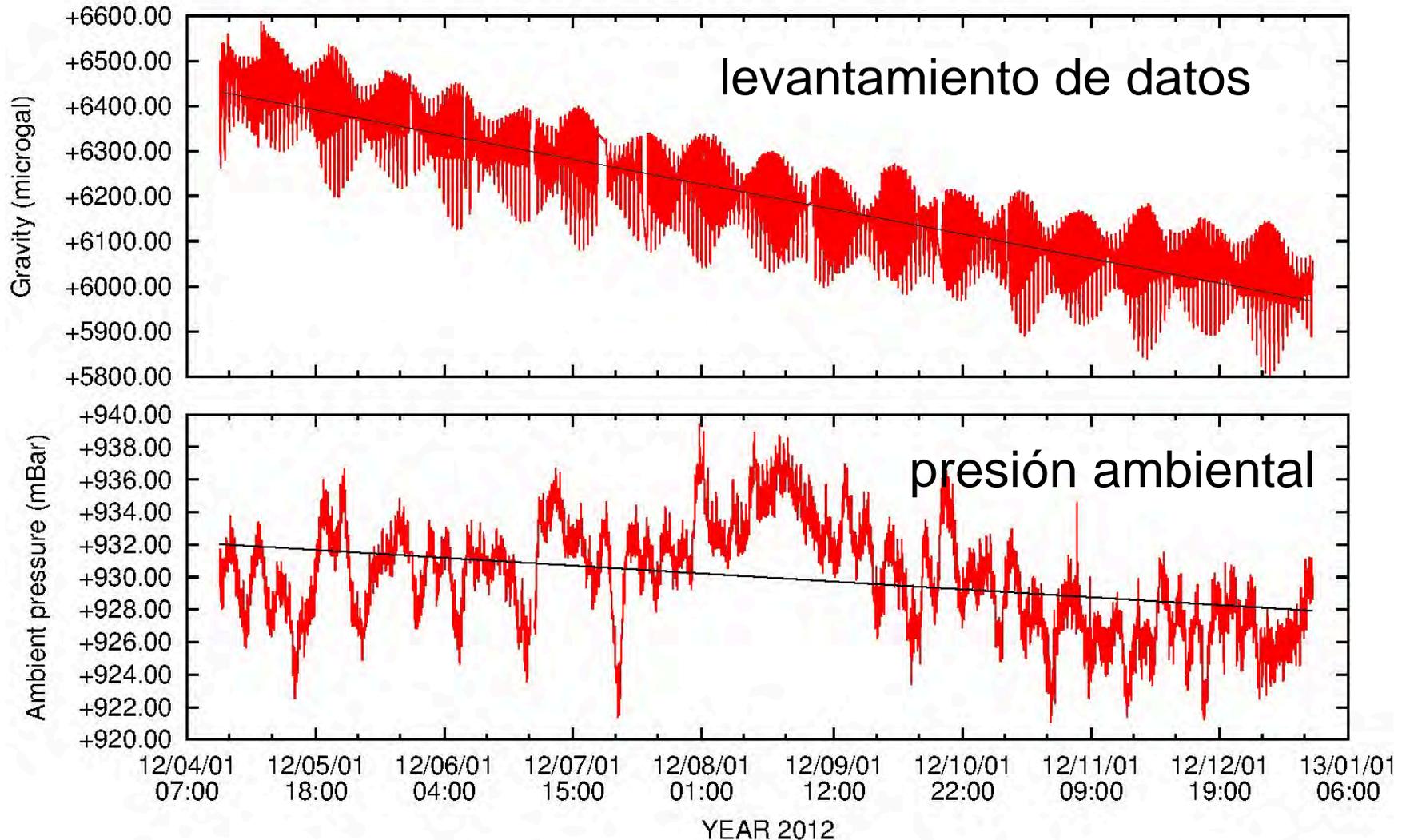
Sampling interval: 300. s

Numerical filter is N05M05M2 with 2001 coefficients.

Standard deviation: 43.548 nm/s**2

Observatorio Abrahão Moraes / IAG-Valinhos / SP (junio a diciembre de 2012)

Observ. Abrahao de Moraes – IAG/Valinhos



Observatorio Abrahão Moraes/IAG – Valinhos/SP

WAVE	AMPL.	FATOR AMPL	DES. PADRÃO	FASE	DES. PADRÃO
	[nm/s**2]	[nm/s**2]	[nm/s**2]	grau	grau
Q1	42,7537	1,21636	0,03369	-0,4128	1,5860
O1	223,2982	1,17013	0,00695	-0,9862	0,3405
M1	17,5523	1,14573	0,10919	7,8041	5,4575
K1	313,9115	1,13642	0,00478	-0,2037	0,2414
J1	17,5587	1,20806	0,09047	-2,5303	4,2894
OO1	9,6049	1,20916	0,20079	0,3877	9,5143
2N2	19,4520	1,17015	0,02932	3,6371	1,4352
N2	121,7940	1,18869	0,00613	1,8453	0,2954
M2	636,1128	1,17698	0,00122	1,7978	0,0594
L2	17,9816	1,20754	0,04733	1,9147	2,2451
S2	295,9259	1,17784	0,00255	1,7406	0,1239
M3M6	11,4994	1,12876	0,03886	1,1510	1,9722

Latitude:-23.0042 deg, longitude:-46.9646 deg

20120621...20121223

Hartmann+Wenzel (1995) TGP

Rigid Earth model used.

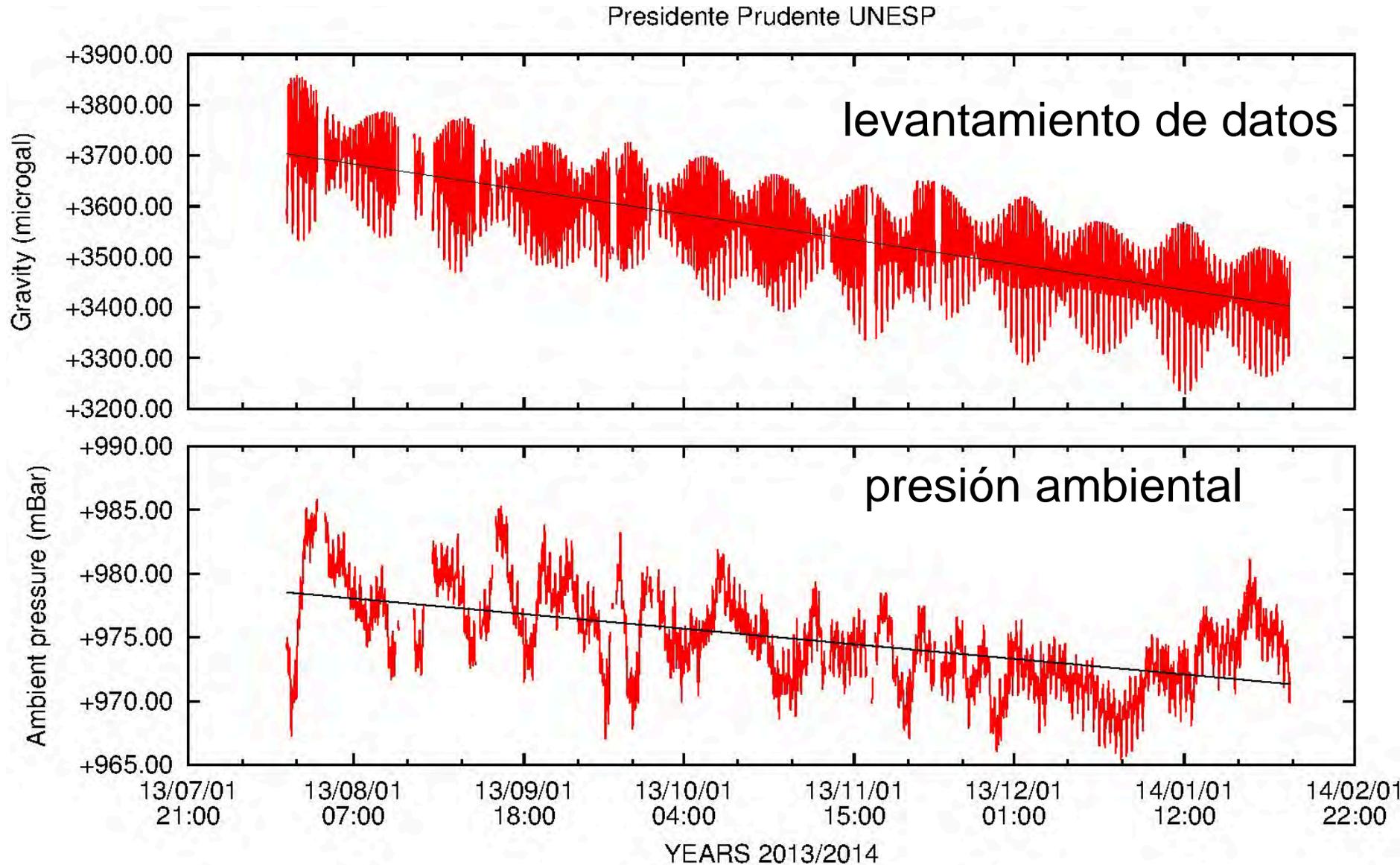
Sampling interval: 300. s

Numerical filter is N05M05M2 with 2001 coefficients.

Standard deviation:

18.617 nm/s**2

UNESP – Presidente Prudente/SP (Junio a diciembre de 2012)



UNESP – Presidente Prudente/SP

WAVE	AMPL.	FATOR AMPL	DES. PADRÃO	FASE	DES. PADRÃO
	[nm/s**2]	[nm/s**2]	[nm/s**2]	grau	grau
Q1	41,4565	1,20266	0,03718	-1,7392	1,7702
O1	216,5231	1,17326	0,00769	-0,7781	0,3754
M1	17,0197	1,01111	0,11227	0,9361	6,3670
K1	304,387	1,14899	0,00497	0,3268	0,2477
J1	17,0259	1,16725	0,09797	1,8934	4,8102
OO1	9,3135	1,26728	0,26661	0,9984	12,0521
2N2	19,7017	1,17283	0,02952	3,3259	1,4417
N2	123,3571	1,17870	0,00610	1,5551	0,2965
M2	644,2767	1,17348	0,00123	1,1630	0,0599
L2	18,2124	1,22788	0,04673	1,8650	2,1793
S2	299,7238	1,17599	0,00266	1,0958	0,1296
M3M6	11,721	1,07486	0,05106	1,5707	2,7223

Latitude:-22.1199 deg, longitude:-51.4085 deg

20130607...20131231

Hartmann+Wenzel (1995) TGP

Rigid Earth model used.

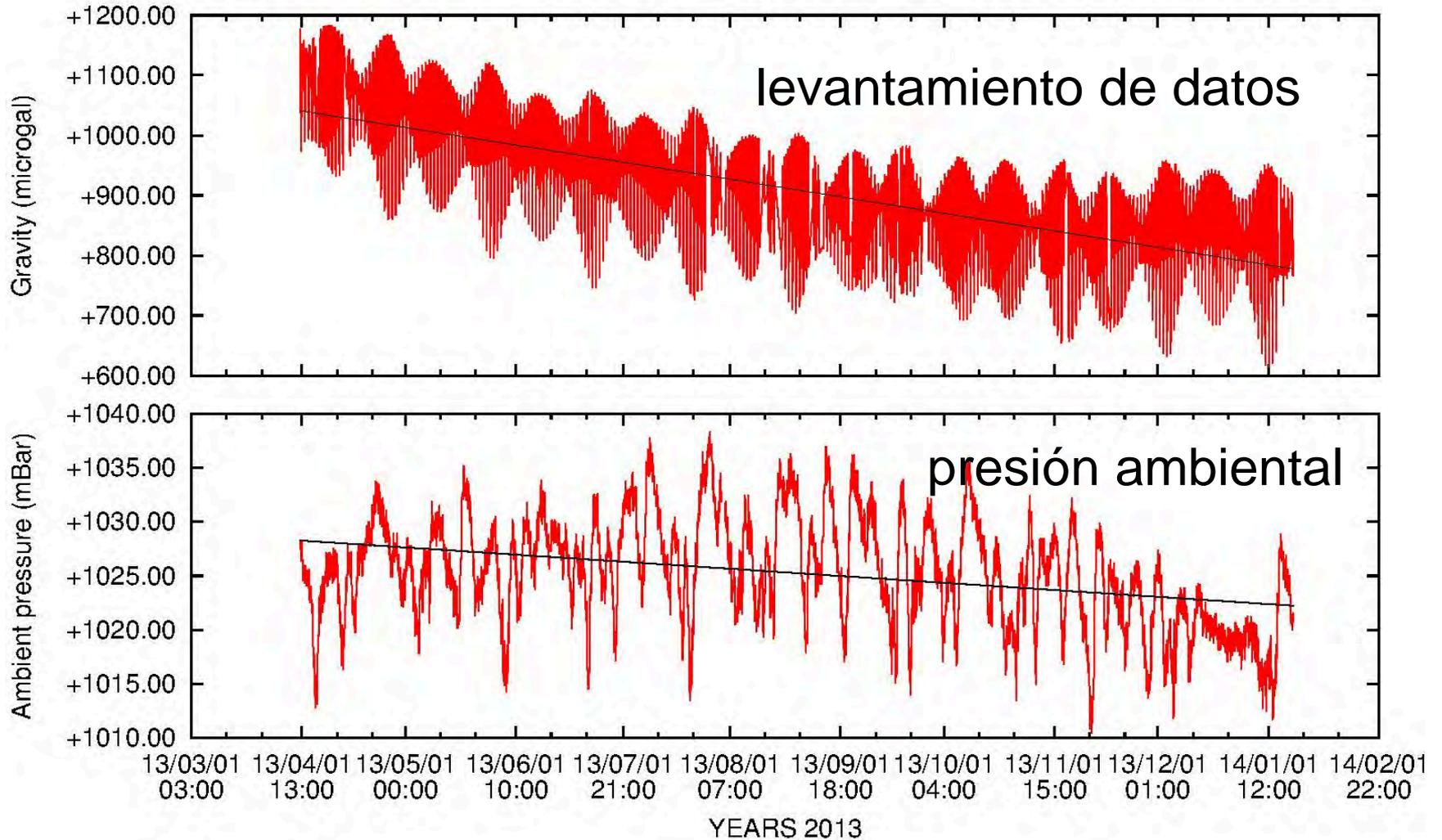
Sampling interval: 300. s

Numerical filter is N05M05M2 with 2001 coefficients.

Standard deviation: 20.966 nm/s**2

Observatorio Dr. João de Paiva Carvalho/IO – Cananéia/SP (De marzo de 2013 a enero de 2014)

IO – CANANEIA/Sao Paulo



Dr. João de Paiva Carvalho Observatory/IO – Cananéia/SP

WAVE	AMPL.	FATOR AMPL	DES. PADRÃO	FASE	DES. PADRÃO
	[nm/s**2]	[nm/s**2]	[nm/s**2]	grau	grau
Q1	45,5494	1,19964	0,02043	-0,8223	0,9756
O1	237,8999	1,16444	0,00431	-1,5936	0,2122
M1	18,7	1,11484	0,07048	1,7770	3,6227
K1	334,4386	1,13300	0,00279	-0,5527	0,1412
J1	18,7069	1,17101	0,05366	1,4051	2,6269
OO1	10,233	1,31575	0,15279	2,4033	6,6553
2N2	18,8513	1,17473	0,03345	4,2871	1,6309
N2	118,0328	1,18370	0,00708	1,8057	0,3428
M2	616,4687	1,16309	0,00144	2,3684	0,0710
L2	17,4263	1,17547	0,05572	5,7897	2,7154
S2	286,7873	1,16756	0,00315	2,9008	0,1545
M3M6	10,9707	1,27489	0,02708	-2,8243	1,2170

Latitude:-25.0202 deg, longitude:-47.9250 deg
20130321...20140108

Hartmann+Wenzel (1995) TGP,
Rigid Earth model used.

Sampling interval: 300. s

Numerical filter is N05M05M2 with 2001 coefficients.

Standard deviation: 16.359 nm/s**2

Gravedad absoluta

El proyecto en Brasil y Argentina con la coordinación de EPUSP/LTG y CENEGEO (Centro de Estudios de Geodesia) para establecerse red absoluta

Soporte:

IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico) en Brasil

IGN (Instituto Geográfico Nacional) en Argentina



gravímetro absoluto Micro-g LaCoste A-10/32



**Observatorio
Astronómico
Valinhos - SP**

Gravedad absoluta – Vehículo usado



Gravedad absoluta – Interior del vehículo



El gravímetro absoluto A-10 está trabajando alrededor de Brasil y Argentina (Venezuela en brevedad) para establecer puntos fundamentales de gravedad con gran precisión. También se utiliza para controlar la deriva de la gPhone cuando necesario.

Proyectos:

1. proyecto IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico) project:

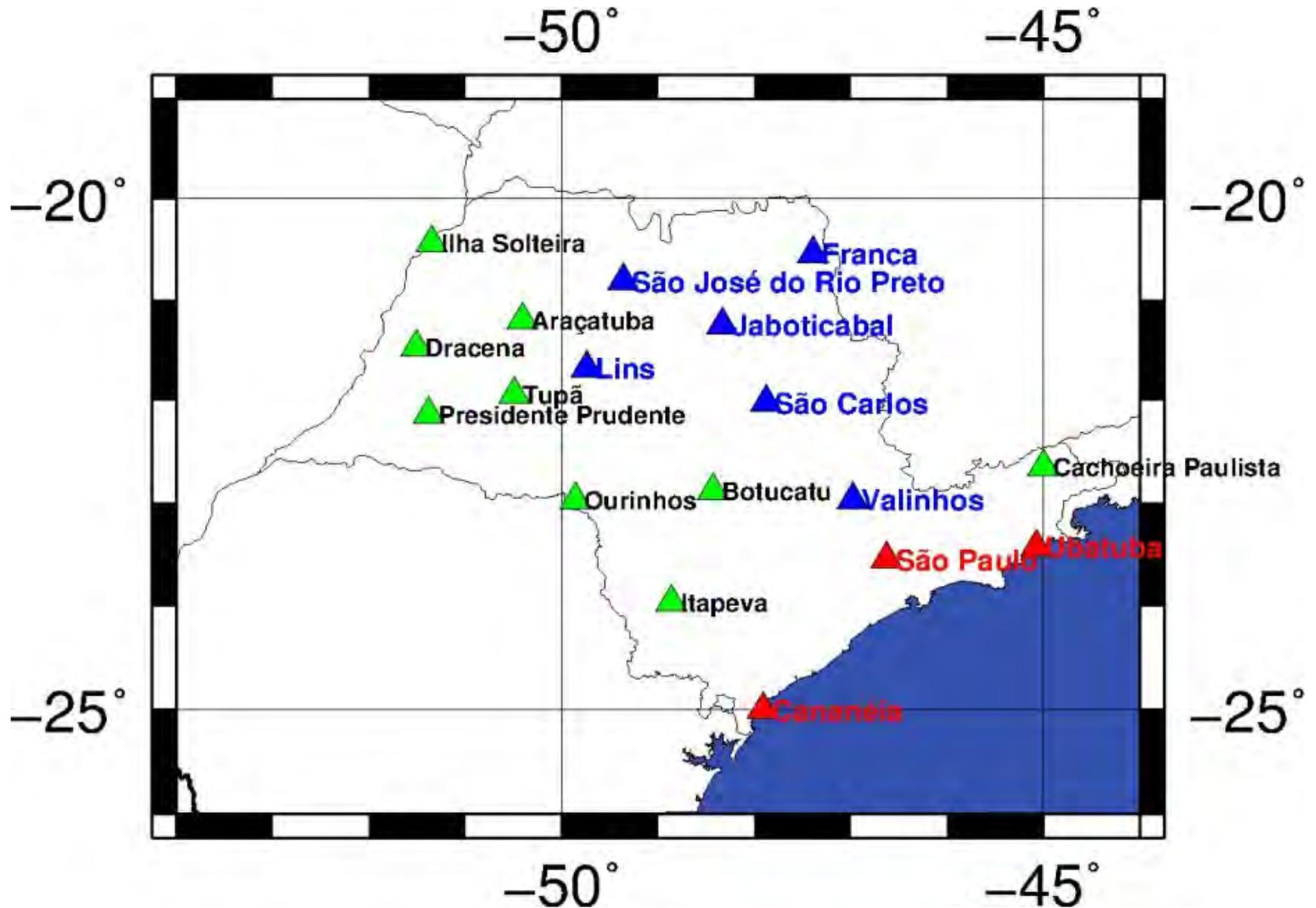
2013/2014

Re observación de puntos absolutos existente: São Paulo, Ubatuba y Cananéia.

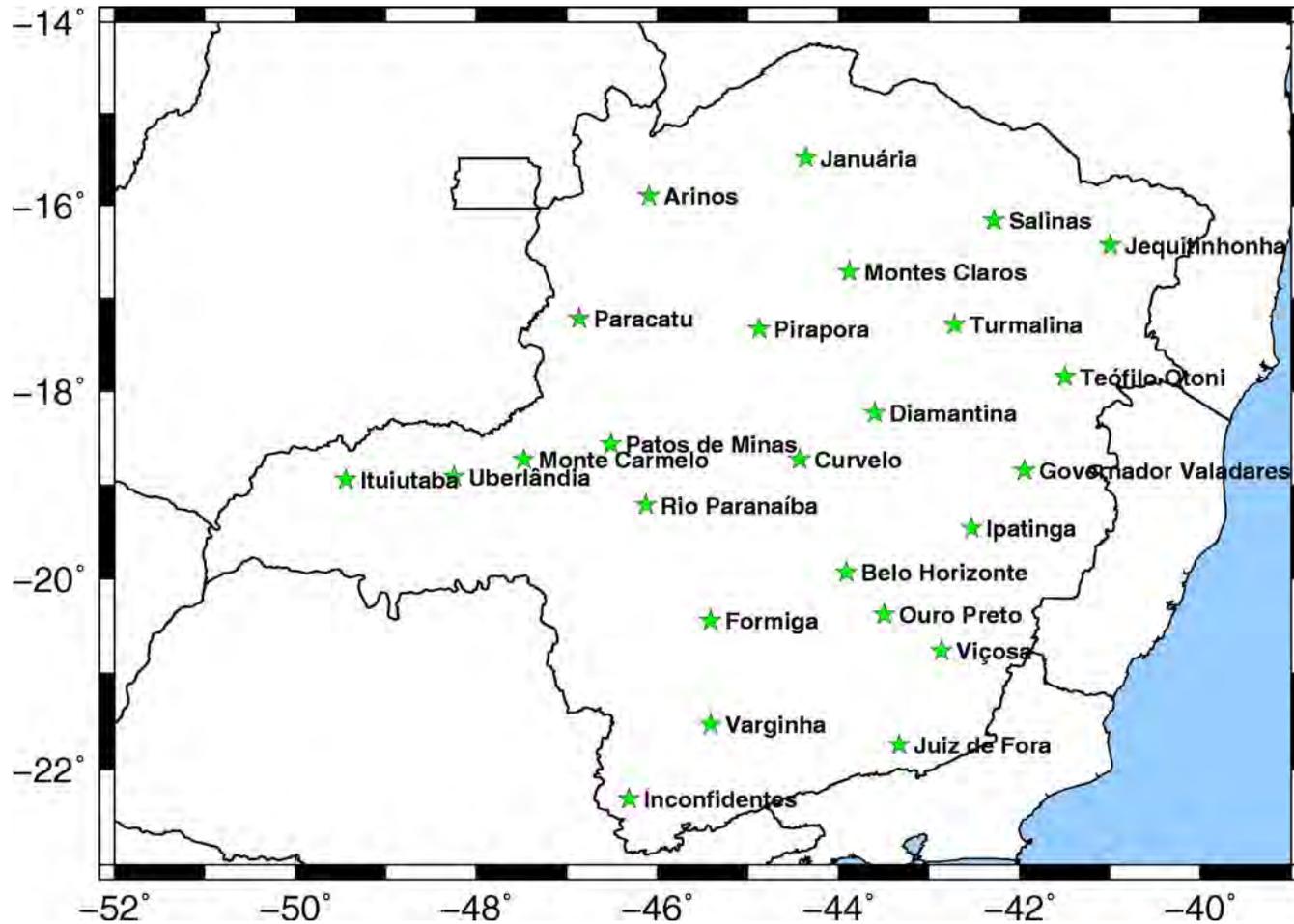
Nuevas estaciones: Franca, Jaboticabal, Lins, São Carlos, São José do Rio Preto, Valinhos.

En la secuela nuevas estaciones se establecerán en Araçatuba, Botucatu, Cachoeira Paulista, Campinas, Dracena, Itapeva, Ilha Solteira, Tupã, Ourinhos, Presidente Prudente.

Red absoluta em São Paulo

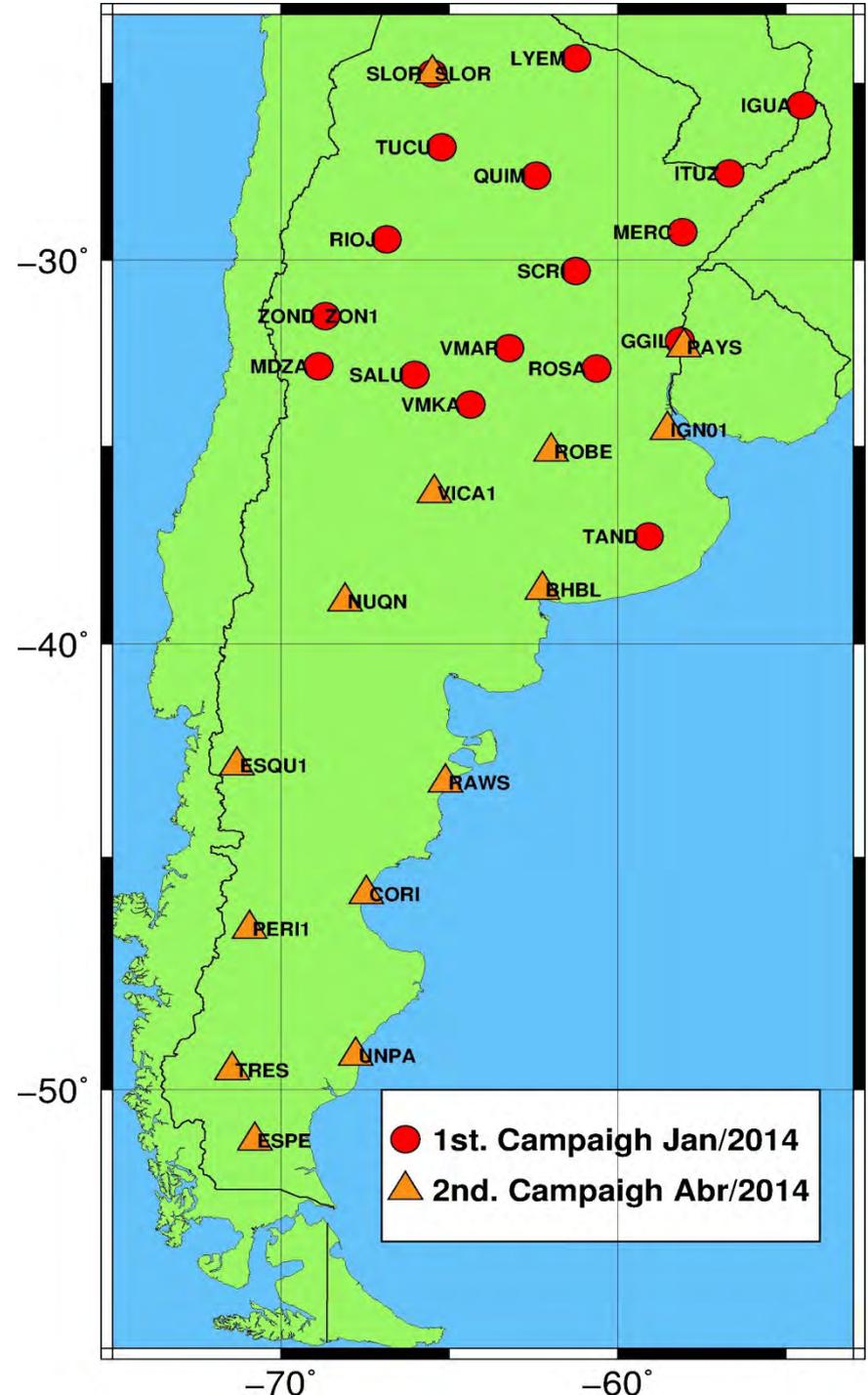


Red absoluta en Minas Gerais



2. IGN (Instituto Geográfico Nacional) proyecto en Argentina

2 campañas:
Norte (17 puntos)
Sur (15 puntos)



IGN (Instituto Geográfico Nacional) proyecto en Argentina

Vehículos y equipo de trabajo de campo



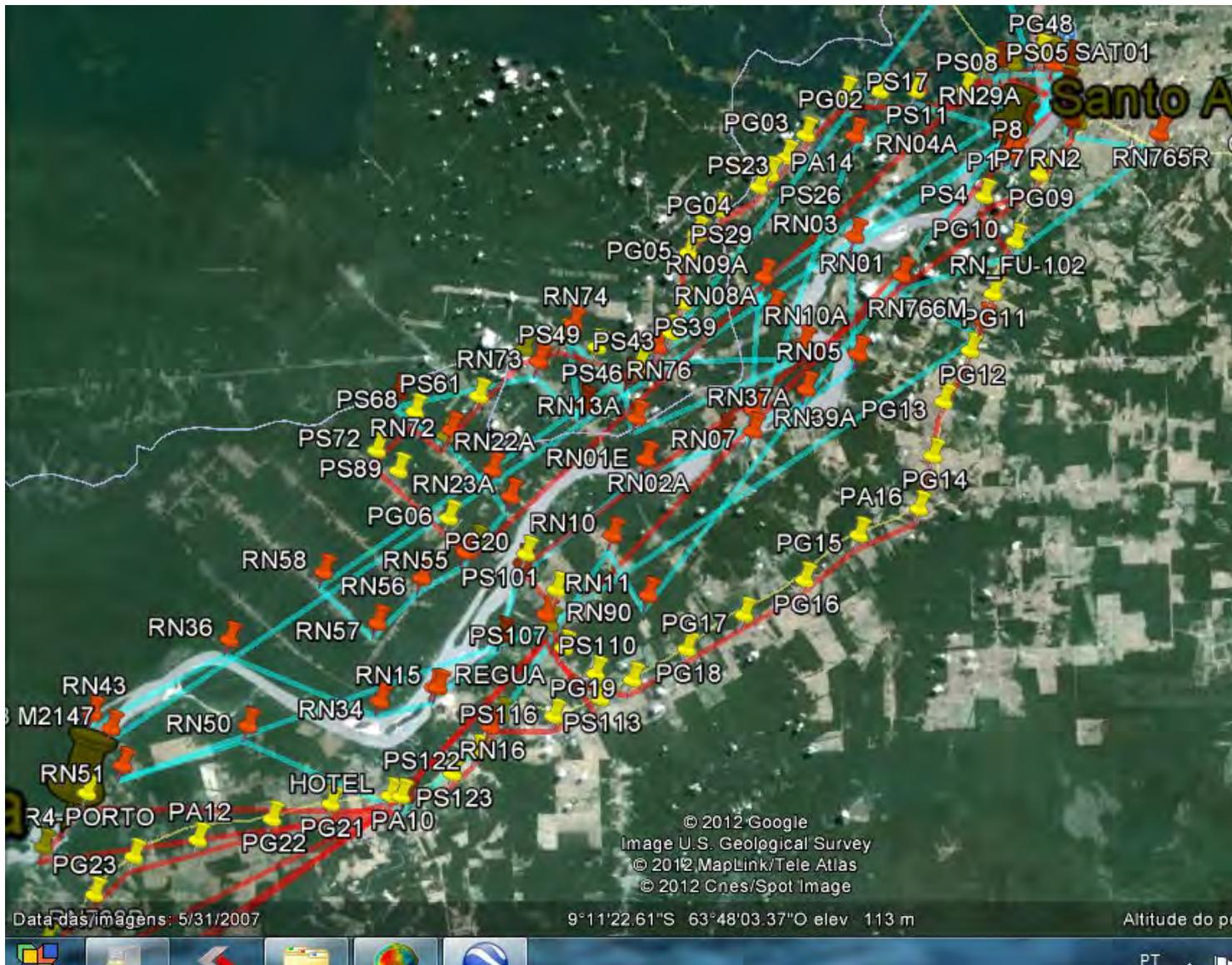
Los proyectos proporcionarán información para las mejoras de los modelos de geoide y permitirán transformar altura geodésica, obtenidos en las investigaciones con Sistemas de Navegación Global por Satélite (GNSS) de altura ortométrica con el mismo nivel de precisión de la determinación geodésica.

IGVSBN (Instituto Geográfico Venezolano Simon Bolivar)

Proyecto de mediciones absolutas y densificacion



Jirau e Santo Antonio (Rio Madeira)



Agradecimientos

- Los autores agradecen Prof. Dr. Arthur Ellmann (Universidad Tecnológica de Tallinn), el Prof. Dr. Peter Vanicek Dr. y Prof. Marcelo Carvalho dos Santos (Universidad de New Brunswick) el paquete informático SHGEO. La actividad en parte se ha realizado con el apoyo financiero del Gobierno de Canadá a través de la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional (CIDA).
- Fundación del Estado de São Paulo (FAPESP) para soportar el proyecto temático;
- GETECH (Ian Somerton), NGA (Steve Kenneyon) y la civil y las organizaciones militares en América del Sur (Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Paraguay, Uruguay y Venezuela) para los espectaculares esfuerzos para la Cooperación.
- *GEORADAR Levantamentos Geofísicos S.A and Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC).*